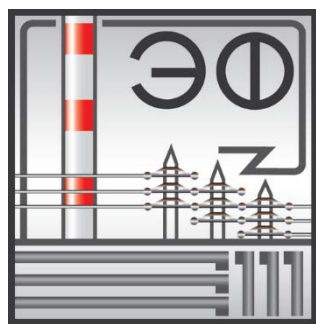


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический
университет

Энергетический факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 2018



Материалы студенческой
научно - технической
конференции

*Электронный учебный
материал*

Минск 2018

УДК 620.9(06)

ББК 31 я 43

А 43

Р е ц е н з е н т

Директор ОП «Институт профессионального образования»

УО «Белорусская государственная академия связи»

Б.В. Лесун

В сборник включены материалы студенческой научно-технической конференции по секциям: «Электрические системы»; «Электроснабжение»; «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»; «Электроника и электротехника»; «Электрические станции»; «Экономика и организация энергетики»; «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 – 04.2019

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

© БНТУ ЭФ, 2019

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Определение мест размыкания двухлучевой схемы электрической сети

Гославский П.С., Скурат Д.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор. КОРОТКЕВИЧ М. А.

Определение оптимальной периодичности диагностики состояния кабельных линий электропередачи

Княжевич Н. А., Харитон С. Г.

Научный руководитель – д. т. н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Оценка эффективности вариантов реконструкции питающей городской электрической сети

Панфило М.И., Горбачевский А.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Выбор материала опор линий электропередачи напряжением 6-10 кВ с учётом показателей надёжности и грозоупорности

Дятко Ю. А., Савицкий А. Ю.

Научный руководитель – д. т. н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Оценка уровня испытательного напряжения для кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией

Батура Е.А., Олешкевич А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Электромеханические генераторы

Андреев В.А., Драк А.С.

Научные руководители – д.т.н., профессор ФУРСАНОВ М.И., к.т.н., доцент НОВИКОВ С.О.

Распределение энергии, вырабатываемой на Белорусской атомной электростанции

Лугачёв В. М.

Научный руководитель – к. т. н., доцент НОВИКОВ С. О.

Измерительные трансформаторы тока: назначение, принцип работы, типы

Иселёнок Е.Б., Базан Т.В., Галабурда Я.В., Бусел Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Высоковольтные элегазовые выключатели

Соловьёв С.С., Ковтун Г.К.

Научный руководитель – ст. препод. ГЕЦМАН Е.М.

О целесообразности продолжения эксплуатации отслуживших свои нормативный срок силовых трансформаторов в городской электрической сети

Прончак В.Ю., Петрукович Д.А.
Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Определение мест размыкания петлевой схемы электрической сети.

Сибирцев Е.Ю., Мячин А.В.
Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Перенапряжения в сети напряжением 6...35 кВ с изолированной нейтралью

Кудин Р.В., Тайна К.А.
Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Конструктивное исполнение молниеприемников молниеотводов

Барановский П.Г.
Научный руководитель – ст. препод. ГАПАНЮК С.Г.

Солнечные батареи

Хитров И.С.
Научный руководитель – ст. препод. ГАПАНЮК С.Г.

Конструктивное исполнение элементов заземления зданий и сооружений

Дюров В.В.
Научный руководитель – ст. препод. ГАПАНЮК С.Г.

Устройство грозозащиты и заземления на подстанциях

Божко Е.А., Сидорова Д.Г., Арсенович Т.В., Ефимчик Е.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Перенапряжения в сети напряжением 6-35 кВ с компенсированной нейтралью

Романович Д.Г., Воробьев Г.Г.
Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Эффективность перевода электрических сетей номинальным напряжением 6-35 кВ с режима изолированной нейтрали на режим заземленной нейтрали через резистор

Зайцев П.А., Креч А. С.
Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Конструкции и область применения неизолированных проводов на воздушных линиях электропередач

Воротилкин С.Ю., Воруев С.В., Голубенко А.Г., Прокопенко В.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Концепция приборного учёта электроэнергии в Республике Беларусь

Рудак Д.В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Энергоэффективность освещения

Варивончик А.О.
Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Заземление нейтрали сети напряжением 6-35 кВ через резистор

Горновская Е.Н, Кирик Е.А.
Научный руководитель – д.т.н, профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Эффективность применения термоусаживаемых муфт

Кравчук И.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Автоматизированные системы управления в ЭЭС

Мацкевич М. О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Энергия, эксергия, энтальпия, энтропия, энергоэффективность

Титко С. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Рекуперация горючих газов и тепловые насосы

Горбачевский А.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Распределенная генерация - виртуальные электростанции

Батура Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Управление потерями при передаче электроэнергии

Гославский П.С

Научный руководитель – к.т.н, доцент ПЕТРУША Ю.С.

Структура расхода энергоресурса при передаче электрической энергии

Гурков В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Системы автоматического управления ЭЭС

Дятко Ю. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Технико-экономическое обоснование создания мини-ТЭЦ на местных видах топлива

Жуков К. А.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Энергетические процессы, технологические линии, потребление ТЭР предприятия

Зайцев П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Источники нарушения качества электроэнергии

Иселёнок Е.Б.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Перевод городского транспорта на электротягу

Княжевич Н. А.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Энергетика и ЭЭС Японии

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Системы автоматизированного управления в ЭЭС

Кулыгин Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Управление нагрузкой ЭЭС с помощью электродвигательных

Мячин А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Повышение энергоэффективности ЭЭС управлением схемой и параметрами электрической сети

Ничипорков И. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Управление энергоэффективностью в химической промышленности

Олешкевич А.А.

Научный руководитель – к.н.т., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Управление энергоэффективностью освещения

Панфило М.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Управление энергоэффективностью энергоемких производств

Савицкий А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Надежность ЭЭС, структура категории и параметры анализа и оценки

Сибирцев Е.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Надежность ЭЭС

Сидорова Д.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Контроль качества электроэнергии и способы компенсации нарушений

Смертьева И.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Энергоэффективность электрических двигателей

Сугак В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Внедрение электрообогрева в жилые здания

Харитон С. Г.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Газовая защита силовых трансформаторов

Шавкун О.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Технологии организационно-технического управления ЭЭС

Астровский А.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Повышение энергоэффективности ЭЭС оптимизацией режимов транспорта электроэнергии

Денисевич Т.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Электрифицированный транспорт

Рачкевич В.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

режимов выработки электроэнергии

Скурат Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Повышение энергоэффективности ЭЭС с помощью технологий smart grid

Тайна К.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Повышение качества услуг электроснабжения на основе «Smart Grid»

Хилевич Р.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Инфракрасные обогреватели

Швырёв С. С.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Повышение энергоэффективности ЭЭС управлением баланса активной мощности

Шелест М. В.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

УДК 621.311.16

Определение мест размыкания двухлучевой схемы электрической сети

Гославский П.С., Скурат Д.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор. КОРОТКЕВИЧ М. А.

Определим места размыкания на примере двухлучевой схемы, изображенной на рисунке 1.

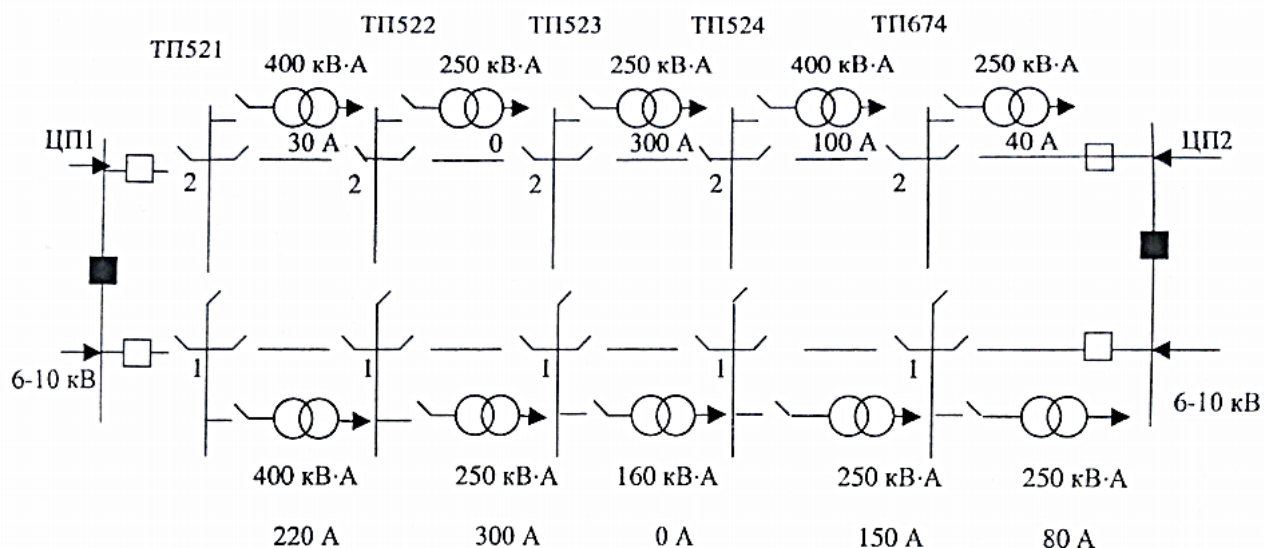


Рисунок 1 – Двухлучевая схема

В двухлучевой схеме, кроме линейных разъединителей, размыкаются также секционные разъединители ТП. Наличие секционных разъединителей на стороне 6-10 кВ ТП позволяет значительно увеличить количество способов восстановления электроснабжения потребителей при его нарушении. Так, схема, изображенная на рисунке 1, питающаяся от 4 секций шин двух ЦП, размыкается на 4 независимые части. При размыкании одного из линейных разъединителей, установленных по концам какого-либо участка линии, соединяющей между собой отдельные ТП, потокораспределение не изменится. Например, размыкание линейного разъединителя на ТП523 в сторону ТП524 аналогично размыканию линейного разъединителя на ТП524 в сторону ТП523. В обоих случаях участок ТП523–ТП524 окажется без нагрузки. Линию, питающую первые секции системы шин ТП (рис. 1), назовем первой цепью, а линию, питающую вторые секции системы шин, – второй цепью.

Нахождение оптимального места размыкания выполним на основе критерия минимума потерь активной мощности путем последовательного перебора возможных мест размыкания. Вначале двухлучевую схему, опирающуюся на разные центры питания, разделим на две петлевые линии.

Способ формирования петлевых линий заключается в размыкании обеих кабельных линий на участке между соседними трансформаторными подстанциями и замыкании секционных разъединителей по концам этого участка. В результате получается одна петлевая линия, питающаяся с шин ЦП 1, и вторая петлевая линия, питающаяся с шин ЦП2.

На первом этапе формируются петлевые линии размыканием участков между соседними ТП. Варьируя эти места размыкания, в каждом случае образуют разные петлевые линии. Для схемы рисунка 1, участки размыкания будут изменяться в соответствии со списком: ЦП1–ТП521, ТП521–ТП522, ТП522–ТП523, ТП523–ТП524, ТП524–ТП674, ТП674–ЦП2. Например, при размыкании двух линий на участке ТП522–ТП523 имеем первую петлевую линию ЦП1 – первые шины ТП521 – первые шины ТП522 – вторые шины ТП522 – вторые шины ТП521 – ЦП1 и вторую петлевую линию ЦП2 – первые шины ТП674 – первые шины ТП524 – первые шины ТП523 – вторые шины ТП523 – вторые шины ТП524 – вторые шины ТП674 – ЦП2.

На втором этапе варьируются места размыкания полученных петлевых линий. Для первой петлевой линии места размыкания будут изменяться в соответствии со списком: ЦП 1 – первые шины ТП521; первые шины ТП521 – первые шины ТП522; первые шины ТП522 – вторые шины ТП522; вторые шины ТП522 – вторые шины ТП521; вторые шины ТП521 – ЦП1. Для второй петлевой линии так: места ЦП2 – первые шины ТП674; первые шины ТП674 – первые шины ТП524; первые шины ТП524 – первые шины ТП523; первые шины ТП523 – вторые шины ТП523; вторые шины ТП523 – вторые шины ТП524; вторые шины ТП524 – вторые шины ТП674; вторые шины ТП674 – ЦП2.

Определим рациональный способ питания трансформаторов в ТП в случае, если один из двух трансформаторов не нагружен. Рассмотрим для примера участок двухлучевой схемы с заданными значениями нагрузок.

В ТП521 установлены два трансформатора мощностью по 400 кВА, причем каждый из них несет нагрузку. В ТП522 установлено тоже два трансформатора мощностью по 250 кВА, один из которых не нагружен. В ТП523 один трансформатор имеет мощность 250, а другой 160 кВА, при этом последний трансформатор не нагружен. В ТП524 и ТП674 по два нагруженных трансформатора мощностью 400, 250 и 250 кВА соответственно.

Рассматриваются только те ТП, у которых имеются ненагруженные трансформаторы (на рис. 1 – это ТП522 и ТП523). Вначале предполагается, что все трансформаторы ТП питаются поочередно от одноименных секций систем шин, а потом рассматриваются возможные варианты присоединения трансформаторов к обеим секциям шин. Для каждой пары ТП таких комбинаций можно указать две. Применительно к двум ТП, а именно ТП522 и ТП523, имеют место следующие варианты присоединения нагрузок:

- сборные шины 1 на ТП522 и ТП523;
- сборные шины 2 на ТП522 и ТП523;
- сборные шины 1 на ТП522 и сборные шины 2 на ТП523;
- сборные шины 2 на ТП522 и сборные шины 1 на ТП523.

Для всех вариантов присоединения нагрузок определяются потери мощности в схеме сети и выбирается то сочетание, которое обеспечивает их наименьшее значение. Снижение потерь мощности здесь достигается за счет перераспределения потоков мощности в результате изменения точки присоединения нагрузки.

В соответствии с выбранным местом размыкания двухлучевой схемы подсчитывается ток замыкания на землю подключенных к данной секции шин центра питания кабелей и фиксируется нагрузка их головных участков. Заметим, что при наличии двух параллельно работающих кабелей их длина умножается на два (при подсчете сопротивления линии указанная длина, как известно, уменьшается в два раза).

Расчеты, проведенные для двухлучевых схем областного города, показали, что снижение потерь мощности в результате рационального размыкания замкнутой городской электрической сети составляет до 15 %.

Литература

1. Короткевич, М.А., Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей/ М.А. Короткевич, - Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2003. – 373 с.

УДК 621. 316

Определение оптимальной периодичности диагностики состояния кабельных линий электропередачи

Княжевич Н. А., Харитон С. Г.

Научный руководитель – д. т. н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

В тех случаях, когда методами контроля состояния изоляции при рабочем напряжении, а также неразрушающими неэлектрическими методами контроля воспользоваться не представляется возможным, то наиболее удобным и повсеместно применяющимся на практике способом периодического контроля состояния изоляции кабельных линий остается испытание кабельных линий повышенным напряжением постоянного тока.

Периодичность испытаний повышенным напряжением силовых кабельных линий напряжением 6-10 кВ должна устанавливаться в зависимости от их важности, т.е. места в резервированных или нерезервированных схемах городской электрической сети, параметра потока отказов и относительной эффективности испытаний, т.е. отсутствия отказов под рабочим напряжением в промежутки времени между очередными испытаниями.

Испытания кабельных линий повышенным напряжением проводятся не только в соответствии с принятой периодичностью их испытаний, но и после выполнения ремонтных работ из-за пробоя изоляции кабеля при испытаниях и под рабочим напряжением.

Таким образом, количество испытаний λ_{II} повышенным напряжением кабельной линии в течение года можно оценить как

$$\lambda_{II} = \frac{1}{T_{II}} + \lambda_{Н.И} + \lambda_A + \lambda_M, \quad (1)$$

где T_{II} - периодичность проведения испытаний повышенным напряжением кабельных линий, лет;

$$\lambda_{Н.И} = \frac{\alpha_1}{T_{II}} - \text{количество пробоев изоляции кабельной линии при ее испытаниях};$$

$$\lambda_A = \lambda_{A0} l - \text{число пробоев изоляции кабельной линии длиной } l \text{ под напряжением за год};$$

λ_M - параметр потока отказов кабельной линии под рабочим напряжением из-за предшествующих механических повреждений брони и оболочки кабеля;

При неуспешном испытании повышенным напряжением кабельной линии требуется найти место повреждения изоляции и выполнить ремонт кабеля.

При отказе кабельной линии под рабочим напряжением необходимо найти вначале поврежденный участок линии и далее место повреждения и выполнить ремонт кабеля.

Функцию ежегодных расходов H в общем виде, с учетом того, что после проведения как плановых (после отказов при испытаниях), так и аварийных ремонтов кабельная линия подвергается дополнительному испытанию повышенным напряжением, запишем как

$$H = \frac{C_{II}}{T_{II}} + (C_K + C_{II})\lambda_{Н.И} + (C_A + C_{II})(\lambda_A + \lambda_M), \quad (2)$$

где C_{II} - стоимость проведения одного испытания изоляции кабеля повышенным напряжением;

$$\frac{C_{II}}{T_{II}} - \text{стоимость проведения испытаний за год};$$

$C_K \lambda_{Н.И}$ - годовая стоимость плановых капитальных ремонтов при пробое изоляции во время ее испытаний повышенным напряжением;

$C_a (\lambda_A + \lambda_M)$ - годовая стоимость аварийных ремонтов из-за отказа кабелей под рабочим напряжением;

$C_{II} \lambda_{H,II}$, $C_{II} (\lambda_A + \lambda_M)$ - годовая стоимость испытаний кабельных линий после выполнения ремонтных работ из-за пробоя изоляции при испытаниях и из-за аварийных отказов;

Функцию (2) преобразуем к виду

$$H = \frac{1}{T_{II}} [C_{II} (1 + \alpha_1) + \alpha_1 C_K] + (C_A + C_{II})(1 + \alpha_2)(a + bT_{II}) \cdot 10^{-2}, (3)$$

Взяв производную $\frac{dH}{dT_{II}}$ и приравняв ее к нулю, получим

$$\frac{dH}{dT_{II}} = -\frac{1}{T_{II}^2} [C_{II} (1 + \alpha_1) + \alpha_1 C_K] + (C_A + C_{II})(1 + \alpha_2) b = 0, (4)$$

Откуда оптимальное значение T_{II} будет равно

$$T_{II.опт} = \sqrt{\frac{(C_{II} (1 + \alpha_1) + \alpha_1 C_K) 100}{(C_A + C_{II})(1 + \alpha_2) b}} = 10 \sqrt{\frac{\alpha_1 + (1 + \alpha_1) \frac{C_{II}}{C_K}}{(\frac{C_A}{C_K} + \frac{C_{II}}{C_K})(1 + \alpha_2) b}}, (5)$$

Оптимальная периодичность плановых испытаний повышенным напряжением резервированных участков кабельных линий электропередачи напряжением 6-10 кВ должна быть дифференцирована в зависимости от протяженности этих участков.

Литература

1. Короткевич М. А: Эксплуатация электрических сетей / М. А. Короткевич-Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 350с.

УДК 621.311.16

Оценка эффективности вариантов реконструкции питающей городской электрической сети

Панфило М.И., Горбачевский А.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Необходимо оценить эффективность вариантов реконструкции питающей сети напряжением 10кВ города в условиях роста нагрузки как путем наращивания числа параллельно работающих кабельных линий того же самого номинального напряжения, так и путем максимального приближения наивысшего экономически целесообразного напряжения к распределительному пункту, т. е. путем сооружения глубоких вводов при одновременном обеспечении: минимума дисконтированных затрат(цель №1), максимума надежности работы сети(цель №2), максимальной экономии ресурса по коммуникационной стойкости выключателей или максимума допустимого числа отключений токов короткого замыкания выключателей центра питания и распределительного пункта(цель №3), максимума напряжения на шинах 10кВ распределительного пункта(цель №4), минимального уровня промышленного шума у распределительного пункта(цель №5).

Структура целевой функции представим в виде среднеарифметического значения:

$$E = \sum_{i=1}^n \mathcal{G}_i \cdot e_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

где \mathcal{G} - оценка важности i -й ($i= 1,2,\dots,n$) цели; e – относительная эффективность i -й определяется как:

-для минимизируемой цели:

$$e_i = \frac{\min x_i}{x_i}, \quad (2)$$

-для максимизируемой цели:

$$e_i = \frac{x_i}{\max x_i}, \quad (3)$$

где x_i - текущее значение показателя i -й цели;

$\min x_i$, $\max x_i$ - минимальное и максимальное значение показателя i -й цели.

$$\frac{|E_j - E_v| \cdot 100\%}{E_j} \geq 20\% \quad (4)$$

где E_j, E_v - критерий оптимизации по j -му и i -му сравниваемым вариантам,

Идея применения глубокого ввода вместо развития питающей кабельной городской электрической сети напряжением 10 кВ не лишена оснований, особенно при одинаковой важности всех рассматриваемых целей и выделении в качестве наиболее важных двух целей - минимума дисконтированных затрат и максимума надежности работы сети. Тем не менее признать более эффективным вариант сооружения системы глубокого ввода напряжением 110 кВ не представляется возможным в связи с невыполнением условия (4).

Если в качестве главного критерия использовать минимум дисконтированных затрат, то бесспорным вариантом развития сети служит вариант сооружения дополнительных питающих кабельных линий напряжением 10 кВ.

Литература

1. Короткевич, М.А, Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей/ М.А. Короткевич, - Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2003. – 373 с.

УДК 621.311.16

Выбор материала опор линий электропередачи напряжением 6-10 кВ с учётом показателей надёжности и грозоупорности

Дятко Ю. А., Савицкий А. Ю.

Научный руководитель – д. т. н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Необходимость учета качественных показателей (надёжность, грозоупорность, срок службы) при выборе материала опор воздушных линий электропередачи приводит к использованию соответствующих математических методов, например метода многоцелевой оптимизации.

Задачу в терминах многоцелевой оптимизации сформулируем в следующем виде: необходимо выбрать материал для опор воздушных линий электропередачи напряжением 10 кВ (дерево, железобетон, электроизоляционный бетон, металл) при обеспечении минимума дисконтированных затрат, максимума надёжности, грозоупорности и срока службы.

Структуру целевой функции зададим в виде(1). Относительные эффективности целей найдем по выражениям (2) и (3).

$$E = \sum_{i=1}^n v_i e_i \rightarrow \max (1),$$

где v_i -оценка важности i -й ($i=1,2,\dots,n$) цели;
 e_i -относительная эффективность i -й цели.

$$e_i = \frac{\min x_i}{x_i} (2),$$

$$e_i = \frac{x_i}{\max x_i} (3),$$

где x_i -текущее значение i -й цели.

Матрица рангов критериальных свойств, присвоенных десятью экспертами. Численные значения весовых коэффициентов, определены по формуле 4 с использование выражений 5 и 6 равны: $\vartheta_1 = 0,32$, $\vartheta_2 = 0,35$, $\vartheta_3 = 0,34$, $\vartheta_4 = 0,19$.

$$v_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} (4),$$

где R_i - расчетный коэффициент для i -й цели ($i=1,2,\dots,n$);

$$R_i = 1 - \frac{A_i}{nN} + \frac{1}{n} (5),$$

где A_i - сумма рангов i -й цели, полученных от всех N экспертов;

$$A_i = \sum_{k=1}^N a_{ik} (6),$$

где a_{ik} - ранг, присвоенный i -й цели экспертом номер $k(k=1,\dots,N)$.

Показатели целей, относящиеся к линиям электропередачи с железобетонными опорами, примем равными единице. Тогда относительные значения показателей цели для линий с опорами из других материалов будут такими, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Значения показателей

Номер цели	Наименование цели	Единицы измерения	Значение при выполнении линии на опорах из			
			Железобетона	дерева	Электроизоляционного бетона	металла
1	Минимум дисконтированных затрат	Тыс. у. е.	5,295/1	5,930/1,12	6,826/1,29	22,417/4,23
2	Максимум надёжности линии	Без разм.	5,6/1,0	2,760/0,49	5,6/1,0	6,560/1,17
3	Максимум грозоупорности линии	лет	1,7/1,0	3,3/1,95	3,3/1,95	1,7/1,0
4	Максимальный срок службы линии	лет	33/1,0	25,00/0,76	33,00/1,0	33,00/1,0

Относительные эффективности целей e_i , определенные по формулам (2) и (3) для исходных данных, (помещенных в табл. 1), (приведены в таблице 2).

Таблица 2 – Относительные эффективности целей

Номер цели	Наименование цели	Значение e_i при выполнении линии на опорах из			
		железобетона	дерева	Электро-изоляционного бетона	металла
1	Минимум дисконтированных затрат	1,00	0,89	0,77	0,24
2	Максимум надежности линии	0,85	0,42	0,85	1,00
3	Максимум грозоупорности линии	0,51	1,00	1,00	0,51
4	Максимальный срок службы линии	1,00	0,76	1,0	1,0
Критерий оптимизации E		0,88	0,72	0,87	0,69

Из табл. 2 видно, что вывод о преимуществе применения железобетонных опор, подтверждается и при учете таких показателей надежности, как прочность, грозоупорность и срок службы.

Применение металлических опор на линиях электропередачи напряжением 10 кВ может оказаться равно экономичным с вариантом применения железобетонных опор, если дисконтированные затраты на сооружение и эксплуатацию линий с металлическими опорами будут превосходить соответствующие затраты по линиям с железобетонными опорами менее чем в 2,7 раза.

Этому значению соответствует капитальные затраты на сооружение одного километра линии напряжением 10 кВ на металлических опорах в размере 8,16 тыс. у.е., что больше аналогичных капитальных затрат на сооружение линии напряжением 10 кВ на железобетонных опорах в 4,8 раза .

Литература

1. Короткевич М. А: Эксплуатация электрических сетей / М. А. Короткевич-Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 350с.

УДК 621.311.16

Оценка уровня испытательного напряжения для кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией

Батура Е.А., Олешкевич А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

При выборе испытательного напряжения необходимо руководствоваться следующими положениями:

- испытательное напряжение должно быть выше уровня воздействующих на изоляцию кабеля перенапряжений;
- испытательное напряжение не должно вызывать перекрытий концевых разделок кабеля;
- испытательное напряжение не должно быть опасным для изоляции оборудования сети, которое одновременно подвергается его воздействию.

Известно, что кабельные линии напряжением 6-10 кВ в городской электрической сети работают в условиях изолированной или компенсированной нейтрали. Важнейшее преимущество систем с изолированной и компенсированной нейтралью состоит в сохранении электроснабжения потребителей при длительных (2...6 ч) однофазных замыканиях на землю. Однако в этом случае напряжения неповрежденных фаз возрастают до линейных значений. Особую опасность представляют перенапряжения, возникающие в результате дуговых замыканий на землю. По величине такие перенапряжения достигают до 3,6 от фазного напряжения сети или до двух линейных значений. Продолжительные перенапряжения весьма опасны для изоляции сети.

В настоящее время кабели напряжением 6-10 кВ после их прокладки должны выдерживать испытание в течение 10 мин постоянным напряжением шестикратной величины, т. е. кабели 6 кВ - напряжением 36 кВ; 10 кВ - напряжением 60 кВ. В процессе эксплуатации продолжительность испытаний составляет 5 мин. Большие трудозатраты на выполнение ремонтных работ повредившихся при испытаниях кабелей обусловили необходимость анализа применяемого уровня испытательного напряжения для кабельных линий. Закономерно предположить, что в процессе эксплуатации кабельных линий запас электрической прочности изоляции K_3 с течением времени t снижается за счет теплового и электрического старения изоляции и ее увлажнения. Характер снижения коэффициента запаса электрической прочности изоляции кабеля в относительных единицах K_{3*} может быть представлен в виде:

- линейной зависимости

$$K_{3*} = 1 - \frac{t}{t_c} = 1 - t_*; \quad (1)$$

где t_* , t – продолжительность эксплуатации кабельной линии в относительных и абсолютных (лет) единицах измерения; t_c – нормативный срок службы кабеля, лет;

- экспоненты, т. е. аналогично изменению вероятности безотказной работы кабельной линии с увеличением срока эксплуатации

$$K_{3*} = e^{-at}; \quad (2)$$

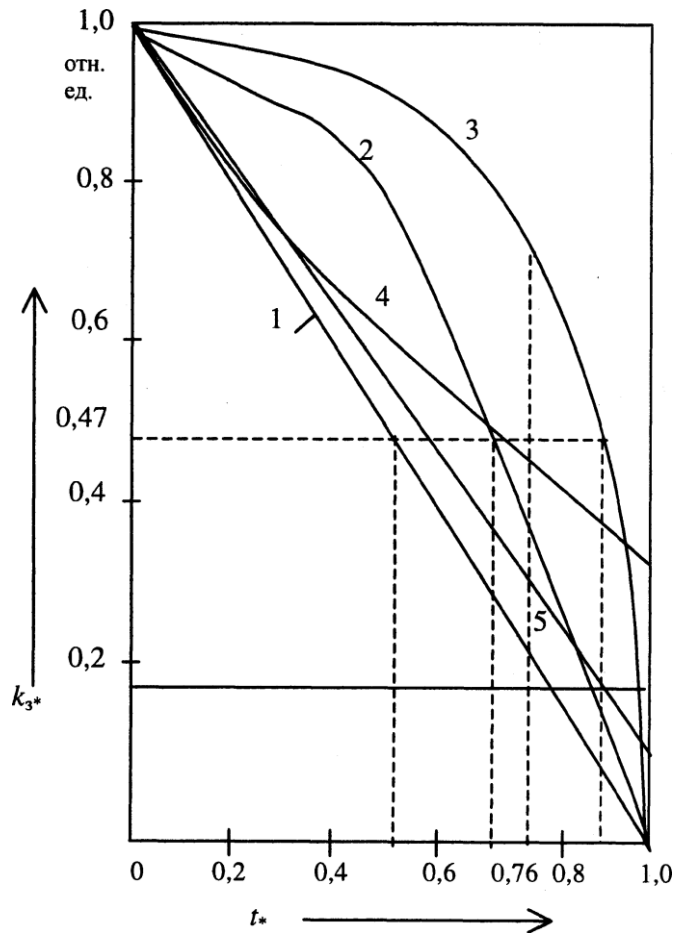
- окружности

$$K_{3*}^2 = 1 - t_*^2; \quad K_{3*} = \sqrt{1 - t_*^2}; \quad (3)$$

- косинусоиды

$$K_{3*} = \cos t_* \frac{\pi}{2}. \quad (4)$$

Зависимость $K_{3*} = f(t_*)$, построенные по формулам (2)-(4), приведены на рис. 1.



$$1 - K_{3*} = 1 - t_*; 2 - K_{3*} = \cos t_* \frac{\pi}{2}; 3 - K_{3*} = \sqrt{1 - t_*^2}; 4 - K_{3*} = e^{-t_*}; 5 - K_{3*} = e^{-at}.$$

Рисунок 1 – Изменение коэффициента запаса электрической прочности изоляции кабеля от продолжительности его эксплуатации:

Указанному значению K_{3*} из [рис. 1] соответствуют относительные сроки службы кабеля: 0,53 (при линейном законе изменения K_{3*} во времени), 0,68 (при законе изменения K_{3*} во времени по косинусоиде), 0,76 (при экспоненциальном законе изменения K_{3*} во времени) и 0,87 (при законе изменения K_{3*} во времени по окружности).

Среднее значение относительного срока службы кабеля, соответствующего коэффициенту запаса электрической прочности изоляции, равному 0,47, составляет 0,72, что адекватно экспоненциальному закону изменения K_{3*} во времени. Как известно, снижение электрической или механической прочности технических систем во времени подчиняется экспоненциальному закону. Тогда уровень испытательного напряжения $U_{исп}$ оценивается по выражению:

$$U_{исп} = U_{исп}^{норм} K_{3*} = U_{исп}^{норм} e^{-at}, \quad (5)$$

где $U_{исп}^{норм}$ - нормативное значение испытательного напряжения постоянного тока (36 кВ - для кабелей 6 кВ; 60 кВ - для кабелей 10 кВ);

$$a \text{ находится по формуле: } n l g a + a \sum_{i=1}^n l g U_{исп i} = \sum_{i=1}^n l g \lambda_{a i}$$

Вывод:

1. Уровни испытательного напряжения постоянного тока для кабелей напряжением 6-10 кВ должны устанавливаться дифференцированно в зависимости от продолжительности эксплуатации кабельных линий.

2. Минимальный уровень испытательного напряжения, определенный исходя из воздействующих на изоляцию кабеля перенапряжений при однофазных замыканиях в сети с изолированной нейтралью, должен быть равен 28 кВ (для кабелей напряжением 10 кВ) и 17 кВ (для кабелей напряжением 6 кВ).

Литература

1. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей / М.А. Короткевич. – Мн.: ЗАО “Техноперспектива”, 2003. – 373 с

УДК 621.3

Электромеханические генераторы

Андреев В.А., Драк А.С.

Научные руководители – д.т.н., профессор ФУРСАНОВ М.И.,
к.т.н., доцент НОВИКОВ С.О.

В данной статье будет рассмотрено использование электромеханических генераторов в промышленности, принцип их работы, строение, виды, характеристики, а также их распространение в Республике Беларусь

Мы обратили внимание именно на электромеханические генераторы, которые можно использовать в бытовых и промышленных условиях, также из-за их широкого распространения на территории РБ.

Эта тема была выбрана нами по причине актуальности данного вопроса в Республике Беларусь, а также за ее пределами. Цель работы – информирование обучающихся.

В данной работе были упомянуты следующие виды генераторов и их характеристики:

- 1) ТВВ-320-2
- 2) ТВФ-120-2
- 3) ТВФ-63-24
- 4) ТВВ-160-2

Электромеханическими генераторами называют электрические машины, преобразующие механическую энергию в электрическую. Принцип действия электрического генератора основан на явлении электромагнитной индукции, при котором в проводнике, движущемся в магнитном поле и пересекающем его магнитные силовые линии, индуцируется ЭДС. Таким образом, такой проводник может рассматриваться как источник электрической энергии.

Способ получения индуцированной ЭДС, когда проводник перемещается в магнитном поле, двигаясь вверх или вниз, очень неудобен в его практическом использовании. Поэтому в генераторах применяется не прямолинейное, а вращательное движение проводника.

Основными частями всякого генератора являются: система магнитов или чаще всего электромагнитов, создающих магнитное поле, и система проводников, пересекающих это магнитное поле.

Классификация электромеханических генераторов. Электромеханические генераторы различают:

1. По типу первичного двигателя:
 - 1.1 Турбогенератор – электрический генератор, приводимый в движение паровой турбиной или газотурбинным двигателем;
 - 1.2 Гидрогенератор – электрический генератор, приводимый в движение гидравлической турбиной;
 - 1.3 Дизель-генератор – электрический генератор, приводимый в движение дизельным двигателем;
 - 1.4 Ветрогенератор – электрический генератор, преобразующий кинетическую энергию ветра в электричество;
2. По виду выходного электрического тока:
 - 2.1 Однофазный;
 - 2.2 Двухфазный;
 - 2.3 Трехфазный;
3. Вид соединения обмоток:
 - 3.1 С включением обмоток звездой;
 - 3.2 С включением обмоток треугольником;
4. По способу возбуждения:
 - 4.1 С возбуждением постоянными магнитами;
 - 4.2 С внешним возбуждением;

- 4.3 С самовозбуждением:
- 4.3.1 С последовательным возбуждением;
- 4.3.2 С параллельным возбуждением;
- 4.3.3 Со смешанным возбуждением.

Устройство генератора рассмотрим на примере генератора переменного тока.

По конструкции можно выделить: генераторы с неподвижными магнитными полюсами и вращающимся якорем; генераторы с вращающимися магнитными полюсами и неподвижным статором.

Последние получили большее распространение, так как благодаря неподвижности статорной обмотки отпадает необходимость снимать с ротора большой ток высокого напряжения с использованием скользящих контактов (щёток) и контактных колец.

Подвижная часть генератора называется ротор, а неподвижная — статор.

Статор собирается из отдельных железных листов, изолированных друг от друга. На внутренней поверхности статора имеются пазы, куда вкладываются провода статорной обмотки генератора.

Ротор изготавливается, обычно, из сплошного железа, полюсные наконечники магнитных полюсов ротора собираются из листового железа. При вращении между статором и полюсными наконечниками ротора присутствует минимальный зазор, для создания максимально возможной магнитной индукции. Геометрическая форма полюсных наконечников подбирается такой, чтобы вырабатываемый генератором ток был наиболее близок к синусоидальному.

На сердечники полюсов посажены катушки возбуждения, питаемые постоянным током. Постоянный ток подводится с помощью щёток к контактным кольцам, расположенным на валу генератора.

В настоящее время использование электромеханических генераторов получило широкое распространение. Это связано с техническими, эксплуатационными характеристиками и рядом преимуществ:

1. Конструкция генераторов проста как в эксплуатации, так и в проведении ремонтных работ;
2. Оборудование отличается низкой стоимостью;
3. Широкий диапазон использования генераторов;
4. Совершенствование методов управления двигателем;
5. Высокий энергетический ресурс;
6. Генераторы имеют хорошие показатели КПД;
7. Небольшие габариты и масса, которые позволяют использовать генератор в любых условиях.

Электромеханические генераторы, используемые в Республике Беларусь.

На Лукомльской ГРЭС установлено 8 генераторов 300 МВт типа ТВВ-320-2 производства Ленинградского электромашиностроительного объединения «Электросила» (ЛЭО «Электросила»). Электрическая мощность Лукомльской ГРЭС - 2889,5 МВт. Турбогенератор ТВВ-320-2 представляет собой синхронный генератор трехфазного тока с водородно-водяным охлаждением. Сталь ротора и статора, обмотка ротора охлаждаются водородом, а обмотка статора генератора охлаждается дистиллированной водой. Нагретый водород охлаждается в четырех встроенных в корпус генератора газоохладителях. Циркуляция водорода обеспечивается двумя вентиляторами, смонтированными на роторе генератора. Через газоохладители прокачивается дистиллят насосами газоохладителей (НГО). Корпус статора генератора сварной, газонепроницаемый, состоит из трех частей: центральной, в которой собрана активная сталь статора и двух торцевых частей, в которых смонтированы выводы статорной обмотки, газоохладители и уплотняющие подшипники. Обмотка статора трехфазная, двухслойная. Охлаждение обмотки статора осуществляется подачей дистиллята в полые стержни обмотки по замкнутому контуру.

Основные технические данные:

- 1) Тип турбогенератора: ТВВ-320-2
- 2) Активная мощность, кВт: 320000
- 3) Полная мощность, кВА: 376000
- 4) Номинальное напряжение, кВ: 20
- 5) Схема соединения обмоток: YY
- 6) X_d'' о.е.: 0,173
- 7) X_d' о.е.: 0,258
- 8) X_d о.е.: 1,698
- 9) Расчетная ориентировочная цена, тыс. у.е.: 12000

На Минской ТЭЦ-4 установлены турбогенератор типа ТВФ-120-2 с водородным охлаждением и турбогенератор типа ТВВ-320 с водородным охлаждением. Электрическая мощность Минской ТЭЦ-4 - 1035 МВт.

Технические данные турбогенератора типа ТВВ-320 были описаны ниже.

Основные технические данные турбогенератора типа ТВФ-120-2:

- 1) Тип турбогенератора: ТВВ-320-2
- 2) Активная мощность, кВт: 120000
- 3) Полная мощность, кВА: 125000
- 4) Номинальное напряжение, кВ: 10,5
- 5) Схема соединения обмоток: YY
- 6) X_d'' о.е.: 0,205
- 7) X_d' о.е.: --
- 8) X_d о.е.: --
- 9) Расчетная ориентировочная цена, тыс. у.е.: 5040

На Мозырской ТЭЦ, электрическая мощность которой 205 МВт, установлены электрогенераторы ТВФ-63-2 и ТВВ-160-2.

Технические данные электрогенератора ТВФ-63-2:

- 1) Тип турбогенератора: ТВФ-63-2
- 2) Активная мощность, кВт: 63000
- 3) Полная мощность, кВА: 78750
- 4) Номинальное напряжение, кВ: 6,3/10,5
- 5) Схема соединения обмоток: Δ/Y
- 6) X_d'' о.е.: 0,14
- 7) X_d' о.е.: --
- 8) X_d о.е.: --
- 9) Расчетная ориентировочная цена, тыс. у.е.: 2820

Технические данные электрогенератора ТВВ-160-2:

- 1) Тип турбогенератора: ТВВ-160-2
- 2) Активная мощность, кВт: 160000
- 3) Полная мощность, кВА: 188200
- 4) Номинальное напряжение, кВ: 18
- 5) Схема соединения обмоток: YY
- 6) X_d'' о.е.: 0,213
- 7) X_d' о.е.: 0,304
- 8) X_d о.е.: 1,713
- 9) Расчетная ориентировочная цена, тыс. у.е.: 6400

Литература

1. Генератор переменного тока// Материал из Википедии — свободной энциклопедии [Электронный ресурс].- 2015.- Режим доступа:

https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Генератор_переменного_тока&stable=1 .- Дата доступа: 30.10.2018

2. Мазуркевич В.Н. Справочные сведения по синхронным генераторам тепловых и атомных электростанций / В.Н. Мазуркевич // Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования по электрической части электрических станций и подстанций [Электронный ресурс]. – 2010 .- Режим доступа: http://www.bntu.by/images/stories/ef/ESt/generator_sprav.pdf . - дата доступа: 30.10.2018.

УДК 621.3

**Распределение энергии, вырабатываемой на
Белорусской атомной электростанции**

Лугачёв В. М.

Научный руководитель – к. т. н., доцент НОВИКОВ С. О.

Данная тема очень актуальна в свете последних событий в нашей стране. Строительство атомной электростанции является очень дорогостоящим, трудоёмким, наукоёмким процессом, требующим объединения усилий учёных, инженеров и проектировщиков различных отраслей науки и производства. По этому все аспекты связанные со строительством и эксплуатацией атомной электростанции должны быть хорошо изучены, рассмотрены и тщательно изучены. Чтобы в будущем избежать серьёзных ошибок и аварий в работе станции. Немаловажным аспектом работы является экономическая эффективность станции. Перед началом работ необходимо просчитать стоимость строительства, оборудования, наладочных работ. Просчитать логистику материалов, бедующей продукции и ресурсов, необходимых для работы станции. Соорудить большое количество железных и автомобильных дорог, линий электропередачи, трансформаторных станций и подстанций, жилые дома и сопутствующую инфраструктуру для персонала станции. Заключить договора и контракты на поставку ресурсов и покупку выработанной электроэнергии. Необходимо найти, подготовить специалистов, которые будут способны работать на оборудовании станций. Пройти международную сертификацию, многочисленные согласования с международными экологическими организациями. Каждый из вышеперечисленных критериев является очень важным, ошибка, недочёт хотя бы в одном из них может привести к серьёзным последствиям, как в масштабах Беларуси так и всего мира.

Выбранная мной тема – «Распределение энергии вырабатываемой Белорусской атомной электростанцией» очень популярна в белорусском энергетическом и не только обществе. Она обсуждается на страницах государственных и частных периодических изданий, радио, телевидении в обществе. По этому поводу высказываются официальные лица, учёные и инженеры. Тем не менее, горячие дискуссии и споры продолжаются. В своей статье я попытался чётко сформулировать проблему, подвести под неё статистические данные, обобщить все высказывания и возможные пути решения данной проблемы. Предложить свой вариант видения данной проблемы, предложить свои пути решения. Пока я не являюсь большим специалистом в данной области, однако я много интересовался и интересуюсь проблемами энергетики. Думаю, что моя статья будет полезна, если не крупным специалистам, то простым обывателем, желающим разобраться в ситуации, так как, на мой взгляд, она отражает основные тезисы и положения данной проблемы. И предлагает неординарные пути её решения.

Потребление электроэнергии в Беларуси составляет 36-37 млрд. кВт*ч. На диаграмме можно проследить динамику изменения потребления электроэнергии, изменения находятся в пределах 1400 млн. кВт*ч. Из этого следует, что потребление электрической энергии в стране стабилизировалось и остаётся неизменным долгое время. Основными производителями электрической энергии являются тепловые электростанции, работающие на природном газе, мазуте, другом природном топливе. Почти половину всей электроэнергии производят Лукомльская и Берёзовской ГРЭС. Доля энергии получаемой из возобновляемых ресурсов сейчас невелика. Суммарное производство электроэнергии представлено на диаграмме. Сопоставив данные можно увидеть, что в 2014 году дефицит составил 3318 млн. кВт*ч, в 2015 – 2622 млн. кВт*ч, в 2016 – 3021 млн. кВт*ч, в 2017 – 2585 млн. кВт*ч. Таким образом, можно сказать, что Беларусь самостоятельно покрывает свои потребности в электрической энергии на 95%, дефицит составляет, в среднем, 2886 млн. кВт*ч.

В 2020 году будет полностью сдана в эксплуатацию Белорусская атомная электростанция. Она будет состоять из двух энергоблоков, с реакторами типа ВВЭР – 1200, с

суммарной мощностью 2400МВт. Это увеличит количество, производимой в стране, энергии наполовину. Таким образом, в энергосистеме появится переизбыток энергии, которую придётся распределить.

Можно рассмотреть несколько вариантов решения данной проблемы.

Самое очевидное решение данной проблемы – продать излишки энергии в другие страны. Например: с Литвой у Беларуси есть большое число линий, оставшихся от работы Игналинской АЭС, до 2009 года по этой линии передавалась энергия в Беларусь, после закрытия Игналинской АЭС уже Литва стала получателем энергии, выработанной в Беларуси. В 2015-2016 годах Беларусь поставляла в Литву 200 млн. кВт/ч электроэнергии в год, однако даже эта незначительная цифра постепенно снижается. Снижение связано с тем, что Литва постепенно интегрируется в европейскую энергосистему. Сейчас она получает дешёвую энергию по проводному соединению NordBalt из Швеции, где она вырабатывается на многочисленных гидроэлектростанциях. Это позволяет получать электроэнергию по цене 30-35 евро за мегаватт*час. Однако мощность Шведских электростанций варьируется с течением года (мощность ГЭС зависит от скорости течения реки, её полноводности, а полноводность зависит от количества осадков и времени года), первое время кабель работает с перебоями. Так же существуют и политические противоречия, которые не позволяют развивать данное направление. Что касается Латвии и Эстонии, то с ними политических противоречий не существует. Более того, с 7 февраля 2001 года действует соглашение ЭК БРЭЛЛ (Электрическое кольцо Беларуси, России, Эстонии, Литвы и Латвии), оно подразумевает синхронный режим работы энергетических систем этих стран: работа на частоте 50 Гц, общие принципы работы, обмен электроэнергией и поддержка в случае аварии. Однако, все страны Балтии в ближайшие годы планируют отказаться от ЭК БРЭЛЛ и перейти на европейские электроэнергетические стандарты. Это скорее всего приведёт к полному прекращению энергообмена между Беларусью и балтийскими странами. Конечно, даже при разных параметрах тока, им можно обмениваться между двумя энергосистемами, для этого на границе необходимо установить переходники – вставки постоянного тока, которые являются весьма дорогостоящими, громоздкими и технически сложными. С экономической точки зрения установка переключателей будет выгодна при передаче большого количества энергии, что вряд ли будет возможно в сложившейся ситуации.

Из Беларуси в Польшу идут две линии: в район Белостока и Вульку Добрыньску, эти районы не подключены к энергосистеме Польши и полностью обеспечиваются белорусской энергией. Поставки в эти районы можно считать незначительными, по сравнению с мощностями Белорусских электростанций. Польская энергосистема давно перешла на европейские стандарты, и практически полностью обеспечивает себя электроэнергией, вырабатываемой на своих угольных электростанциях. Поставка электроэнергии в страны западной и восточной Европы так же малорентабельны, т. к. стандарты энергосистем, в большинстве случаев, разные, необходимо построить большое число линий и сопутствующего оборудования, которое стоит дорого и будет размещаться на частной территории (нужно будет договориться с большим количеством собственников, платить аренду). Так же много энергии будет теряться при передаче на большие расстояния.

Если рассматривать Россию и Украину, то граничащие с Беларусью районы полностью обеспечиваются собственными АЭС – Смоленской и Ровенской.

Таким образом продажа электроэнергии в соседние страны, в данный момент, не возможна и экономически не целесообразна.

Другой выход из сложившейся ситуации – увеличить собственное потребление (внутри страны) электрической энергии. Это будет возможно благодаря тому, что с введением в эксплуатацию АЭС электроэнергия в Беларуси подешевеет, например для промышленных предприятий цена будет примерно 7,9 центов за кВт*ч. Это приведёт к тому, что электроэнергия, получаемая на ТЭЦ, будет дороже, и от неё начнут отказываться. Введение АЭС в эксплуатацию снизит потребление природного газа на четверть. С каждым годом всё больше ужесточаются требования по выбросам углекислого газа в атмосферу, истощаются

запасы природного топлива, сырьём для которого служит нефть – богатейший источник органических веществ, ещё Д. И. Менделеев говорил: «Нефть – не топливо, топить можно и ассигнациями». Таким образом, использование электроэнергии, полученной на атомной электростанции, поможет улучшить экологическую обстановку, сохранить ценнейшее минеральное сырьё и деньги на его закупку.

Сейчас потребление электрической энергии энергоёмкими отраслями в Беларуси гораздо меньше, чем в тех же отраслях, но в Европе. Это произошло из-за того, что в Беларуси были предоставлены «особые условия» на покупку газа в России, высокой степени газификации страны. Низкая цена газа стимулировала предприятия закупать котлы, другое оборудование, которое способно работать на газе, и как следствие отказаться от использования, более дорогой, на тот момент, электроэнергией, более того, некоторые предприятия самостоятельно строили на своей территории небольшие, работающие на газу электростанции, которые обеспечивали собственные потребности. Возрастание уровня потребления электрической энергии промышленностью, до уровня развитых стран, способно полностью закрыть все излишки энергии, полученные при работе АЭС.

С появлением недорогой электроэнергии могут появиться и новые энергоёмкие производства, которых ранее не было, из-за отсутствия каких – либо факторов. Например может активнее развиваться металлургия, плавильное и литейные производства, крупные химические производства. Возможно развитие крупных тепличных, рыбных хозяйств, требующих поддержания определённой температуры.

Так же можно активнее развивать электротранспорт. Запускать новые линии трамвая, метро, троллейбуса. Сейчас на заводе «Белкоммунмаш» производятся, разрабатываются и совершенствуются новые модели электробусов – транспортных средств, способных питаться от троллейбусной контактной сети и, при этом, иметь запас автономного хода. Что позволяет избежать затрат на строительство инфраструктуры (контактной сети, подстанций) Возможности данной техники ограничиваются только ёмкостью аккумуляторных батарей. Электробусы доказали свою эффективность по всему миру, и активно применяются в Беларуси, например в Минске, Гродно и других городах страны. Необходимо увеличивать степень электрификации железных дорог, так как электровозы быстрее, экономичнее, грузоподъёмные, чем тепловозы. Развитие электромобилей, как личного транспорта возможно благодаря дешёвой электроэнергии, относительно не дорогому оборудованию для зарядки. Современные автопроизводители совершенствуют свои модели, устанавливая более эффективные двигатели, ёмкие аккумуляторы, снижая стоимости. Совместная Белорусско-Китайская компания БелДжи уже продемонстрировала опытный образец электромобиля, который планируется продвигать при помощи государственных программ.

Хорошая идея – строить новые жилые дома, к которым будет подводиться только электричество холодная вода и канализация. Дом при помощи электронагревателей будет самостоятельно обеспечивать себя тёплой водой, плиты в таких домах будут электрическими. Старые дома так же модернизировать, но постепенно, с течением выработки ресурса действующими системами.

Если все вышеперечисленные меры не смогут помочь, возможно закрытие некоторых небольших, местных электростанций и перевод крупных в «горячий резерв», на случай аварий на АЭС. Однако, эти меры очень не желательны, так как приведут к большим сокращениям на предприятиях, большим затратам на переоборудование сетей.

Таким образом, для решения данного вопроса нужно применять целый комплекс мер изложенных выше. Так как каждый из предложенных вариантов не сможет полностью, экономически целесообразно, решить проблему, а если сделать небольшие, планомерные шаги в каждой отрасли, то в итоге это даст хороший положительный эффект. Но уже сейчас можно сказать, что строительство АЭС в Беларуси имеет серьёзное положительное влияние на все сферы жизни страны.

Литература

1. Белорусская АЭС [Электронный ресурс]. – режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Белорусская_АЭС. – Дата обращения: 30.10.2018
2. Белорусская атомная электростанция [Электронный ресурс]. – режим доступа: . – Дата обращения: 30.10.2018
3. Бубликова Т. Куда пристроить энергию БелАЭС. Десять самых смелых идей для правительства [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://belaes.by/ru/o-predpriyatii.html>. – Дата обращения: 30.10.2018
4. Белорусская АЭС [Электронный ресурс]. – режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Белорусская_АЭС. – Дата обращения: 30.10.2018
5. Замминистра энергетики рассказал куда "пойдет" электроэнергия с БелАЭС [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://www.belnovosti.by/ekonomika/zamministra-energetiki-rasskazal-kuda-poydet-elektroenergiya-s-belaes>. – Дата обращения: 30.10.2018
6. Шрайбан А. Куда мы денем энергию с АЭС? Мифы и реальность [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://news.tut.by/economics/558443.html>. – Дата обращения: 30.10.2018

УДК 621.3

Измерительные трансформаторы тока: назначение, принцип работы, типы

Иселёнок Е.Б., Базан Т.В., Галабурда Я.В., Бусел Е.В.
 Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Мощные электротехнические установки могут работать с напряжением несколько сот киловольт, при этом величина тока в них может достигать более десятка килоампер. Естественно, что для измерения величин такого порядка не представляется возможным использовать обычные приборы. Поэтому при измерении переменного тока большой силы пользуются обычно измерительными трансформаторами тока (ИТТ). Трансформаторы тока используют в схемах измерений и учета электроэнергии. Трансформаторы тока являются также элементами устройств релейной защиты и автоматики. Через трансформаторы тока релейные схемы получают информацию о состоянии электронных цепей высочайшего напряжения. Также трансформаторы тока предназначены для изолирования реле, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепи высокого напряжения.

Принципиальная схема одноступенчатого электромагнитного трансформатора тока и его схема замещения приведены на рис.1. Как видно из схемы, основными элементами трансформатора тока, участвующими в преобразовании тока, являются первичная 1 и вторичная 2 обмотки, намотанные на один и тот же магнитопровод 3. Первичная обмотка включается последовательно (в рассечку токопровода высокого напряжения 4), т.е. обтекается током линии I_1 . Ко вторичной обмотке подключаются измерительные приборы (амперметр, токовая обмотка счетчика) или реле. При работе трансформатора тока вторичная обмотка всегда замкнута на нагрузку.

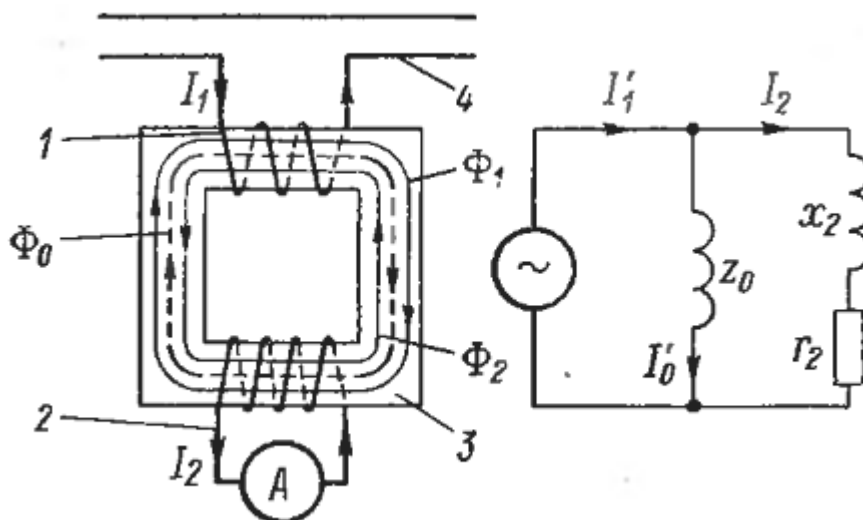


Рисунок 1 – Принципиальная схема трансформатора тока и его схема замещения.

Первичную обмотку совместно с цепью высокого напряжения называют первичной цепью, а внешнюю цепь, получающую измерительную информацию от вторичной обмотки трансформатора тока (т.е. нагрузку и соединительные провода), называют вторичной цепью.

Из принципиальной схемы трансформатора видно, что между первичной и вторичной обмотками не имеется электрической связи. Они изолированы друг от друга на полное рабочее напряжение. Это и позволяет осуществить непосредственное присоединение измерительных приборов или реле ко вторичной обмотке и тем самым исключить воздействие высокого напряжения, приложенного к первичной обмотке, на обслуживающий трансформатор [1].

Рассмотрим принцип работы трансформатора тока. По первичной обмотке 1 трансформатора тока проходит первичный ток I_1 . Он зависит только от параметров

первичной цепи, поэтому при анализе явлений, происходящих в трансформаторе тока, первичный ток можно считать заданной величиной. При прохождении I_1 по обмотке 1 в магнитопроводе создаётся переменный магнитный поток Φ_1 . Магнитный поток охватывает витки как первичной, так и вторичной обмоток. Пересекая витки вторичной обмотки, Φ_1 при своем изменении индуцирует в ней электродвижущую силу (ЭДС). Так как вторичная обмотка замкнута на нагрузку, то по действием ЭДС в ней будет проходить ток. Этот ток согласно закону Ленца будет иметь направление, противоположное направлению I_1 . Ток, проходящий по вторичной обмотке, создаёт в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ_2 , который направлен встречно Φ_1 . В результате сложения магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 в магнитопроводе устанавливается результирующий магнитный поток Φ_0 . Поток Φ_0 и является тем передаточным звеном, посредством которого осуществляется передача энергии от первичной обмотки ко вторичной в процессе преобразования тока. Результирующий магнитный поток Φ_0 пересекая витки обеих обмоток, индуцирует во вторичной обмотке ЭДС E_2 . Под воздействием E_2 во вторичной обмотке протекает ток I_2 . Если пренебречь намагничивающим током при коротком замыкании, то

$$I_1 \cdot w_1 = I_2 \cdot w_2, \quad (1)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{k}, \quad (2)$$

$$I_1 = I_2 \cdot \frac{1}{k}. \quad (3)$$

где k -коэффициент трансформации,

I_1 и I_2 – первичный и вторичный ток,

w_1 и w_2 - число витков первичной и вторичной обмоток соответственно.

Так как речь идёт об измерении токов значительной силы амперметром небольшой силы тока, то коэффициент трансформации всегда (и притом часто значительно) меньше единицы, так как первичная обмотка имеет малое число витков ($w_1=1-3$), а вторичная несколько сот витков [2].

В зависимости от рода тока измерительные трансформаторы тока разделяют на:

- ИТ переменного тока

- ИТ постоянного тока

По уровню напряжения:

- низкого напряжения (до 1000В)

- высокого напряжения (выше 1000В)

По роду установки:

- наружной установки (размещение в ОРУ-открытое распределительное устройство),

- внутренней установки (размещаемые в ЗРУ-закрытое распределительное устройство),

- встроенные в электрические машины, коммутационные аппараты: генераторы, трансформаторы, аппараты и др.,

- накладные — устанавливаемые сверху на проходные изоляторы,

- переносные (для лабораторных испытаний и диагностических измерений).

По выполнению первичной обмотки:

- одновитковые,

- многовитковые.

По числу ступеней трансформации:

- одноступенчатые,

- каскадные (многоступенчатые), т.е. с несколькими ступенями трансформации тока.

По способу установки:

- проходные (предназначены для использования в качестве ввода и устанавливаемые в проемах стен, потолков и конструкций),

- опорные (предназначены для установки на опорной плоскости).

Исходя из конструктивного исполнения первичной обмотки:

- многовитковое (катушечные, с обмоткой в виде петли или восьмёрки),

- одновитковые,

- шинные.

По способу исполнения изоляции:

- с сухой изоляцией (из фарфора, литой изоляции из эпоксида, бекелита и т. д.) ,

- с бумажно-масляной либо конденсаторной бумажно-масляной изоляцией,

- имеющие заливку из компаунда.

В зависимости от их назначения:

- защитные,

- измерительные,

- промежуточные, используемые для подключения устройств измерения

в токовые цепи и т.д.

- лабораторные.

По числу коэффициентов трансформации:

- с одним коэффициентом трансформации,

- с несколькими коэффициентами трансформации.

Класс точности трансформатора тока является одной из важнейших характеристик трансформатора тока, которая указывает, что его погрешность измерений не превышает значений, установленных в нормативных документах. Погрешность в свою очередь зависит от многих факторов. При этом комбинации классов точности обмоток могут быть самыми различными и удовлетворять любым запросам служб эксплуатации. Самыми простыми и популярными вариантами являются 0,5/10P и 0,5S/10P, в последнее время пользуются спросом комбинации 0,5S/0,5/10P и 0,2S/0,5/10P, но встречаются и более специальные сочетания, как например 0,2S/0,5/5P/10P.

Литература

1. Афанасьев, В.В. Трансформаторы тока / В.В.Афанасьев, Н.М. Адоньев, Б.С.Стогний. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989- 9 с.
2. Холуянов, Ф.И. Трансформаторы однофазного и трёхфазного тока/ Ф.И. Холуянов. – 4изд.- Москва: Энергоатомиздат, 1934- 203 с.

УДК 621.3

Высоковольтные элегазовые выключатели

Соловьёв С.С., Ковтун Г.К.

Научный руководитель – ст. препод. ГЕЦМАН Е.М.

Большинство электрических распределительных подстанций класса напряжения 10 кВ и выше были построены в шестидесятих годах прошлого столетия. В наше время большое количество электроустановок, в частности подстанций, нуждаются в проведении полной реконструкции.

Выключатели характеризуются невысокой отключающей способностью, так как давно отработали свой ресурс. Релейная защита обеспечивает защиту оборудования и линий электропередач не в полной мере. В целом, требуется техническое переоснащение электроустановок.

При планировании работ по техническому переоснащению подстанции стоит вопрос о выборе типа коммутационных аппаратов, в том числе и высоковольтных выключателей.

На смену масляным выключателям приходят вакуумные и элегазовые, так как они характеризуются существенными преимуществами. В данной работе рассмотрим преимущества элегазового выключателя, сравнив его с масляным аппаратом, обладающего теми же техническими характеристиками.

Для наглядного сравнения приведем конкретный пример. На подстанции 110/35/10 кВ производится техническое переоснащение ОРУ-110 кВ. В данной электроустановке изначально были установлены масляные выключатели типа МКП-110. Планируется замена данных коммутационных аппаратов на элегазовые выключатели типа 3AP1DT-126 производства компании Siemens.

Приведем сравнительные характеристики данных коммутационных аппаратов для того, чтобы подчеркнуть достоинства элегазовых выключателей.

Для силовых выключателей основной задачей является отключение тока короткого замыкания. Рассматриваемый элегазовый аппарат способен отключить ток до 40 кА. В то же время масляный выключатель способен отключить ток до 20 кА.

Не менее важной характеристикой является коммутационный ресурс выключателя – количество циклов работы выключателя. Если это элегазовый выключатель, то коммутационный ресурс составляет порядка 40 циклов. Масляный выключатель имеет значительно меньший межремонтный ресурс. Как правило, после семи автоматических отключений токов короткого замыкания, необходим капитальный ремонт коммутационного аппарата. Это обусловлено тем, что дугогасящая среда – трансформаторное масло подлежит замене, так как оно теряет свои изоляционные и дугогасящие свойства[1].

Еще один важный показатель - размер коммутационного аппарата. Габаритные размеры элегазового выключателя в несколько раз меньше размеров масляного (рисунок 1,2). Вес элегазового и масляного аппаратов составляет 17,8 т и 3,6 т соответственно[2].



Рисунок 1 – 3AP1DT-126



Рисунок 2 – МКП-110

Привод масляного выключателя МКП-110 электромагнитный. В момент включения коммутационного аппарата соленоид включения создает нагрузку в цепи управления до нескольких десятков ампер. Элегазовый аппарат комплектуется пружинным приводом. Максимальный ток нагрузки электромагнитов включения и отключения, двигателя привода выключателя не более 4 А. Если для подачи оперативного тока на масляный выключатель был проведен кабель сечением в 25 квадратов, то для питания привода элегазового выключателя достаточно и 2,5 квадратов. Собственное время отключения и включения элегазового выключателя не более 0,057 с и 0,063 с соответственно, а масляного – 0,06 с и 0,6 с.

Очень важный вопрос – это эксплуатация высоковольтных выключателей, их обслуживание – проведение периодических капитальных и текущих ремонтов, а также внеплановых (аварийных) ремонтов. Элегазовый выключатель проще в техническом обслуживании. При отключении тока нагрузки элегаз не теряет своих изоляционных свойств, а напротив они несколько улучшаются, так как в процессе гашения электрической дуги образуется порошок [3]. Этот порошок по сути является хорошим диэлектриком. Элегазовый выключатель имеет не самую простую конструкцию, но проведение периодических технических обслуживаний не вызывает трудностей. Единственное, что при снижении давления элегаза, необходимо произвести его докачку. Ремонт масляного выключателя предполагает значительно больший объем работ. Если дугогасительная и контактная часть вакуумных и элегазовых выключателей до истечения коммутационного ресурса не обслуживается, то в случае с масляным выключателем капитальный ремонт, как и упоминалось выше, необходимо производить каждые семь отключений токов короткого замыкания. Для сравнения: обслуживание упоминаемого выше масляного выключателя МКП-110 предусматривает замену 8 тонн трансформаторного масла на каждый выключатель, в большинстве случаев таких выключателей 5 и более. В то время как для нескольких элегазовых выключателей потребуется только докачка небольшого объема газа.

Исходя из вышесказанного, можно выделить несколько преимуществ элегазового выключателя:

- Универсальность. Данные выключатели используются для контроля сетей с любым напряжением;
- Быстрота действия. Реакции элегаза на наличие электрической дуги происходят за доли секунды;
- Подходят для эксплуатации в условиях пожароопасности и вибрации;
- Долговечность. Контакты, соприкасающиеся с элегазом, практически не изнашиваются, газовые смеси не нуждаются в замене;
- Подходят для отключения переменного и постоянного тока высокого напряжения, в то время, как их аналоги – вакуумные модели не могут использоваться на высоковольтных сетях.

Но, такие приборы имеют определенные недостатки:

- Высокая цена, обусловленная сложностью производства и дороговизной элегазовой смеси;
- Монтаж осуществляется только на фундамент или специальный электрощит, причем, для этого нужна специальная инструкция и опыт;
- Выключатели не работают при низких температурах.

Литература

1. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М.: Высшая школа, 2000.
2. Полетаев А.И. Конструкции и расчет элегазовых аппаратов высокого напряжения. Л.: Энергия, 2004.

3. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией / Под ред. Ю.И. Вишневого. С.-Пб.: Энергоатомиздат, 2002.

УДК 621.3

О целесообразности продолжения эксплуатации отслуживших свой нормативный срок силовых трансформаторов в городской электрической сети

Прончак В.Ю., Петрукович Д.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

После истечения установленного срока службы трансформаторов возможны два варианта дальнейшего обеспечения электроснабжения потребителей, а именно: путем замены отслуживших свой нормативный срок трансформаторов новыми или продолжением в течение некоторого времени $t < t_N$ эксплуатации отмеченных силовых трансформаторов.

При замене работающих трансформаторов новыми потребуются дополнительные капиталовложения в объеме (ΔK) , идущие на демонтаж K соответствующих трансформаторов, приобретение и монтаж новых трансформаторов K_i , отличающихся вместе с тем сниженными (по сравнению с установленным трансформатором) потерями мощности холостого хода $(\Delta P_{x1} < \Delta P_X)$.

Если износ изоляции трансформатора за срок службы, установленный на основе анализа его нагрузки, имевших место перегрузок и воздействий сквозных токов короткого замыкания, ниже нормативного, то допустимо продолжение его эксплуатации в течение некоторого времени t . Здесь имеют место экономия дополнительных капитальных вложений в размере $\Delta K \frac{t}{t_k}$ при одновременном вероятном увеличении параметра потока отказов, расходов на техническое обслуживание и ремонты трансформаторов, а также увеличенные потери мощности холостого хода ΔP_x по сравнению с потерями мощности холостого хода ΔP_{x1} у новых трансформаторов.

О возможности продолжения эксплуатации отслуживших свой срок силовых трансформаторов свидетельствует опыт электросетевых предприятий, где имеются трансформаторы, продолжительность работы которых составляет 40 и более лет. т. е. значительно превышающая соответствующий нормативный показатель. Целесообразность продолжения эксплуатации отслуживших свой нормативный срок силовых трансформаторов установим на основе сравнения дисконтированных затрат по обоим из указанных выше вариантов.

Дисконтированные затраты Z_1 при замене существующего трансформатора новым

$$Z_1 = \Delta K \frac{t}{t_1} + \sum_{i=1}^t I(1+E)^{-i}$$

где I_i - издержки по эксплуатации нового трансформатора в год i ($i = 1, 2, \dots$)•

E - процентная ставка (примем равной 0.10-0.15).

Если считать, что издержки I_i постоянны в каждом году рассматриваемого периода времени t , $\sum_{i=1}^t (1+E)^{-i}$ представляют собой коэффициент приведения к началу периода α_i , который можно представить как

$$\alpha_i = \sum_{i=1}^t (1+E)^{-i} = \frac{(1+E)^{-i} - 1}{E(1+E)^{-i}}$$

В выражении (4.49) не учтена (ввиду своей малости) ликвидная стоимость (K_B) отслужившего свой срок заменяемого трансформатора, т. е.

$$K_B = K_{ост}(1+E)^{-1}$$

где $K_{ост}$ - остаточная стоимость заменяемого трансформатора, определяемая индивидуально для каждого аппарата и составляющая до (5-10) % от ее первоначальной стоимости.

В состав издержек I_i включим расходы на амортизацию (I_a) капитальные и текущие ремонты (I_p), техническое обслуживание ($I_{Дw}$), стоимость потерянной электроэнергии

($H_{\Delta w}$) и значение ущерба от недоотпуска электроэнергии нерезервированным потребителям при аварийных отключениях трансформатора.

Выражение для определения дисконтированных затрат Z при продолжении эксплуатации отработавшего свой нормативный срок силового трансформатора запишется как

$$Z = \sum_{i=1}^t I_i (1 + E)^{-i}$$

В состав издержек I_i ; входят: увеличенные по сравнению с предыдущим периодом расходы на капитальные и текущие ремонты, расходы на техническое обслуживание и увеличенная стоимость недоотпущенной электроэнергии потребителям. Стоимость потерянной электроэнергии в трансформаторе в течение времени его эксплуатации t после нормативного срока службы остается неизменной и более высокой, чем у нового трансформатора такой же мощности. Следовательно, ежегодные издержки можно представить в виде

$$I'_i = p_p K (1 + a_1 t') + p_0 K (1 + a_2 t') + \Delta P_k k^2 \beta \tau + \Delta P_x k^2 \tau \beta_x + (1 + a_3 t') W_a u_a$$

где K — первоначальная стоимость существующего трансформатора;

a_1, a_2 — коэффициенты, меньшие единицы, отражающие увеличение расходов на ремонты и техническое обслуживание при продолжении эксплуатации отслужившего свой срок службы трансформатора;

a_3 — коэффициент, меньший единицы, отражающий рост параметра потока отказов продолжающего работать трансформатора.

В формулах значения $\Delta P_k - \Delta P_{kl}$ для трансформаторов одной и той же мощности, а $\Delta P_x < \Delta P_{xl}$.

Продолжение эксплуатации отработавшего свой нормативный срок трансформатора целесообразно, если соблюдать условие

$$Z \leq Z_1 \text{ или } Z - Z_1 \leq 0$$

В ходе проделанной работы можно подвести итог, что не всегда целесообразно производить ремонт трансформатора. Выполнив все расчеты, мы пришли к выводу, что целесообразнее заменить трансформатор на новый, так как расходы на ремонт и техническое обслуживание старого трансформатора затратны.

Литература

1. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей/М.А.Короткевич.-Мн.:ЗАО"Техноперспектива",2003.-373 с.

УДК 621.3

Определение мест размыкания петлевой схемы электрической сети.

Сибирцев Е.Ю., Мячин А.В.

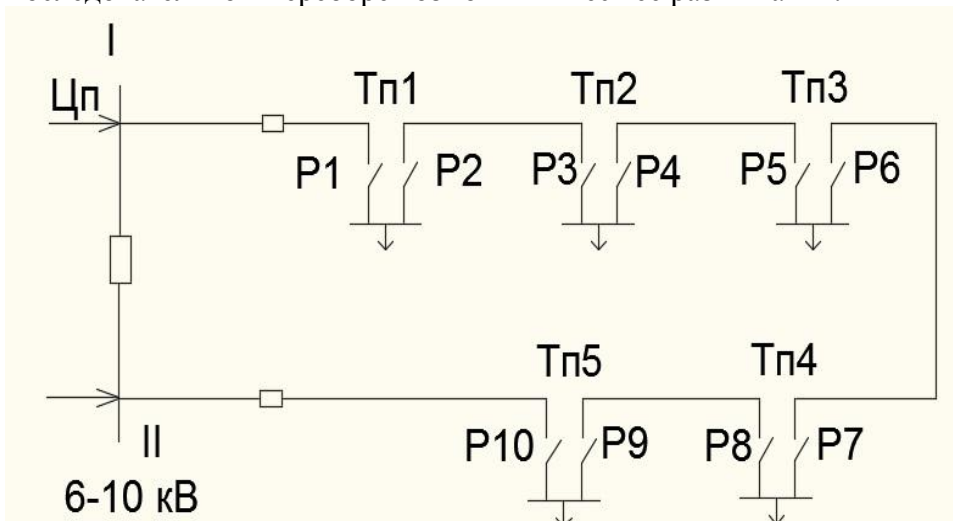
Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Определение мест размыкания петлевых схем можно выполнить следующими двумя методами:

1) Проводится электрический расчет замкнутой схемы, находятся точки потокораздела и размыкаются прилегающие к ним участки с наименьшими потоками мощности. В связи с тем, что разделение нагрузки в точке потокораздела невозможно осуществить строго в соответствии с потоками мощности в примыкающих ветвях, необходимо применение поиска, когда удаляется такая ветвь, что в сети имеют место минимальные потери мощности;

2) Размыкаются все по очереди участки схемы и рассчитываются потери мощности в каждом варианте (нежелательные варианты не рассматриваются в процессе расчета). Для реализации выбирается участок с наименьшими потерями мощности.

Петлевая линия (рис 1) нормально должна работать в разомкнутом режиме, то необходимо установить номер разъединителя, который должен быть нормально отключен. Это можно сделать на основе критерия минимума потерь активной мощности в петлевых линиях при последовательном переборе возможных мест ее размыкания.



Цп-центр питания; I,II-первая и вторая секции шин; СВ-нормально отключенный секционный выключатель; ТП,...,ТП5-трансформаторные подстанции номер 1,...,5; Р1,...,Р10- Разъединители номер 1,...,10

Рисунок 1 – Петлевая схема:

При отключении одного из разъединителей изменяется как значение , так и направление потока мощности по участкам линий, что приводит к изменению потерь мощности как по отдельным участкам, так и во всей петлевой линии.

При размыкании разъединителя Р1 направление потока мощности : ЦП-ТП5-ТП4-ТП3-ТП2-ТП1. При размыкании разъединителя Р10 направление потока мощности будет обратным, то есть ЦП-ТП1-ТП2-ТП3-ТП4-ТП5. Если разомкнуть разъединители Р2 или Р3, то направление потока мощности будут ЦП-ТП1 и ЦП-ТП5-ТП4-ТП3-ТП2.

Аналогично можно указать направления потоков мощности при размыкании разъединителей Р4 или Р5, Р6 или Р7, Р8 или Р9.

$$m=n+1;$$

m -количество рассматриваемых мест размыкания m петлевой линии будет равно

n – количество трансформаторных подстанций в петлевой схеме сети.

Выбор места размыкания петлевой сети по условию минимума потерь мощности

Выбор состоит из 3-х условий:

- 1) допустимые потери напряжения;
- 2) допустимый ток нагрева;
- 3) по условию работы центра питания .

Процесс нахождения значения потерь мощности в сети ΔP при отключении участка ЦП-ТП1 петлевой линии :

$$\Delta P_1 = 3 \left[I_1^2 r_{12} + (I_1 + I_2)^2 r_{23} + (I_1 + I_2 + I_3)^2 r_{34} + \right. \\ \left. + (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)^2 r_{43} + (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5)^2 r_{5-ЦП} \right]$$

При отключении участка ТП1-ТП2:

$$\Delta P_2 = 3 \left[I_2^2 r_{23} + (I_2 + I_3)^2 r_{34} + (I_2 + I_3 + I_4)^2 r_{45} + \right. \\ \left. + (I_2 + I_3 + I_4 + I_5)^2 r_{5-ЦП} + I_1^2 r_{1-ЦП} \right]$$

I_1, \dots, I_5 - токи нагрузки ТП стороны высшего напряжения ;

r_{kj} - активное сопротивление участка линии между k-м и j-м ТП или между k-м ТП и

ЦП.

Токи I_1, \dots, I_5 определяются делением измеренных токов на стороне 0,38 кВ трансформатора на коэффициент трансформации, равный 15(в сети 6кВ) и 25(в сети 10кВ).

Размыкается тот участок петлевой линии, где $\Delta P_i \rightarrow \min$

- 1) Падение напряжения до точки потокораздела определяется с учетом полных сопротивлений Z_{kj} участков сети, т.е.

$$Z_{ij} = \sqrt{r_{kj}^2 + x_{kj}^2}$$

где x_{kj} - индуктивное сопротивление участка линии между k-м и j-м ТП или между k-м ТП и ЦП.

Для вычисления падения напряжения по участкам сети используется та же самая сумма токов, что и для определения потерь мощности, и вместо активного сопротивления употребляется полное сопротивление, т.е.

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} \left[I_1 z_{12} + (I_1 + I_2) z_{23} + (I_1 + I_2 + I_3) z_{34} + \right. \\ \left. + (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) z_{43} + (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5) z_{5-ЦП} \right] \leq U_\delta$$

где ΔU_δ - допустимое значение падения напряжения до точки потокораздела, равное 900В (для сети 6 кВ) и 1500В (для сети 10кВ).

Значение ΔU_δ определено из следнующих соображений. Предполагается, что на шинах центра питания можно иметь напряжение на 10% выше номинального.

На шинах ТП можно иметь напряжение на 5% ниже номинального. Это связано с возможностью регулирования напряжения трансформаторами ТП с помощью переключения ответвлений обмоток без возбуждения.

- 2) Токи по участкам сети сравниваются с длительно допустимыми I_δ для данного участка. Применительно к отключению участка УП-ТП1 эти ограничения запишутся как

$$I_1 \leq I_{\delta 01}; (I_1 + I_2) < I_{\delta 023}; (I_1 + I_2 + I_3) < I_{\delta 034}; (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) < I_{\delta 045}; (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5) < I_{\delta 05-ЦП};$$

Если расчетные токи превышают допустимые, то рассматриваемый участок исключается из списка возможных мест размыкания.

- 3) Проверка возможности размыкания сети в найденных точках по условию работы питания заключается в проверке загрузки силовых трансформаторов центра питания и в определении емкостных токов замыкания на землю и сравнении их с допустимыми, т.е.

$$\left. \begin{array}{l} \sqrt{3}U_n \left(\sum_{j=1}^m I_j \right) \leq S_n \\ I_s \approx I_L \end{array} \right\},$$

где U_n - номинальное напряжение сети;

I_j - ток нагрузки j-й ($j=1, \dots, m$) радиальной линии, подключенной к данной секции шин центра питания;

S_n - номинальная мощность силового трансформатора центра питания;

$I_L = \frac{Q_p}{U_{\phi n}}$ - номинальный ток дугогасящего реактора;

Q_p - реактивная мощность дугогасящего реактора;

$U_{\phi n}$ - номинальное фазное напряжение сети.

Выбранное место размыкания сети по условию минимума потерь мощности должно отвечать вышеуказанным требованиям.

Литература

1. Короткевич М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей/ М.А. Короткевич.-Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2003.-373с.
2. Гук Ю. Б. Анализ надежности электротехнических установок/ Ю.Б. Гук – Л.: Энергоатомиздат, Ленинград. отд-ние, 1988.-224 с.

УДК 621.311.16

Перенапряжения в сети напряжением 6...35 кВ с изолированной нейтралью

Кудин Р.В., Тайна К.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Главным источником перенапряжений в сетях 6...35 кВ являются внешние перенапряжения, которые проявляются как атмосферные разряды, вызывающие перенапряжения при прямых ударах молнии в токоведущие элементы, в заземлённые части электроустановок, индуцирование напряжений и набегание волн с линий.

Внутренние перенапряжения в зависимости от длительности их воздействия на изоляцию подразделяются на квазистационарные, которые возникают при неблагоприятных сочетаниях элементов электрической сети.

Из всех видов квазистационарных перенапряжений в сетях 6...35 кВ наибольшее влияние оказывают резонансные и феррорезонансные перенапряжения. Резонансные перенапряжения связаны с неполнофазными режимами работы силовых трансформаторов, а феррорезонансные — с контурами, имеющими ёмкость, индуктивность с насыщенным магнитопроводом.

В сетях 6...35 кВ с изолированной нейтралью перенапряжения так же возникают при замыканиях одной фазы на землю. В нормальном режиме (рис. 1, б) напряжения фаз относительно земли одинаковы и равны фазному напряжению

При замыкании фазы А на землю потенциал фазы А становится равным нулю, т. е. потенциалу земли (рис. 1, в). Напряжения поврежденных фаз В и С относительно фазы А останутся такими же, как и в нормальном режиме, потому что линейные напряжения не изменяются. Таким образом, напряжения фаз В и С относительно земли возрастают до линейных, т. е. коэффициент замыкания на землю равен $\sqrt{3}$.

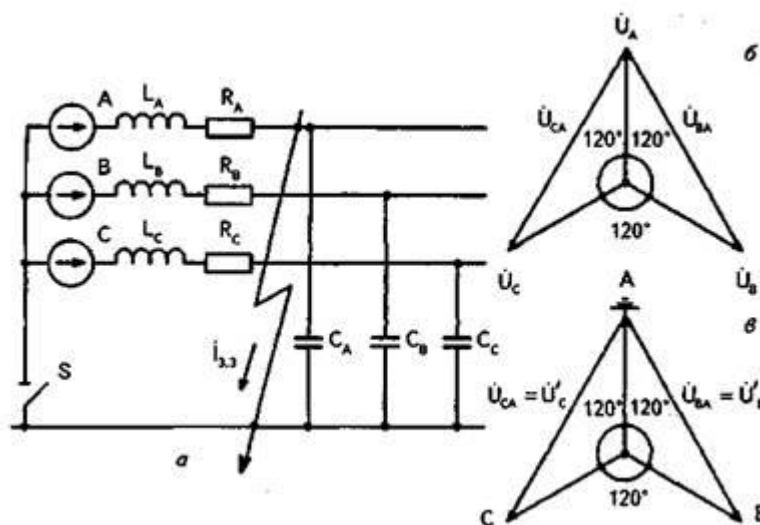


Рисунок 1 – Упрощённая схема сети с изолированной нейтралью при замыкании фазы А на землю

Таким образом для сетей с изолированной нейтралью изоляция фаз относительно земли выбирается по линейному напряжению, чтобы сеть могла длительно работать с замыканием на землю.

Фазные напряжения в сети с изолированной нейтралью при замыканиях на землю могут превышать линейные напряжения, что обусловлено возникновением так называемой перемежающейся электрической дуги. Термин «перемежающаяся» означает, что электрическая дуга горит неустойчиво: загорается на некоторое время, затем гаснет и, спустя интервал времени, загорается вновь. Переходные процессы, возникающие в электрической схеме сети (рис. 1, а) с учетом перемежающейся дуги, приводят к появлению

перенапряжений, которые могут достигать кратности $K=3...3,5$, что часто приводит к пробое изоляции электрооборудования. Такие перенапряжения называются дуговыми.

Наличие дуговых перенапряжений является основным недостатком сети с изолированной нейтралью.

Использование высоковольтных вакуумных выключателей для коммутаций электрических сетей разных классов напряжения в редких случаях, связанных исключительно с принципом гашения дуги (например, явление многократных повторных зажигания и гашений дуги), может привести к образованию перенапряжений больших кратностей. [2, с.108].

К мерам защиты сетей 6...35 кВ от перенапряжений можно отнести меры, позволяющие либо избежать появлений перенапряжений, либо максимально способствовать ограничению их величины на протяжении всего переходного процесса. Доступная мера защиты — коммутационные средства, которые позволяют при возникновении перенапряжения выше некоторого значения на определённом участке сети изменить схему или параметры сети. К таким средствам относятся, например, нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН).

Ряд мер и средств защиты предназначены для ограничения переходной составляющей коммутационных перенапряжений. К ним относятся меры, обеспечивающие более благоприятные начальные условия коммутации, например, снижение начального уровня заряда при включении в цикле АПВ на линиях с установленными измерительными трансформаторами тока и измерительными трансформаторами напряжения.

Защиту от перенапряжений, возникающих при замыкании одной фазы на землю, можно осуществить с помощью компенсации ёмкостного тока путём заземления нейтрали через шунтирующий реактор или активное сопротивление.

Литература

1. Короткевич, М.А., Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей/ М.А. Короткевич.— Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2003. — 373с.
2. Защита сетей 6-35кВ от перенапряжений/ Халилов Ф.Х. [и др.]; под общ. Ред. Ф.Х. Халилова.—СПб: Петербургский энергетический институт повышения квалификации энергетики Российской Федерации, 2001.— 216с.

УДК 621.3

Конструктивное исполнение молниеприемников молниеотводов

Барановский П.Г.

Научный руководитель – ст. препод. ГАПАНЮК С.Г.

Главным средством молниезащиты зданий и сооружений от механических повреждений является молниеотвод. Каждый молниеотвод состоит из молниеприемника, возвышающегося над защищаемым объектом, токоотводящих спусков, соединяющих молниеприемник с заземлителем и самого заземлителя. По типу молниеприемников различают стержневые и тросовые молниеотводы. Хорошее заземление молниеотводов является необходимым условием надежной защиты, так как при ударе молнии в плохо заземленный молниеотвод на нем образуется весьма высокое напряжение, способное вызвать пробой с молниеотвода на защищаемый объект. Не меньшее значение имеет осуществление надежных электрических соединений между всеми частями молниеотвода, так как при прохождении токов молнии в местах плохих контактов возникает интенсивное искрение, которое может привести к пожару [1].

Выбор той или иной системы молниеотвода определяется условиями, обеспечивающими достаточно надежную защиту сооружения с наименьшими затратами средств на сооружение, монтаж и эксплуатацию молниезащиты, а также конструктивными и архитектурными соображениями.

При проектировании молниезащиты следует иметь в виду, что тросовые и стержневые молниеотводы обеспечивают одинаковую надежность защиты. Использование того или иного типа молниеотводов определяется в каждом отдельном случае применительно к местным условиям. Стоит также отметить, что и стержневые, и тросовые молниеотводы могут выполняться как отдельно стоящими, так и смонтированными на сооружения.

Наибольшее распространение для целей молниезащиты получили стержневые молниеотводы, как наиболее простые и дешевые, но иногда применение тросовых молниеотводов может иметь преимущество перед стержневыми. Применение тросовых молниеотводов может быть рекомендовано, при молниезащите длинных и высоких ответственных объектов, наличие вблизи объекта густой сети надземных и подземных коммуникаций, не позволяющих выбрать место установки молниеотводов без опасности перехода высоких потенциалов на коммуникации. Стержневые молниеприемники могут устанавливаться на кровлю здания на специальных основаниях или же прикрепленными к выступающим элементам кровли или стенам.

Еще одним способом защиты сооружений от воздействия молнии является монтаж молниеприемной сетки на кровлю здания.

В зданиях 3-ей категории иногда может быть применена упрощенная защита, заключающаяся в прокладке по выступающим частям крыши через определенные промежутки заземленных металлических проводников.

Минимальная площадь сечения молниеприемника стержневого молниеотвода, рассчитанного на полный ток молнии, должна быть равной 100 мм^2 , чему соответствуют следующие размеры ходовых сортаментов стали, идущих на изготовление молниеприемников: круглая сталь ф 12 мм, квадратная 10 X 10 мм, полосовая 35 X 3 мм, угловая 20 X 3 мм. При этих сечениях высота молниеприемников не должна превышать 2 м. Большие высоты молниеотводов достигаются при помощи несущих конструкций.

Литература

1. Защита от атмосферных и внутренних перенапряжений в электроустановках напряжением 6-750 кВ: учебно-методическое пособие/ сост. Л.Е. Паперный, В.П. Куличенков; под ред. В.П. Куличенкова. – Минск: БНТУ, 2010. – 191 с.

УДК 621.3

Солнечные батареи

Хитров И.С.

Научный руководитель – ст. препод. ГАПАНЮК С.Г.

Современный мир уже невозможно представить без электричества, и производящих его устройств, в частности – солнечных батарей, а, следовательно, чтобы идти в ногу со временем, людям нужно применять нетрадиционные методы производства электроэнергии.

К слову, цены на солнечные батареи упали (за последние 20 лет) в 30-40 раз. Более того, они продолжают снижаться, что делает их использование весьма перспективными.

Первые упоминания о небольших батарейках, работающих от солнечного света известны еще с 60-х годов 20-го века. Первый крупный аккумулятор создан специалистами Bell Laboratories еще в 1954 году и имел достаточно небольшую емкость. Это творение запустило новую эру развития энергетической промышленности. Впервые такие системы подачи электричества были применены на спутниках для обеспечения работы технических приборов. Главное свойство таких изделий их полная безопасность и доступность такого ресурса, как **солнечные батареи**. Неиссякаемый источник позволит при помощи небольших устройств получать и запасать большое количество природной энергии, без каких-либо отходов.

Фотоэлектрические модули позволяют получить экологически чистую энергию солнца без отходов от производства. Они способны работать при любых погодных условиях, в любом климате, что делает их надежными и эффективными. В зависимости от условий и потребностей можно корректировать мощность и тип батареи. Один элемент на электрической установке передает на аккумуляторную батарею порядка 8 ампер. Эти показатели позволят Вам иметь 220 Вольт постоянно в течение 10-12 часов дневного периода в летнее время. Одним из преимуществ такой батареи является ее долгий срок службы. Средний солнечный модуль может служить порядка 50 лет, при этом, не теряя своих свойств. Коэффициент полезного действия в таких установках приблизился на сегодняшний день к 25%. Солнечные батареи для дома – один из самых распространенных, неисчерпаемых и доступных видов природной энергии. Каждый приобретенный модуль – это Ваш вклад в экологию, развитие энергосберегающих технологий и значительная экономия средств на счетах. Для полноценного обеспечения небольшого загородного домика достаточно приобрести солнечные модули, мощностью порядка 700 Вт, учитывая набор техники и время их работы. Среднесуточное потребление электроэнергии в таком доме составляет приблизительно 70-80 кВт.

Установка такой панели осуществляется на крыше дома. Наличие аккумулятора и распределителя позволит избежать перепадов напряжения и пользоваться электричеством на протяжении всех суток. Кроме всего прочего, солнечный модуль не требует обслуживания. Он абсолютно не зависит от электроснабжения и полностью автономный. Вы будете защищены от непредвиденных отключений энергии.

На сегодняшний день солнечные электростанции снабжают большинство технических устройств, для их подзарядки вне электрической сети.

Фотомодули для производства энергии для дома разрабатываются из различных материалов, в современные технологии все более совершенствуют характеристики и внешние данные таких наружных панелей. Сфера применения таких панелей все больше разрастается. Они не требуют топлива или других затрат при эксплуатации, работают непрерывно и регулируются автоматически, а их работа совершенно бесшумна. Автономные фотоэлектрические системы энергии солнца – один из наиболее приобретаемых типов современных солнечных панелей. Данная система является полностью самостоятельной и не зависит от стандартной сети электричества. Она применима для обеспечения энергией зданий, к которым подведение традиционного питания невозможно в силу каких-либо сложностей. Данная структура имеет несколько звеньев:

1. Фотоэлектрический модуль или панель. Он состоит из фотоэлементов и служит «сборщиком» солнечных лучей и впоследствии конвертирует их в энергию солнца. Он содержит специализированное покрытие, воспринимающее свет и переводящее его в энергию.

2. Инвертор переменного тока позволяет трансформировать нестандартные 12, 24 Вольта в традиционные 220 и 380. Он может сообщаться с батареей и узлом нагрузки.

3. Аккумуляторная батарея. Служит для хранения энергии, полученной от солнечной панели и стабилизации напряжения при нагрузке. Специальный контроллер заряда необходим для сбора энергии от модуля и батареи, а также он управляет этими процессами, проверяя напряжение и ток в аккумуляторе.

4. Провода, предохранители и автоматы защиты позволяют приборам работать слажено без перебоев и перепадов напряжения.

Под действием солнечных лучей в панели начинает генерироваться электрическая энергия. Через коммуникационное устройство она попадает к контроллеру, где преобразуется в энергию с напряжением 12, 24 Вольта. Солнечные панели накапливают энергию в батарее, а затем после прохождения через инвертор, поступает к техническим и осветительным приборам. При избыточной выработке, остаток энергии запасается в батарее. Чтобы наиболее полезно использовать свойства солнечных панелей стоит точно просчитать потребности электричества и соотнести их с мощностью солнечного модуля.

Литература

1. Кашкаров А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – Саратов: Профобразование, 2017. – 144 с.
2. Солнечные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dimker.by/power_system/energy_solar/. – Дата доступа: 18.10.2018.

УДК 621.3

Конструктивное исполнение элементов заземления зданий и сооружений

Дюров В.В.

Научный руководитель – ст. препод. ГАПАНЮК С.Г.

Различают молниезащитное, рабочее и защитное заземление. Молниезащитное заземление применяется для того, чтобы ток молнии, перекрывший изоляцию воздушной линии, отводился в землю через заземлители опор. Рабочее заземление обеспечивает нормальные условия работы электроустановок. Рабочее заземление предназначено для заземления отдельных частей установки, необходимое для эффективной работы. Задачей защитного заземления является защита от поражения током при повреждении изоляции. Таким образом, защитное заземление предотвращает появление опасного напряжения на тех металлических конструкциях, где его не ждут, но оно может появиться. На трансформаторных подстанциях функции молниезащитного, рабочего и защитного (с точки зрения техники безопасности) выполняет единое заземление. Поэтому оно должно быть выполнено так, чтобы избежать возможных обратных перекрытий изоляции и излишней работы релейной защиты при несоблюдении требований по магнитной совместимости.

Заземлители подразделяются на естественные: арматура фундаментов зданий, опор, трубопроводы, броня и оболочки кабелей, рельсовые пути и искусственные (специально закладываемые металлические конструкции).

Важными материалами искусственного заземлителя параметрами являются удельное электрическое сопротивление проводника (чем ниже сопротивление, тем эффективнее устройство), приемлемая цена и достаточная долговечность. Это значит, что материал должен обладать не только хорошей проводимостью, но и быть коррозионностойким. В таблице 7.13 [1] приведены минимальные размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле. Помимо этого, нормативные данные для выбора, расчета и монтажа системы заземления указаны в СТБ П ИЕС 62305-3-2006/2010 «Защита от атмосферного электричества. Часть 3. Физические повреждения зданий, сооружений и опасность для жизни».

При выборе материала искусственных заземлителей следует учитывать следующие параметры:

- рН грунта;
- уровень концентрации микроорганизмов и минеральных солей в почве;
- сопротивление заземлителя;
- срок эксплуатации системы заземления;
- площадь поверхности контакта заземлителя с грунтом (диаметр стержня).

Использование обычного проката черных металлов для устройства заземления приводит к быстрому (5-7 лет) возрастанию сопротивления заземлителя из-за непрерывного процесса коррозии стали в грунте. Дело в том, что продукты коррозии имеют рыхлую структуру и объем, в 3,5 раза превышающий первоначальный объем самой стали. Таким образом, возрастанию сопротивления заземлителя способствуют по меньшей мере два фактора: на поверхности стального элемента появляется рыхлая оболочка, снижающая контакт его с грунтом; давление, возникающее при увеличении в объеме продуктов коррозии железа, оттесняет грунт, окружающий заземлитель.

Поэтому такие заземлители недолговечны. Они не могут обеспечить защиту и нормальную работу установки в течение всего периода ее эксплуатации. В дальнейшем требуется их ремонт, равносильный устройству нового заземления. При этом, естественно, нарушаются, а затем снова восстанавливаются уже сложившиеся элементы инфраструктуры и благоустройства территории. В современных международных нормах заземлители из черных металлов не рассматриваются.

На сегодняшний день для исключения разрушения заземлителя используют медные проводники, нержавеющие материалы или токопроводящие коррозионностойкие покрытия,

нанесенные на черную сталь. Последний вариант является более дешевым и при этом весьма эффективным, поскольку переменный электрический ток растекается преимущественно по поверхности проводника. Нанесение на поверхность черного металла слоя с большей электропроводностью уменьшает сопротивление растеканию тока во всем проводнике. Например, покрытие черного металла цинком или медью, может увеличить проводниковые свойства стального заземляющего устройства до 6 раз.

1. Заземлители из нержавеющей стали.

Нержавеющая сталь имеет более высокое сопротивление окислению во многих естественных и искусственных средах по сравнению с «черной» сталью. Повышенное сопротивление окислению на открытом воздухе и в почве достигается, когда в сталь добавляют более 12% хрома. К минусам использования нержавеющей стали относится ее высокое удельное сопротивление ($0,1400 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$) по сравнению с чистой медью. Тем не менее, цена на нержавеющую сталь несравнимо ниже цены чистой электротехнической меди, а устойчивость к коррозии выше. Гарантийный срок эксплуатации системы из нержавеющей стали – 50 лет, фактический срок эксплуатации может превышать 100 лет, но всегда будет зависеть от конкретных условий среды, в которой она эксплуатируется.

2. Заземлители из оцинкованной стали.

Широкое распространение получило применение **оцинкованной стали**, которая является более дешевым материалом, чем нержавеющая сталь. Цинк обладает достаточно низким удельным сопротивлением ($0,059 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$). В паре цинк-сталь цинк является более электрохимически активным материалом, следовательно, начинает разрушаться раньше, чем стальная основа. При введении оцинкованного заземлителя в агрессивную среду, цинк будет постепенно растворяться, защищая черную сталь от коррозии. И даже глубокие царапины, образование которых возможно на поверхности электрода в процессе монтажа, не могут привести к быстрому появлению ржавчины. Срок службы данного изделия напрямую зависит от среды эксплуатации и составляет более 30 лет. Для увеличения срока эксплуатации систему заземления из оцинкованной стали производитель рекомендует применять в кислых и нейтральных средах с pH от 5 до 7 соответственно.

3. Омедненные заземлители.

Медь – цветной металл, главными отличительными характеристиками которого являются высокая электропроводимость, пластичность, коррозионная стойкость, хорошая обрабатываемость. Данный металл обладает очень низким удельным сопротивлением. Оно составляет всего $0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Единственными недостатками меди являются ее относительно высокая цена и низкая прочность по сравнению со сталью. Полностью медные стержни достаточно легко гнутся при погружении их в грунт. Для избежания этих проблем и увеличения его срока службы готового изделия, применяют медь в качестве высокопроводящего покрытия. Омедненная сталь получила широкое распространение на практике, как материал для изготовления заземлителей. Срок службы омедненной стали в качестве заземлителя превышает 35 лет.

Присутствие в нормах одновременно и оцинкованных, и омедненных стержней заземления не случайно и обусловлено возможностью выбора тех или иных материалов для разных геологических условий. Так, в стандарте СТБ П ИЕС 62305-3-2006/2010 отмечается, что медь не рекомендуется к использованию в кислых условиях из-за ее низкой коррозионной стойкости. Известно, что кислая среда характеризуется значением водородного показателя $\text{pH} \leq 7$. В этих грунтовых условиях в качестве покрытия стержней заземления необходимо выбирать цинк. По данным «Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию» в целом по республике средневзвешенное значение pH пахотных земель составляет 5,9 единиц. Кислые, слабокислые и близкие к нейтральным почвы со значением $\text{pH} \leq 7$ составляют 98,3%. **Следовательно, для грунтовых условий Беларуси необходимо применение оцинкованных заземлителей. Использование медных (омедненных) заземлителей недопустимо[2].**

4. Электролитическое заземление

В грунтах с большим удельным сопротивлением достаточно проблематично достичь необходимого значения сопротивления заземлителя. В связи с этим внедряется электролитическое заземление, которое предназначено для использования в вечномерзлых, каменистых или песчаных грунтах, имеющих высокое удельное сопротивление (от 300-500 Ом·м), без применения специальной техники и насыпного грунта. Также на объектах, где по каким-то причинам невозможен монтаж заземляющих электродов на глубину более 1 м, т.к. использование простых металлических электродов неэффективно из-за необходимости применять большое кол-во таких заземлителей (до 100). Достоинства применения электролитического заземления:

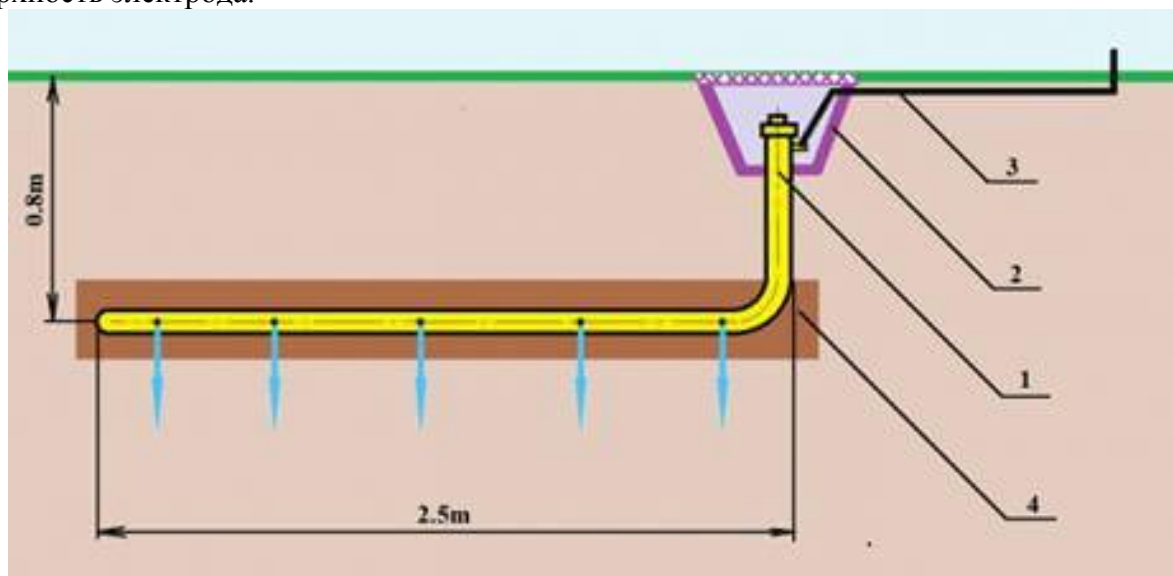
1. Электрод электролитического заземления обеспечивает сопротивление заземления до 12 раз меньше, чем обычный стальной электрод таких же размеров;

2. Специальная смесь минеральных солей не вызывает ускорения коррозии электрода, не превращается в электролит сразу всем объемом при повышенной влажности грунта (актуально в весенний период), что делает процесс выщелачивания равномерным и постоянным. Это способствует не просто сохранению концентрации электролита в грунте, а ее увеличению со временем, что способствует дополнительному уменьшению сопротивления заземления;

3. Срок службы такого электрода составляет не менее 50 лет;

4. Малая глубина монтажа электролитического заземления (0,7 м) делает такой заземлитель широко применимым.

Принцип действия электролитического заземлителя (рис. 1) заключается в следующем. Главный элемент электролитического заземления - полый электрод (труба) L-образной формы с перфорацией в горизонтальной части и заполненный специальной смесью минеральных солей. Эта смесь впитывает воду из окружающей среды, превращаясь в электролит, после чего проникает в грунт, повышая его электропроводность и понижая температуру замерзания. Обмен жидкостями осуществляется через перфорированную поверхность электрода.



1 – перфорированный электрод, заполненный электролитом; 2 – колодец для обслуживания; 3 – провод заземления; 4 – околоэлектродный наполнитель

Рисунок 1 – Электролитическое заземление

Обслуживание электрода состоит в периодическом (раз в несколько лет) открытии крышки электрода и визуальном определении количества солевой смеси внутри него. Если смесь полностью превратилась в электролит, то электрод заправляется: в него засыпается новый объем солей. Заправки электрода достаточно на минимальный срок службы – 10 лет.

Поэтому первый осмотр рекомендуется проводить не ранее этого срока. Следует учитывать, что из-за уменьшения температуры замерзания грунта около электрода образуется зона талика, которая может представлять опасность для фундамента рядом стоящего здания или дорожного покрытия. Зона талика на поверхности грунта представляет собой овал размером около 3 x 6 метров. В ходе проектных работ необходимо учитывать эту особенность и отдалять электроды от объектов, которые могут быть повреждены[3].

Литература

1. 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. Учёт электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний = Электраўстаноўкі на напружанне да 750 кВ. Лініі электраперадачы паветраныя і токаправоды, прылады размеркавальныя і трансфарматарныя падстанцыі, устаноўкі электрасілавыя і акумулятарныя, электраустаноўкі жылых і грамадскіх будынкаў. Правілы ўстройства і ахоўныя меры электрабяспекі. Улік электраэнергіі. Нормы прыёма-здатачных выпрабаванняў: ТКП 339-2011 (02230). – Взамен ПУЭ-6; введ. 23.08.2011. – Минск: Минэнерго, 2011. – 600 с.

2. Власов, А.А. Анализ эффективности использования искусственных заземлителей с применением различных материалов / А.А. Власов; науч. рук. С.Г. Гапанюк // Актуальные проблемы энергетики 2017 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет; сост. И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская; редак., комп. дизайн И.Н. Прокопеня. - Электрон. дан. - Минск: БНТУ, 2018. - С. 85-88.

3. Базелян, Э.М. Вопросы практической молниезащиты / Э.М. Базелян. – М. : ИМАГ, 2015. – 208 с.

УДК 621.3

Устройство грозозащиты и заземления на подстанцияхБожко Е.А., Сидорова Д.Г., Арсенович Т.В., Ефимчик Е.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Для передачи электроэнергии на большие расстояния используют высокое напряжение. Как правило, к потребителю приходит линия 6 (10) кВ и для снижения напряжения до 0,4 кВ проектируют трансформаторные подстанции (ТП).

По экономическим соображениям уровень изоляции подстанционного оборудования ниже уровня изоляции линий электропередач. Из этого следует, что с линий электропередач на подстанцию могут набегать волны перенапряжений, опасные для подстанционного оборудования. Перекрытие изоляции электрооборудования подстанции связано с отключением части подстанции и возможным погашением целого района. Грозозащита подстанции должна быть существенно более надежной, чем грозозащита линий. Она включает в себя следующие обязательные виды защиты:

- 1) от прямых ударов молнии в подстанцию;
- 2) от перекрытий при ударах молнии в заземленные конструкции подстанции;
- 3) от волн, приходящих с линий;
- 4) от ударов молнии в подходы линии к подстанции.

Можно выделить внешний и внутренний контуры заземления, а также мероприятия по молниезащите трансформаторной подстанции [1].

Внешний контур заземления для трансформаторной подстанции состоит из замкнутого контура, представляющим собой горизонтальный заземлитель и n -го количества вертикальных электродов. В качестве горизонтального электрода применяют полосовую сталь 4×40 мм.

Обычно трансформаторная подстанция состоит из трех помещений: распределительное устройство (РУ) 6 (10) кВ, распределительное устройство 0,4 кВ и камера трансформатора. Иногда РУ объединяют в одно общее помещение. В каждом помещении по периметру прокладывают полосу заземления, т.к. все металлические части не находящиеся под напряжением должны быть заземлены, а это обрамление каналов, люки подполья, крепежные элементы барьеров, шинный мост, возможность присоединения переносных заземлений.

В основном все наши сети (0,4 кВ) с глухозаземленной нейтралью, поэтому необходимо присоединить нулевую шину трансформатора к заземляющему контуру. Металлический корпус силового трансформатора присоединяется к контуру заземления при помощи гибкой перемычки. В случае с металлической кровлей молниезащиту трансформаторной подстанции выполняют следующим образом: с диаметрально противоположных сторон выполняют связь кровли с наружным контуром заземления, т.е. в местах ввода стальной полосы в здание ТП. В качестве проводника следует применять проволоку диаметром 8 мм. В других случаях необходимо запроектировать молниеприемник на кровле здания ТП [2].

В настоящее время для заземления нейтрали трансформатора в высоковольтных сетях (10 кВ и выше) внедряют резистивное заземление (высокоомное и низкоомное).

При высокоомном заземлении величины перенапряжений снижаются путем шунтирования емкостей фаз сети резистором, что приводит к ускорению их разряда при погасании дуги, что в свою очередь снижает потолочное значение, до которого они успевают зарядиться. В итоге минимизируется риск выхода из строя изоляции электрооборудования от перенапряжений.

Низкоомное заземление нейтрали применяется, если требуется обеспечить быстродействующее отключение присоединения с однофазным замыканием на землю (ОЗЗ) релейной защитой. При этом еще больше снижается величина перенапряжений, что приводит к повышению степени безаварийности работы электрооборудования.

Так как электрическая подстанция – это электроустановка, которая включает в себя множество оборудования, то важным вопросом является его 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 для защищаемой изоляции уровня	В отличие от вентильных разрядников ОПН не имеет искровых промежутков, что увеличивает их эффективность	Снижение электрической прочности внешней 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
Длинно-искровые 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, а в сетях 330 кВ и выше и защиту от внутренних перенапряжений	Высокое пробивное напряжение искровых промежутков (вследствие чего достаточно высок уровень неограниченных перенапряжений)
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

Из сравнения можно сделать вывод, что для защиты подстанции от перенапряжений, в большинстве случаев, лучше применять ОПН, ввиду материала изготовления нелинейных резисторов и отсутствия у них искровых промежутков.

Литература

1. Рожкова Л.Д. Электрическая часть электрических станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 642 с.
2. Бажанов С.А., Воскресенский В.Ф. Профилактические испытания оборудования высокого напряжения. Изд. М: Энергия 1977-288с.
3. Красник В.В., Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств / В.В.Красник, М.: ЭНАС, 2011.

УДК 621.45.052.32

Перенапряжения в сети напряжением 6-35 кВ с компенсированной нейтралью

Романович Д.Г., Воробьев Г.Г.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Цель заземления нейтрали через дугогасящий реактор - снизить емкостный ток замыкания на землю и на этой основе исключить повторное зажигание заземляющей дуги и сопровождающие их перенапряжения, исключить феррорезонансные процессы в цепи измерительных трансформаторов напряжения, а также снизить вероятность перебрасывания дуги на соседние фазы, т. е. исключить вероятность двухфазных и трехфазных коротких замыканий, при которых отключается линия передачи.

Рациональным режимом работы дугогасящих реакторов считается [31, с. 238] режим их резонансной настройки, т. е. когда имеет место резонанс (равенство) емкостных токов линии и сдвинутого по отношению к нему на 180° индуктивного тока, создаваемого катушкой реактора.

Считается, что резонансная настройка дугогасящего реактора обеспечит минимальный ток в месте замыкания, минимальную скорость восстановления напряжения на поврежденной фазе после гашения дуги и минимальный уровень дуговых перенапряжений.

Однако в практике эксплуатации электрических сетей обеспечить режим резонансной настройки дугогасящих аппаратов не представляется возможным. Это связано с тем, что емкость сети, подключенная к данной секции шин напряжением 10 или 35 кВ центров питания или подстанций, непрерывно изменяется за счет отключения отдельных линий для плановых и аварийных ремонтов, а также подключения новых линий или включения линий после выполнения на них работ технического обслуживания и ремонта. В условиях непрерывного изменения емкости сети и отсутствия системы плавной автоматической настройки компенсации резонанс емкостных токов линии и индуктивного тока реактора не может быть оперативно обеспечен в каждый момент времени.

Расстройка полной компенсации приводит к увеличению тока в месте повреждения и опасности появления значительных перенапряжений. Так, в электрической сети одного города за три года было зафиксировано 36 случаев одновременного повреждения нескольких (от 2 до 14 участков) питающих или распределительных линий напряжением 10 кВ, отходящих от одной и той же секции шин центра питания, из-за перенапряжений на шинах 10 кВ центра питания и на шинах 10 кВ распределительных пунктов, возникших при однофазных замыканиях на кабельных линиях в условиях расстройки компенсации емкостных токов дугогасящими реакторами. Особенно вероятны такие перенапряжения, рассматриваемые нами в данном параграфе, при несимметрии емкостных проводимостей линий и неполнофазных режимов (например, недовключения в цепи заземляющих трансформаторов контактов фаз выключателей, обрыва токоведущего проводника или перегорания плавкой вставки предохранителя и т. д.). Ток расстройки на практике в ряде случаев сказывается достаточным и для поддержания горения заземляющей дуги.

Литература

1. Короткевич, М. А. Основные направления совершенствования эксплуатации электросетей / М. А.–Короткевич. – Минск: ЗАО “Техноперспектива”, 2003.- 373 с.

УДК 620.09

Эффективность перевода электрических сетей номинальным напряжением 6-35 кВ с режима изолированной нейтрали на режим заземленной нейтрали через резистор

Зайцев П.А., Креч А. С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Решение указанной задачи проведем с использованием метода многоцелевой оптимизации [2, с. 123].

Сформулируем задачу в терминах указанного метода. Необходимо оценить эффективность перевода электрических сетей номинальным напряжением 6-35 кВ с режима изолированной нейтрали на режим заземленной нейтрали через резистор при обеспечении:

- минимума капитальных затрат K (цель № 1);
- максимального срока службы изоляции t (цель № 2);
- максимума электробезопасности в сети B (цель № 3).

Наиболее точная, так называемая среднегеометрическая структура целевой функции имеет вид

$$E = \left(\sum_{i=1}^3 \frac{v_i}{e_i} \right)^{-1} \rightarrow \max.$$

Вариант имеющий наибольшее значение критерия оптимальности, наиболее целесообразен.

В состав капитальных затрат по обеспечению режима изолированной нейтрали на подстанции входит:

- устройство контуров заземления;
- монтаж комплектов трансформаторов тока в цепях отходящих линий и в цепи ввода на шины напряжением 6-35 кВ.

Для сети с резистором в нейтрали требуются дополнительные капитальные вложения на:

- проектирование перевода сите на режим заземленной нейтрали через резистор;
- приобретение специального заземляющего трансформатора напряжением 6-10 кВ, резистора, трансформаторов тока для нейтрали и всех отходящих линий, направленные реле защиты, блоков питания схем защиты и автоматики;
- приобретение разъединителей и однофазных выключателей для установки в цепи резистора;
- монтаж ячейки с заземляющим трансформатором, резистором, разъединителями, выключателям и трансформатором тока в нейтрали;
- монтаж третьего трансформатора тока на каждой из отходящих линий напряжением 6-10 кВ;
- монтаж и наладка релейной защиты и автоматики.

Пусть показатели целей в относительных единицах для сети с изолированной нейтралью равны единице, т.е.

$$K_* = \tau_* = B_* = 1,0.$$

Тогда показатели электробезопасности и долговечности для сети с заземленной нейтралью, лежат в пределах $B_{*1} = (1,25 \div 5)$; $\tau_{*1} = 2$ для кабельных сетей и 1,3 – для воздушных сетей. Показатель K_{*1} для сетей с заземленной нейтралью будет варьировать в пределах $(1,5 \div 5)$. Результаты расчетов значений относительной эффективности целей и критерия оптимальности приведены в табл. 1, 2, 3

Таблица 1 – Значения относительной эффективности целей

Номер цели	$K_{*j}, \tau_{*j}, B_{*j}$ при нейтрали		e_i для нейтрали	
	изолированной	заземленной	изолированной	заземленной
1	1,00	1,50	1,00	0,67
		2,50	1,00	0,40
		3,00	1,00	0,33
		5,00	1,00	0,20
2	1,00	2,00	0,50	1,00
		1,30	0,77	1,00
3	1,00	1,25	0,80	1,00
		5,00	0,20	1,00

Таблица 2 – Значения критерия оптимизации E для сети с кабельными линиями

Значение показателей для заземленной нейтралей через резистор			Значение критерия оптимизации	
K_{*j}	τ_{*j}	B_{*j}	Изолированная нейтраль	Заземленная нейтраль через резистор
1,50	1,30	1,25	0,71	0,91
2,50			0,71	0,74
3,00			0,71	0,68
5,00			0,71	0,52
1,50	1,30	3,00	0,44	0,91
2,50			0,44	0,74
3,00			0,44	0,68
5,00			0,44	0,52
1,50	1,30	5,00	0,31	0,91
2,50			0,31	0,74
3,00			0,31	0,68
5,00			0,31	0,52

Таблица 3 – Значения критерия оптимизации E для сети с воздушными линиями

Значение показателей для заземленной нейтралей через резистор			Значение критерия оптимизации	
K_{*j}	τ_{*j}	B_{*j}	Изолированная нейтраль	Заземленная нейтраль через резистор
1,50	1,30	1,25	0,83	0,91
2,50			0,83	0,74
3,00			0,83	0,68
5,00			0,83	0,52
1,50	1,30	3,00	0,49	0,91
2,50			0,49	0,74
3,00			0,49	0,68
5,00			0,49	0,52
1,50	1,30	5,00	0,42	0,91
2,50			0,42	0,74
3,00			0,42	0,68
5,00			0,42	0,52

Из данных табл. 2 и 3 видно, что капитальные затраты на перевод сети на режим заземленной через резистор нейтрали не должны превышать более чем в 1,5 раза капитальные затраты на создание режима изолированной нейтрали (при условии повышения уровня электробезопасности в 1,25 раза). Если уровень электробезопасности увеличится до 3-5 раз, то капитальные затраты на перевод сети с изолированной нейтралью на режим работы с заземленной нейтралью через резистор не является определяющим для сетей с кабельными линиями электропередачи. Для сетей с воздушными линиями электропередачи повышение указанных капитальных затрат не должно быть более чем в 4 раза.

Литература

1. Короткевич М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей/ М.А. Короткевич.-Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2003.-373с.
2. Гук Ю. Б. Анализ надежности электротехнических установок – Л.: Энергоатомиздат, Ленинград.отд-ние,1988.-224 с.

УДК 621. 311

Конструкции и область применения неизолированных проводов на воздушных линиях электропередачВоротилкин С.Ю., Воруев С.В., Голубенко А.Г., Прокопенко В.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Основными конструкциями являются:

- 1) однопроволочные провода из одного металла,
- 2) многопроволочные провода из одного металла,
- 3) многопроволочные провода из двух металлов,
- 4) пустотелые провода,
- 5) биметаллические провода.

Однопроволочные провода как показывает само название, выполняются из одной проволоки применяются на линиях до 1 кВ (рис. 1).

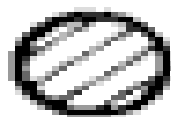
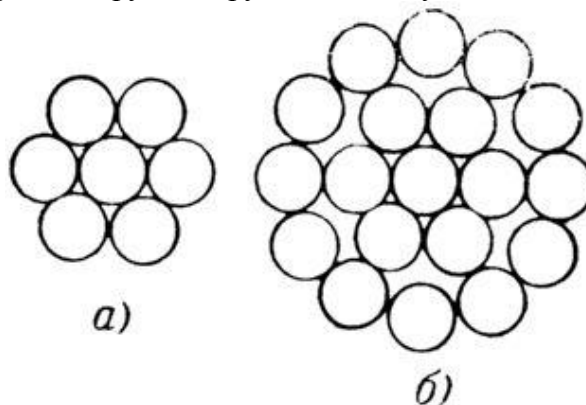


Рисунок 1 – Однопроволочный провод из одного металла.

Многопроволочные провода из одного металла состоят из нескольких свитых между собой проволок (рис. 2). Провода имеют одну центральную проволоку, вокруг которой делаются последующие повивы (ряды) проволок. Каждый последующий повив имеет на 6 проволок больше, чем предыдущий. При одной проволоке в центре в первом повиве 6 проволок, во втором — 12, в третьем — 18. Следовательно, при одном повиве провод свит из 7, при двух повивах — из 19, при трех повивах — из 37 проволок.

Скрутка смежных повивов производится в разных направлениях, что обеспечивает более круглую форму его и позволяет получить более устойчивый против раскручивания провод.

Многопроволочные провода других скруток используются в специальных случаях.



а — 7-проволочный, б — 19-проволочный.

Рисунок 2 – Многопроволочные провода из одного металла

Временное сопротивление многопроволочных проводов составляет около 90% суммы временных сопротивлений отдельных проволок. Уменьшение временного сопротивления провода в целом происходит из-за неодинакового распределения усилия, действующего по проводу, между проволоками провода.

Достоинства многопроволочных проводов

Многопроволочные провода имеют по сравнению с однопроволочными ряд существенных преимуществ:

1. Многопроволочные провода более гибки по сравнению с однопроволочными таких же сечений, что обеспечивает большую сохранность их и удобство при монтаже.

Провода воздушных линий под действием ветра постоянно раскачиваются, а иногда вибрируют, что вызывает дополнительные механические напряжения и усталость металла. Однопроволочные провода разрушаются при этом значительно быстрее, чем многопроволочные.

2. Высокие временные сопротивления материала могут быть получены только для проволок относительно небольших диаметров. Однопроволочные провода с сечениями 25, 35 мм² и более имели бы пониженные временные сопротивления.

В многопроволочных проводах не может быть такого сильного ослабления прочности провода, вызванного браком производства, как в однопроволочных.

Указанные преимущества многопроволочных проводов обусловили, что однопроволочными изготавливаются провода только малых сечений. При сооружении воздушных сетей в большинстве случаев применяются многопроволочные провода. Алюминиевые провода воздушных линий всегда делаются многопроволочными. Однопроволочные провода из этого металла не имеют нужной механической прочности и не обеспечивают надежности электроснабжения потребителей.

М-Провод, состоящий из одной или скрученный из нескольких медных проволок общим сечением от 4 до 400 мм². В атмосфере воздуха типов III и II на суше и море всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69

А-Провод, скрученный из алюминиевых проволок общим сечением от 10 до 1500 мм². В атмосфере воздуха типов I и II на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69, кроме ТВ и ТС

Многопроволочные провода изготавливают также из двух металлов, например алюминия и стали.

В этом случае внутренние жилы выполняют из стали, а внешние - из алюминия. Стальные жилы несут главным образом механическую нагрузку, так как обладают по сравнению с алюминием большей механической крепостью, а алюминиевые жилы проводят электрический ток, обладая по сравнению со сталью большей электрической проводимостью.

Сталеалюминиевые провода обычной конструкции (марки АС) состоят из стальной оцинкованной жилы (однопроволочной или скрученной из 7 или 19 проволок), вокруг которой расположена алюминиевая часть, состоящая из 6, 24 или более проволок.

Сталеалюминиевые провода имеют то же удельное сопротивление, что и алюминиевые провода равного им сечения, так как в электрических расчетах сталеалюминиевых проводов проводимость стальной части не учитывается ввиду ее незначительности по сравнению с проводимостью алюминиевой части проводов.

Конструктивно стальные проволки составляют внутреннюю часть сталеалюминиевого провода, а алюминиевые проволки – внешнюю. Сталь предназначена для увеличения механической прочности, алюминий является токопроводящей частью.

Выпускаются следующие марки сталеалюминиевых проводов (ГОСТ 839-80):

АС – провод, состоящий из сердечника – стальных оцинкованных проволок, и одного или нескольких наружных повивов из алюминиевых проволок. Провод предназначается для прокладки на суше, кроме районов с загрязненным вредными химическими соединениями воздухом;

АСКС, АСКП – как и провод марки АС, но с заполнением стального сердечника (С) или всего провода (П) смазкой, противодействующей появлению коррозии проволок. Предназначен для прокладки на побережье морей, соленых озер и в промышленных районах с загрязненным воздухом;

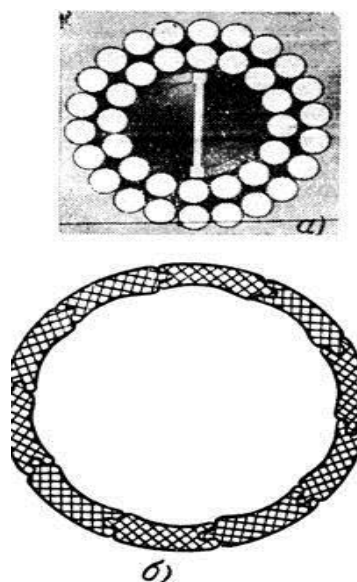
АСК – такой же как и провод АСКС, но со стальным сердечником, изолированным полиэтиленовой пленкой. В маркировке провода после буквы А может стоять буква П, которая указывает, что провод повышенной механической прочности (например АПСК).

Сталеалюминевые провода всех марок выпускаются с разным отношением сечения алюминиевой части провода к сечению стального сердечника: в пределах 6,0...6,16 – для работы провода в средних по механической нагрузке условиях; 4,29...4,39 – усиленной прочности; 0,65...1,46 – особо усиленной прочности; 7,71...8,03 – облегченной конструкции и 12,22...18,09 – особо облегченные.

Провода облегченной конструкции применяют на вновь сооружаемых и реконструируемых линиях в районах, где толщина стенки гололеда не превышает 20 мм. Сталеалюминевые провода усиленной прочности рекомендуется применять в районах с толщиной стенки гололеда более 20 мм. Для осуществления больших пролетов на переходах через водные пространства и инженерные сооружения применяют провода особой прочности.

Для более полной характеристики сталеалюминевых проводов в обозначение марки проводов вводится номинальное сечение провода и сечение стального сердечника, например: АС – 150/24 или АСКС – 150/34.

Конструкции пустотелых проводов изображены на рис. 3. В первой из них (рис. 3,а) на винтообразный сердечник накладываются круглые медные проволоки. В зависимости от сечения провода делается 1—3 активы проволок. Другой тип пустотелого провода (рис. 3,б) изготавливается из фасонных проволок, соединяемых специальным замком. Этот тип пустотелого провода является более рациональным.



а — с винтообразным сердечником из круглых проволок, б — из фасонных проволок с замком

Рисунок 3 – Пустотелые провода

Линии 220 кВ и более высокого напряжения при выполнении их сталеалюминевыми проводами требуют меньших затрат на сооружение и эксплуатацию, чем линии с пустотелыми медными проводами.

Биметаллические провода имеют одно проволочный стальной сердечник, обеспечивающий проводу необходимую механическую прочность, и сваренную с ним «рубашку» из цветного металла (меди, алюминия) (Рис. 4). Отношение сечений меди и стали может колебаться в широких пределах, давая возможность получить провода с характеристиками, близкими к характеристикам медных или стальных проводов.



Рисунок 4 – Биметаллический провод

Такая конструкция позволяет уменьшить электрические потери, связанные с ферромагнетизмом железа, и расход дефицитной меди. Проводимость определяет металл наружного слоя, так как токи повышенной частоты вследствие скин-эффекта распространяются по наружному слою провода. Сердцевина из стали воспринимает силовую нагрузку. Такой провод при температуре до 200°C раз упрочняется меньше, чем сплошной медный, поэтому допускает значительно большие токовые нагрузки. Покрытие создается гальваническим способом или плакированием. Наружный медный слой предохраняет железо от атмосферной коррозии.

Биметаллический провод используют в линиях связи и электропередачи. Кроме того, из биметаллического материала изготавливают шины для распределительных устройств, различные токопроводящие части электрических аппаратов. Биметаллическая сталемедная проволока в качестве проводов на ВЛ 0,4 кВ применяется в условиях загрязненной атмосферы.

Литература:

1. Беляев, Н. М. Методы теории теплопроводности. Учебное пособие. В 2 частях. Часть 1 / Н.М. Беляев, А.А. Рядно. - М.: Высшая школа, 1982. - 328 с.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник / Л.А. Бессонов. - М.: Юрайт, 2016. - 702 с.

УДК 621.3

Концепция приборного учёта электроэнергии в Республике Беларусь

Рудак Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Целью настоящей Концепции является определение для субъектов электроэнергетики Республики Беларусь и потребителей электроэнергии основных направлений и принципов организации учета электроэнергии как высоколиквидного товара, обладающего высокой потребительской и постоянно растущей стоимостью.

В настоящей Концепции излагаются общие предпосылки, порождающие необходимость пересмотра прежней технической политики учета электроэнергии, общие принципы организации современного учета энергии, перечень основных объектов и объемов автоматизации этого учета в республике, вопросы экономической эффективности автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

На смену льготным и жестким государственным тарифам на энергию должны прийти тарифы, позволяющие устанавливать между производителями и поставщиками (продавцами), с одной стороны, и потребителями (покупателями), с другой стороны, партнерские отношения и эффективное сотрудничество в целях максимальной взаимной оптимизации своих технологических процессов, контроля энергопотребления, снижения издержек, энергосбережения.

Существующий приборный учет электроэнергии, основанный на базе локальных индукционных электросчетчиков с эпизодическим визуальным съемом и ручной обработкой их показаний, не позволяет получать требуемые сегодня точные, достоверные и оперативные данные учета. Концепция нового приборного учета основывается на принципах автоматизированного энергоучета и на понятии АСКУЭ, элементами которой становятся электронные электросчетчики.

Первый принцип автоматизированного энергоучета - измерять все, что необходимо и экономически целесообразно. Измерение этого товара должно производиться по всей его технологической цепи производства, передачи, трансформирования, преобразования, распределения, поставки и потребления. Второй общий принцип автоматизированного энергоучета, позволяющий обеспечить высокую достоверность данных энергоучета. Третий общий принцип автоматизированного энергоучета определяет единство измерений во времени реальных процессов энергопотребления. Четвертый общий принцип автоматизированного энергоучета определяет отношение в АСКУЭ к интерфейсам и протоколам доступа к хранимым базам данных электронных электросчетчиков. Пятый общий принцип автоматизированного энергоучета определяет взаимосвязь АСКУЭ нижнего (основного) уровня с верхним уровнем АСКУЭ субъекта энергосистемы или субъекта рынка электроэнергии. Шестой общий принцип автоматизированного энергоучета выражает отношения между базами данных счетчиков и базой данных корпоративной компьютерной сети. Седьмой общий принцип автоматизированного энергоучета выражает требования к программному обеспечению технических средств АСКУЭ (УСПД, КВС). Восьмой общий принцип автоматизированного энергоучета определяет требования к каналам связи между основным и верхним уровнями АСКУЭ.

Появление на рынке средств приборного учета электроэнергии различных однофазных и трехфазных многотарифных электронных счетчиков поставило перед разработчиками АСКУЭ дилемму: идти дальше привычным путем создания систем с дистанционным числоимпульсным сбором данных учета от индукционных счетчиков-датчиков или электронных счетчиков с телеметрическими выходами либо перейти на новые принципы организации учета.

Только цифровой интерфейс с соответствующим протоколом обмена позволяет адресоваться к той или иной разнородной информации внутри счетчика, в полной мере использовать все его возможности. И, кроме того, существенно повысить достоверность

дистанционного приема данных учета на верхних уровнях АСКУЭ (ведь при любых ошибках в каналах связи появляется возможность повторных запросов информации из базы данных счетчика).

АСКУЭ объединенной энергосистемы позволит эффективно решать задачи расчетов за электроэнергию с энергосистемами соседних государств, а также между всеми субъектами внутри энергосистемы, контролировать прохождение электроэнергии по всем технологическим цепочкам, оперативно составлять балансы по субъектам и объектам энергосистемы (вплоть до подстанции, ее секций и фидеров), выявляя все потери и утечки электроэнергии. Дальнейшее развитие целей, задач, структуры и функций АСКУЭ энергосистемы связано с созданием АСКУЭ потребителей (в перспективе АСКУЭ субъектов рынка электроэнергии), взаимодействующих по соответствующим каналам связи с АСКУЭ энергосистемы.

От энергосистемы в республике питается более 6000 промышленных и приравненных к ним потребителей, из них 350 - 400 крупных организаций потребляют до 90 - 95 процентов всей электроэнергии (по 60 - 70 организаций на каждую областную энергосистему). В среднем такая организация имеет 8 - 10 точек коммерческого учета, размещаемых, как правило, на подстанциях территории организации. Таким образом, АСКУЭ только крупных промышленных организаций содержит около 4000 точек коммерческого учета электроэнергии, а инвестиции в создание этих АСКУЭ оцениваются в 8 - 10 миллионов долларов США. Необходимость создания АСКУЭ промышленных организаций, помимо АСКУЭ энергосистемы, вызывается в первую очередь невозможностью контролировать в существующих схемах энергоснабжения большинство организаций по прямым фидерам с питающих подстанций энергосистемы. При развитии АСКУЭ для всей группы промышленных и приравненных к ним потребителей количество точек учета возрастет до 25000 - 30000, а необходимые инвестиции увеличатся до 40 - 50 миллионов долларов США.

Проблемы создания АСКУЭ затрагивают все отрасли экономики и поэтому имеют межотраслевой характер. Ориентировочное распределение затрат на создание АСКУЭ (500 миллионов долларов США) имеет следующий вид: население (индивидуальные и многоквартирные жилые дома) - 300 миллионов долларов США; энергосистема - 50 миллионов долларов США; промышленные организации - 50 миллионов долларов США; непромышленные потребители - 50 миллионов долларов США; сельскохозяйственные потребители - 50 миллионов долларов США.

Литература

1. Электротехнический справочник: Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии./ Под общ. ред. профессоров МЭИ. – М.: Издательство МЭИ, 2004, 964 с.

УДК 621.3

Энергоэффективность освещения

Варивончик А.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

В зависимости от источника света производственное освещение может быть: естественным, что создается прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода; искусственным, создаваемый электрическими источниками света.

Естественное освещение подразделяется на: боковое, осуществляемое через световые проемы (окна) в наружных стенах; верхнее, осуществляемое через фонари и отверстия в крышах и перекрытиях; комбинированное - сочетание верхнего и бокового освещения.

Искусственное освещение может быть общим, местным и комбинированным.

При общем освещении происходит равномерное распределение света по всей площади.

Чтобы выделить необходимые объекты или зоны используют местное освещение. Источник света при этом располагают на определенном участке: рабочем столе, части стены.

Комбинированное освещение состоит из общего и местного.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное.

Рабочее освещение предназначено для обеспечения производственного процесса, перемещения людей, движения транспорта и является обязательным для всех производственных помещений.

Аварийное освещение используется для продолжения работы в случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения и связанное с ним нарушение нормального обслуживания оборудования может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, нарушение технологического процесса.

Эвакуационное освещение предназначено для обеспечения эвакуации людей из помещений при аварийном отключении рабочего освещения.

Охранное освещение устраивается вдоль границ территории, охраняемой в ночное время специальным персоналом.

Дежурное освещение предусматривается в нерабочее время, при этом, как правило, используют часть светильников других видов искусственного освещения.

Для искусственного освещения применяют лампы накаливания, сочетание нескольких видов ламп и люминесцентные лампы (лампы дневного света ЛД, лампы холодно-белого света ЛХБ, лампы тепло-белого света ЛТБ), представляющие собой ртутные электроразрядные трубки низкого давления и ртутные лампы высокого давления (ДРЛ). Люминесцентные лампы характеризуются высокой световой отдачей, приближающейся по своему спектру к естественному дневному свету. Они экономичнее в 3—3,5 раза ламп накаливания.

Для освещения помещений и открытых площадок предприятий применяют лампы, заключенные в специальную арматуру различных типов, называемую светильником. Светильники предназначены для перераспределения светового потока лампы в необходимом направлении с наименьшими светопотерями для предохранения глаз работающих от слепящей яркости, защиты лампы от загрязнений, механических повреждений, горючих и взрывоопасных газов, паров и пыли, а в некоторых случаях для изменения спектрального состава источника света. По назначению и расположению светильники делятся на два вида - внутреннего и наружного освещения.

Наиболее интересными энергосберегающими разработками считаются энергосберегающие системы, полые световоды и зенитные фонари.

Система управления освещением включает в себя различные устройства, которые могут использоваться как по отдельности друга от друга, так и вместе. Это регуляторы света, сумеречные выключатели, таймеры, датчики освещенности, лестничные выключатели, датчики движения и др.

Полые световоды — еще одно перспективное направление в современной светотехнике. Это пустотелые осветительные устройства, имеющие цилиндрическую форму с отражающей свет внутренней поверхностью. Такая конструкция позволяет получить светящиеся поверхности большой площади, разнообразной формы и цвета.

Зенитные фонари имеют самые разнообразные причудливые формы и устанавливаются на прямые и наклонные крыши. Интенсивность освещения у таких фонарей значительно выше, поэтому в современных проектах стали чаще встречаться стеклянные крыши. Эти фонари обеспечивают не только естественное освещение в помещении, но и хорошую вентиляцию, а в случае необходимости — удаление дыма.

Литература

1. Классификация производственного освещения [Электронный ресурс]. – <https://www.ltcompany.com/ru/articles/20/>
2. Источники искусственного освещения – [Электронный ресурс].–: <https://xreferat.com/102/2423-1-istochniki-iskusstvennogo-osvesheniya.html>

УДК 621.311.16

Заземление нейтрали сети напряжением 6-35 кВ через резистор

Горновская Е.Н, Кирик Е.А.

Научный руководитель – д.т.н, профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

По ряду причин в Беларуси признано целесообразным модернизировать режим заземления нейтрали сетей 6–35 кВ, перейдя на её заземление через резистор.

Основной параметр резистора – его активное сопротивление R , значение которого выбирается по критерию снижения уровня перенапряжений и затем может корректироваться по условиям работы релейной защиты и электробезопасности.

Выбор типа резистора для заземления нейтрали производится по основным критериям:

- резистор должен обеспечивать снижение уровня дуговых перенапряжений;
- сопротивление резистора в нейтрали должно гарантировать протекание активного тока в поврежденном присоединении, достаточного для действия релейных защит на сигнал или на отключение поврежденного присоединения;
- при заземлении нейтрали через резистор должны соблюдаться условия электробезопасности для людей при однофазном замыкании на землю на подстанции и распределительном пункте с учетом существующего нормирования величины допустимого напряжения прикосновения.

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

- селективно определить поврежденное присоединение (за счет применения простых релейных защит, действующих на отключение или сигнал) и незамедлительно принять меры по устранению повреждения;

- существенно ограничить уровень дуговых перенапряжений при однофазном замыкании на землю и исключить феррорезонансные процессы (при этом появляется возможность защиты оборудования подстанции с помощью ограничителя перенапряжения нелинейного с более низким остаточным напряжением при коммутационном импульсе).

Заземляющие резисторы могут подключаться в сеть непосредственно между фазами и землей с применением ограничителей перенапряжений или в нейтраль обмотки силового трансформатора напряжением 35 кВ или специального заземляющего трансформатора, или трансформатора собственных нужд с высшим напряжением 6-10 кВ.

Уровень перенапряжений в сети при однофазных замыканиях определяется соотношением между емкостным током замыкания на землю I_c и активным током I_a через резистор, т.е.

$$\frac{I_c}{I_a} = \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

Изменением сопротивления резистора можно добиться желаемого значения угла α , равного 30-60°, и уровня возможных перенапряжений, составляющих (2,2 – 2,5) амплитудного фазного напряжения.

Наличие резистора в нейтрали сети обеспечивает снижение напряжения смещения нейтрали, в то время как дугогасящий реактор способствует повышению напряжения смещения нейтрали, образовавшегося из-за несимметрии емкостей фаз сети.

В качестве заземляющих трансформаторов могут использоваться специальные ненагруженные трансформаторы или трансформаторы собственных нужд со вторичной обмоткой, соединенной в треугольник.

При подключении резистора в нейтраль трансформатора, не несущего нагрузку, мощности заземляющего трансформатора и резистора могут быть одинаковыми. Если резистор подключается к ненагруженному трансформатору, то в режиме замыкания фазы на

землю такие трансформаторы дополнительно нагружаются активным током, что ведет к не дополнительному нагреву.

Трансформатор собственных нужд, мощность которого равна мощности включаемого в его нейтраль резистора, может нести в нормальном режиме полную нагрузку. При однофазном замыкании на землю такой трансформатор перегрузится на допустимые 40%.

При заземлении нейтрали через резистор в сети напряжением 10 кВ длительность протекания тока замыкания на землю не должна превышать 2 секунд по условиям термической стойкости резистора сопротивлением 200 Ом или 10 секунд по условиям термической стойкости резисторов на напряжение 35 кВ, изготавливаемых в России и применяемых на подстанциях Республики Беларусь.

Литература

1. Короткевич М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей/ М.А. Короткевич.-Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2003.-373с.
2. Глушко, В. Белорусские сети 6-35 кВ переходят на режим заземления нейтрали через резистор /О. Ямный, Н. Бохан //Информационно-справочное издание «Новости электротехники» [Электронный ресурс] - -2006 -№3(39) –Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/39/05.php>.

УДК 621.316

Эффективность применения термоусаживаемых муфт

Кравчук И.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М.А.

Кабельная муфта – устройство, предназначенное для соединения электрических кабелей в линию и для их подвода к электрическим установкам, станционным сооружениям, воздушным линиям электропередачи. Муфты представляют собой комплект деталей и материалов, обеспечивающих восстановление электрической, конструктивной и механической целостности кабеля. Состав комплекта определяется рабочим напряжением, количеством жил, типом изоляции и конструктивными особенностями кабеля.

Значительная продолжительность и трудоемкость монтажа чугунных, свинцовых и эпоксидных муфт, а также недостаточно высокий срок их службы из-за потери герметичности, механический или электрической прочности привели к появлению термоусаживаемых концевых и соединительных муфт.

Отличительные особенности термоусаживаемых муфт: более высокая стоимость; затраты времени на монтаж меньше, чем у остальных видов муфт; срок службы больше в 3-5 раз, чем у свинцовых.

Оценим целесообразность применения термоусаживаемых муфт на основе метода многоцелевой оптимизации в условиях, когда обеспечивается минимум их стоимости (показатель x_1), минимум затрат времени на монтаж (показатель x_2) и максимум надежности работы (показатель x_3). Примем показатели, относящиеся к свинцовым муфтам за единицу. Тогда для термоусаживаемых муфт: $x_1=1,5$; $x_2=0,36$; $x_3=3,0$.

Применение термоусаживаемых муфт будет оправданным, если критерий оптимизации для термоусаживаемых муфт будет больше, чем соответствующий критерий для свинцовых муфт в 1,2 раза, т.е. $E^T \geq 1,2E$.

Относительные эффективности каждой из рассмотренных целей найдем по формулам:

- 1) Для минимизируемых функций (стоимость, время монтажа): $e_i = \frac{\min x_i}{x_i}$;
- 2) Для максимизируемых функций (срок службы): $e_i = \frac{x_i}{\max x_i}$;

Получим:

- 1) для свинцовых муфт $e_1=1,1$; $e_2=0,36$; $e_3=0,33$;
- 2) для термоусаживаемых $e_1=0,7$; $e_2=1$; $e_3=1$.

Оценка важности рассматриваемых целей производится на основании расстановки приоритетов рассматриваемых показателей нескольких экспертов: $v_1=0,25$; $v_2=0,15$; $v_3=0,6$.

Тогда $E^T=0,92$; $E=0,5$, т.е. $E^T=1,85E$. Следовательно, применение термоусаживаемых муфт более эффективно, чем традиционных свинцовых.

Литература

1. Короткевич М.А. Эксплуатация электрических сетей / М.А. Короткевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 350с.
2. Электронный ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кабельная_муфта

УДК 621.3

Автоматизированные системы управления в ЭЭС

Мацкевич М. О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Рост систем, в частности энергетических, с которыми имеет дело человек, привел к трудностям в переработке человеком информации, так как возможности его по этой переработке ограничены. Отсюда возникла необходимость повышения эффективности процесса переработки информации при управлении процессами (техническими, экономическими), т.е. потребовалось усиление интеллектуальных возможностей человека. Ответом на эту проблему является АСУ.

Автоматизированная система управления (сокращённо АСУ) — комплекс аппаратных и программных средств, а также персонала, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия. АСУ применяются в различных отраслях промышленности, энергетике, транспорте и т.п. Термин «автоматизированная», в отличие от термина «автоматическая», подчёркивает сохранение за человеком-оператором некоторых функций, либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации.

Важнейшая задача АСУ — повышение эффективности управления объектом на основе роста производительности труда и совершенствования методов планирования процесса управления.

В общем случае, систему управления можно рассматривать в виде совокупности взаимосвязанных управленческих процессов и объектов. Обобщенной целью автоматизации управления является повышение эффективности использования потенциальных возможностей объекта управления. Таким образом, можно выделить ряд целей:

1. Предоставление лицу, принимающему решение (ЛПР), релевантных данных для принятия решений
2. Ускорение выполнения отдельных операций по сбору и обработке данных
3. Снижение количества решений, которые должно принимать ЛПР
4. Повышение уровня контроля и исполнительской дисциплины
5. Повышение оперативности управления
6. Снижение затрат ЛПР на выполнение вспомогательных процессов
7. Повышение степени обоснованности принимаемых решений

В сфере промышленного производства с позиций управления можно выделить следующие основные классы структур систем управления: децентрализованную, централизованную, централизованную рассредоточенную и иерархическую. Децентрализованная представляет собой совокупность нескольких независимых систем со своей информационной и алгоритмической базой.

Централизованная структура осуществляет реализацию всех процессов управления объектами в едином органе управления, который осуществляет сбор и обработку информации об управляемых объектах и на основе их анализа в соответствии с критериями системы вырабатывает управляющие сигналы. Достоинствами централизованной структуры являются достаточно простая реализация процессов информационного взаимодействия; принципиальная возможность оптимального управления системой в целом; достаточно легкая коррекция оперативно изменяемых входных параметров; возможность достижения максимальной эксплуатационной эффективности при минимальной избыточности технических средств управления. Недостатки централизованной структуры следующие: необходимость высокой надежности и производительности технических средств управления для достижения приемлемого качества управления; высокая суммарная протяженность каналов связи при наличии территориальной рассредоточенности объектов управления.

Иерархическая структура. С ростом числа задач управления в сложных системах значительно увеличивается объем переработанной информации и повышается сложность

алгоритмов управления. В результате осуществлять управление централизованно невозможно, так как имеет место несоответствие между сложностью управляемого объекта и способностью любого управляющего органа получать и перерабатывать информацию.

Кроме того, в таких системах можно выделить следующие группы задач, каждая из которых характеризуется соответствующими требованиями по времени реакции на события, происходящие в управляемом процессе:

- задачи сбора данных с объекта управления и прямого цифрового управления (время реакции, секунды, доли секунды);
- задачи экстремального управления, связанные с расчётами желаемых параметров управляемого процесса и требуемых значений уставок регуляторов, с логическими задачами пуска и остановки агрегатов и др. (время реакции — секунды, минуты);
- задачи оптимизации и адаптивного управления процессами, технико-экономические задачи (время реакции — несколько секунд);
- информационные задачи для административного управления, задачи диспетчеризации и координации в масштабах цеха, предприятия, задачи планирования и др. (время реакции — часы).

Очевидно, что иерархия задач управления приводит к необходимости создания иерархической системы средств управления. Такое разделение, позволяя справиться с информационными трудностями для каждого местного органа управления, порождает необходимость согласования принимаемых этими органами решений, то есть создания над ними нового управляющего органа. На каждом уровне должно быть обеспечено максимальное соответствие характеристик технических средств заданному классу задач.

В Республике Беларусь применяются АСУ, в частности РУП «ОДУ», ЦДС и РДС используется SCADA система (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных) во многом упрощающая контроль за состоянием энергосистемы. «Таврида Электрик» выполнила проект по автоматизации в Бобруйском РЭС. В рамках проекта проведена реконструкция сети 10 кВ, а также подстанции 35/10 кВ «Телуша» с заменой коммутационных аппаратов на новые автоматизированные и улучшением существующей SCADA-системы с точки зрения визуализации и технических возможностей. Изменения позволили диспетчеру видеть состояние сети и проводимые в ней работы. Внедрение АСУ в сферу энергетики позволяет минимизировать отключаемые участки, тем самым сокращая количество отключенных потребителей и экономические потери от недоотпуска электроэнергии.

Литература

1. В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон, "Гидроэлектростанции", Красноярск, 2002г.
2. ГОСТ 24.104-85: "Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования".

УДК 621.3

Энергия, эксергия, энтальпия, энтропия, энергоэффективность

Титко С. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Энергия (др.-греч. *ἐνέργεια* — действие, деятельность, сила, мощь) — скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие.

Механика различает потенциальную энергию и кинетическую энергию. Их сумма называется полной механической энергией.

Кинетическая энергия — энергия механической системы, зависящая от скоростей движения её точек. Часто выделяют кинетическую энергию поступательного и вращательного движения. Единица измерения в СИ — джоуль.

Потенциальная энергия — скалярная физическая величина, характеризует запас энергии некоего тела (или материальной точки), находящегося в потенциальном силовом поле, который идет на приобретение (изменение) кинетической энергии тела за счет работы сил поля.

В зависимости от среды энергия бывает:

- 1) электромагнитная;
- 2) гравитационная;
- 3) ядерная;
- 4) энергия взрыва;
- 5) энергия вакуума.

Эксергия — предельное (наибольшее или наименьшее) значение энергии, которое может быть полезным образом использовано (получено или затрачено) в термодинамическом процессе с учётом ограничений, накладываемых законами термодинамики. Та максимальная работа, которую может совершить макроскопическая система при переходе из заданного состояния в состояние равновесия с окружающей средой (эксергия процесса положительна), или та минимальная работа, которую необходимо затратить на переход системы из состояния равновесия с окружающей средой в заданное состояние (эксергия процесса отрицательна).

Разность между изменением энергии в процессе и эксергией процесса, то есть та часть энергии, которая не может быть преобразована в эксергию, носит название *анергии*. Из закона сохранения энергии следует, что при любом преобразовании энергии сумма эксергии и анергии процесса остаётся неизменной.

Сравнивая эксергию — характеристику идеального процесса — с полученной/затраченной в реальном неравновесном процессе энергией, делают вывод о степени *термодинамического совершенства* процесса.

Эксергию можно поделить на эксергию процессов, не характеризующихся энтропией (механических, электрических, ядерных и др.), равную изменению энергии (кинетической, например) в этих процессах, и термодинамическую эксергию процессов, характеризующихся энтропией.

Эксергии по типу термодинамических систем бывает:

- 1) эксергию в объёме рабочего тела (эксергия вещества в замкнутом объёме беспотоковая эксергия рабочего тела постоянной массы, эксергия неподвижного тела, эксергия закрытой системы);
- 2) эксергию в потоке рабочего тела (эксергия потока, эксергия потока вещества, эксергия потока рабочего тела);
- 3) эксергию потока энергии в системах с дополнительными источниками/приёмниками энергии.

Энтропия — мера беспорядка (и характеристика состояния). Визуально, чем более равномерно расположены вещи в некотором пространстве, тем больше энтропия.

Второй закон термодинамики гласит, что самопроизвольно в замкнутой системе энтропия не может убывать (обычно она возрастает).

В широком смысле, в каком слово часто употребляется в быту, энтропия означает меру неупорядоченности или хаотичности системы: чем меньше элементы системы подчинены какому-либо порядку, тем выше энтропия.

Энтальпия, также *тепловая функция* и *теплосодержание*, — термодинамический потенциал, характеризующий состояние системы в термодинамическом равновесии при выборе в качестве независимых переменных давления, энтропии и числа частиц.

Энтальпия — это та энергия, которая доступна для преобразования в теплоту при определённом постоянном давлении.

Энтальпия — это термодинамическое свойство вещества, которое указывает уровень энергии, сохраненной в его молекулярной структуре. Это значит, что, хоть вещество и может обладать энергией на основании температуры и давления, не всю ее можно преобразовать в теплоту. Часть внутренней энергии всегда остается в веществе и поддерживает его молекулярную структуру. Часть кинетической энергии вещества недоступна, когда его температура приближается к температуре окружающей среды. Следовательно, энтальпия — это количество энергии, которая доступна для преобразования в теплоту при определенной температуре и давлении.

Литература

1. Энергия, эксергия, энтальпия, энтропия, энергоэффективность [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

УДК 621. 33

Рекуперация горючих газов и тепловые насосы

Горбачевский А.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – энергетический потенциал продукции, отходов, образующихся в технологических установках, который не используется в самой установке, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других установок. Электротранспорт – вид транспорта, использующий в качестве источника энергии электричество, а в приводе используется тяговый электродвигатель.

Классификация ВЭР

- Горючие ВЭР – отходы, обладающие химической энергией и могут быть использованы в качестве топлива.

- Тепловые ВЭР – отходы, обладающие физической теплотой.

- ВЭР избыточного давления – отходы, обладающие потенциальной энергией.

ВЭР могут использоваться по следующим направлениям:

- топливному – с использованием непригодных к дальнейшей переработке горючих отходов в качестве топлива;

- тепловому (холодильному) – при использовании или генерировании в утилизационных установках тепла;

- силовому – с использованием механической и электрической энергии, вырабатываемой за счет ВЭР;

- комбинированному – для производства теплоты (холода), электрической или механической энергии.

1. Рекуперация горючих газов.

На многих предприятиях имеют место значительные энергетические потери за счет недостаточного использования теплоты в технологических процессах. В том числе, теплота газа, нагретого в процессе того или иного производства, либо используется не эффективно, либо не используется вообще, и нагретый газ выбрасывается в атмосферу. Особенно это характерно для высокотемпературных производств (до 1000 °С и более), т. е. именно там, где энергетические потери наиболее велики. Решением данной проблемы является рекуперация теплоты уходящих газов.

На металлургических и машиностроительных предприятиях одним из важнейших звеньев технологического процесса производства полуфабрикатов и деталей машин является термическая обработка, которая может сочетаться с химическим, деформационным, магнитным и другими воздействиями.

К термической обработке металлических изделий относятся следующие операции: отжиг, закалка, отпуск и химико-термическая обработка.

Утилизация теплоты уходящих дымовых газов за счет снижения их температуры может быть выполнена в двух направлениях: с возвратом утилизированной теплоты обратно в печь и без возврата этой теплоты в печь.

При втором способе утилизации часть теплоты уходящих дымовых газов можно использовать в котлах-утилизаторах (рекуператорах) для получения горячей воды или водяного пара, а также механической или электрической энергии с помощью теплосиловых установок, которые можно использовать на предприятиях, чем также достигается значительная экономия топлива.

В настоящее время представлен широкий диапазон выбора теплообменников, рекуператоров и т.д. Существующие сегодня конструкции рекуператоров имеют весьма серьезные недостатки, которые часто определяют отсутствие этих устройств в технологических процессах. Прежде всего, это:

- неудовлетворительные массогабаритные показатели;
- высокая стоимость и большой срок окупаемости;

- сложность или невозможность ремонта;
- низкая термопластичность (т.е. склонность к появлению термических напряжений, короблению и разрушению);
- высокое аэродинамическое сопротивление;
- склонность к зашлаковыванию (заращению рабочих зазоров продуктами горения).

2. Тепловые насосы.

Тепловой насос — устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой

Принцип работы теплового насоса:

Хладагент под высоким давлением через капиллярное отверстие попадает в испаритель, где за счет резкого уменьшения давления происходит процесс испарения. При этом хладагент отнимает тепло у внутренних стенок испарителя, а испаритель в свою очередь отбирает тепло у земляного или водяного контура, за счет чего он постоянно охлаждается. Компрессор вбирает хладагент из испарителя, сжимает его, за счет чего температура хладагента резко повышается и выталкивает в конденсатор. Кроме этого, в конденсаторе, нагретый в результате сжатия хладагент отдает тепло (температура порядка 85-125 градусов Цельсия) отопительному контуру и переходит в жидкое состояние. Процесс повторяется постоянно. Когда температура в доме достигает необходимого уровня, электрическая цепь разрывается терморегулятором и тепловой насос перестает работать. Когда температура в отопительном контуре падает, терморегулятор вновь запускает тепловой насос. Таким образом, хладагент в тепловом насосе делает обратный цикл Карно.

По источнику тепла выделяют тепловые насосы:

- Геотермальные. Тепловая энергия берется из грунта или воды.
- Воздушные. Тепло извлекается из атмосферы.
- Использующие вторичное тепло. В качестве источника тепла используются воздух, вода, канализационные стоки.

На основе вышеизложенной информации можно сформулировать следующие выводы: в повышении эффективности энергосбережения большое значение имеет не только внедрение нового оборудования, передовой технологии, модернизация существующего оборудования, но и использование всех вторичных ресурсов. При правильном использовании ВЭР может достигаться значительная экономия топлива. Кроме того, использование вторичных энергетических ресурсов не ограничивается энергетическим эффектом - это и охрана окружающей среды, уменьшение количества выбросов вредных веществ.

Литература

1. Розенгарт Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы и их использование. - М.: Высшая школа, 2008.
2. Комплексный подход к энергоэффективному производству / под ред. Филиппенко И.Г. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. №3/1 (57), с. 38-45..
3. Гольстрем В.А., Кузнецов Ю.Л. Справочник по экономии топливно-энергетических ресурсов. - М.: Техника, 2007.

УДК 621. 33

Распределенная генерация - виртуальные электростанции

Батура Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Распределенной генерацией можно считать использование энергоисточников до 25 МВт, которые находятся вблизи конечного потребления, вне зависимости от того, кто является их владельцем.

На сегодняшний день можно выделить три категории генерирующих мощностей, которые попадают под широкое определение распределенной генерации:

- Блок-станции, источник электрической (иногда тепловой) энергии, расположенный на территории или в непосредственной близости от промышленного предприятия и принадлежащий владельцам этого предприятия на правах собственности или ином законном основании, например праве аренды.

- Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) малой и средней мощности.

- Объекты малой и средней генерации, в числе которых газотурбинные и газопоршневые станции, электростанции на возобновляемых источниках электроэнергии (ВИЭ).

Состав технологий распределенной генерации энергии:

- Прямое сжигание твердого топлива (включая биомассу, уголь, твердые бытовые отходы (ТБО) для получения электрической и тепловой энергии, в том числе в теплофикационных паротурбинных установках (ПТУ).

- Технологии на природном газе, представленные множеством энергоустановок, в том числе ГПД, ГТУ, ПГУ, ТЭ. Наибольшее применение они получили для производства электрической и тепловой энергии.

- Ветроустановки (ВЭУ) и малые гидроэлектростанции (МГЭС), получившие наиболее широкое применение в малых распределенных системах электроснабжения потребителей.

- Солнечная энергия, преобразуемая в электрическую в фотоэлектрических установках (ФЭУ) и солнечных электростанциях (СЭС), а в тепловую на станциях солнечного теплоснабжения (ССТ).

- Низкопотенциальное тепло, которое с помощью теплонасосных установок (ТНУ) может использоваться как для теплоснабжения, так и для холодоснабжения.

- Атомные станции малой мощности (АСММ) могут быть полезны для отдаленных территорий как автономные источники электрической и тепловой энергии.

Кроме перечисленных технологий и установок перспективными представляются микротурбины, газопоршневые агрегаты.

Виртуальные электростанции на базе РГЭ:

В связи с широким распространением источников распределенной генерации и их интеграцией в централизованную систему электроснабжения возникло понятие виртуальной электростанции (Virtual Power Plant). Концепция виртуальной электростанции предполагает объединение группы установок распределенной генерации энергии посредством общей системы управления их режимами. Необходимость в таком объединении возникает в связи с проблемами диспетчерского управления из-за «невидимости» для диспетчера установок РГЭ, необходимостью повышения эффективности энергоснабжения, учета накопителей энергии для компенсации неравномерности режимов работы распределенных возобновляемых источников энергии, а также активных потребителей, имеющих возможности управления собственным энергопотреблением.

Виртуальная электростанция – это структура, объединяющая в себе распределенные генераторы (ветроустановки, фотоэлектрические станции, мини- и микроТЭЦ и др.), активных потребителей (бытовых, промышленных) и системы аккумулирования энергии (тепловые, электрические, механические и химические). Обычно виртуальные

электростанции присоединяются к сети среднего или низкого напряжения. Элементы виртуальной электростанции могут располагаться на значительных расстояниях друг от друга. Связывающие их сети (электрическую и коммуникационную) объединяют под термином интеллектуальная «микросеть» (Microgrid). Характерной особенностью микросетей является возможность их работы в автономном режиме. Управление виртуальными электростанциями осуществляется дистанционно через управляющую систему, которая принимает информацию о текущем состоянии каждой энергоустановки и передает на них управляющие сигналы.

Виртуальная электростанция фактически интегрирует в себе технические и технологические решения по управлению спросом и предложением распределённой генерацией энергии с помощью программно-аппаратного комплекса, который функционально также включает управление интеллектуальной сетью, средствами релейной защиты и автоматики, потокораспределением в сети, качеством электроэнергии, гибким ценообразованием и т.п. Она обеспечивает эффективное управление спросом на электроэнергию и позволяет адекватно совмещать и оптимизировать графики нагрузок потребителей. Такое объединение генерирующих мощностей и потребителей способствует сглаживанию пиковых нагрузок и снижению цены на электроэнергию. Виртуальная электростанция может иметь коммерческое назначение (продажа электроэнергии на оптовый рынок), техническое назначение (системные услуги – такие как регулирование частоты и активной мощности, поддержание качества электроэнергии и т.п.) или же объединять обе эти функции. Она может решать сразу несколько задач в энергетике, среди них такие, как оптимизация нормальных и аварийных режимов, стабилизация работы энергосистемы с детерминированными и стохастическими генераторами, гибкость в управлении производством энергии и способность согласования его с текущим уровнем потребления, интеграция различных типов генерирующих энергоисточников.

Принципиальная схема включения активного потребителя и виртуальной электростанции в электроэнергетическую систему страны приведена на [Рис. 1]:

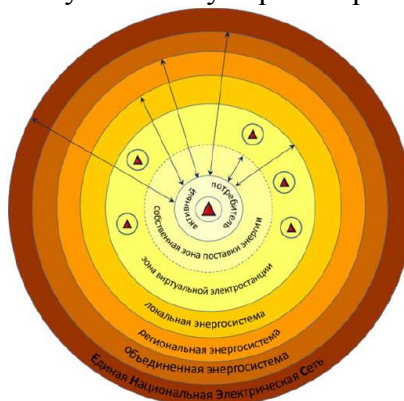


Рисунок 1 – Принципиальная схема включения активного потребителя и виртуальной электростанции в электроэнергетическую систему страны

Вывод:

Интеграция модели виртуальной электростанции в централизованную систему обеспечивает сетевым компаниям возможность подключения новых потребителей, а системный оператор получает дополнительные маневренные электрические мощности.

Литература

1. Розенгарт Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы и их использование. - М.: Высшая школа, 2008.
2. Комплексный подход к энергоэффективному производству / под ред. Филиппенко И.Г. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. №3/1 (57), с. 38-45.

УДК 621.311.1.003

Управление потерями при передаче электроэнергии

Гославский П.С.

Научный руководитель – к.т.н, доцент ПЕТРУША Ю.С.

Величина потерь в электрических сетях (ЭС) позволяет оценить эффективность работы сети, проанализировать структуру потерь, выявить причины и разработать организационно-технические мероприятия по их снижению. В данной статье под потерями в ЭС следует понимать технологический расход электроэнергии на ее транспортировку (ТРЭТ) по электрическим сетям. Понятие и определение потерь приведены в ТКП [1] и инструкциях по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Условно ТРЭТ можно разделить на:

1) Отчетные потери – это разность между количеством поступившей эклектической энергии (ЭЭ) в сеть и количеством отпущенной из сети, определяемая по данным приборов учета электрической энергии.

2) Технологические потери включают в себя:

а) технические потери ЭЭ, обусловленные физическими процессами в проводниках и электрооборудовании при передаче ЭЭ;

б) потери, образуемые допустимыми погрешностями систем учета ЭЭ;

в) расход ЭЭ на собственные нужды подстанций.

3) Коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате за электроэнергию бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии. Их значение определяют как разницу между отчетными потерями и суммой технологических потерь:

Далее будем рассматривать лишь технологические потери ЭЭ и способы их снижения для повышения энергоэффективности ЭЭС. Их можно представить следующими структурными составляющими:

1) Нагрузочные потери в оборудовании подстанций. К ним относятся потери в линиях и силовых трансформаторах, а также потери в измерительных трансформаторах тока, высокочастотных заградителях ВЧ-связи и токоограничивающих реакторах. Все эти элементы включаются в "рассечку" линии, т.е. последовательно, поэтому потери в них зависят от протекающей через них мощности.

2) Потери холостого хода, включающие потери в электроэнергии в силовых трансформаторах, компенсирующих устройствах (КУ), трансформаторах напряжения, счетчиках и устройствах присоединения ВЧ-связи, а также потери в изоляции кабельных линий.

3) Климатические потери, включающие в себя два вида потерь: потери на корону и потери из-за токов утечки по изоляторам ВЛ и подстанций. Оба вида зависят от погодных условий.

Процесс снижения потерь – это оптимизация режима электрической сети. Их оптимизируют при эксплуатации и при проектировании сети. В условиях эксплуатации мероприятия по снижению потерь называются организационными (они не связаны с дополнительными капитальными вложениями), а при проектировании – в основном технические мероприятия, которые требуют дополнительных капитальных вложений.

Организационные мероприятия по снижению потерь в электрических сетях

Для снижения технологических потерь используются следующие методы:

1. Выравнивание суточного графика нагрузки. Проводится путем стимулирования потребителя снижать использование ЭЭ в часы пиков нагрузки и использовать энергию в периоды минимумов нагрузки.

2. Повышение уровня рабочего напряжения. Ведет к снижению потерь активной мощности, но ограничивается допустимым уровнем напряжения изоляции. В сетях 220 кВ и

выше также рассматривается целесообразность повышения напряжения, так как при повышении напряжения возрастают потери на корону.

3. Оптимизация режимов трансформаторов на подстанциях. При различных сезонных нагрузках трансформаторы на ПС могут быть отключены, тем самым снижаются потери на холостой ход трансформаторов ΔP_{xx} , а нагрузочные потери возрастают незначительно.

4. Разработка обоснованных норм потребления на выработку единицы продукции. Основная задача нормирования потребления ЭЭ – обеспечение применения в производстве и при планировании технически- и экономически обоснованных прогрессивных норм расхода ЭЭ для рационального распределения энергоресурсов и наиболее эффективного их использования.

5. Быстрый и надежный ремонт сети. Снижает время до наступления оптимального режима сети до аварии.

6. Определение оптимальных мест размыкания электрической сети. В сетях 220 кВ и выше оптимизируют режимы по напряжению U , реактивной мощности Q и коэффициенту трансформации n . Так как эти сети выполняются замкнутыми и работают в замкнутом режиме по ним протекают уравнивающие мощности $S_{ур}$, и путем выбора оптимального коэффициента трансформации в силовых трансформаторах с РПН достигается компенсация $S_{ур}$ в контуре.

Электрические сети 6 – 10 кВ (городские) и сети 35 – 110 кВ часто выполняются замкнутыми, но работают в нормально разомкнутом режиме. Они на своих участках имеют разное сечение проводов и являются неоднородными. В замкнутой неоднородной сети протекают уравнивающие мощности и естественное потокораспределение отклоняется от экономического, соответствующего минимуму потерь. В этих условиях, по критерию минимума потерь, часто отыскивают места размыкания сети.

Технические мероприятия по снижению потерь в электрических сетях

1. Компенсация реактивной мощности Q в линии путем установки компенсирующих устройств (КУ). Таким образом, при снижении передачи реактивной мощности Q линия разгружается, увеличивается $\cos \varphi$ и снижается потеря мощности ΔP .

3. Настройка сети. Заключается в установке КУ для уменьшения неоднородности в замкнутых сетях.

2. Повышение номинального напряжения за счет глубоких вводов.

4. Замена проводов на головных участках сети. По мере повышения нагрузок на головных участках сети протекают токи, превышающие экономические токи для данных сечений.

5. Замена недогруженных/перегруженных трансформаторов.

6. Установка вольтодобавочных трансформаторов в замкнутых контурах электрической сети. Приводит к уменьшению $S_{ур}$.

7. Замена трансформаторов без РПН на трансформаторы с РПН. Приводит к лучшей оптимизации по потерям мощности и напряжения в сети с изменяющимся графиком нагрузки в течении суток.

8. Применение провода СИП в сетях 0,38 кВ. Снижается процент воровства электроэнергии за счет несанкционированного подключения.

9. Применение фазосимметрирующих трансформаторов в сетях 10/0.38 кВ. За счет снижения несимметрии фазных напряжений, снижается ток, протекающий в нулевом проводе, что в свою очередь ведет к снижению потерь активной мощности.

Все технические мероприятия по снижению потерь должны быть технико-экономически обоснованы в соответствии с действующими ТКП.

Литература:

1. ТКП 460-2017 «Порядок расчета величины технологического расхода электрической энергии на ее передачу по электрическим сетям, учитываемой при финансовых расчетах за электроэнергию между энергоснабжающей организацией и потребителем (абонентом)».

2. Федин В.Т. Основы проектирования энергосистем/ В.Т. Федин, М.И. Фурсанов. – Минск: БНТУ, 2010. Ч. 1. – 322с.

УДК 620.93

Структура расхода энергоресурса при передаче электрической энергии

Гурков В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Развитие инфраструктуры любой страны базируется прежде всего на опережающем росте производства электрической энергии. Ее передача и распределение должны осуществляться бесперебойно и с нормальным качеством при обоснованных затратах трудовых и материальных ресурсов. Однако процесс транспорта электроэнергии по электрическим сетям неизбежно сопровождается ее технологическим расходом (потерями)[1].

В целях качественного решения задачи расчета и обоснования нормативов потерь все электрические сети объединенной энергетической системы Беларуси (ОЭС) с учетом информационного обеспечения и наблюдаемости разбиты на три самостоятельные группы:

- системообразующие электрические сети напряжением 220-750 кВ;
- питающие электрические сети 35-110 кВ;
- распределительные электрические сети 0,38-10 кВ.[1]

Фактические (отчетные) потери электроэнергии — разность между электроэнергией, поступившей в сеть, и электроэнергией, отпущенной потребителям.

Фактические (отчетные) потери электроэнергии можно разделить на четыре составляющие исходя из их физической природы и специфики методов их определения.

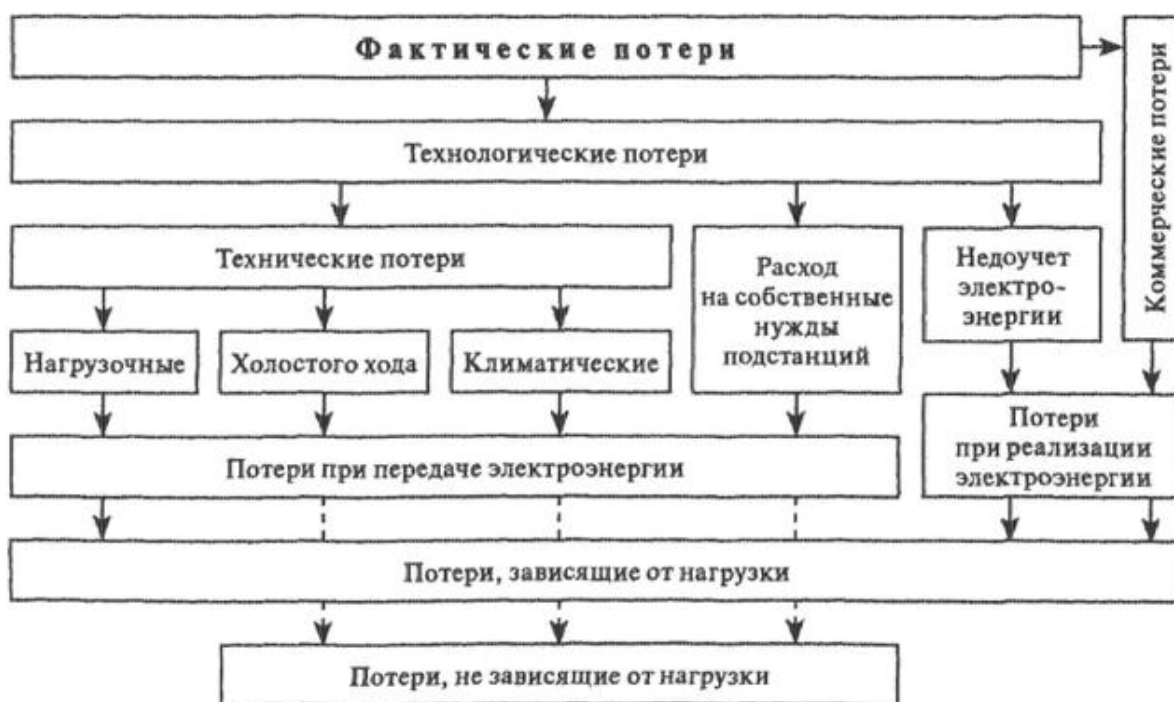


Рисунок 1 – Структура фактических потерь электроэнергии

1 Потери технического характера. Они возникают при передаче энергии по электросетям и обуславливаются физическими процессами, которые происходят в проводах и оборудовании.

Таблица 1 – Классификация технических потерь

Технические потери		
Климатические потери	Потери холостого хода	Нагрузочные потери
На корону От токов утечки по изоляторам ВЛЭ	В силовых трансформаторах В компенсирующих устройствах В трансформаторах напряжения В стетчиках В устройствах ВЧ-связи В изоляциях кабельных линий	В ЛЭП В силовых трансформаторах В трансформаторах тока В высокочастотных заградителях В токоограничивающих реакторах

1.1 Климатические потери - это потери, зависящие от погодных условий.

1.2 Потери холостого хода - условно-постоянные потери электроэнергии – потери, которые возникают в подключенном к сети оборудовании при его нормальной эксплуатации и не зависящие от величины передаваемой мощности(нагрузки).

1.3 Нагрузочные потери электроэнергии – это потери в электрооборудовании и линиях электропередач и других элементах электрической сети, зависящие от величины передаваемой мощности(нагрузки).

2 Расход на собственные нужды подстанции. Электроэнергия, которая расходуется на обеспечение работы подстанций и деятельности персонала. Этот расход энергия регистрируется счетчиками, установленными на трансформаторах собственных нужд электростанций.

3 Потери, которые обусловлены погрешностями при ее измерении приборами(которые могут быть как положительными, так и отрицательными).Эти потери получают расчетным путем на основе данных о метрологических характеристиках и режимах работы приборов, используемых для измерения энергии (ТТ, ТН и самих электросчетчиков).

4 Потери коммерческого характера. Потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате электроэнергии и другими причинами в сфере организации контроля потребления энергии. Их значение определяют, как разницу между фактическими потерями и суммой первых трех составляющих.

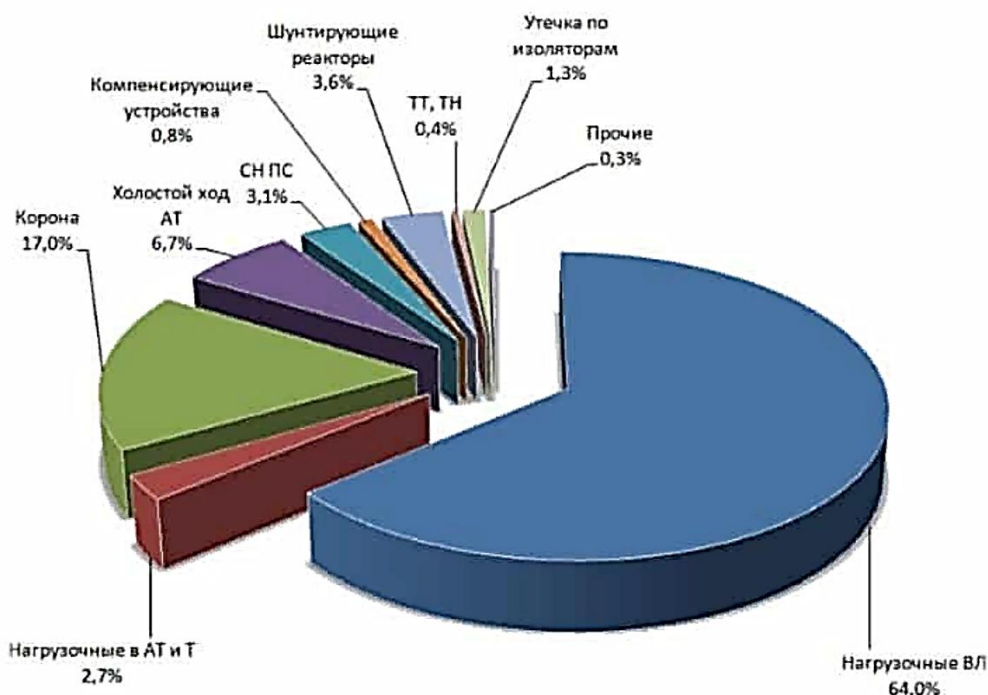


Рисунок 2 – Примерная структура потерь электроэнергии при ее транспорте.

В условиях эксплуатации снижение потерь (как технических, так и коммерческих) обеспечивается за счет постепенной адаптации режимов и параметров сети к реально существующим нагрузкам и применения новых типов оборудования (более экономичных схем, высокотехнологичных устройств, в том числе трансформаторов, проводников, компенсирующих и регулирующих приборов, коммутационных аппаратов, а также современных электронных систем учета и контроля электроэнергии и т.д.). Международные эксперты рекомендуют следующие пределы технологического расхода электроэнергии:

в целом по энергосистеме:

- до 10 % - допустимый уровень;
- до 16 % - максимально допустимый уровень;

по распределительным электрическим сетям:

- до 5 % - удовлетворительный уровень;
- до 10 % - максимально допустимый уровень. [1]

В Белорусской энергосистеме годовая величина потерь электроэнергии на ее транспорт приближается к 10 %, что при существующем годовом электропотреблении составляет примерно 3,8 млрд кВт-ч, или \$ 380 млн. Это означает, что при снижении потерь на 1 % можно получить \$ 35-38 млн годовой экономии. [1]

Следствие энергопотерь – убыток для энергетических компаний и увеличение тарифов для потребителя.

Литература

1. Фурсанов, М.И. Нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях белорусской энергосистемы. Состояние и перспективы / М.И. Фурсанов // Энергетическая стратегия-2015-№2.-С.34-38.

УДК 621.3

Системы автоматического управления ЭЭС

Дятко Ю. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Под автоматизацией ЭЭС понимают оснащение ЭЭС отдельными устройствами и системами для управления производством, передачей и распределением электрической энергии, в нормальном и аварийном режимах, без участия человека.

Важнейшими показателями ЭЭС является качество электрической энергии, под этим понимают стабильность величин напряжения и частоты. Отклонение этих параметров от номинальных значений приводит к ухудшению работы потребителей электроэнергии. Так, например, скачки напряжения сверх допустимых пределов и даже кратковременный перерыв подачи электроэнергии (0,01 с) приводят к сбою в работе электронного оборудования. Задачи поддержания требуемой стабильности величины напряжения и его частоты реализуются соответствующими автоматическими системами.

Колебания напряжения в ЭЭС допускается в пределах $\pm 10\%$, а частоты $\pm 0.2\%$ в течении 95% времени интервала в одну неделю и $\pm 0.4\%$ в течении 100% времени интервала в одну неделю.

Автоматизация начинается с применения автоматических устройств для управления отдельными объектами. Их можно разделить на два класса:

1 Класс:

Автоматы и автоматические системы, выполняющие одноразовые и многократные операции определённого рода:

- автоматическая сигнализация
- автоматическое включение синхронных машин на параллельную работу
- противоаварийная автоматика
- автоматическая частотная разгрузка
- автоматическое повторное включение
- автоматическое включение резерва
- автоматические системы диспетчерского управления

2 Класс:

Автоматические системы, которые в течении длительного времени изменяют или поддерживают постоянной какую-либо величину объекта управления, к ним относятся системы автоматического регулирования :

- напряжения генератора
- частоты вращения
- напряжения стабилизатора напряжения
- напряжения трансформатора

Автоматическое регулирование в ЭЭС используется в основном для регулирования напряжения и реактивной мощности, частоты и активной мощности. Основными задачами автоматического регулирования являются:

- обеспечение качества и заданных уровней напряжения в узлах ЭЭС и тем самым рационального распределения потоков реактивной мощности при передаче электроэнергии от источников к потребителям;

- обеспечение устойчивости и работы ЭЭС в нормальных и аварийных режимах.

Рассмотрим более подробно Автоматическое регулирование напряжения трансформатора

АРТН производит регулировку на три вида, это:

1 Стабилизированная регулировка.

2 Система программного регулирования, происходящие в ней изменения следуют по заранее обозначенному закону.

3 Следящая система, завязана на законе изменения задающего воздействия, его параметры изначально не известны и задаются по ходу работы.

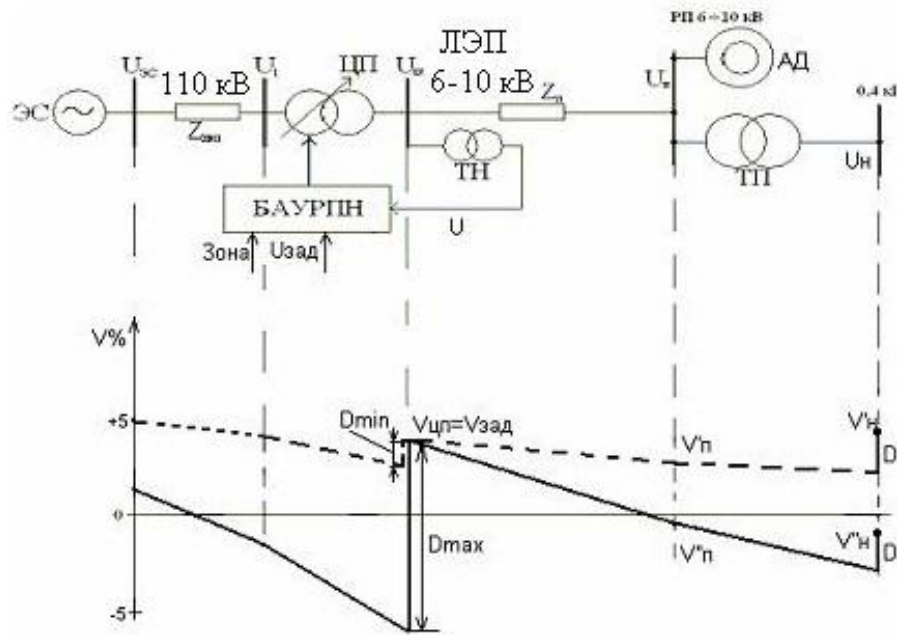


Рисунок 1 – Регулирование напряжения в стабилизированном режиме.

Насколько полно в системе будет скомпенсировано влияние посторонних возмущений, настолько точно будет воспроизводиться задающее воздействие.

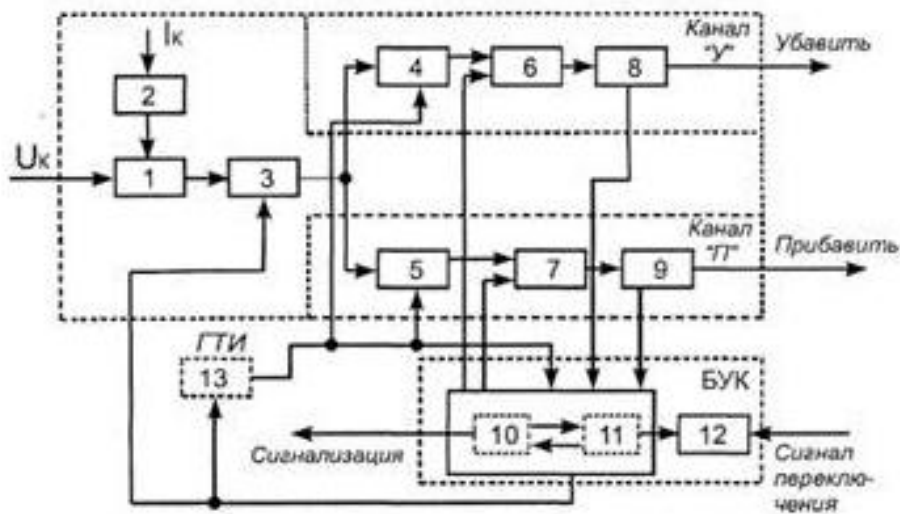


Рисунок 2 – Структурная схема АРТН.

Литература

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. «Теория систем автоматического регулирования.» Издание третье, исправленное. Москва, издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 19752. Рылов В.П. Разработка управленческого решения : учебное пособие. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 392 с.

УДК 620.93

**Технико-экономическое обоснование создания мини-ТЭЦ
на местных видах топлива**

Жуков К. А.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Мини-ТЭЦ (малая теплоэлектроцентраль) — теплосиловые установки, служащие для совместного производства электрической и тепловой энергии в агрегатах единичной мощностью до 25 МВт, независимо от вида оборудования. В настоящее время нашли широкое применение в зарубежной и отечественной теплоэнергетике следующие установки: противодавленческие паровые турбины, конденсационные паровые турбины с отбором пара, газотурбинные установки с водяной или паровой утилизацией тепловой энергии, газопоршневые, газодизельные и дизельные агрегаты с утилизацией тепловой энергии различных систем этих агрегатов.

Основным предназначением мини-ТЭЦ является выработка электрической и тепловой энергии (когенерация) из различных видов топлива. Так же мини-ТЭЦ может вырабатывать электрическую энергию, тепловую энергию и холод (тригенерация). Тригенерация является более выгодной по сравнению с когенерацией, поскольку даёт возможность эффективно использовать утилизированное тепло не только зимой для отопления, но и летом для кондиционирования помещений или для технологических нужд. Для этого используются абсорбционные бромистолитиевые холодильные установки. Такой подход позволяет использовать генерирующую установку круглый год, тем самым не снижая высокий КПД энергетической установки в летний период, когда потребность в вырабатываемом тепле снижается.

Виды используемого топлива на мини-ТЭЦ:

–газ: природный газ магистральный, природный газ сжиженный, попутный нефтяной газ и другие горючие газы;

–жидкое топливо: нефть, мазут, дизельное топливо, биодизель и другие горючие жидкости;

–твёрдое топливо: уголь, древесина, торф и прочие разновидности биотоплива.

Доля использования местных топливно-энергетических ресурсов (МТЭР), в том числе возобновляемых источников энергии, в энергетическом балансе экономики страны сравнительно невелика. Согласно данным Белстата, валовое потребление ТЭР за последние 12 лет колебалось в пределах 35—44 млн т. у.т. Их объем снизился более чем на 5%. За этот же период производство (добыча) МТЭР сократилось на 3,8%.

Концепция строительства мини-ТЭЦ в непосредственной близости к потребителю имеет ряд преимуществ (в сравнении с большими ТЭЦ):

–позволяет избежать затрат на строительство дорогостоящих и опасных высоковольтных линий электропередач;

–исключаются потери при передаче энергии;

–бесперебойное снабжение электроэнергией потребителя;

–электроснабжение качественной электроэнергией, соблюдение заданных значений напряжения и частоты;

–возможно, получение прибыли;

–замещения дорогостоящих импортируемых видов топлива более дешевыми местными видами топлива;

–возможность переработки отходов, возникающие в процессе производственного цикла местных предприятий.

Основное преимущество мини-ТЭЦ — близость к потребителям тепловой энергии. Снижаются или отпадают проблемы с теплосетями (трубопроводы, обеспечивающие подачу тепловой энергии от ТЭЦ к потребителям).

С экономической точки зрения основными преимуществами мини ТЭЦ являются, прежде всего:

–низкая стоимость вырабатываемой электроэнергии, тепла и соответственно, быстрый возврат инвестиций;

–мини-ТЭЦ можно достаточно быстро построить и запустить в эксплуатацию. Сроки строительства от 3 месяцев до одного-двух лет;

–мини-ТЭЦ имеют низкий расход топлива, и как следствие, быструю окупаемость, прежде всего из-за возможности получения двух видов энергии;

–длительный ресурс эксплуатации – жизненный цикл оборудования достигает 20-25 лет.

К недостаткам мини-ТЭЦ можно отнести:

–риск "автономности": срок окупаемости мини-ТЭЦ зависит от ее загрузки;

–правильная эксплуатация и своевременное техническое обслуживание;

Использование мини-ТЭЦ выгодно в отдаленных деревнях и редкозаселенных площадях, куда прокладывать трассу воздушной линии электропередач не выгодно, а проще поставить там источник питания на местном виде топлива.

Работа мини-ТЭЦ на местных видах топлива в Беларуси обходится на 20-30% дешевле, чем работа газовых энергетических установок, использующих импортируемый природный газ.

Литература

1. ТКП 460-2017 «Порядок расчета величины технологического расхода электрической энергии на ее передачу по электрическим сетям, учитываемой при финансовых расчетах за электроэнергию между энергоснабжающей организацией и потребителем (абонентом)».

УДК 620.09

Энергетические процессы, технологические линии, потребление ТЭР предприятия

Зайцев П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Энергетический баланс промышленного предприятия является наиболее важной характеристикой энергетического хозяйства предприятия. Он составляется с целью выявления всех резервов экономии энергоресурсов.

Энергобаланс – баланс добычи, переработки, транспортировки, преобразования, распределения и потребления всех видов энергетических ресурсов и энергии в производстве. Он является отражением закона сохранения энергии в условиях конкретного производства и состоит из приходной и расходной частей.

Приходная часть содержит количественный перечень энергии, поступающей посредством различных энергоносителей (ископаемое топливо и ядерное горючее, газ, пар, вода, воздух, электрическая энергия). **Расходная часть** определяет расход энергии всех видов во всевозможных ее проявлениях, потери при преобразовании энергии одного вида в другой при ее транспортировке, накопление энергии в специальных устройствах (например, гидроаккумулирующих установках).

Энергетический баланс показывает соответствие, с одной стороны, суммарной подведенной энергией и, с другой стороны, суммарной полезно используемой энергией и ее потерями. При составлении баланса рассматриваются все виды потребляемой на предприятии энергии: электроэнергия, газ, мазут, вода, пар и т. п.

Также энергетические балансы различаются по:

- по видам ресурсов (газ, уголь, моторное топливо),
- по стадиям энергетического потока (добыча, переработка, преобразование, транспортирование, хранение, использование),
- по энергетическим объектам (электростанции, котельные), отдельным предприятиям, цехам, участкам, энергоустановкам, агрегатам и т.д.,
- по назначению (силовые процессы, тепловые, электрохимические, освещение, кондиционирование, средства связи и управления и т.д.),
- по уровню использования (с выделением полезной энергии и потерь).

Технологическая (производственная) линия представляет собой комплекс дополняющего друг друга оборудования, для выполнения уже заложенной технологической идеи (измельчение, дробление, переработка, транспортирование материала, очистка газов либо приготовление смеси и пр.). Оборудование, действующее в линии согласованно, т.е. каждое из них в определенной последовательности отдает сырье на следующую операцию.

Рассмотрим технологическую линию приготовления пастеризованного молока: Технологический процесс производства пастеризованного молока состоит из следующих операций: приемки, очистки, нормализации, гомогенизации, пастеризации, охлаждения, фасования, упаковывания и хранения.

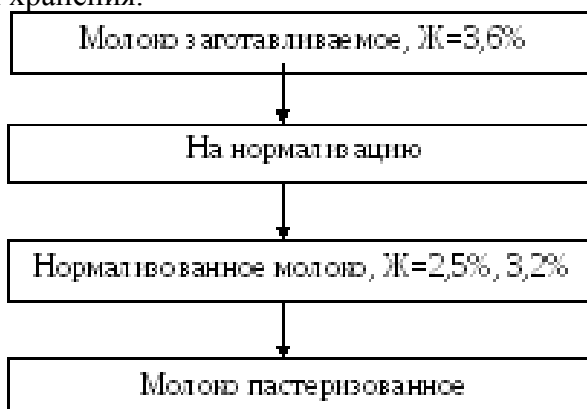


Рисунок 1 – Схема изготовления пастеризованного молока.

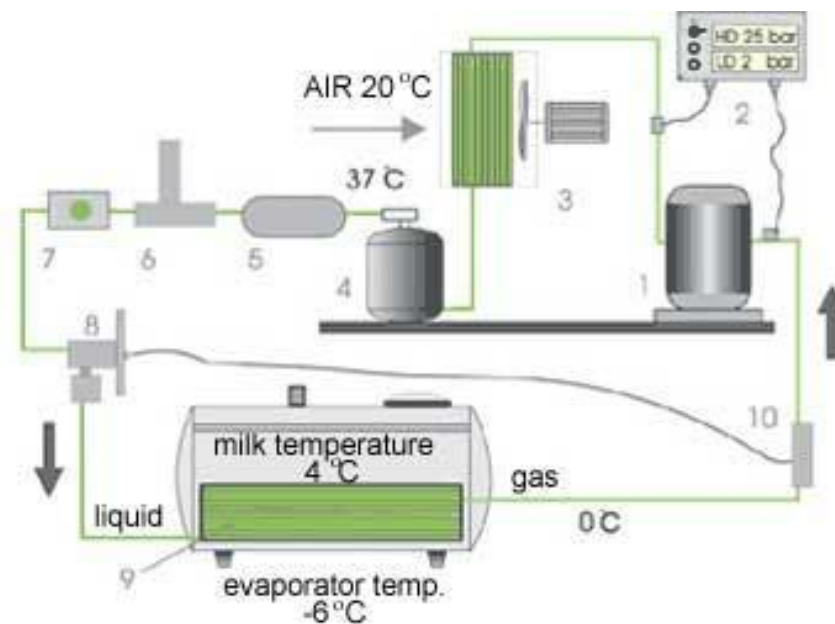


Рисунок 2 – Процесс изготовления пастеризованного молока

Таблица 1 – Название и назначение элементов участвующих в процессе изготовления пастеризованного молока

1. Компрессор	Газовый насос, создающий низкое давление в испарителе (низкая температура) и высокое давление в конденсаторе (высокая температура)
2. Прессостат	В основном используется для защиты конденсирующего узла установки. Если давление становится слишком высоким, прессостат останавливает компрессор. Также используется как защита от низкого давления, вызванного утечкой охлаждающего агента, и как выключатель для остановки компрессора в конце цикла закачки.
3. Конденсатор	Узел, в котором конденсируется охлаждающий агент. Теплота в газе выделяется в воздух, и газ превращается в жидкость.
4. Ресивер жидкости	Место хранения охлаждающего агента. Во время работы установки ресивер бывает практически пустым. Если агрегат останавливается и устанавливается система закачки, охлаждающий агент будет храниться в ресивере.
5. Фильтр/Сушитель	Фильтр используется для улавливания всех твердых частиц из жидкости. Сушитель используется для удаления влаги, которая присутствует в охлаждающем агенте в очень небольшом количестве.
6. Соленоидный клапан	В установках с системой закачки этот клапан перекрывает поступление жидкости в испаритель.
7. Смотровое окошко	Дает возможность проверить, достаточно ли количество охлаждающего агента находится в установке.
8. Термостатический расширительный клапан	Подает то же количество охлаждающего агента в жидкой форме обратно в испаритель, а компрессор забирает его в газообразной форме.
9. Испаритель	Узел, в котором охлаждающий агент испаряется и, соответственно, охлаждает молоко.
10. Термостат	Контролирует температуру охлажденного молока, включая или выключая компрессор в зависимости от температуры

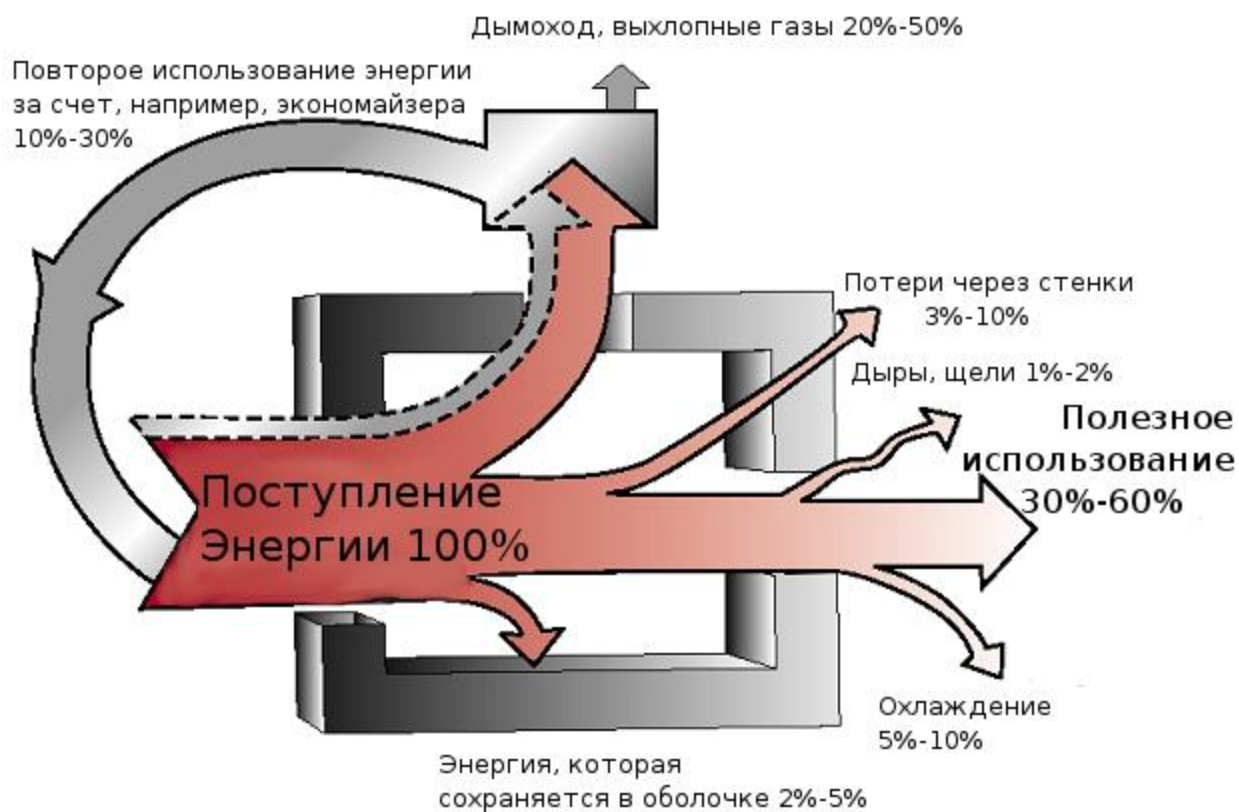


Рисунок 3 – Схема ТЭР предприятия

На технологический процесс расходуется определённое количество топлива, электрической и тепловой энергии. Кроме того, сами технологические процессы протекают с выделением различных энергетических ресурсов – теплоносителей, горючих продуктов, газов и жидкостей с избыточным давлением. Количество образующихся энергетических ресурсов достаточно велико. Поэтому полезное их использование – одно из важнейших направлений экономии энергетических ресурсов. Утилизация этих ресурсов связана с определёнными затратами, в том числе и капитальными, поэтому возникает необходимость экономической оценки целесообразности такой утилизации.

Под энергоресурсами понимают энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся при технологических процессах, в агрегатах и установках, который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использоваться для энергосбережения других агрегатов (процессов). Термин “энергетический потенциал” здесь следует понимать в широком смысле, он означает наличие определённого запаса энергии – химически связанного тепла, физического тепла, потенциальной энергии избыточного давления и напора, кинетической энергии и др.

Роль топливно - энергетических ресурсов состоит в том,

1. Что они необходимы для производственного цикла и выпуска продукции предприятия.
2. Энергоресурсы напрямую влияют на себестоимость и конкурентоспособность выпускаемой и реализованной продукции.

Что касается ТЭР в целом, то они разделяются на потенциальные и реальные.

Совокупный объем запасов всех видов топлива и энергии, имеющийся в распоряжении того или иного экономического предприятия в целом - это потенциальные ТЭР. А реальные ТЭР - это объем всех видов энергии, которые непосредственно используются в экономической деятельности предприятия.

Помимо этой классификации энергоресурсы делят на первичные и вторичные. Первичные энергоресурсы существуют в исходной форме в природе и не нуждаются в преобразовании для их дальнейшего использования. Их классифицируют по нескольким признакам. Например, по способу использования различают топливные и нетопливные, по признаку сохранения энергии - восполняемые и невосполняемые.

В настоящее время большую часть энергии получают, используя невосполняемые энергоресурсы (газ, нефть, водород и пр.). Использование же восполняемых ресурсов требует больших экономических затрат в связи с тем, что они имеют низкий энергетический потенциал и нуждаются в преобразовании.

Основным параметром, характеризующим ТЭР, является число лет, в течение которых данного ресурса будет достаточно для производства энергии нужного качества и количества.

Таким образом энергетический баланс промышленного предприятия - это важнейшая характеристика энергетического хозяйства предприятия, которая составляется для с целью выявления всех резервов экономии ТЭР. ТЭР играют основную роль в производстве продукции предприятия. Они являются источником энергии предприятия. Ключевым элементом производства на предприятии являются технологические линии, которые состоят из оборудования, которое предназначено для обработки, транспортировки, очистки и др., продуктов производства.

Литература

1. Методическое пособие “Правила проведения энергетических обследований организаций”:М, 1996 г.
2. Закиров. Д. Г. Энергосбережение. Учебное пособие. –Пермь. Издательство “Книга”, 2000.

УДК 621.3

Источники нарушения качества электроэнергии

Иселёнок Е.Б.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Под совместимостью объектов различных видов деятельности или процессов понимают комфортное существование каждого из них при отсутствии недопустимого влияния на другие объекты. В системах электроснабжения электрооборудование, приборы, аппараты и другие устройства находятся в общей для них электромагнитной среде, причем любое электромагнитное устройство является источником электромагнитных помех, и в то же время на него воздействуют помехи, создаваемые другими источниками.

В общем случае электромагнитная помеха характеризуется как воздействие, искажающее основной сигнал и нежелательно воздействующее на него. Основным сигналом это полезный сигнал, определяемый принципом действия электроприемника, его системы управления и защиты. Электромагнитные помехи можно разделить на две группы: естественные и искусственные. Естественные помехи создаются грозовыми разрядами и геомагнитными явлениями. Искусственные помехи обусловлены работой электрооборудования, воздушных и кабельных линий электропередачи, силовых трансформаторов и другой аппаратуры управления и контроля.

Распространение электромагнитных помех возможно либо в пространстве (помехи излучения), либо в проводящих средах (кондуктивные помехи). Кондуктивные помехи распространяются по проводам, кабелям, шинопроводам, а также в электролите и других аналогичных средах. Они приводят к дополнительному нагреву электрооборудования или его элементов под воздействием повышенного напряжения, токов высших гармоник и т.д. Дополнительный нагрев приводит к разрушению изоляции, разрушению конструктивных элементов электрооборудования.

Электрическая сеть и система электроснабжения является электромагнитной средой, в которой имеет место генерирование, распространение и воздействие электромагнитных помех на электроприемники. Поэтому возникает задача их электромагнитной совместимости, под которой понимается способность электрооборудование, аппаратов и приборов нормально функционировать в электромагнитной среде, не создавая недопустимых помех для другого оборудования, функционирующего в той же среде.

Значение электромагнитных помех устанавливают показатели качества электроэнергии. В Беларуси действует ГОСТ 32114-2013, в котором установлены стандарты качества электроэнергии. Настоящий стандарт устанавливает показатели и нормы качества электроэнергии в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения.

Качество электроэнергии (КЭ)-степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированным показателям. КЭ проявляется через работу электроприемников. Поэтому если электроприемник работает неудовлетворительно, и КЭ соответствует установленным требованиям, то причину ищут в качестве изготовления электрооборудования. Если КЭ не соответствуют требованиям, то претензии предъявляются поставщику электроэнергии. КЭ на месте производства не гарантирует её качества в точке присоединения потребителя, т.к. характер самого производственного процесса существенно влияет на параметры КЭ.

Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети подразделяют на две категории — продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события.

Продолжительные изменения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены, в основном, изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок. Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы

напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. Данные изменения напряжения, как правило, вызываются непредсказуемыми событиями (например, повреждениями оборудования) или внешними воздействиями (например, погодными условиями или действиями стороны, не являющейся пользователем электрической сети).

Продолжительные изменения характеристик напряжения:

1. Отклонение частоты

Показателем КЭ является отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения:

$$\Delta f = f_m - f_{\text{ном}},$$

f_m -значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с.

$f_{\text{ном}}$ -номинальное значение частоты напряжения электропитания, Гц. Номинальное значение частоты в электрической сети равно 50 Гц.

- Для указанного показателя КЭ установлены следующие нормы: отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95 % времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100 % времени интервала в одну неделю;

- Отклонение частоты в изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками не должно превышать ± 1 Гц в течение 95 % времени интервала в одну неделю и ± 5 Гц в течение 100 % времени интервала в одну неделю

2. Медленные изменения напряжения:

Медленные изменения напряжения электропитания (продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения напряжения от номинального/согласованного значения, %:

$$\delta U_{(-)} = \frac{U_0 - U_{m(-)}}{U_0} \cdot 100, \%$$

$$\delta U_{(+)} = \frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \cdot 100, \%$$

где $U_{m(-)}$ и $U_{m(+)}$ -значения напряжения электропитания, меньшие и большие соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин,

U_0 – напряжение, равное стандартному номинальному напряжению $U_{\text{ном}}$ или согласованному напряжению U_c .

Для указанных выше показателей КЭ установлены следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10% номинального или согласованного значения напряжения в течение 100% времени интервала в одну неделю.

3. Колебания напряжения и фликер:

Колебания напряжения электропитания (продолжительностью 1 мин.), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера (ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени).

Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера P_{lt} , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии.

Одинокные быстрые изменения напряжения вызываются в основном резким изменением нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного значения к другому.

Обычно одинокные быстрые изменения напряжения не превышают 5% в электрических сетях низкого напряжения и 4% - в электрических сетях среднего напряжения, но иногда изменения напряжения с малой продолжительностью до 10% $U_{ном}$ и до 6% U_c соответственно могут происходить несколько раз в день.

4. Несинусоидальность напряжения:

а) Гармонические составляющие напряжения

Гармонические составляющие напряжения обусловлены, как правило, нелинейными нагрузками пользователей электрических сетей, подключаемыми к электрическим сетям различного напряжения. Гармонические токи, протекающие в электрических сетях, создают падения напряжений на полных сопротивлениях электрических сетей.

Показателями гармонических составляющих являются:

- Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U(n)}$:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100, \%$$

где $U_{(n)}$ - амплитуда n-ой гармоники, В,

$U_{(1)}$ -амплитуда 1-ой гармоники,В.

- Значение суммарного коэффициентов гармонических составляющих напряжения

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100, \%$$

б) Интергармонические составляющие напряжения

Интергармонические составляющие-среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, частота которого не является кратной основной частоте напряжения. Уровень интергармонических составляющих напряжения электропитания увеличивается в связи с применением в электроустановках частотных преобразователей и другого управляющего оборудования.

5. Несимметрия напряжений в трехфазных системах:

Несимметрия трехфазной системы напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети.

Показателями КЭ являются:

- Коэффициент несимметрии по обратной последовательности K_{2U} :

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100\%;$$

- Коэффициент несимметрии по нулевой последовательности K_{0U} :

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100. \%$$

где $U_{1(1)}$, $U_{2(1)}$, $U_{0(1)}$ -действующие значения напряжения основной частоты прямой, обратной и нулевой последовательностей, В.

6. Напряжения сигналов, передаваемых по электрическим сетям:

Допустимые уровни напряжения сигналов, передаваемых по электрическим сетям, и методы оценки соответствия требованиям находятся на рассмотрении.

Случайные события:

Прерывания напряжения относят к создаваемым преднамеренно, если пользователь электрической сети информирован о предстоящем прерывании напряжения, и к случайным, вызываемым длительными или кратковременными неисправностями, обусловленными, в основном, внешними воздействиями, отказами оборудования или влиянием электромагнитных помех.

1. Провалы напряжения и перенапряжения:

• К провалам напряжения относится внезапное значительное снижения напряжения (более чем на 10 % от $U_{ном}$). Они обычно происходят из-за неисправностей в электрических сетях или в электроустановках потребителей, а также при подключении мощной нагрузки. Провал напряжения, как правило, связан с возникновением и окончанием короткого замыкания или иного резкого возрастания тока в системе или электроустановке, подключенной к электрической сети.

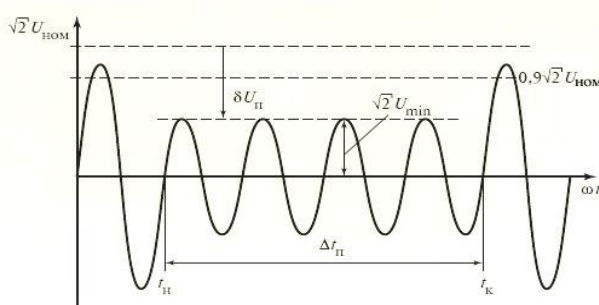


Рисунок 1 – Провал напряжения глубиной δU_n

Глубина провала вычисляется по следующей формуле:

$$\delta U_n = \frac{U_{ном} - U_{min}}{U_{ном}} \cdot 100, \%$$

где $U_{ном}$ -номинальное напряжение, В.

• Перенапряжения, как правило, вызываются переключениями и отключениями нагрузки.

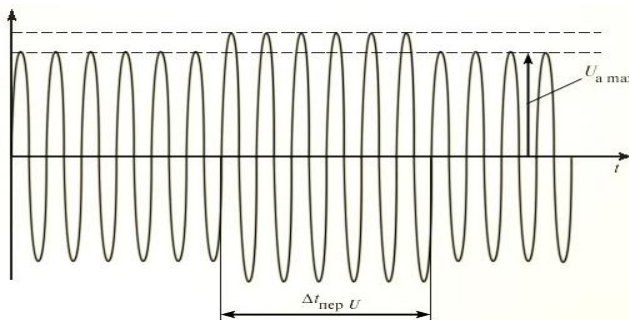


Рисунок 2 – Временное перенапряжение

Коэффициент временного перенапряжения $K_{пер U}$:

$$K_{пер U} = \frac{U_{amax}}{\sqrt{2} U_{ном}}$$

где U_{amax} -амплитудное значение напряжения основной частоты, В.

2. Импульсные напряжения:

Импульсные напряжения в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети вызываются, в основном, молниевыми разрядами или процессами коммутации в электрической сети или электроустановке потребителя электрической энергии. Импульсные напряжения, вызванные молниевыми разрядами, в основном, имеют

большие амплитуды, но меньшие значения энергии, чем импульсные напряжения, вызванные коммутационными процессами, характеризующимися, как правило, большей длительностью.

Для обеспечения КЭ должны быть обеспечены условия, что энергоснабжающая организация располагает резервом активной мощности, средствами регулирования напряжения, содержит оборудование электрических сетей в соответствии с установленными требованиями, систематически проводит контроль КЭ.

Потребитель должен применять исправное оборудование и приборы, оборудование с нормированным уровнем вносимых им помех или использовать специальные средства, позволяющие ограничивать вносимые помехи, и таким образом ограничивать свое влияние на КЭ в точке присоединения.

Литература

1. Жежеленко, И.В. Электромагнитная совместимость в электрических сетях / И.В. Жежеленко, М.А. Короткевич. - Минск: «Вышэйшая школа», 2012. - 5 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Москва: Стандартинформ, 2014. - 3с.

УДК 621. 33

Перевод городского транспорта на электротягу

Княжевич Н. А.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Электротранспорт – вид транспорта, использующий в качестве источника энергии электричество, а в приводе используется тяговый электродвигатель.

Основные виды городского электротранспорта: метро, трамвай, троллейбус, электробус, электропоезда железной дороги (относятся к междугородному транспорту).

В Минске установлены тяговые подстанции, которые преобразуют поступающую из энергосистемы электроэнергию переменного тока в электроэнергию постоянного тока, напряжением 600В. Эту же электроэнергию используют трамваи и троллейбусы. Для метро так же установлены тяговые подстанции, которые выдают электроэнергию постоянного тока напряжением 825В.

Перевод городского транспорта на электротягу целесообразно по трем причинам:

1) Объясняется интересами энергосистемы. При введении АЭС с установленной мощностью 2.4 ГВт в белорусскую энергосистему будут возникать проблемы обеспечения покрытия переменной части суточного графика электрической нагрузки и особенно ночного спада нагрузки. Предполагая, что аккумуляторы электротранспорта, отчасти, будут заряжаться в ночное время суток, можно достичь повышения электрической нагрузки и снизить дисбаланс между спросом и потреблением электрической энергии.

2) Объясняется экономическими соображениями. При переводе транспорта с жидкого топлива на электроэнергию, обеспечивается заметная экономия.

3) Экологическая. Автотранспорт выбрасывает огромное количество загрязняющих веществ. Большая насыщенность городов автомобильным транспортом вызывает резкое повышение уровня загрязнения окружающей среды отработавшими газами ДВС.

Основные недостатки электромобилей:

1. Затрудненный процесс утилизации отработавших аккумуляторных батарей.
2. Ограниченность запаса хода.
3. Развитие инфраструктуры установки пунктов зарядки.
4. Стоимость электротранспорта.
5. Особенности эксплуатации в зимнее время года.
6. Необходимость некоторого количества времени для зарядки аккумулятора.

Мероприятия по улучшению эффективности использования электротранспорта:

1. Замена автобусов на электробусы.
2. Перевод межрегиональных маршрутных такси на электротягу.
3. Внедрение аккумуляторных батарей в троллейбусы.
4. Заряд аккумуляторных батарей в ночное время суток.

Литература

1. Падалко Л., Дмитриев Г. Выбор оптимальной структуры генерирующих мощностей в Белорусской энергосистеме // Энергетика и ТЭК. - 2012. - № 9.
2. Иванов Ф. Ф. Интеллектуальные транспортные системы: Монография / Под науч. ред. Г. Г. Маньшина; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики. - Минск: Беларуская навука, 2014. - 215 с.

УДК 621.3

Энергетика и ЭЭС Японии

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Производственный сектор Японии широко известен своими масштабами, высоким уровнем инновационных технологий и качеством исполнения. Страна восходящего солнца считается четвертым по величине экспортером в мире после Китая, США и Германии. Основными экспортируемыми товарами являются транспорт, электроника, двигатели и др.

Однако существует ещё один примечательный факт: Япония практически полностью зависит от импорта энергоносителей, ведь отечественное производство крайне незначительно. Так в 2015 г. оно составило около 0,2 млн. т нефти (с 0,7 млн. т в 2005 г.).

Япония является четвертым крупнейшим в мире импортером нефти после США, Китая и Индии. В 2015 г. объем импорта составил 162 млн. т, основные поставщики: Саудовская Аравия, Катар, Россия. Также Япония — один из крупнейших в мире импортеров сжиженного природного газа. В 2015 г. Япония импортировала 6,5 млн. т сжиженного газа, что на 38,8% больше, чем десять лет назад. Импорт осуществлялся преимущественно из Катара (52,4%) и Ирана (41,6%). Страна восходящего солнца входит в лидирующую тройку по величине закупок угля. Импорт угля в 2015 г. составил 192 млн. т. Основные поставки осуществляются из Австралии (64,9% общего объема), Индонезии (18,6%), России (7,4%)[].

В стране существует две зоны с разной промышленной частотой электрического тока. Исторически так сложилось, что для западной части, а именно для энергосистемы Осаки, в 1896 году был приобретён генератор американской компании General Electric с номинальной частотой 60 Гц. А в восточной части для энергосистемы Токио в 1895 году приобрели генератор немецкой компании AEG с номинальной частотой 50 Гц. Информацию о совместимости указывали прямо на бытовой технике. Писали конкретно на какую частоту переменного тока она рассчитана. Позже эту проблему удалось исправить, технику стали производить на два уровня частоты. Проводить унификацию по объединению двух энергосистем на синхронную работу оказалось слишком дорого, поэтому сейчас эти системы соединены через конвекторы частоты и через линии постоянного тока[1].

Пожалуй, не вызывает удивления то, что в последние годы энергетическая политика Японии преимущественно связана с проблемами преодоления последствий Великого восточнояпонского землетрясения 2011 г. и ядерной аварии на АЭС «Фукусима-1». На 15-й Конференции сторон конвенции ООН (COP-15) по изменению климата в 2009 г. Япония объявила о своем амбициозном намерении сократить на 25% количество выбросов парниковых газов за период 1990–2020 гг. Залог успеха этой программы во многом заключался в планах по увеличению доли атомной энергии в электроснабжении (от 30 до 50%). В 2011 г. по известным причинам страна аннулировала свои обязательства по расширению работы атомных электростанций. Вместо этого к 2013 г. вся мощность АЭС Японии была постепенно сведена к нулю.

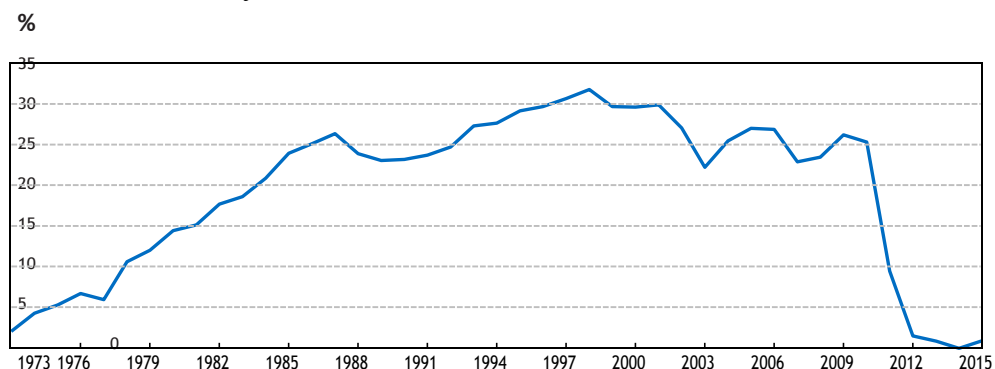


Рисунок 1 – Доля ядерной энергетики в Японии

Отсутствие ядерной энергии спровоцировало острую нехватку (около 30%) электроснабжения, которое пришлось компенсировать в основном за счет ископаемого топлива, прежде всего сжиженного природного газа, угля и нефти. Япония получила неожиданный удар, почувствовав резко возросшую зависимость от импорта (94% по сравнению с 80% в 2010 г.). Цены на электроэнергию увеличились на 25% для частных потребителей и почти на 40% – для промышленных. Ежегодные выбросы углекислого газа от производства электроэнергии возросли более чем на 110 млн. т – на одну пятую больше, чем за период с 2010 по 2013 г.

На 2015 год структура генерации имела следующий вид. Преимущественно выработка электроэнергии осуществлялась на тепловых электростанциях (ТЭС) и составляет примерно 87,2%. Атомные электростанции (АЭС) и гидроэлектростанции (ГЭС) вырабатывали 1,5% и 8% всей электроэнергии Японии, соответственно.

Для сравнения в 2010 году показатели были следующие: (ТЭС) и составляет примерно 63,5%. Атомные электростанции (АЭС) – 26,9% и гидроэлектростанции (ГЭС) – вырабатывают 8%[2].

Таблица 1 – Производство электроэнергии по источникам в ТВт

Год	Общий объём	Уголь	Природный газ	Нефть	Ядерный источник	Вода	Другие
2005	1071	294 (27.45 %)	244 (22.78 %)	133 (12.42 %)	282 (26.33 %)	94 (8.78 %)	24 (2.24 %)
2010	1041	279 (26.80 %)	285 (27.38 %)	92 (8.84 %)	280 (26.90 %)	82 (7.88 %)	23 (2.21 %)
2015	988.92	247.23 (25.0%)	230.42 (23.3%)	459.85 (38.9%)	5.93 (1.5%)	14.83 (8%)	30.66 (3.1%)

Большая часть генерирующей мощности в Японии вырабатывается частными компаниями. Десять частных компаний образовались после Второй мировой войны по региональному принципу. Эти десять компаний являются практически частными региональными монополиями, объединенными в Federation of Electric Power Companies (FEPC), которые производят 86% электроэнергии[3].

Каждая из 10 компаний в пределах обслуживаемой территории обеспечивает производство, транспортировку, распределение и сбыт электроэнергии. Проектирование станций, узлов и других сегментов в каждом случае индивидуальное, типовые проекты не используются. Каждая компания несет ответственность и выступает гарантом надежного энергоснабжения объектов, расположенных на ее территории.

Достигнутый уровень развития технологий в традиционной электроэнергетике ставит Японию на одно из ведущих мест в мире. Потери, при передаче электричества в Японии, считаются одними из самых низких среди промышленно развитых стран. По данным Японской федерации производителей электроэнергии (Federation of Electric Power Companies of Japan, FEPC), коэффициент потерь в электросетях в 2000-х годах установился на уровне 5,1–5,2%. Надежность электроснабжения находится на высоком уровне. С 2000 года в среднем для каждого абонента электроснабжение прерывается не больше, чем на 10 минут в год. Права и обязанности всех участников рынка электроэнергии закреплены законодательством. Крупнейшей генерирующей компанией Японии является Tokyo Electric, на долю которой приходится около трети выработки электроэнергии в стране[4].

Японское правительство в 2000-ых проводило курс на либерализацию электроэнергетической сферы, выражая намерения практически не вмешиваться в ценообразование на рынке электроэнергии. В 2008 году было принято решение приостановить дальнейшую либерализацию рынка электроэнергии Японии на неопределенный срок. Граждане так и не получили возможности права выбора поставщика электроэнергии – против дружно выступило энергетическое лобби, заблокировавшее эту поправку в парламенте. Впрочем, и для компаний возможность выбора оказалась довольно условной – только 2% из их общего числа сменили поставщиков. Дело в том, что

действующие монополисты являются таковыми не только в производстве, но также в передаче и распределении электричества. А значит, мелким независимым игрокам приходится платить высокие сборы за доставку электричества. В результате они не могут предложить более гибкие по сравнению с конкурентами тарифы.

Основой ценообразования в Японии является взаимодействие спроса и предложения, но цены на электроэнергию в Японии являются одними из наивысших в мире. Высокие тарифы на электроэнергию в Японии, связаны с большими затратами на покупку качественного импортного топлива за неимением собственного. Средняя стоимость одного кВт/ч примерно (0,32 доллара). В Беларуси 0,08 доллара, России – 0,07.

Япония имеет давние традиции эффективной политики и мер, нацеленных на повышение энергоэффективности. Основные задачи энергетической политики заключаются в обеспечении энергетической безопасности, экономической эффективности, охране окружающей среды. В 1978 году правительство этой страны создало специальную структуру – «Центр энергосбережения Японии». А уже через год в стране был принят Закон об энергосбережении. На данный момент действуют три закона: «О рациональном использовании энергии», «Об энергетической политике» и «О содействии эффективному потреблению энергии». Законодательство Японии требует от компаний, представленных на рынке, направлять правительству ежегодный отчет о потреблении электроэнергии. Оно также устанавливает стандарты энергоэффективности для жилых домов и коммерческих зданий. Наконец, законом предусмотрен ряд программ, которые регулируют показатели энергоэффективности бытовой техники, оборудования, транспортных средств и начиная с 2013 г. строительных материалов. Действующая программа, устанавливает расчетные величины энергоэффективности станков, оборудования, транспортных средств и т. п. Компании (производители и импортеры) за определенный период – от трех до десяти лет в зависимости от типа оборудования – должны добиться установленных правительством показателей. Это стимулирует конкуренцию и внедрение инноваций без увеличения потребительских цен. Программа охватывает сектор, на который приходится около 70% потребления энергии. По данным за март 2015 г., она включает в себя 31 категорию товаров: легковые автомобили, грузовые автомобили, кондиционеры, холодильники, морозильные камеры, кухонные плиты, микроволновые печи, осветительное оборудование и т. д.

Правительство активно поощряет внедрение систем управления энергией дома (так называемых систем «умный дом») и автоматизацию зданий. Подобные системы предоставляют в режиме реального времени информацию об использовании электроэнергии и ее стоимости.

В Стратегическом плане по развитию энергетики 2014 г. правительство Японии поставило задачу добиться нулевого энергопотребления в новых общественных зданиях к 2020 г. и нулевого расхода энергии в среднем для всех новых зданий в стране к 2030 г. Для исполнения намеченного плана правительство Японии начиная с 2012 г. предоставляет целевые субсидии для установки как в новых, так и в уже существующих зданиях энергоэффективных систем и (или) оборудования с высокими показателями производительности. Субсидии также выделяются на производство изоляционных и энергосберегающих материалов (оборудования), а также на разработку возобновляемых источников энергии, таких как, например, солнечные фотоэлектрические батареи (PV). Общий объем бюджетных расходов на поддержку энергетических программ составил в 2015 г. 15,7 млрд. йен.

Равно как и в других развитых государствах, в Японии существует ряд ведомств и институтов, отвечающих за разработку, внедрение, поддержание и развитие политики (и мер по ее обеспечению) в области энергетики.

На Министерство экономики, торговли и промышленности (METI – Ministry of Economy, Trade and Industry) возложена ответственность за энергетическую политику в Японии. В рамках министерства этим занимается Агентство по природным ресурсам и энергетике (ANRE – Agency for Natural Resources and Energy). В его задачи входит

разработка комплексной энергетической политики для обеспечения стратегической энергетической безопасности, реализации эффективного энергообеспечения и продвижения стратегий, способствующих сохранению экологической среды. Кроме того, министерство также ответственно за мероприятия, способствующие развитию экономики и промышленности, в частности за усиление активности частного сектора и налаживание экономических связей с другими странами.

Однако перечень государственных ведомств, имеющих отношение к энергетическому сектору, на этом не заканчивается. Министерство окружающей среды изучает вопросы изменения климата и последствий загрязнения воздуха; Министерство образования, культуры, спорта, науки и технологии осуществляет работу в определенных областях энергетических исследований и развития; Министерство земельных ресурсов, инфраструктуры, транспорта и туризма занимается вопросами эффективности энергии; в компетенции Министерства иностранных дел находятся дипломатические аспекты энергетической политики страны. Под руководством министра экономики, торговли и промышленности работает созданная в сентябре 2015 г. Комиссия по надзору за рынком электроэнергии (EMSC – Electricity Market Surveillance Commission), которая контролирует рынок электроэнергии и следит за соблюдением нормативных правил. Японская комиссия по добросовестной конкуренции отвечает за мониторинг конкурентов во всех секторах экономики. Последнее время в связи с радикальными реформами и произошедшими вследствие этого изменениями особенно пристальное внимание со стороны комиссии вызвали области, связанные с электроэнергетикой и газовой промышленностью.

И наконец, необходимо упомянуть о не так давно созданной (в сентябре 2012 г.) очень важной организации – Агентстве по ядерному регулированию. В задачи этого независимого органа по защите населения и окружающей среды входит осуществление серьезного всестороннего контроля над сферой ядерной энергетики.

Энергетика одна из главнейших сфер в жизнеобеспечении современного человека. Каждое государство уделяет этой области огромное значение, а Япония в особенности. Как следует из вышесказанного на современном этапе развития страны – проблематика энергетической сферы в целом и электроэнергетической в частности носит особый характер. Достаточно проанализировать институты и ведомства, чтобы понять масштаб организации и контроля в этой области. Каждое ведомство и институт в Японии каким-либо образом задействовано в энергетической сфере. Есть министерств, которые, казалось бы, не имеют никакого отношения к этой сфере, однако в японской модели и у них есть перечень задач, которые они выполняют в рамках энергетического комплекса страны. Всё это говорит о важности анализа и изучения ЭЭС Японии.

Литература

1. Gordenker Alice, «Japan's incompatible power grids», Japan Times, 19 July 2011, p. 9.
2. OECD/IEA (2016), Energy Policies of IEA Countries: Japan, 2016 Review. International Energy Agency. – www.iea.org
3. Электроэнергетика Японии [Электронный ресурс] / ФГБУ "ЦДУ ТЭК". 2002-2015. URL: <http://www.cdu.ru/articles/detail.php?ID=298849>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. Рус. (дата обращения: 24.05.2018).
4. Максаковский В. И. Географическая картина мира: уч. пособие для вузов. Кн. II: Региональная характеристика мира. – М., 2009. – 480 с.

УДК 621.3

Системы автоматизированного управления в ЭЭС

Кулыгин Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Данный вопрос рассмотрим на примере АСУ ТП подстанций.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) подстанции - система, включающая как программно-технический комплекс (ПТК), решающий различные задачи сбора, обработки, анализа, визуализации, хранения и передачи технологической информации и автоматизированного управления оборудованием трансформаторной подстанции, так и соответствующие действия персонала по контролю и оперативному управлению технологическими процессами подстанции.

Функции АСУ ТП:

1) Оперативное управление — сбор и первичная обработка дискретной и аналоговой информации, формирование, обновление, корректировка базы данных, регистрация аварийных ситуаций и переходных процессов, фиксация факта и времени выдачи управляющих команд, учет электроэнергии, отпущенной потребителям, переданной соседним энергосистемам или полученной от них, отображение и документирование информации для оперативного персонала, контроль текущих значений параметров режима, определение длительности допустимых перегрузок трансформаторов и другого оборудования, контроль продолжительности работы оборудования в утяжеленных условиях (при перегрузках), контроль качества напряжения, контроль работы трансформаторов и другого оборудования, регистрация состояния оборудования, определение ресурса трансформаторов (по изоляции и по электродинамическим воздействиям) и коммутационного оборудования.

2) Автоматическое управление — управление напряжением и реактивной мощностью, управление составом работающих трансформаторов (оптимизация числа работающих трансформаторов по критерию минимума потерь активной мощности), управление нагрузкой в аварийных режимах, адаптивное АПВ и АВР.

3) Релейная защита — релейная защита всех элементов подстанции, диагностирование и проверка релейной защиты и автоматики, адаптация релейной защиты, анализ действия релейной защиты по сигнализации, резервирование отказа выключателей.

Преимущества АСУ ТП:

- повышение надежности всех функций управления благодаря автоматическому диагностированию системы и расширению возможности использования всего объема исходной информации,
- улучшение контроля за состоянием оборудования подстанции,
- сокращение избыточности цепей и информации, необходимой для обеспечения определенного уровня надежности,
- повышение возможностей достоверизации и корректировка исходной информации благодаря наличию достаточно большого объема избыточной информации,
- увеличение объемов информации, что позволяет системе управления формировать более обоснованные решения, -
- возможность реализации адаптивных систем релейной защиты и управления,
- снижение суммарных затрат на комплекс технических средств управления,
- возможность применения новых прогрессивных технических средств (датчиков высокой точности, волоконно-оптических систем и др.).

Экономическое обоснование использования АСУ ТП:

Расходы на заработную плату работникам до внедрения автоматизированной системы:

$$\alpha_t m c \prod_{k=1}^3 a_k,$$

m – количество персонала, c – средняя ЗП одного человека, a_k – ряд коэффициентов учитывающих потерю рабочего времени, отставания роста ЗП и т.д.

После внедрения автоматизированной техники стоимостью K приведенные затраты будут равны:

$$\alpha_t m' c \prod_{k=1}^3 a'_k + K.$$

Следовательно, внедрение АСУ ТП оправдано если:

$$\frac{K}{m c \prod_{k=1}^3 a_k} < \alpha_t \left(1 - \frac{m' a'_2}{m a_2} \right),$$

m' – количество персонала при внедрении АСУ, a'_2 – коэффициент, отражающий рост производительности.

Средства АСУ ТП требуют дополнительного расхода топлива и электроэнергии, а также технического обслуживания и ремонта:

$$\frac{K}{\alpha_t m c \prod_{k=1}^3 a_k} \leq h \left(1 - \frac{m' a'_2}{m a_2} \right),$$

При повышении уровня производительности в 1.5-5 раз, стоимость манипуляторов должна составлять 0.75-2.67 годового фонда ЗП персонала.

Литература

1. Ю. Н. Федоров Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП – Москва: “Инфа-инженерия” 2014г.

УДК 620.09

Управление нагрузкой ЭЭС с помощью электродотельных

Мячин А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Электродотельные применяются для отопления и горячего водоснабжения объектов как жилого, так и промышленного назначения. Широкий диапазон мощностей позволяет отапливать помещения площадью до 30000 м².

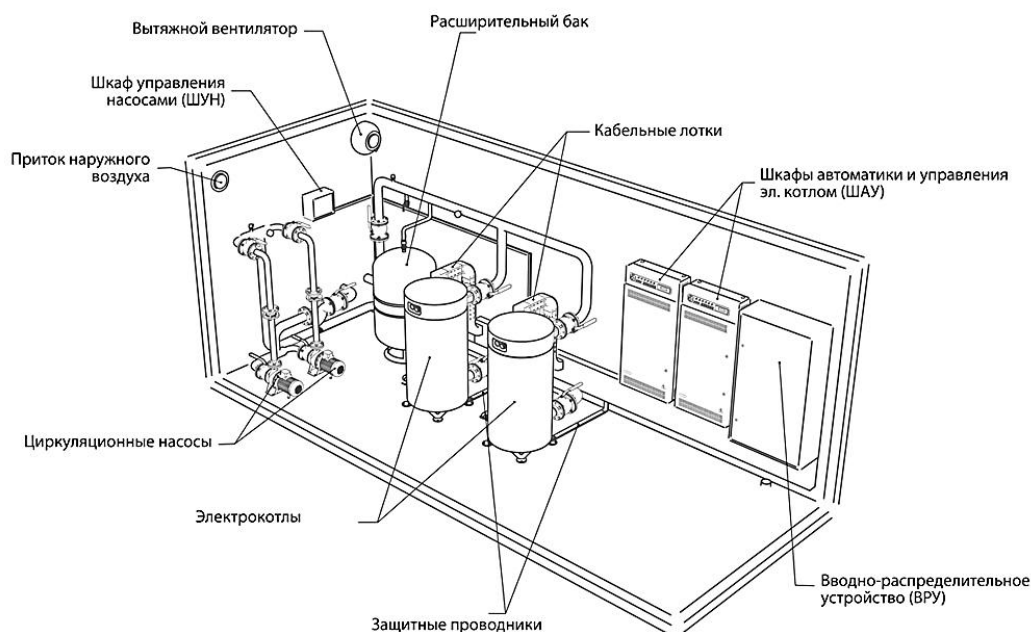


Рисунок 1 – Принципиальная схема электродотельной.

Электродотельные можно разделить на три группы по рабочему напряжению котлов:

- котельные с котлами на 220 В;
- котельные с котлами на 380 В;
- котельные с котлами на 6,10 кВ.

Котельные, подключаемые к сетям 220 В обычно используют бытовые котлы. Недостатком данного типа котельных является относительно высокая стоимость топлива и сетей для подачи электроэнергии на котельную. Такое решение подходит для котельных малой мощности – до 6 кВт.

Котельные с котлами, работающими на напряжении 380 В можно отнести к разряду котельных средней мощности (обычно до 2000 кВт). Их преимуществом является полная автономность и экологическая чистота. Из минусов можно отметить высокую стоимость энергоносителя и сетей для подачи электроэнергии на котельную.

Высоковольтные электродотельные работают с котлами на напряжении в 6 кВ и выше. Это котельные высокой мощности (до 150 МВт), которые целесообразно строить вблизи источников генерации электроэнергии в больших объемах и невысокой стоимости (ГЭС, АЭС и т.д.). Преимуществом таких котельных является полная автономность, относительно низкая стоимость энергоносителя, экологическая чистота. Недостаток – высокое напряжение и, как следствие, повышенные требования к безопасности и затраты на ее обеспечение.

С вводом в эксплуатацию двух блоков АЭС возникает проблема регулирования графиков нагрузки энергосистемы, поскольку из генерации вытесняются традиционные регуляторы мощности и решение комплекса задач, сопутствующих проблеме, невозможно без участия ТЭЦ.

В отопительный период в ОЭС Беларуси прогнозируются неизбежные избытки генерации электроэнергии по отношению к её потреблению. Для ликвидации ожидаемого дисбаланса предусматривается использование тепловых нагрузок систем теплоснабжения, часть которых планируется передавать в часы провалов электропотребления от традиционных теплогенерирующих источников к взаимосвязанным комплексам в составе “электрокотел-тепловой аккумулятор”, обеспечивающих увеличение электрической нагрузки ОЭС. Указанные комплексы, безусловно, необходимы в условиях, которые будут иметь место в энергосистеме страны, поскольку при должной их суммарной мощности в состоянии обеспечить необходимую динамику процесса регулирования выполнения соотношения “генерация – потребление электроэнергии”

Использование электрокотлов в прогнозируемой ситуации, как уже отмечалось, абсолютно необходимо, поскольку, с одной стороны, обеспечивает гибкость в части обеспечения нагрузок и допускает возможность косвенного резервирования мощности в энергосистеме в ночные часы, поскольку при необходимости передачи тепловых нагрузок от электрокотлов на традиционные теплогенерирующие установки снижается электропотребление в соответствии с требованиями устранения дефицита мощности. С другой – передача нагрузки от электрокотельных на отборы ТЭЦ, на которых эти котлы установлены, даст и прирост генерации электроэнергии.

Литература

1. ТКП 460-2017 «Порядок расчета величины технологического расхода электрической энергии на ее передачу по электрическим сетям, учитываемой при финансовых расчетах за электроэнергию между энергоснабжающей организацией и потребителем (абонентом)».
2. Федин В.Т. Основы проектирования энергосистем/ В.Т. Федин, М.И. Фурсанов. – Минск: БНТУ, 2010. Ч. 1. – 322с.

УДК 621.315

Повышение энергоэффективности ЭЭС управлением схемой и параметрами электрической сети

Ничипорков И. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Одним из методов управления энергоэффективностью сети является размыкание электрической сети.

Частным случаем возникновения в сети уравнильных токов является наличие в одном контуре сети двух одинаковых трансформаторов, имеющих разные коэффициенты трансформации. В этом случае в сети возникает уравнильный ток, который направлен в противоположную сторону основному протекающему по сети току. Одним из способов ликвидации контурных уравнильных токов (уменьшения значения уравнильного контурного тока) является размыкание путей их протекания, т.е. размыкание контура электрических сетей.

Для осуществления экономических режимов ежегодно разрабатываются «нормальные» схемы эксплуатации с четко установленными точками размыкания контуров и условиями работы устройств РЗА.

При размыкании электрической сети необходимо учитывать некоторые условия:

- соблюдение категории потребителей, возможность быстрого ввода выведенной линии;

- учет автономности сети (под автономностью сети понимается ее способность реагировать на изменения и принимать правильные решения для установки нормального режима с поддержанием заданных режимных параметров сети);

Повышению энергоэффективности при размыкании сети способствуют:

- установка более нового оборудования для управления сетью (применение более современных коммутационных аппаратов);

- повышение уровня знаний работников, которые управляют схемой сети.

- оптимизация параметров сети.

Управление параметрами электрической сети

Различают схемные параметры и параметры режима.

К схемным параметрам относят данные проводов, длину линии, номинальную установленную мощность генераторов, трансформаторов, устройств компенсации.

Параметры режима делятся на электрические (ток, напряжение, частота) и технологические (уровень воды на ГЭС и т. д.).

При проектировании сети подбирают оптимальные марки проводов, тем самым регулируя активное и реактивное сопротивления, добиваясь минимальных потерь. В линиях электропередачи обычно используются проводники из цветных металлов, т.к. при частоте 50 Гц влияние поверхностного эффекта незначительно.

Поверхностный эффект – эффект, при котором плотность тока имеет максимальное значение в максимально удаленных точках от центра. Это связано с тем, что в проводнике, находящемся в переменном магнитном поле, возникает ЭДС самоиндукции, которая имеет максимальное значение в центре проводника. Тем самым плотность тока в центральной части проводника снижается и ток вытесняется к поверхности проводника, а значит к повышению активного сопротивления.

Так же на этом уровне выбирают оптимальную мощность трансформаторов. Это связано с тем, что в режиме, когда трансформатор недогружен, возрастают потери, а когда перегружен – ускоряется износ и уменьшается время работы трансформатора.

Случается, что в некоторых точках сети напряжение выходит за допустимые пределы. В этом случае прибегают к регулированию напряжения.

Одним из способов регулирования напряжения является изменение коэффициента трансформации. Возможно регулирование под напряжением (РПН) и с выводом трансформатора (ПБВ).

В некоторых пределах напряжение можно регулировать, изменяя сопротивление питающей сети. Так, если питающая сеть или ее участок состоит из нескольких параллельных линий, то, отключая в часы минимальных нагрузок одну из таких линий, можно увеличить потерю напряжения в питающей сети и тем понизить напряжение у потребителя.

Эффективно регулировать напряжение путем изменения реактивной мощности в сети можно с помощью синхронных компенсаторов или батарей конденсаторов при включении их параллельно нагрузке.

Выводы

При разумном управлении схемой, а также параметрами электрической сети возможно повышение энергоэффективности ЭЭС, что положительно скажется на экономике Республики Беларусь.

Литература

1. Электротехнический справочник: в 4 т. / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – 9-е изд. – М.: МЭИ, 2003. – Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии. – 2004. – 964 с.

УДК 621.3

Управление энергоэффективностью в химической промышленности

Олешкевич А.А.

Научный руководитель – к.н.т., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Основной задачей химической промышленности является изменение химического строения природных материалов в целях получения ценных продуктов, предназначенных для использования в других отраслях промышленности или для повседневных нужд. Химические вещества получают из соответствующего сырья (в основном минералов, металлов и углеводов) в результате ряда последовательных стадий обработки.

Химические вещества подразделяют на два основных класса: органические и неорганические.

Продукты химического производства, в общем, можно разделить на три группы, соответствующие основным стадиям и степеням переработки:

продукты основного органического и неорганического синтеза, которые получают в объемах и обычно перерабатываются в другие виды химической продукции;

субпродукты, получаемые из основных химических продуктов, и которые в своем большинстве требуют дальнейшей переработки, хотя некоторые из них, например, растворители, используются как таковые; конечные химические продукты, получаемые путем переработки полупродуктов, одни из которых (лекарственные препараты, косметические средства, мыла) используются как таковые, другие, например, химические волокна, пластмассы, красители и пигменты, подлежат дальнейшей обработке.

В основных отраслях химической промышленности производят:

1. Основные продукты неорганического синтеза - кислоты, щелочи и соли, повсеместно используемые в промышленности; газы, например, кислород, азот, ацетилен.

2. Основные продукты органического синтеза - исходные продукты для получения пластмасс, синтетических смол, синтетических волокон и каучуков; растворители и сырье для получения моющих средств.

3. Удобрения и пестициды (включая гербициды, фунгициды, инсектициды и т.д.).

4. Пластмассы, синтетические смолы, синтетический каучук, целлюлозные и синтетические волокна.

5. Фармацевтические препараты (лекарства и медикаменты).

6. Краски, лаки и эмали.

7. Моющие и чистящие средства, мыла, духи, косметические и другие средства личной гигиены.

8. Различные химические продукты - полировальные средства, взрывчатые вещества, клеи, чернила и фотопрепараты.

Вспомогательное оборудование химической промышленности – различные резервуары, емкости и хранилища.

Вспомогательное оборудование предназначено для осуществления дополнительных производственных процессов. Так, вспомогательное оборудование обеспечивает хранение и транспортировку следующих веществ:

- Жидкостей;
- Сжиженных газов;
- Паров;
- Сыпучих материалов.

Таким образом, к вспомогательному оборудованию относятся емкости, способные хранить и транспортировать различные типы веществ и материалов:

- Резервуары;
- Газгольдеры;
- Бункеры;
- Силосы

Использование энергии в химической промышленности

Химическое производство принадлежит к числу наиболее энергоемких. Так, если в продукции всей промышленности доля затрат на энергию составляет 2,5%, то в продукции нефтехимической и химической отраслей она достигает 8,9%. Химическая отрасль промышленности, производя около 6% промышленной продукции, потребляет до 12% всей вырабатываемой электроэнергии. Эта высокая энергоемкость обусловлена значительным потреблением энергии такими химическими производствами, как производство аммиака, фосфора, карбида кальция, карбоната натрия, химических волокон и пластмасс, которое составляет более 60% электрической и 50% тепловой энергии всей отрасли.

Рациональное использование энергии в химической промышленности

Рациональное использование энергии в химическом производстве означает применение методов, повышающих коэффициент использования энергии. Эти методы могут быть сведены к двум группам: разработке энергосберегающих технологий и улучшению использования энергии в производственных процессах. К первой группе методов относятся:

- разработка новых энергоэкономных технологических схем;
- повышение активности катализаторов;
- замена существующих методов разделения продуктов производства на менее энергоемкие (например, ректификации на экстракцию и т. п.);
- создание комбинированных энерготехнологических схем, объединяющих технологические операции, протекающие с выделением и поглощением энергии (теплоты). Подобное сочетание в одном производстве энергетики и технологии позволяет значительно полнее использовать энергию химических процессов, другие энергоресурсы и повысить производительность энерготехнологических агрегатов.

Ко второй группе энергосберегающих методов относятся:

- уменьшение тепловых потерь за счет эффективной теплоизоляции и уменьшения излучающей поверхности аппаратуры;
- снижение потерь на сопротивление в электрохимических производствах;
- использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

Литература

1. Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов Экономия энергии в промышленности:- Учеб. пособие / ; Нижегород. гос. техн. ун-т., НИЦЭ. Н. Новгород, 1998. -220 с.
2. Б.П. Борисов, Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов и др Повышение эффективности использования электроэнергии в системах электротехнологии . - Киев: Наукова думка, 1990. - 240 с.

УДК 621.3

Основы эффективного функционирования и развития ЭЭС

Панасюк А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Интеллектуализация электроэнергетических систем является одной из важнейших, хотя и не единственной тенденцией развития электрических сетей 21 века. Общие направления развития распределительных электрических сетей, их оборудования и систем включают:

– повышение надёжности и качества электроснабжения, в том числе за счёт автоматического секционирования и резервирования электроснабжения, перехода к магистральному принципу построения сетей для сельских районов и схем разомкнутого кольца для городов;

– улучшение управляемости сетей, а также снижение коммерческих и технологических потерь электроэнергии при применении автоматизированных систем на основе микропроцессорной техники, прежде всего с использованием интеллектуальных электронных приборов (IED) и цифровой передачи информации на основе принципов «smart grid», т.е. принципов интеллектуальных электроэнергетических сетей

– снижение затрат на обслуживание и организация работ на линиях без снятия напряжения;

– повышение электрической и экологической безопасности оборудования электрических распределительных сетей, а также адаптация этого оборудования для применения в интеллектуальных электроэнергетических системах; – сокращение числа ступеней трансформации напряжения за счёт роста номинального напряжения в реконструируемых сетях;

– увеличение срока службы линий передач и электрооборудования подстанций.

К силовому электросетевому оборудованию, которое в современных условиях требует интеллектуализации, следует отнести трансформаторы, распределительные устройства и специальное системное оборудование, снабженные системами управления, защиты, мониторинга и учёта электроэнергии (рис. 1).

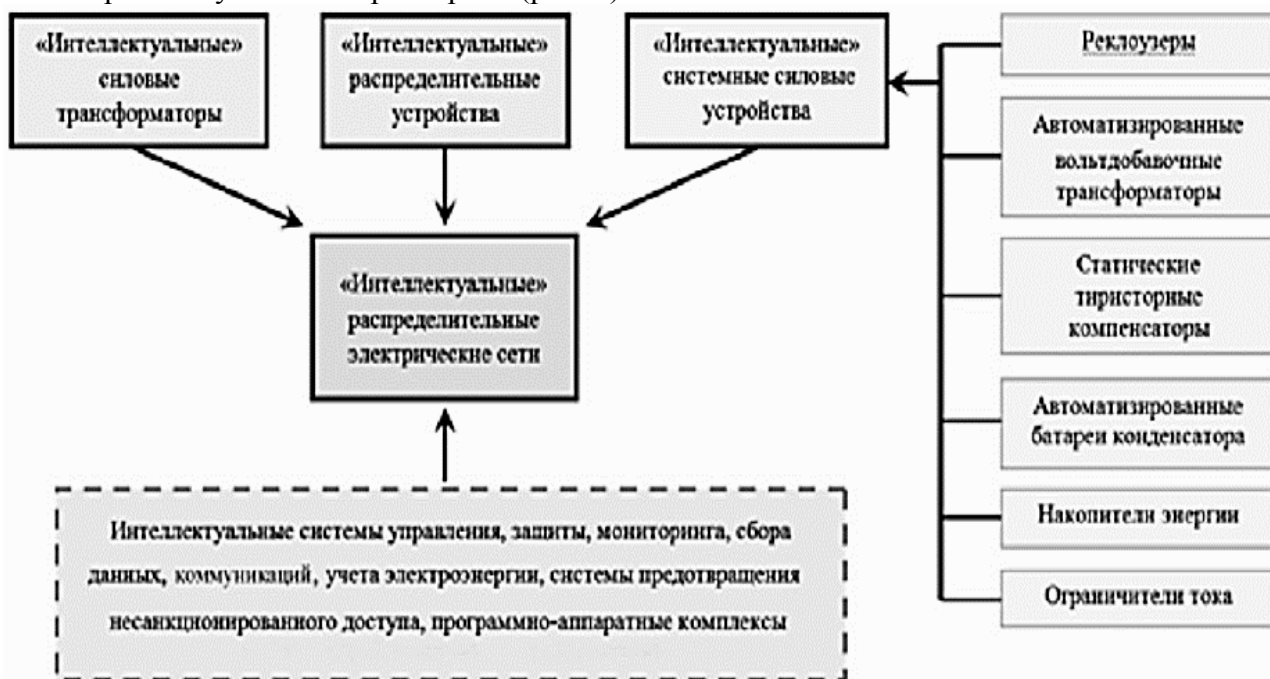


Рисунок 1 – Формирование технологического комплекса оборудования для интеллектуальных распределительных электрических сетей.

«Интеллектуальным» следует называть трансформатор, обеспечивающий максимально возможный контроль состояния всех систем трансформаторного оборудования (активной

части, масла, вводов, системы охлаждения, устройств регулировки напряжения под нагрузкой, технологических защит и др.), самодиагностику и выдачу рекомендаций по дальнейшим действиям в случае появления развивающегося повреждения или ненормированного воздействия на трансформатор. При этом трансформатор должен обеспечивать все режимы управления своими регулируемыми устройствами – автоматический, ручной местный и ручной дистанционный, в том числе из удалённых центров управления, с полным контролем правильности исполнения команд. Последнее обстоятельство становится особенно важным при использовании трансформаторного оборудования в «умных сетях» с необслуживаемыми подстанциями

На рис. 2 приведена принципиальная схема управления такого трансформатора.

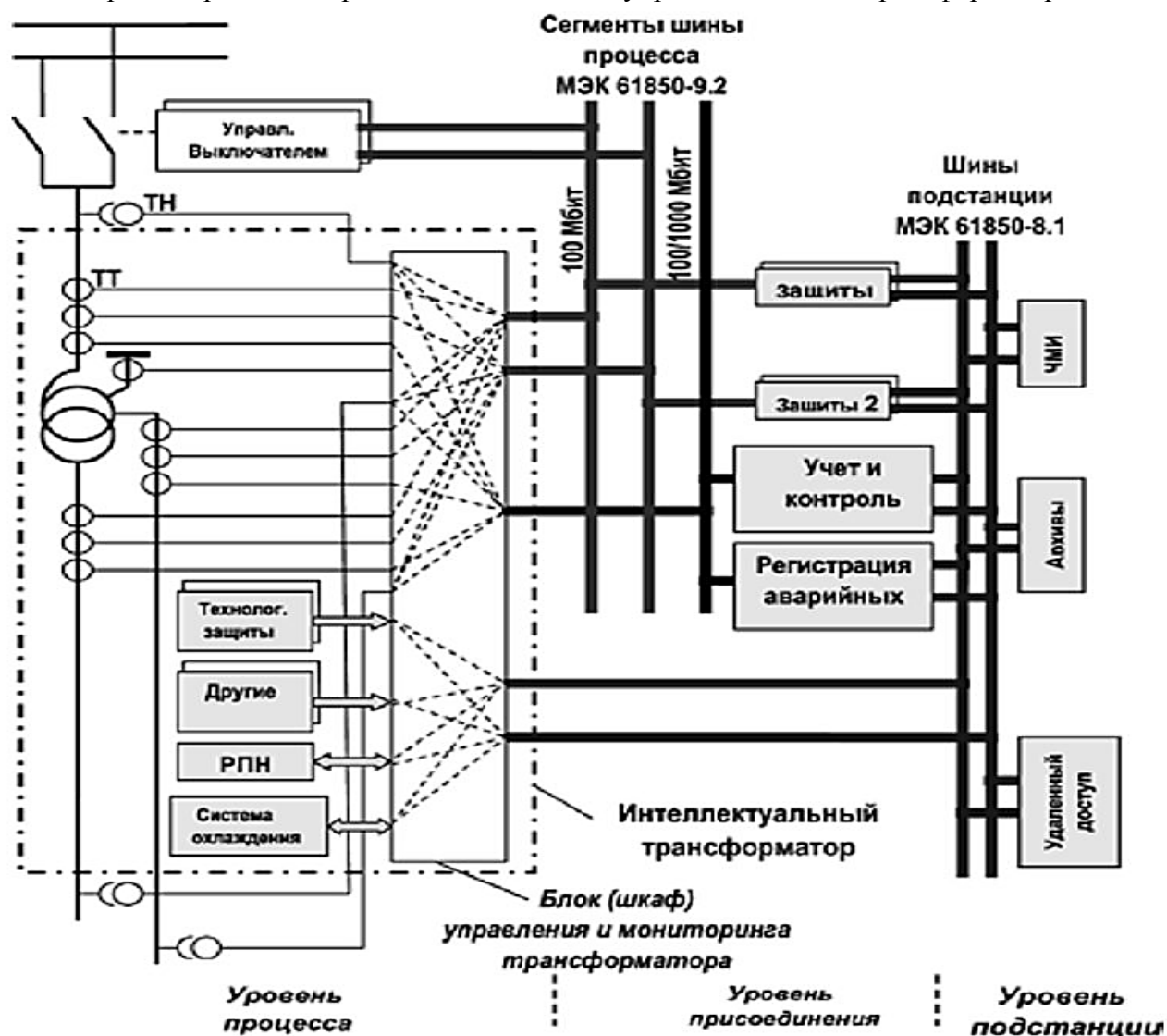


Рисунок 2 – Блок-схема интеллектуального трансформатора [6].

Статические тиристорные компенсаторы в распределительных сетях используются для динамической стабилизации напряжения, повышения пропускной способности, снижения колебаний напряжения, поддержания напряжения в установившемся режиме. Как правило, статические тиристорные компенсаторы позволяют изменять напряжение в сети как минимум в пределах $\pm 5\%$. Целесообразно устанавливать такие компенсаторы рядом с основными центрами нагрузки (например, вблизи крупных заводов) и в узлах сети, где возможно снижение напряжения до критического значения, что характерно для удалённых участков сети.

Сейчас в крупных городах в электрических сетях 110–220 кВ наблюдается увеличение токов короткого замыкания до величин, превышающих отключающую способность коммутационной аппаратуры вследствие роста плотности и интенсивности электропотребления, а также модернизации и развития электрических сетей. Существующие меры (установка токоограничивающих реакторов и стационарное деление сети) снижают надёжность работы энергосистемы, повышают потери мощности и энергии в электрических сетях.

Накопители электрической энергии, встроенные в распределительные электрические сети как аварийные источники питания, помогают существенно повысить надёжность электроснабжения. Мощность уже эксплуатируемых стационарных накопителей энергии достигает 50 МВт и более.

Современный реклоузер – это коммутационный аппарат, который, наряду с возможностью проведения многократных операций включения и отключения, объединяет в себе практически все виды противоаварийной автоматики: автоматическое повторное включение, автоматический ввод резерва, максимальная токовая защита, защиты от замыканий на землю, устройство плавки гололёда и др. Как правило, реклоузер устанавливается на опоре, удалённой от подстанции. На базе реклоузеров реализуются децентрализованные системы защиты и автоматического управления, в которых целый ряд функций центрального управления передаётся по заданному алгоритму удалённым технологическим устройствам.

В дополнение к децентрализованным системам защиты и управления, которым может быть оснащено оборудование распределительных сетей, широкое распространение имеют **дистанционные системы наблюдения и управления SCADA** (как правило под SCADA понимают программный пакет, предназначенный для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. Но в более широком понимании это - комплекс приборов и устройств, обеспечивающих реализацию этого программного обеспечения). Это система управления и сбора информации, включающая микропроцессорные элементы, компьютеры и программное обеспечение. Данная система обеспечивает мониторинг состояния оборудования, быстрое обнаружение аварийных секций, линий; позволяет диспетчеру системы в случае необходимости производить ручное секционирование линий, дистанционно следить за изменением напряжения, тока, активной и реактивной мощности, гармонических составляющих и других параметров переходных процессов, а также дистанционно изменять уставки реклоузеров, регуляторов напряжения и конденсаторных батарей.

Заключение

1. «Интеллектуальная» электроэнергетическая система – это энергоэффективная система, включающая генерацию электроэнергии, её передачу, распределение, потребление, технологическое управление этой системой, блок рынка и бизнеса, связанного с реализацией электроэнергии как товара, блок услуг по доставке электроэнергии до потребителя, взаимосвязанные между собой, которая адекватно и оптимально реагирует на любые внешние и внутренние технологические возмущения на условиях обеспечения удобства, экологичности и безопасности для общества.

2. Ключевыми технологиями для создания «интеллектуальных» электроэнергетических систем являются не только новейшие информационные технологии, использующие оптоэлектронные устройства, интеллектуальные электронные приборы (IED), микропроцессоры, терминалы удалённого доступа, цифровой обмен данными, системные программно-аппаратные комплексы и базы данных, но и развивающиеся технологии «интеллектуального» силового оборудования (в том числе системного характера).

3. Для формирования интеллектуальных распределительных сетей необходимо создание специальных «интеллектуальных» трансформаторов, комплектно-распределительных устройств, а также применение современных системных

силовых устройств – вольтодобавочных трансформаторов, автоматизированных батарей конденсаторов, статических тиристорных компенсаторов, ограничителей тока, накопителей энергии и «интеллектуальных» реклоузеров.

4. Важнейшей перспективой развития распределительных электрических сетей в 21 веке является появление «высокоамперных» линий электропередачи на основе применения силовых устройств (кабелей, трансформаторов, ограничителей тока, накопителей энергии), использующих принцип высокотемпературной сверхпроводимости.

Литература

1. L. Hossenlopp, D.Chatrefou, D,Tholomier, D.P.Bui, Process bus: Experience and impact on future system architectures. Paper B5-104, CIGRE 42d session, Paris, 2008, K. Frohlich. Strategic directions 2010–2020.
2. EPRI's IntelliGridSM initiative, <http://intelligrid.epri.com>.
3. The Modern Grid Initiative Version 2.0, Conducted by the National Energy Technology Reliability, January 2007, <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/resources.html>
4. Б.Б. Кобец, И.О. Волкова, «Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid-М., ИАЦ Энергия, 2010.
5. M. Adamiak, B. Kasztenny, J. Mazereeuw, D. Mcginn, S. Hodder, Considerations for IEC 61850 Process Bus Deployment in Real-world Protection and Control Systems: a business analysis. Paper B5-102, CIGRE 42d session, Paris, 2008.
6. В.Н. Вариводов, Г.М. Цфасман, Е.И. Остапенко, А.Н. Панибратец, В.С. Чемерис, Р.Н. Шульга, «Основные направления создания комплекса оборудования для интеллектуальных электрических сетей», VIII Международная научно-техническая конференция «Интеллектуальная электроэнергетика. Автоматика и высоковольтное коммутационное оборудование», 9–10 ноября 2010 г., Москва.

УДК 621.3

Управление энергоэффективностью освещения

Панфило М.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Виды источников света. Сравнительный анализ.

Типы источников: лампы накаливания, галогенные лампы, люминесцентные лампы, металлогенные лампы, натриевые лампы, ртутные лампы, светодиодные лампы.

Таблица 1 – Сравнительный анализ

Характеристики	Светодиодная лампа	Люминесцентная лампа	Лампа накаливания
Потребляемая мощность	9 W	20 W	60 W
Эффективность светоотдачи	78 Lm/W	28 Lm/W	12 Lm/W
Световой поток	700 Lm	700 Lm	720 Lm
Рабочая температура	70 °C	60 °C	180 °C
Срок службы	До 50 000 часов	До 25 000 часов	До 1000 часов
Экологичность	Да	Содержит ртуть	Да
Необходимость утилизации	Не требует особых мер утилизации	Требует специальных мер утилизации	Не требует особых мер утилизации
Использование во влажных и пыльных помещениях	Возможно	Нежелательно, сокращается срок службы	возможно
Задержка включения	Нет	Да	Нет
Частое включение и отключения питания	Не влияет на срок службы	Сокращает срок службы	Сокращает срок службы
Мерцание	Нет	Возможно	Нет
Нагрев поверхности лампы	30 °C	60 °C	120 °C
Виброустойчивость	Да	Нет	Нет
Техническое обслуживание	Редко	Умерено	Часто

Расположение и организация освещения.

Типы светильников по принципу распространения света: светильники прямого свечения, светильники отраженного освещения, диффузные светильники, асимметричные светильники.

Типы светильников по принципу установки: потолочные, настенные, подвесные, встраиваемые и др.

Типы освещения.

Общее освещение, местное освещение, промышленное освещение (рабочее, аварийное, охранное, дежурное, эвакуационное), уличное освещение, дорожное освещение.

Режимы работы освещения.

Аварийное освещение, эвакуационное освещение, дежурное освещение, охранное освещение, адаптивное освещение.

Управление энергоэффективностью.

В наружном освещении мероприятия по энергосбережению сводятся к замене ртутных ламп на более эффективные натриевые лампы высокого давления, которые на 50% эффективнее.

Во внутреннем освещении:

- 1) Максимальное использование естественного освещения
- 2) Использование светлых штор, светлых стен, потолка, содержать окна в чистоте и не заграждать естественное освещение посторонними предметами
- 3) Содержать в чистоте лампы и плафоны
- 4) Использование комбинированного освещения
- 5) Оборудовать помещения светорегуляторами, применение систем автоматического управления освещением.

Литература

1. «Элементарная светотехника». Варфоломеев Л.П. Москва, 2013. 288 стр.
2. Справочная книга по светотехнике / Под общ. ред. проф. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Знак, 2007.
3. «Элементарная светотехника». Варфоломеев Л.П. М. 2008. 220 стр.\4. Разрядные источники света. Рохлин Г. Н. 2-е изд. перераб. и доп. М. Энергоатомиздат 1991. - 720 с.

УДК 621.3

Управление энергоэффективностью энергоемких производств

Савицкий А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Половина потребляемого промышленностью топлива и более трети электроэнергии преобразуется на специальных станциях и установках в энергетический потенциал разнообразных энергоносителей (теплоту пара и горячей воды; энергию сжатого воздуха, кислорода, технического холода и т.п.), применяемых в технологических комплексах предприятия; остальная часть топлива и электроэнергии используется в технологических комплексах непосредственно.

В металлургии, зависимости от вида используемого сырья, характера физико-химических процессов и вида выпускаемой продукции предприятия черной металлургии (ПЧМ) можно разделить на четыре группы:

- 1) с полным циклом передела;
- 2) с неполным циклом передела;
- 3) мини-заводы;
- 4) специфические.

К ПЧМ с *полным циклом передела* относятся крупные металлургические комбинаты, на которых исходным сырьем является руда, а выпускаемая продукция - различный прокат. В ПЧМ с *неполным циклом передела* отсутствует ряд производств, характерных для ПЧМ первой группы. Исходным сырьем для них может быть агломерат, металлический лом или окатыши. Выпускаемая продукция - чугун, сталь или прокат. *Мини-заводы* состоят из двух основных производств: электросталеплавильного и прокатного. Исходным сырьем для них служат металлический лом и окатыши, а выпускаемая продукция - прокат. *Специфические* ПЧМ разделяются на коксохимические, горнообогатительные, ферросплавные, трубные и ряд других. Основными цехами ПЧМ являются: агломерационные, коксохимические, доменные, мартеновские, конверторные, окомкования, металлизации, электросталеплавильные, прокатные.

Агломерационные цеха. Главные потребители энергоресурсов в агломерационных цехах - агломерационные машины, смесители, дымососы, вентиляторы. Основными энергоресурсами, которые потребляют данные цеха, являются природный и коксовый газ, электроэнергия, пар, кислород. Потребление топлива достигает 7% от общего потребления ПЧМ

Коксохимические цеха. Мощности электродвигателей электроприемников цехов составляют 0,5-150 кВт. Наиболее крупными электроприемниками являются газодувки с мощностью электродвигателей до 1000 кВт. Суммарная установленная мощность электроприемников коксохимических цехов достигает 15 МВт.

Доменные цеха. Основные потребители энергоресурсов доменных цехов - доменные печи и механизмы ее обслуживания (механизмы блока печей, системы загрузки, воздухонагреватели, пылеуловители, вентиляция, охлаждение). Мощности электродвигателей этих механизмов от 20 до 1500 кВт. Наиболее крупными потребителями электроэнергии в доменных цехах являются воздуходувки, мощность которых достигает 3000-12000 кВт.

Мартеновские цеха. Основными потребителями энергоресурсов данных цехов являются мартеновские печи и обслуживающее их оборудование (разливочные, заливочные, завалочные, уборочные и другие краны, насосы, вентиляторы, дробилки и бегуны). Мощности электродвигателей на кранах от 25 до 150 кВт, суммарные мощности электродвигателей мартеновских цехов достигают 18 МВт.

Конверторные цеха. Главными потребителями энергоресурсов данных цехов являются конвертеры, миксеры и обслуживающее их оборудование (заливочные и разливочные краны). Крупными электроприемниками являются двигатели дымососов мощностью до

2000 кВт, а также двигатели привода поворота конвертеров. Установленные мощности электроприемников конверторных цехов достигают 30 МВт.

Электросталеплавильные цеха. Основными потребителями энергоресурсов являются дуговые сталеплавильные печи и механизмы, их обслуживающие. Мощности печей составляют 10-100 МВ·А, их количество достигает пяти штук. К обслуживающим механизмам относятся: насосы, воздуходувки, вентиляторы, дымососы, различные краны, компрессоры, кристаллизаторы, конвейеры и др. Мощности электродвигателей этих механизмов от 5 до 200 кВт.

Прокатные цеха. Мощность отдельных двигателей главных приводов колеблется от 200 до 9000 кВт. Приводы вспомогательных механизмов (кранов, рольгангов, качающихся столов, шлеперов, нажимных устройств, кантователей, летучих ножниц и др.) имеют мощности от 3 до 2·1400 кВт. Суммарные установленные мощности электроприемников крупных прокатных цехов достигают 100-200 МВт.

При разработке мероприятий по энергосбережению на промышленном предприятии необходимо учитывать, что имеются следующие направления экономии:

- 1) экономия ТЭР путем совершенствования энергоснабжения ;
- 2) экономия ТЭР путем совершенствования энергоиспользования

Несмотря на различия в конструкциях промышленных установок и способах их эксплуатации, потенциальные возможности энергосбережения в них сходны. Они могут быть сгруппированы в следующие категории:

- 1) стратегия эксплуатации и технического обслуживания;
- 2) стратегия модернизации оборудования и технологических процессов;
- 3) стратегия замены существующего оборудования на новое менее энергоемкое и внедрение новых технологий.

Литература

1. Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов Экономия энергии в промышленности:- Учеб. пособие / ; Нижегород. гос. техн. ун-т., НИЦЭ. Н. Новгород, 1998. -220 с.
2. Б.П. Борисов, Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов и др Повышение эффективности использования электроэнергии в системах электротехнологии . - Киев: Наукова думка, 1990. - 240 с.

УДК 620.09

Надежность ЭЭС, структура категории и параметры анализа и оценки

Сибирцев Е.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Надежность – есть вероятность того что элемент будет выполнять свои функции в течение промежутка времени при заданных условиях работы.

Надежность ЭЭС - Свойство обеспечивать потребителей электрической энергией при отклонении частоты и напряжения в определенных пределах, оговоренных в Гост и ПУЭ, и исключение ситуаций опасных для людей.

Структура ЭЭС

1. Элемент – оборудование, аппаратура и конструкции-включает в себя электросетевое силовое оборудование, коммутационную аппаратуру, элементы и конструкции линий электропередачи и электропотребителей, аппаратуру систем автоматики релейной защиты и управления. Все перечисленное относится к заводским изделиям, как правило, серийного выпуска;

2. Объект – Электросетевые объекты, фрагменты и узлы электрической сети – к данному уровню относятся большинство типовых технических решений, которые могут повторяться при проектировании линий электропередачи, узлов электроподстанций(сборных шин, систем собственных нужд, трансформаторного блока и другого), внешнего электроснабжения выделенного узла нагрузки, комплекса релейной защиты и автоматики и другого;

3. Система – электрическая сеть в целом – представляет собой уникальный объект рассмотрения.

Свойства характеризующие надежность ЭЭС

Безотказность – Свойство объекта непрерывно сохранять состояние в течение некоторого времени или наработки.

Ремонтопригодность – способность восстановления после ремонта.

Сохраняемость – Свойство об объекта сохранять значения безотказности, долговечности и ремонтпригодности втечении и после хранения и транспортировки.

Устойчивоспособность – свойство сохранять устойчивость втечении некоторого времени.

Режимная управляемость – Свойство объекта поддерживать нормальный режим по средствам управления.

Живучесть – Свойство объекта противостоять возмущению недопуская их каскадного развития с массовым нарушениям питания.

Безопасность – свойство объекта не допускать ситуации опасных для людей.

Состояние характеризующее надежность объекта в энергосистеме

Работоспособное состояние – способность выполнять все или часть функций.

Рабочее состояние – способность выполнять все или часть функций в полном или частичном объеме.

Нерабочее состояние – состояние объекта при котором он не выполняет свои функции.

Предельное состояние – состояние при котором дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена.

Резервное состояние – рабочее состояние объекта, при котором он резервирует другие объекты.

Показатели надежности

- 1) Вероятность какого-либо события, например, отказа;
- 2) Интенсивность событий, например, число отказов в единицу времени;
- 3) Средняя продолжительность события(математическое ожидание), например средняя продолжительность времени между отказами, средняя продолжительность времени восстановления после отказа.

Оценка надежности электроснабжения должна производиться на стадиях разработки элементов, планирования развития электроэнергетических систем, проектирования отдельных систем и объектов, а также в процессе эксплуатации. Даже при хорошем качестве оборудования и высоком уровне эксплуатации отказы оборудования в работе неизбежны в силу ряда объективных причин случайного характера и, прежде всего, из-за того, что в условиях эксплуатации оборудование может подвергаться нерасчетным воздействиям, учет которых при его разработке потребовал бы введения неоправданно больших запасов.

Проблема оценки и выбора рациональной степени надежности электрических станций и электроэнергетических систем является одной из наиболее важных проблем на современном уровне развития электроэнергетики, так как нужно рассматривать надежность всей системы как единое целое.

Литература

1. Электротехнический справочник: Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии./ Под общ. ред профессоров МЭИ.- М.:Издательство МЭИ,2004,964с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике: Учеб. пособие для ВУЗов.- Л.:Энергоатомиздат,1990-208 с.
3. Фокин Ю. А., Туфанов В.А Оценка надежности систем электроснабжения. М.:Энергоиздат,1981-224 с.

УДК 621.3

Надежность ЭЭС

Сидорова Д.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Проблема надежности электрических систем относится к задачам определения и оптимизации их показателей на этапах планирования, проектирования, сооружения и эксплуатации. Надежность - свойство объекта или технического устройства выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. (ГОСТ 27.002-83).

Объект - предмет целевого назначения, рассматриваемый в период проектирования, производства, эксплуатации, изучения, исследования и испытания на надежность (объектами могут быть системы и их элементы, в частности сооружения, установки, технические изделия, устройства, машины, аппараты, приборы и их части, агрегаты и отдельные детали [1].

В технике надежность имеет точное значение. Она может быть определена, рассчитана, оценена, измерена, испытана, распределена между отдельными частями системы, объекта, аппаратуры.

В практической деятельности инженеру-энергетику приходится принимать различные решения. Например, выбирать проектный вариант энергосистемы или ее части, производить реконструкцию ее сетей и станций, назначать режимы. В энергетике на выбор решения влияет большое количество факторов. Одни из них можно численно проанализировать и сократить область вариантов решения. Другие не имеют теоретической ясности для количественного описания. Появляется неопределенность, преодолевать ее помогают знания, опыт, интуиция, качественный анализ. Появляется риск выбора неоптимальных и некачественных решений. Среди других факторов, надежность имеет особое место, ее надо учитывать всегда. Последствия от ненадежности такие серьезные, что требуется постоянное совершенствование методов проектирования, строительства, эксплуатации энергосистем, позволяющих полнее учитывать надежность. Основной задачей энергосистем является снабжение потребителей электроэнергией в нужном количестве и при необходимом качестве. На это влияют непредвиденные причины - отказы или аварии в энергосистемах, перебои в топливоснабжающей системе, нерегулярное поступление топлива, гидроресурсов и т.п. Известны различные средства, повышающие надежность энергосистем: релейная защита от коротких замыканий, автоматические повторные включения, автоматический ввод резерва, автоматическое регулирование возбуждения, автоматическая частотная разгрузка, автоматическое регулирование частоты и мощности, автоматизация генераторов, автоматическое отключение генераторов на гидростанциях. Кроме этого, специальные схемные и режимные мероприятия по повышению надежности (неполнофазные режимы, плавка гололеда, дублирование генераторной мощности, увеличение пропускной способности межсистемных связей, трансформаторных подстанций, специальное автоматическое отключение нагрузки при системных авариях, резервирование мощности). Деление потребителей на категории по надежности и рекомендации по построению схем способствует обеспечению структурной надежности энергосистем [1].

Показатели надежности

Показателями надежности называют количественные характеристики одного или нескольких свойств электрической системы (ЭС) составляющих ее надежность.

К таким характеристикам относят, например, временные понятия - наработку элемента электрической системы до отказа, наработку между отказами, срок службы, время восстановления [5].

Значения этих показателей получают по результатам испытаний или эксплуатации.

Основные показатели безотказности:

- вероятность безотказной работы $P(t)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ ЭС или ее элемента не возникают;
- среднее время безотказной работы (средняя наработка до отказа) (T) - математическое ожидание наработки ЭС или ее элемента до первого отказа;
- средняя наработка на отказ (τ, τ_{cp}) - отношение суммарной наработки восстанавливаемого элемента ЭС к математическому ожиданию числа его отказов;
- интенсивность отказов (λ) - условная плотность вероятности возникновения отказа элемента ЭС, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Этот показатель относится к невосстанавливаемым элементам ЭС.

Рассмотрим более детально основные показатели (параметры) надежности:

1. **Вероятность безотказной работы** $P(t)=R(t)$ - вероятность того, что в заданном интервале времени не произойдет отказ

$$P(t)=1-q(t); 0 \leq P(t) \leq 1; P(0)=1; P(\infty)=0;$$

С другой стороны: $P(t)=1-F(t)$;

$F(t)=q(t)$ - вероятность появления отказа в течении времени «t»;

$P(t)$ – монотонно убывающая функция;

$F(t)$ - монотонно возрастающая функция;

Статистическая оценка:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1.1)$$

где N_0 - общее количество элементов для испытания или эксплуатируемых;

$n(t)$ - число элементов, отказавших за время «t»;

$P(t)$ - вероятность безотказной работы.

Безотказность - свойство системы сохранять работоспособность в течение заданного интервала времени без вынужденных перерывов. Если « t_p » - время безотказной работы, то $P(t)=P(t_p > t)$ - вероятность того, что время безотказной работы $> t$. Зависимость $P(t)$ - закон распределения надежности.

На практике более удобная характеристика - вероятность отказов (вероятность неисправной работы).

Эта характеристика более удобна, в частности, для сравнения резервируемых и нерезервируемых ЛЭП и т.п.

Исправная работа и отказ - несовместимые и противоположные события.

$$q(t)=1-P(t)=F(t) \quad (3.2)$$

где $q(t)$ – функция распределения времени безотказной работы, представляющая вероятность появления отказа в течении времени «t».

Отказ - нарушение работоспособности (способности системы выполнять заданные функции с требуемыми режимными параметрами).

Таким образом интегральная функция распределения вероятностей безотказной работы $p(t)$ численно равна доле начального количества объектов $N_0(t=0)$, не отказавших до произвольного, но фиксированного момента времени "t" это $n(t_{отк} > t)$ объектов.

$$p(t)=p(t_{отк} > t) = \frac{p(t_{отк} > t)}{N(t=0)} = \begin{cases} 0, & t = \infty \\ 1, & t = 0 \end{cases}, \quad (1.2)$$

Графически имеем для "i" объекта (элемента)

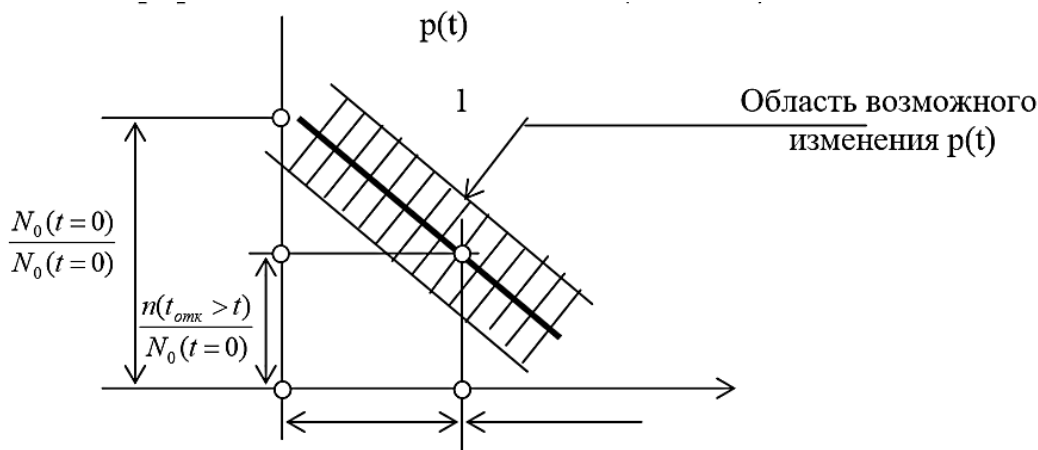


Рисунок 1 – Графическая зависимость интегральной функции распределения вероятностей отказа

2. **Среднее время безотказной работы или средняя наработка до отказа (τ, T_{ср}, T₀)** - математическое ожидание случайной величины времени безотказной работы элемента до первого отказа: т.е. математическое ожидание наработки до первого отказа.

$$T = \tau = T_{cp} = T_0 = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{+\infty} t \cdot a(t) dt, \quad (1.3)$$

где $f(t)=a(t)$ - плотность распределения наработки до отказа, частота отказов;

Это выражение (1.3) путём интегрирования по частям может быть преобразовано следующим образом:

$$\int_0^{\infty} t \cdot a(t) dt = \int_0^{\infty} p(t) dt, \quad (1.4)$$

Учитывая, что $t \geq 0$, $p(0)=1$ и $p(\infty)=0$, окончательно получаем:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (1.5)$$

Для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы имеем:

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (1.6)$$

Таким образом, среднее время наработки элемента(объекта) на отказ численно равно средней, по множеству объектов, продолжительности безотказной работы (между двумя соседними отказами), приходящейся на один элемент (объект), т.к. $\lambda(t)=const$, то и $T=const$ т.е. эти величины могут быть вычислены для всех элементов ЭС и сведены в таблицы, остальные показатели надёжности определяются через эти величины.

По статистическим данным среднее время наработки элемента ЭС до отказа определяется из выражения:

$$\tau^* = T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (1.7)$$

где t_i - время безотказной работы i -го элемента ЭС;

N_0 - общее число элементов взятых для испытания.

3. **Интенсивность отказов (λ).** Эта величина представляет собой вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник. Численно она равна среднему числу отказов в единицу времени на один объект из количества объектов $n(t_{отк} > t)$ не отказавших до произвольного, но фиксированного времени "t".

$$\lambda(t) = \frac{n(t_{отк} > t \leq t + \Delta t)}{n(t_{отк} > t) \cdot \Delta t}, \quad (1.8)$$

Понятие интенсивность отказов устройства в единицу времени используется как количественная характеристика для математического определения надёжности. Эта величина измеряется в среднем обычно числом отказов за один час. Обратная величина "λ" - наработка до первого отказа в часах - отношение общего времени испытания к общему числу отказов. В литературе часто встречается следующее определение интенсивности отказов: это

условная плотность распределения времени безотказной работы для момента времени t при условии, что до этого момента отказа не произошел.

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}, \quad (1.9)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы элемента ЭС

$a(t)$ - частота отказов элемента ЭС.

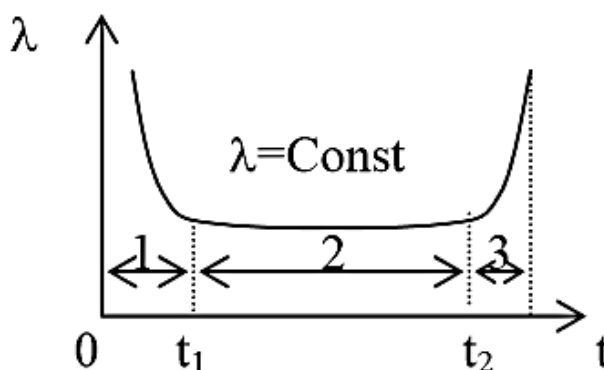
Со статистической точки зрения интенсивность отказов $\lambda(t)$ - отношение числа отказавших элементов ЭС за некоторый промежуток времени к числу работоспособных элементов в начале этого промежутка.

$$\lambda^*(t) \approx \frac{\Delta n(t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (1.10)$$

где Δt - интервал времени;

$\Delta n(t)$ - число элементов, отказавших за Δt ;

$N(t)$ - число элементов, исправно работающих к началу промежутка времени.



зона 1 - период приработки элемента ЭС; зона 2 - период нормальной эксплуатации элемента ($\lambda = \text{const}$); зона 3 - период износа элемента ЭС.

Рисунок 2 – Типичная зависимость $\lambda(t)$

Если $\lambda = \text{const}$, то имеем - экспоненциальное распределение (наиболее часто используемое в энергетике для периода нормальной работы элементов ЭС).

Таким образом, для характеристики надежности надо знать величину $\lambda(t)$ – среднее число отказов в единицу времени.

4. **Наработка на отказ T_0** - среднее время безотказной работы невозстанавливаемых элементов до отказа или восстанавливаемого элемента между соседними отказами.

$$T_0^* = \frac{t}{n} = \frac{\sum_{i=1}^h t_i}{N_0}, \quad (1.11)$$

где

n - число отказов за время испытания (эксплуатации) элемента ЭС;

t - общее время исправной работы элемента ЭС;

t_i - время исправной работы элемента ЭС между $(i-1)$ и i отказами.

5. **Частота отказов (a)** - плотность распределения времени безотказной работы или производная от вероятности безотказной работы

$$a(t) = q'(t) = -p'(t), \quad (1.12)$$

Для определения величины $a(t)$ используется следующая статистическая оценка:

$$a^*(t) \approx \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (1.13)$$

где $n(\Delta t)$ – общее количество элементов взятых для испытания или эксплуатируемых;

N_0 – число отказавших элементов в интервале времени от $(t - \frac{\Delta t}{2})$ до $(t + \frac{\Delta t}{2})$;

Δt – интервал времени.

6. На практике в качестве оценки надёжности чаще используют среднее квадратическое отклонение (σ):

$$\sigma(T) = \sqrt{D[T]}, \quad (1.14)$$

где

T – время жизни элемента ЭС.

Достоинства и недостатки показателей надёжности

1) Вероятность безотказной работы $p(t)$,

Достоинства:

- a) характеризует изменение надёжности во времени;
- b) даёт возможность наглядно судить о надёжности;
- c) показатель может быть использован для расчёта надёжности новых систем до их реализации;
- d) $p(t)$ характеризует стоимость изготовления и эксплуатации систем;
- e) показатель охватывает большинство факторов, влияющих на надёжность.

Недостатки:

- a) показатель характеризует надёжность восстанавливаемых систем до первого отказа и является достаточно полной характеристикой только систем разового пользования;
- b) показатель не даёт характеристики между временными составляющими цикла эксплуатации;
- c) эта величина не всегда удобна для оценки надёжности простых элементов при отсутствии старения; г. по этому показателю довольно трудно найти другие показатели надёжности.

2) Среднее время безотказной работы ($T_{ср}$) этот показатель надёжности является одним из более наглядных количественных характеристик надёжности но как математическое ожидание не полностью характеризует надёжность восстанавливаемых систем, надо ещё знать дисперсию времени отказов. Величина $T_{ср}$ характеризует работу системы до первого отказа.

3) Нарботка на отказ (T) Этот показатель надёжности характеризует восстанавливаемую систему.

4) Частота отказов «а» или «f» -позволяет судить о количестве элементов, выходящих из строя в промежутке времени для невосстанавливаемой системы и довольно просто вычислить количество отказавших систем в интервале « Δt », но по её величине нельзя судить о надёжности.

5) Интенсивность отказов (λ).

Достоинства:

a. $\lambda(t)$ -функция времени и позволяет наглядно установить характерные участки работы системы.

Это даёт возможность наметить пути по повышению надёжности.

b. показателю $\lambda(t)$ -просто довольно найти другие характеристики надёжности
Недостатки: показатель используется для невосстанавливаемых систем (элементов).

Заключение

Электроэнергетические системы являются динамическими системами сложного типа, состоящими из большого числа составляющих элементов (генератора, трансформатора, линии электропередач и тд.). При этом сложность системы определяется не только числом элементов, но главным образом наличием связей между ними. Для ЭЭС сложность функционально связаны единством процесса производства, распределения и потребления электрической энергии.

Электроэнергетика является основой развития промышленности, транспорта, коммунального и сельского хозяйства и служит базой для повышения технико-экономического потенциала страны. От надёжной работы электрических станций и

электроэнергетических систем зависит надежность электроснабжения потребителей, которая в конечном счете влияет на функционирование всей экономики страны.

Проблема оценки и выбора рациональной степени надежности электрических станций и электроэнергетических систем является одной из наиболее важных проблем на современном уровне развития электроэнергетики. Этим и определяется повышенный интерес к проблеме надежности в последние годы как в нашей стране, так и за рубежом.

Литература

1. Фокин Ю.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. - М.: Высш. шк., 1989. - 149 с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. - Ленинград.: Энергоатомиздат, 1990. - 206 с.
3. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. - Ленинград.: Энергоатомиздат, 1988. - 220 с.
4. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения, - М.: Энергоиздат, 1981. - 224 с.
5. Руденко Ю.Н., Чельцов М.В. Надежность и резервирование в электроэнергетических системах (методы исследования).- Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1974. - 261 с.
6. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах надежности систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.

УДК 621.3

Контроль качества электроэнергии и способы компенсации нарушений

Смертьева И.В.

Научный руководитель –к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции. Понятие качества электроэнергии (КЭ) отличается от понятия качества других видов продукции. Каждый электроприемник (ЭП) предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: частота, номинальное напряжение, ток. Поэтому для нормальной его работы должно быть обеспечено требуемое КЭ.

В данной работе рассматриваются продолжительные изменения характеристик напряжения электропитания, а также способы и средства регулирования напряжения, которые помогут избежать аварийных ситуаций.

Качество электрической энергии — это степень соответствия параметров электрической энергии их значениям, которые устанавливает ГОСТ 32144-2013.

Продолжительные изменения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены, в основном, изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок. Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. Данные изменения напряжения, как правило, вызываются непредсказуемыми событиями (например, повреждениями оборудования пользователя электрической сети) или внешними воздействиями (например, погодными условиями или действиями стороны, не являющейся пользователем электрической сети).

Продолжительные изменения характеристик напряжения:

Отклонение частоты:

Показателем КЭ, относящимся к частоте, является отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения. Номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц. Отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,4$ Гц.

Медленные изменения напряжения:

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети. Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U(-)$ и положительное $\delta U(+)$ отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального/согласованного значения. Для указанных выше показателей КЭ установлены следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального или согласованного значения напряжения.

Колебания напряжения и фликер:

Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера. Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера P_{lt} , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии. Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы: кратковременная доза фликера P_{st} не должна превышать значения 1,38, длительная доза фликера P_{lt} не должна превышать значения 1,0.

Несинусоидальность напряжения:

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются: значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка KU_n в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии и значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей) KU , % в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы: значения коэффициента гармонических составляющих напряжения и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения не должны превышать табличных значений, зависящих от напряжения сети и порядка гармоники. Например, для сети с напряжением 35 кВ, KU не должен превышать 6%.

Несимметрия напряжений в трехфазных системах:

Несимметрия трехфазной системы напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети. Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K2U$ и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K0U$. Значение данных коэффициентов не должны превышать 4%.

Различают следующие виды контроля КЭ:

1. Диагностический контроль – выполняется на границе раздела сетей потребления, с целью обнаружения «виновника» ухудшения ПКЭ.
2. Сертификационный контроль – ведётся органами сертификации с целью получения информации о состоянии сертифицированной электроэнергии в сети энергоснабжающих организаций.
3. Оперативный контроль КЭ ведут в местах электрической сети, где на данный момент не могут быть устранены искажения напряжения. Проводится мониторинг.
4. Коммерческий учёт ПКЭ – ведётся на границе раздела электрических сетей поставщика и потребителя с целью расчёта величин скидок/надбавок к тарифам на электроэнергию.

ГОСТ 30804.4.30-2013 устанавливает для каждого измеряемого показателя КЭ три класса характеристик процесса измерения – А, S и В. Для каждого класса определены методы измерения и соответствующие требования к характеристикам средств измерения.

Класс А применяют, если необходимо проведение точных измерений, например, при проверке соответствия стандартам, устанавливающим нормы КЭ, при условии выполнении условий договоров, предусматривающих возможность разрешения спорных вопросов путем измерения и т.д.

Класс S применяют при проведении обследований и оценке КЭ с использованием статистических методов. Хотя интервалы времени измерений показателей КЭ для классов S и А одинаковы, требования к характеристикам процесса измерения класса S снижены.

Класс В установлен для того, чтобы избежать признания средства измерения многих существующих типов устаревшими.

Для класса А и S в качестве основного интервала времени при измерении показателей КЭ должен быть принят интервал длительностью 10 периодов для систем электроснабжения частотой 50 Гц. Измерения на основных интервалах времени 10 периодов должны синхронизироваться с текущим временем при каждой 10-минутной отметке текущего времени внутренних часов средства измерения. Для класса В число и длительность объединенных временных интервалов устанавливает изготовитель средства измерения.

Далее рассмотрим способы и средства регулирования напряжения.

Под регулированием напряжения понимается комплекс технических мероприятий по ограничению отклонений напряжений от их номинальных значений на шинах потребителей электроэнергии в допустимых ГОСТ 32144-2013 пределах. Кроме того, регулирование

напряжений выполняется в системообразующей и распределительных сетях электроэнергетических систем с целью обеспечения экономичной и надежной работы энергетического оборудования и поддержания напряжений в узлах сети в технически допустимых границах. Таким образом, регулирование напряжений производится как в системах электроснабжения потребителей, так и в сетях электроэнергетических систем.

Регулирование напряжения связано с балансом реактивной мощности в сети и на шинах потребителей электроэнергии. Пониженные уровни напряжений наблюдаются, как правило, в районах с дефицитом реактивной мощности.

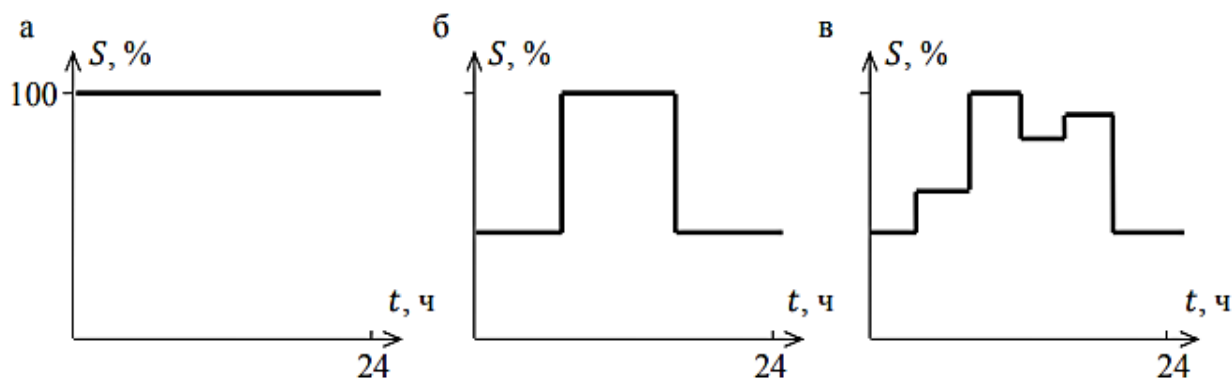
Различают централизованное и местное регулирование напряжения. При централизованном регулировании в питающем узле одновременно поддерживаются допустимые уровни напряжения в целом для группы потребителей близлежащего района.

Местное регулирование предполагает поддержание требуемых уровней напряжения непосредственно на шинах потребителя. Местное регулирование напряжения можно подразделить на групповое и индивидуальное. Групповое регулирование выполняется одновременно для группы потребителей, индивидуальное регулирование — для одного конкретного, как правило, особого потребителя.

Централизованное регулирование напряжения в зависимости от характера графиков нагрузок можно условно разбить на три типа: стабилизация напряжения; двухступенчатое регулирование; встречное регулирование напряжения.

Стабилизация напряжения применяется для потребителей с практически неизменной нагрузкой, где требуемый уровень напряжения необходимо поддерживать неизменным в течение суток. График нагрузки таких предприятий показан на рис. 1, а.

Двухступенчатое регулирование применяют для нагрузок, график которых имеет два явно выраженных уровня (рис. 1, б). При этом поддерживаются два 35 требуемых уровня напряжения в соответствии с графиком нагрузок. Обычно требуемый уровень напряжения в режиме максимальных нагрузок выше, чем в режиме минимальных нагрузок.



а – неизменный; б – двухступенчатый; в – многоступенчатый
Рисунок 1 – График нагрузок потребителей

Встречное регулирование напряжения применяется для потребителей с переменным, многоступенчатым графиком нагрузок (рис. 1, в) и является развитием двухступенчатого. Для каждого значения нагрузки в системе электроснабжения потребителя будут иметь место свои значения потерь напряжения. Для поддержания требуемых уровней напряжений на шинах потребителя напряжение следует регулировать в соответствии с графиком нагрузок.

Встречное регулирование заключается в поддержании повышенного напряжения на шинах электрических станций или понижающих подстанций в период наибольших нагрузок и в снижении его до номинального в период наименьших нагрузок. При таком регулировании в режимах максимальных и минимальных нагрузок соответственно повышается и понижается, и поэтому называется встречным.

Средствами регулирования напряжения могут служить: генераторы на электростанциях, трансформаторы с устройствами регулирования напряжения под нагрузкой

(РПН) и без нагрузки (ПБВ); вольтодобавочные трансформаторы и линейные регуляторы; компенсирующие устройства, вырабатывающие (батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы в перевозбужденном режиме) и потребляющие (реакторы, синхронные компенсаторы в недовозбужденном режиме) реактивную мощность.

Под регулированием понимается текущее изменение параметров системы (напряжения, коэффициента трансформации, потерь напряжения), применяемое в целях обеспечения желательного режима напряжений. Регулирование может проводиться автоматически. Законы регулирования напряжения должны устанавливаться из условий обеспечения наиболее экономичной совместной работы источников реактивной мощности, электрических сетей и присоединенных к ним электроприемников.

Среди способов регулирования напряжения следует особо выделить применение автоматизированных источников реактивной мощности (компенсирующих устройств). Напряжение на шинах генераторного напряжения станций регулируется путем изменения тока возбуждения генераторов автоматически с помощью специальных автоматических регуляторов возбуждения (АРВ). Регулирование на шинах низшего напряжения понизительных подстанций может производиться с помощью: а) трансформаторов с РПН; б) синхронных компенсаторов; в) линейных регуляторов ЛР. Напряжение при этом должно регулироваться автоматически с помощью регуляторов напряжения по желаемому закону в пределах располагаемого диапазона одновременно для всех линий распределительной сети, присоединенных к шинам данного ЦП. Поэтому эти схемы централизованного регулирования могут обеспечить требуемое качество напряжения у электроприемников только в тех случаях, когда к шинам ЦП присоединяются линии распределительной сети, питающие однородных потребителей. Под однородными потребителями понимаются группы электроприемников, для которых графики изменения нагрузок во времени являются практически однотипными.

Напряжение может регулироваться с помощью трансформаторов. Двухобмоточные и трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы могут устанавливаться в различных пунктах электрических сетей и выполнять функции повышения или понижения класса напряжения сети. Для регулирования напряжения необходимо изменять коэффициент трансформации. Понижающие трансформаторы изготавливаются с возможностью изменения коэффициента трансформации в пределах 10...20 %. Изменение коэффициента трансформации достигается изменением числа витков одной из обмоток трансформатора, снабженной, помимо основных, дополнительными регулировочными ответвлениями.

По конструктивному выполнению переключающих устройств различают трансформаторы с ПБВ и РПН. Трансформаторы с ПБВ (переключением без возбуждения) необходимо отключать от сети для переключения регулировочных ответвлений. Трансформаторы с РПН (переключение под нагрузкой) не требуют отключения от сети для переключения регулировочных ответвлений. Трансформаторы с ПБВ в настоящее время выполняются с основным и четырьмя дополнительными ответвлениями. Переключающее устройство ПБВ выполняется обычно в виде кругового переключателя, принципиальная схема обмоток и переключателя трансформатора с ПБВ в однофазном исполнении приведена на рис. 2.

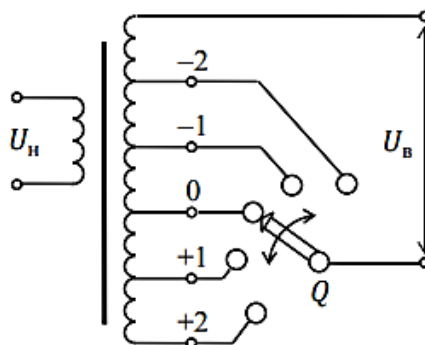


Рисунок 2 – Трансформатор с ПБВ

Для переключения регулировочных ответвлений трансформатор отключается от сети, круговой переключатель Q переводится в нужное положение и трансформатор включается в сеть.

Трансформаторы со встроенным устройством РПН отличаются от трансформаторов с ПБВ наличием специального устройства переключения под нагрузкой без отключения трансформатора от сети. Принцип конструкции устройства РПН приведен на рис. 3.

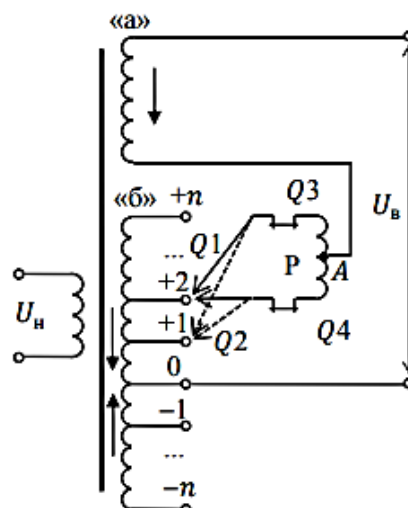


Рисунок 3 – Трансформатор с РПН

Обмотка, на которой расположено РПН, выполняется из двух частей: нерегулируемой «а» и регулируемой «б». На регулируемой обмотке часть витков включена согласно с витками основной нерегулируемой обмотки (регулируемые ответвления $+1$, $+2$, ..., $+n$) и часть встречно (ответвления -1 , -2 , ..., $-n$). При использовании регулировочных ответвлений, включенных согласно с основной обмоткой, коэффициент трансформации увеличивается по сравнению с номинальным, что приводит к понижению напряжения на низшей стороне трансформатора. При использовании ответвлений, включенных встречно, коэффициент трансформации уменьшается, и напряжение на низшей стороне трансформатора повышается.

Трансформаторы с РПН имеют большее число ступеней регулировочных ответвлений, чем трансформаторы с ПБВ. Обычно пределы регулирования коэффициента трансформации трансформаторов с РПН составляют от ± 16 до ± 20 % от номинального.

Одним из способов регулирования напряжения является продольное и поперечное регулирование напряжения. Продольное и поперечное регулирование напряжения выполняется с помощью линейных и последовательных регулировочных трансформаторов. Линейные регулировочные трансформаторы и последовательные регулировочные

(вольтодобавочные) трансформаторы используются для регулирования напряжения на шинах подстанций, где установлены трансформаторы без регулирования коэффициента трансформации под нагрузкой. Кроме того, они могут устанавливаться для регулирования напряжения на отдельных линиях и группах линий. Для регулирования напряжения на шинах подстанций регулировочные трансформаторы (РТ) включаются последовательно с силовым трансформатором (Т) без РПН. Линейные регуляторы (ЛР), используемые для регулирования напряжения на отдельных линиях или группах линий, устанавливаются на шинах низшего напряжения подстанций непосредственно в линии. Линейные регулировочные трансформаторы устанавливаются также на подстанциях с автотрансформаторами (АТ), если необходимо изменять напряжение на шинах низшего напряжения под нагрузкой. В этом случае линейный регулятор устанавливается последовательно с обмоткой низшего напряжения автотрансформатора.

Линейный и последовательный регулировочные трансформаторы состоят из двух трансформаторов: последовательного (ПТ) и питающего регулировочного (ПРТ, см. рис. 4). На первичную обмотку 1 питающего регулировочного трансформатора может быть подано фазное напряжение одноименной или разноименных фаз или любое междуфазное напряжение. Вторичная обмотка ПРТ 2 содержит устройство переключения числа витков 3, подобное РПН. Первичная обмотка последовательного трансформатора 4 включена между средней точкой вторичной обмотки питающего трансформатора и переключающим устройством. Вторичная обмотка ПТ 5 включается последовательно с обмоткой высшего напряжения силового нерегулируемого трансформатора ВН.

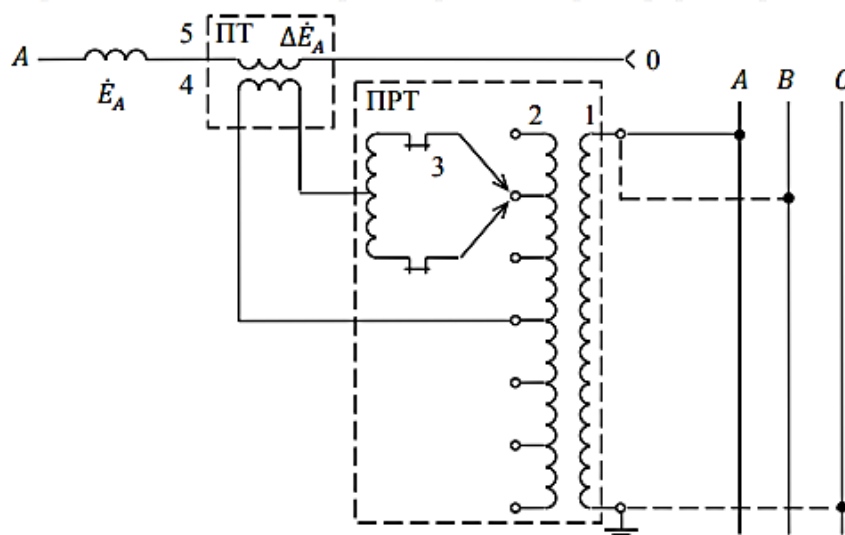


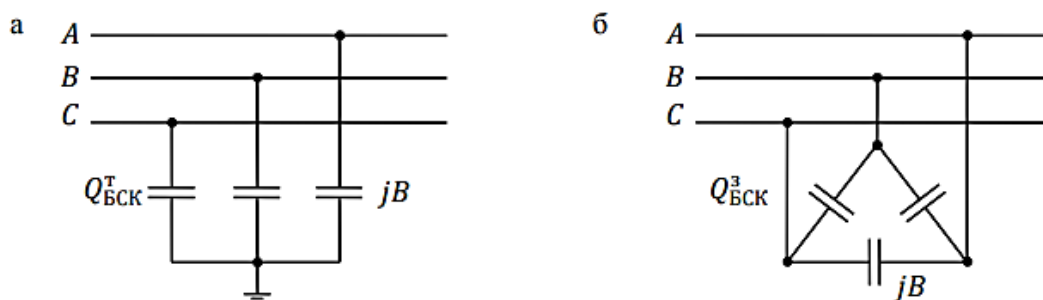
Рисунок 4 – Схема регулировочного трансформатора (фаза А)

При этом регулирование с помощью РПН трансформатора ПРТ выполняется по модулю и называется продольным регулированием. Коэффициент трансформации при таком регулировании является действительной величиной. Если первичная обмотка 1 фазы А ПРТ включена на соседние фазы В и С (пунктирные линии на рис. 4), то такое регулирование называется поперечным. При подключении обмотки 1 фазы А ПРТ к фазе А и одной из фаз В или С одновременно регулируются модуль и фаза напряжения и такое регулирование называется продольно-поперечным. При поперечном и продольно-поперечном регулировании коэффициент трансформации является комплексной величиной.

Линейные регулировочные трансформаторы обычно изготавливаются в трехфазном исполнении на напряжение 6...35 кВ с пределом регулирования $\pm 15\%$. Последовательные регулировочные трансформаторы (вольтодобавочные) изготавливаются в виде трехфазных автотрансформаторов с высшим напряжением 220, 330 кВ и в виде однофазных автотрансформаторов с высшим напряжением 500, 750 кВ с широкими пределами регулирования.

Ещё одним способом регулирования напряжений в электрической сети является изменение величины падения или потери напряжения на элементах электрической сети при помощи изменения перетоков реактивной мощности. Для изменения перетоков реактивной мощности с целью регулирования напряжения в электрических сетях используются компенсирующие устройства. Компенсирующие устройства предназначены для выработки или потребления реактивной мощности. Для выработки реактивной мощности используются: батареи статических конденсаторов; статические тиристорные компенсаторы; синхронные компенсаторы в перевозбужденном режиме. Для потребления реактивной мощности служат шунтирующие реакторы (ШР) и синхронные компенсаторы в недовозбужденном режиме.

Синхронный компенсатор (СК) — синхронная явнополюсная машина, работающая в режиме холостого хода и предназначенная для генерации или потребления реактивной мощности. СК потребляет из сети небольшую активную мощность, обусловленную собственными потерями. Положительными свойствами СК как источников реактивной мощности являются: а) возможность увеличения генерируемой мощности при понижении напряжения в сети вследствие регулирования тока возбуждения; б) возможность плавного и автоматического регулирования генерируемой реактивной мощности. Батареи статических конденсаторов (БСК) применяются для генерации реактивной мощности в узлах сети и включаются на шинах понижающих подстанций (шунтовые батареи). БСК собираются из отдельных конденсаторов, соединенных последовательно и параллельно. Последовательное соединение конденсаторов позволяет увеличить рабочее напряжение БСК, а параллельное — мощность БСК. В сетях трехфазного тока конденсаторы включаются по схеме звезды (рис. 5, а) и треугольника (рис. 5, б).



а – звезда; б – треугольник
Рисунок 5 – Схемы включения БСК

Шунтирующие реакторы можно применять для регулирования реактивной мощности и напряжения. Реактор — это статическое электромагнитное устройство, предназначенное для использования его индуктивности в электрической цепи. Активное сопротивление реактора очень мало. Шунтирующие реакторы рассчитаны на напряжения 35...750 кВ и могут как присоединяться к линии, так и включаться на шины подстанции. На рис. 6. показаны обозначение реактора и включение его в сеть.

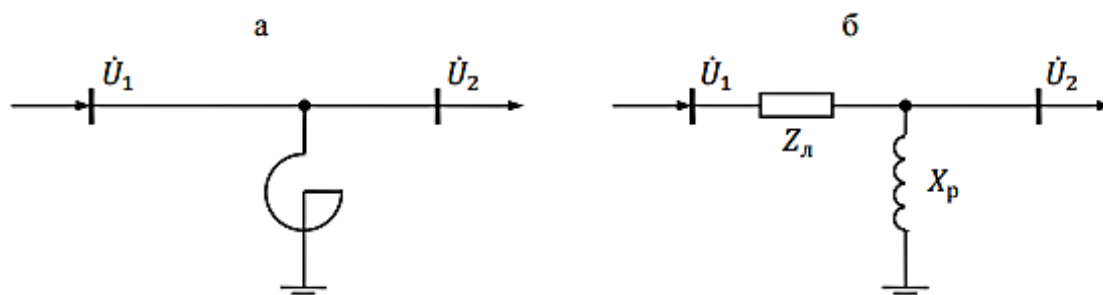


Рисунок 6 – Включение реактора в сеть (а) и схема замещения сети (б)

Статические тиристорные компенсаторы (СТК) предназначены для плавной (регулируемой) генерации или потребления реактивной мощности, что достигается использованием в СТК нерегулируемой батареи конденсаторов и включенного последовательно или параллельно с ней регулируемого реактора (рис. 7). Плавность регулирования реактивной мощности СТК достигается с помощью тиристорного блока, входящего в устройство управления.

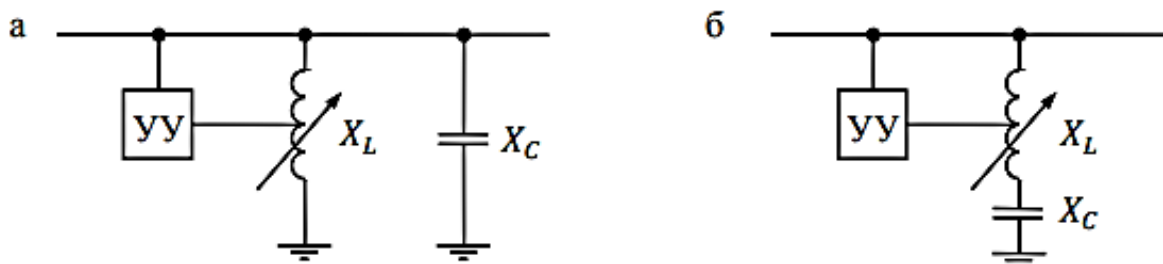


Рисунок 7 – Принципиальная схема СТК с параллельным (а) и последовательным (б) включением управляемого реактора

Регулирование напряжения в сети путем изменения ее параметров связано с изменением величины падения напряжения при изменении продольных параметров сети.

Потерь напряжения в сети зависит от сопротивления сети и нагрузки. Практически изменение сопротивлений сети связывают с изменением напряжений в ней при выборе сечений проводов и жил кабелей с учетом отклонений напряжения у приемников электроэнергии (по допустимой потере напряжения), а также при применении последовательного включения конденсаторов в воздушных линиях (установки продольной компенсации — УПК).

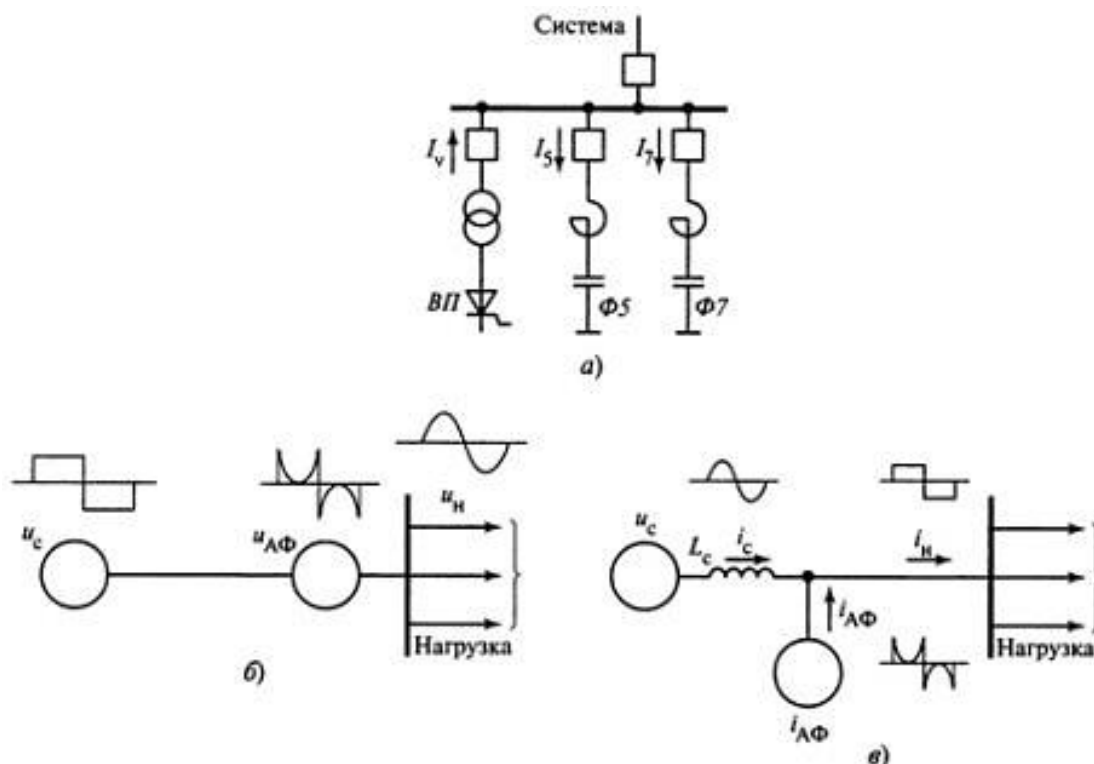
Последовательно включенные конденсаторы компенсируют часть индуктивного сопротивления линии, тем самым уменьшается реактивная слагающая в линии и создается как бы некоторая добавка напряжения в сети, зависящая от нагрузки.

Последовательное включение конденсаторов целесообразно лишь при значительной реактивной мощности нагрузки ($\text{tg}\varphi > 0,75$).

Применение УПК позволяет улучшить режимы напряжения в сетях. Однако следует учитывать, что повышение напряжения, создаваемое такими конденсаторами, зависит от значения и фазы тока, проходящего через УПК. Поэтому возможности регулирования последовательными конденсаторами ограничены. Наиболее эффективно применение УПК для снижения отклонений напряжения на перегруженных радиальных линиях.

Среди технических средств для уменьшения не синусоидальности напряжения применяют: фильтровые устройства: включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), фильтросимметрирующих устройств (ФСУ).

На рис. 8, а показана схема поперечного (параллельного) пассивного фильтра высших гармоник. Звено фильтра представляет собой контур из последовательно соединенных индуктивности и емкости, настроенных на частоту определенной гармоники.



а — пассивного, б — активного фильтра (АФ) как источника напряжения, в — АФ как источника тока, ВП — вентильный преобразователь, Ф5, Ф7 — соответственно звенья фильтра на 5-ю и 7-ю гармоники, u_c — напряжение сети, $u_{АФ}$ — напряжение АФ, u_n — напряжение на нагрузке, I_c — ток сети, $I_{АФ}$ — ток, генерируемый АФ, I_n — ток нагрузки
 Рисунок 8 – Принципиальные схемы фильтров высших гармоник

С увеличением частоты индуктивное сопротивление реактора увеличивается пропорционально, а батареи конденсаторов — уменьшается обратно пропорционально номеру гармоники. На частоте одной из гармоник индуктивное сопротивление реактора становится равным емкостному сопротивлению батареи конденсаторов, и в цепи звена фильтра возникает резонанс напряжений. При этом сопротивление звена фильтра n току резонансной частоты равно нулю и оно шунтирует электрическую систему на этой частоте.

Идеальный фильтр полностью отфильтровывает токи гармоник, на частоты которых настроены его звенья. Однако практически наличие активных сопротивлений реакторов и батарей конденсаторов и неточная настройка звеньев фильтра приводят к неполной фильтрации гармоник. Параллельный фильтр представляет собой ряд звеньев, каждое из которых настроено на резонанс для частоты определенной гармоники.

Поперечные фильтры присоединяют как в местах возникновения высших гармоник, так и в пунктах их усиления. Поперечный фильтр является одновременно и источником реактивной мощности, и средством компенсации реактивных нагрузок.

Параметры фильтров подбирают таким образом, чтобы звенья были настроены в резонанс на частоты фильтруемых гармоник, а их емкости позволяли генерировать необходимую реактивную мощность на промышленной частоте. В ряде случаев для компенсации реактивной мощности параллельно фильтру включают батарею конденсаторов. Такое устройство называют фильтрокомпенсирующим (ФКУ). Фильтрокомпенсирующие устройства выполняют и функцию фильтрации гармоник, и функцию компенсации реактивной мощности.

В настоящее время помимо пассивных узкополосных фильтров применяют и активные фильтры (АФ). Активный фильтр — преобразователь переменного-постоянного тока с емкостным или индуктивным накопителем электрической энергии на стороне постоянного тока, формирующий методом импульсной модуляции определенное значение напряжения

или тока. В его составе интегрированные силовые ключи, соединенные по типовым схемам. Подключение АФ в сеть в качестве источника напряжения показано на рис. 8, б, в качестве источника тока — на рис. 8, в.

Таким образом, качество электрической энергии определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции. Поэтому измерения параметров сети имеют огромное значение в оценке качества электроэнергии. На сегодняшний день существуют приборы, способные определять и контролировать не только все показатели качества электрической энергии и величину вносимых электромагнитных помех, но и сторону их вносящую. Важную роль в обеспечении качества электрической энергии отводится как энергоснабжающей организации, так и потребителям.

Литература

1. Ананичаева С.С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие / С. С. Ананичаева, А. А. Алексеев, А. Л. Мызин.; 3-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ. 2012. 93 с.
2. ГОСТ 30804.4.30-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М.: Госстандарт России, 2013.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Госстандарт России, 2013.

УДК 621.3

Энергоэффективность электрических двигателей

Сугак В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Энергоэффективность – оптимальное использование энергии, благодаря которому достигается снижение её потребления при идентичной мощности нагрузки.

Главный знак энергоэффективности двигателей – КПД. КПД снижается из-за: механических потерь, магнитных потерь, электрических потерь.

Разряды электрических двигателей, выдвинутые МЭК:

IE1 – стандартный тип

IE2 – высокая группа энергоэффективности

IE3 – сверхвысокий класс

IE4 – премиум класс

Выбирая асинхронный двигатель более высокого разряда достигается значительная экономия электрической энергии и уменьшается «цена жизненного цикла»

IE1 – применяется там, где наиважнейшим фактором служит дешевизна двигателя, простота конструкции и ремонта.

IE2 – требует более тонкой настройки оборудования для работы в оптимальном режиме. Данный класс двигателей более эффективный относительно IE1 даже при частичной нагрузке. При их изготовлении используются менее шумные вентиляторы охлаждения мотора.

IE3 – получили признание в 2017 году, тогда вступил в силу Регламент ЕС указывающий, что двигатели мощностью от 0.75 до 375 кВт должны соответствовать классу IE3 или IE2 с применением частотных преобразователей. Данные двигатели способны работать даже при длительной перегрузке 10 – 15%. Нашли применение на станках где трудно заметить перегрузку, ведь мощность на валу постоянно изменяется

IE4 – двигатели премиум сегмента. В них используется уникальная система аэродинамики, теплообмена и т.д. Внимание заслуживает повышенное содержание активных материалов и максимальное уменьшение воздушного зазора между ротором и статором, благодаря сверхточной соосности всех центров агрегата. Внедрение двигателей данного типа существенно снизит затраты энергии. Эффект от внедрения будет следующим: экономия электрической энергии, снижение мощности для работы оборудования, снижение затрат на обслуживание (использование двигателя 55 кВт IE3 позволяет сэкономить около 8000 кВт*ч в год). На рисунке 1 приведено сравнение характеристик двигателей типов IE1 и IE2. На рисунке 2 приведены сравнения зависимости КПД от мощности электродвигателей различных типов.

Экономия энергии и повышение энергоэффективности двигателей достигается следующими способами:

- уменьшение воздушного зазора (уменьшает намагничивающий ток ротора)
- новые марки электротехнической стали
- применение меди вместо алюминия для изготовления короткозамкнутой обмотки ротора (уменьшает активное сопротивление примерно на 33 процента)
- применение постоянных магнитов для изготовления статора синхронных двигателей

Для вентиляции в последнее время распространение получили двигатели серии ЕС. Бесколлекторные синхронные двигатели с электронным управлением. Бесщёточные двигатели постоянного тока. Двигатели с постоянными магнитами. Эти двигатели имеют высокий КПД, точное регулирование, малые пусковые токи, не нуждаются в дополнительной шумоизоляции.

На насосных установках и различного вида станках применяют асинхронные двигатели серии АИР.

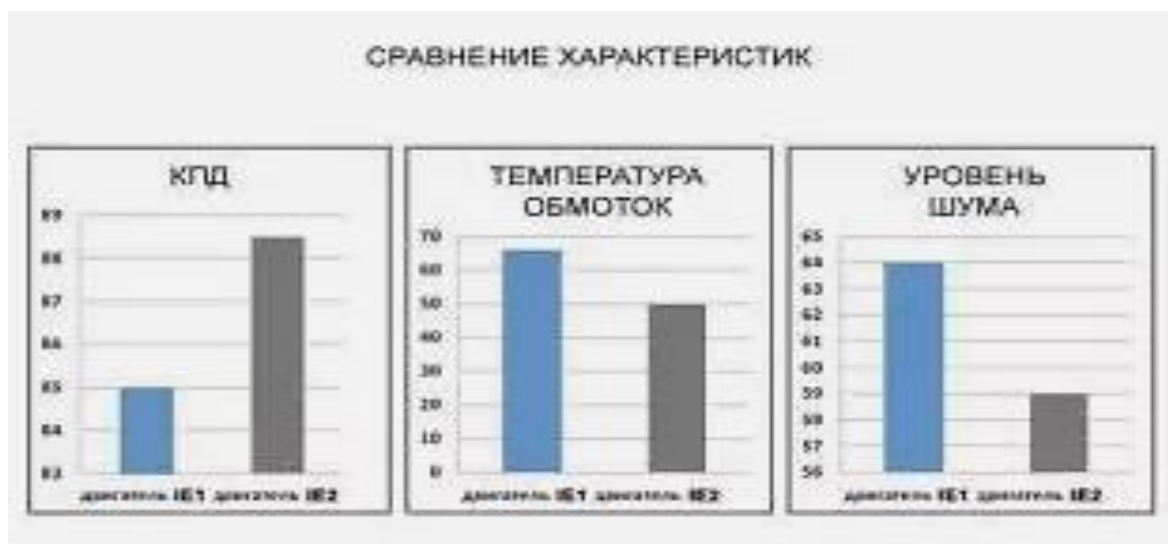


Рисунок 1 – Сравнение характеристик двигателей

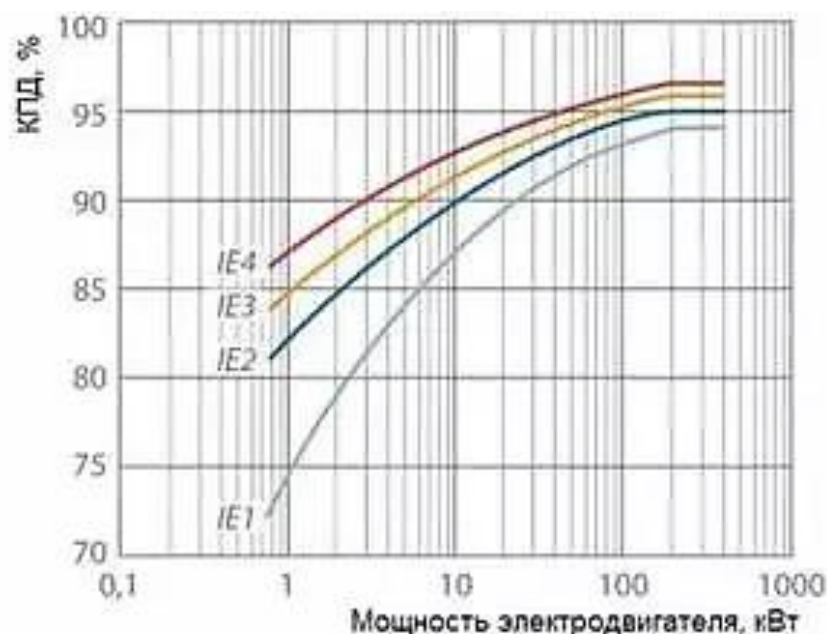


Рисунок 2 – Сравнение КПД двигателей

Использование ПЧТ в центробежных насосах для снижения рабочей скорости вращения приводит к кубическому уменьшению энергопотребления двигателей. Например, уменьшение частоты электродвигателя с 50 Гц до 40 Гц приводит к уменьшению потребления электроэнергии вдвое. $\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$

В добавок к вышесказанному, преобразователи частоты позволяют избавиться от гидроударов, а при использовании датчиков даже автоматизировать процесс - при уменьшении потребления рабочей жидкости, давление в трубопроводе будет увеличиваться, датчик это фиксирует и преобразователь автоматически уменьшает обороты двигателя. При увеличении потребления давление будет уменьшаться, а преобразователь соответственно будет увеличивать обороты двигателя, соответственно в системе будет поддерживаться постоянное давление, а в случае, когда двигатель на номинальных оборотах не способен поддержать нужное давление, преобразователь частоты может подать сигнал об этом на пульт или, в случае наличия дополнительного насосного оборудования автоматически его включать. На представленном ниже графике изображены кривые зависимости расхода и

энергопотребления. Но для лучшей наглядности можно рассмотреть график тока электродвигателя, на котором представлены кривые тока при использовании ЧРП и при регулировании заслонками (рис. 3).

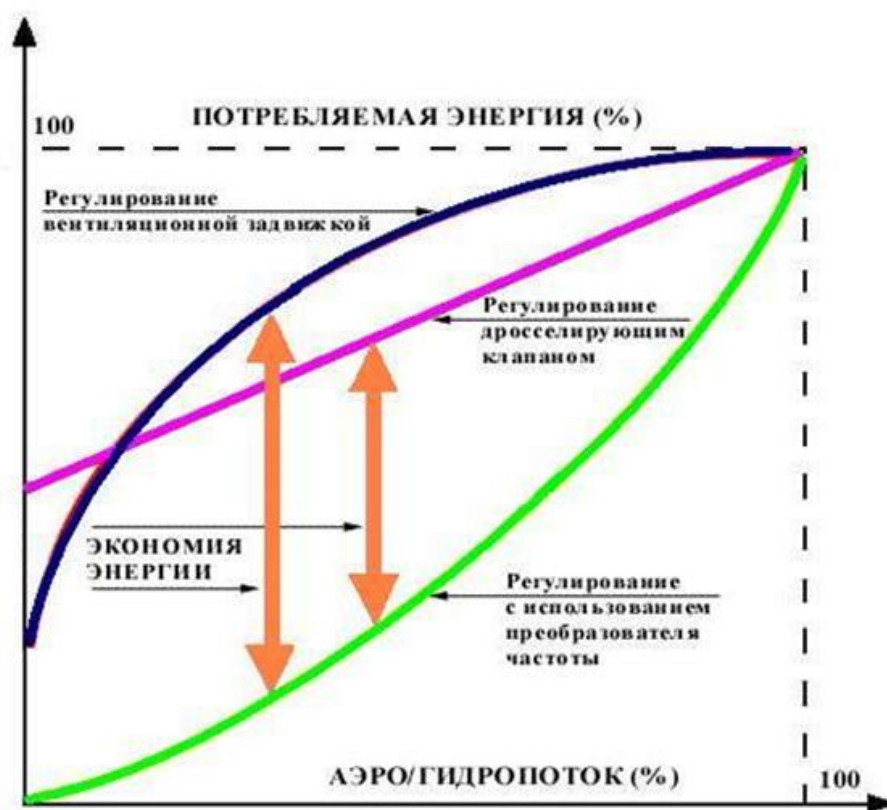


Рисунок 3 – Потребляемая мощность при различных способах регулирования

Литература

1. Копылов И.П. Электрические машины (учебник).-М.: Энергоатомиздат, 2005.- 360 с.

УДК 621. 36

Внедрение электрообогрева в жилые здания

Харитон С. Г.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Электрообогрев жилых помещений может выполняться в нескольких самых распространенных модификациях:

- водяное с обогревом через электродотел, циркуляция воды может быть естественная, принудительная или комбинированная;
- водяное типа «теплый пол» - применяется насос и электрический котел;
- электрическое прямое отопление

Прямыми источниками тепла являются тепловентиляторы, конвекторы, инфракрасные излучатели, спиральные обогреватели, а также кабельные конструкции.

Простейшим видом электроотопления является прямой электрообогрев. В этом случае тепло передается непосредственно в помещение тепловентиляторами или конвекторами. Чтобы нагреть воздух их нагревательные элементы должны быть разогреты до высоких температур. Следствием этого является высокий расход электроэнергии.

Инфракрасный обогреватель. Тепло передается в виде излучения и нагревается не воздух, а только твердые предметы. Температура на поверхности самого обогревателя остается невысокой. В зоне действия инфракрасного обогревателя будет тепло и уютно, но как только Вы покинете зону излучения, то ощутите холод.

Электрообогрев жилых помещений с помощью системы кабельного отопления подразумевает, что источником тепла является сам кабель. Это позволяет монтировать нагревающий элемент в любом удобном месте, как в бетонные полы, так и под деревянные настилы. Такие системы не требуют установки дорогостоящего котла, прокладки и подключения труб с водой, а также сложной и трудоемкой работы по сборке и монтажу системы обогрева. Кроме того, отсутствие водяной системы позволяет значительно увеличить КПД обогревателей.

Литература

1. Электронный ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Отопление>
2. Савельев А.А. “Отопление дома. Расчет и монтаж систем” / А.А. Савельев. - Россия :2016.-360с.

УДК 621.3

Газовая защита силовых трансформаторов

Шавкун О.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Современная электроэнергетическая система (ЭЭС) РБ охватывает значительную территорию, состоит из многих электростанций, линий электропередач и трансформаторов, связана с электроэнергетическими системами соседних стран. Такое количество элементов просто не может работать продолжительное время безотказно: изнашивается оборудование, проявляются природные условия, ошибается дежурный персонал. Тем не менее, тысячи крупных нарушений в ЭЭС ежегодно устраняются устройствами релейной защиты и автоматики (РЗА) практически незаметно для потребителя. ЭЭС спроектированы так, чтобы отказ одного ее элемента не приводил систему к аварии.

Любой элемент в ЭЭС с большей или меньшей вероятностью он может быть поврежден, причем большинство повреждений сопровождается возникновением короткого замыкания (КЗ). Режим КЗ опасен для энергосистемы: устойчивая работа ЭЭС может быть нарушена, из-за существенного искажения параметров режима энергосистемы потребители электроэнергии теряют электропитание, длительное существование токов КЗ разрушает элемент, в котором произошёл повреждение, иногда до неремонтопригодного состояния.

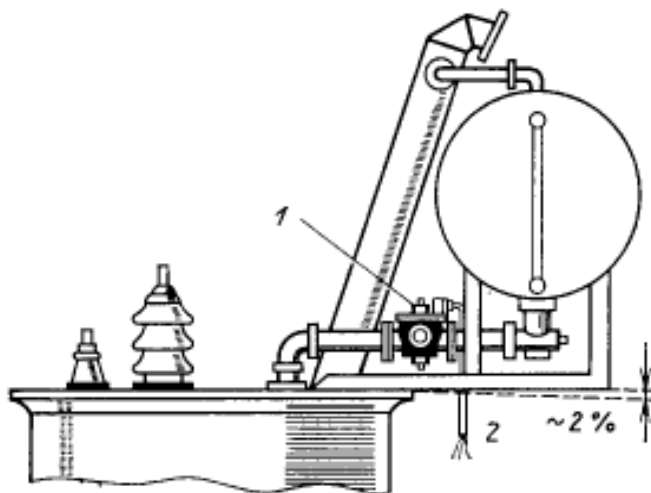
Назначением релейной защиты (РЗ) является выявление поврежденного элемента и быстрое его отключение от энергосистемы. Кроме того, устройства релейной защиты должны предупреждать повреждение элемента энергосистемы в случае возникновения ненормального и опасного для него режима работы.

Силовые масляные трансформаторы – самые дорогостоящие элементы оборудования распределительных подстанций. Трансформаторы рассчитаны на продолжительный срок службы, но при условии, что они будут работать в нормальном режиме и не будут подвергаться повреждениям.

Повреждения, возникающие в силовых трансформаторах, можно разделить на две группы: происходящие в баках и вне бака в соединениях между выключателями и баками. Основными видами внутрибаковых повреждений являются многофазные КЗ, однофазные замыкания и «пожар стали» сердечника, вызываемый вихревыми токами при нарушении изоляции между пластинами сердечника.

«Пожар стали» возникает при нарушении изоляции между листами магнитопровода, что ведёт к увеличению потерь на перемагничивание и вихревые токи. Потери вызывают местный нагрев стали, ведущий к дальнейшему разрушению изоляции. Защиты, основанные на использовании электрических величин, на этот вид повреждения тоже не реагируют, поэтому возникает необходимость в применении специальной защиты от вихревых замыканий и от «пожара стали». Для маслонаполненных трансформаторов такой защитой является газовая, основанная на использовании явлений газообразования. Образование газа является следствием разложения масла и других изолирующих материалов под действием электрической дуги при витковых замыканиях или недопустимого нагрева при «пожаре стали». Электрическая дуга возникает и при многофазных коротких замыканиях в обмотках, поэтому газовая защита является универсальной защитой от всех внутренних повреждений трансформатора.

Общие данные. Баки трансформаторов и автотрансформаторов заполняются маслом, которое используется как для целей изоляции, так и для охлаждения. Бак снабжается расширителем (рис. 1), воздушный объём в верхней части которого сообщается с атмосферой. Бак часто имеет герметически закрытую мембраной выхлопную трубу, предохраняющую его от механических деформаций при взрывообразных выделениях газа. Корпус газового реле врезается в маслопровод между крышкой бака и расширителем так, чтобы не препятствовать циркуляции масла между ними.



1-газовое реле; 2- подвод оперативного тока.

Рисунок 1 – Установка газового реле на трансформаторе (бак трансформатора и труба к маслорасширителю имеют небольшой, примерно 2%, угол наклона к горизонту)

Интенсивность газообразования зависит от характера и размеров повреждения. Газ, образующийся при повреждениях, может использоваться путём установления объёма газа или быстроты его образования, косвенно определяемой скоростью движения масла в трубопроводе к расширителю. Обычно применяют оба способа. При защите же трансформаторов малой мощности или встроенных устройств регулирования напряжения под нагрузкой (размещаются в баке в отдельном кожухе) применяют реле, регулирующее только на быстрое выделение газа.

Процессы, проходящие в маслonaполненном баке работающего трансформатора, могут быть достаточно сложными. На них влияют как внешние факторы (внешние КЗ, колебания почты и т.д), так и внутренние (например, изменения режимов работы системы охлаждения).

Принцип работы. Элементы выполнены в виде плоскодонных алюминиевых чашек, вращающихся вместе с подвижными контактами 4 вокруг осей 3. Эти контакты замыкаются с неподвижными контактами 5 при опускании чашек. В нормальном режиме при наличии масла в кожухе реле чашка удерживается пружинами 6 в положении, указанном на рисунке 2. Система отрегулирована так, что масса чашки с маслом является достаточной для преодоления силы пружины при отсутствии масла в кожухе реле. Поэтому понижение уровня масла сопровождается опусканием чашек и замыканием соответствующих контактов. Сначала опускается верхняя чашка и реле действует на сигнал. При интенсивном газообразовании возникает сильный поток масла и газов из бака в расширитель через газовое реле. На пути потока находится лопасть, действующая вместе с нижней чашкой на общий контакт. Лопасть поворачивается и замыкает контакт в цепи отключения трансформатора, если скорость движения масла и газов достигает определённого значения, установленного на реле. Предусмотрены три установки срабатывания отключающего элемента по скорости потока масла: (V_1 ; $V_1+0,3$; $V_1 +0,6$) м/с. При этом время срабатывания реле составляет $t_c=0,05-0,5$ с. Уставка по скорости потока масла определяется мощностью и характером охлаждения трансформатора.

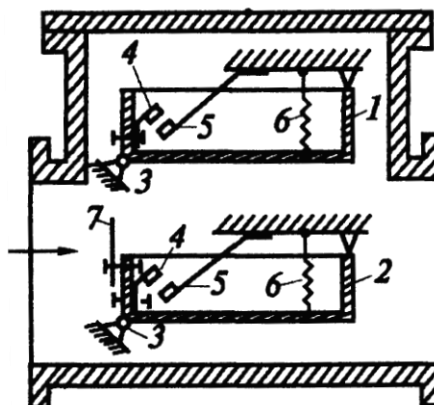


Рисунок 2 – Газовое реле защиты трансформатора

Общая оценка и область применения. Защита до последнего времени являлась единственной, построенной не на электрическом принципе действия. Постепенно конструкции газовых реле совершенствовались и продолжают совершенствоваться.

Достоинства газовой защиты являются: высокая чувствительность, позволяющая реагировать практически на все опасные повреждения внутри бака; весьма небольшое для неэлектрического принципа время срабатывания (0,1-0,15 с) при больших скоростях масла; простота выполнения, а также способность защищать трансформатор при недопустимом понижении уровня масла при любых причинах.

Защита имеет следующие недостатки: значительное время срабатывания при медленном газообразовании, что не позволяет отнести её к быстродействующим; не реагирует на повреждения, возникающие вне бака, но в зоне между трансформатором и выключателем (на вводных втулках, соединениях с выключателем), поэтому не может быть единственной защитой от внутренних повреждений; при использовании защиты в районах с возможными землетрясениями могут возникать затруднения с выполнением её действия на отключение.

В настоящее время газовая защита используется очень широко. Её применение считается обязательным на всех силовых трансформаторах мощностью выше 6300 кВ·А, а также мощностью 1000-4000 кВ·А, не имеющих дифференциальной или другой быстродействующей защиты.

Литература

1. Федосеев, А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. /А.М. Федосеев – 2-е изд.-Москва:Энергоатомиздат,1992. 451-454с.
2. Андреев, В.А., Релейная защита и автоматика систем электроснабжения/В.А. Андреев – 4-е изд. –Москва: Высшая школа,2006. - с.458-461.
3. Степанчук, К.Ф. Техника высоких напряжений. /К.Ф. Степанчук 2-е изд.- Минск: Высшая школа,1982. - с.159-163
4. Сергеенков, Б.Н. Электрические машины. Трансформаторы. /Б.Н. Сергеенков – Минск: Высшая школа, 1989. – с.144-147.

УДК 621.3

Технологии организационно-технического управления ЭЭС

Астровский А.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

В настоящее время повышение энергоэффективности ЭЭС предполагает применение совокупности организационных и технических мер. Наиболее актуальной является внедрение в ЭЭС автоматизированных систем управления (АСКУЭ, АСУ ТП, АСУ ПСЭ).

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) – это комплекс технических и программных средств, предназначенных для организации автоматического учета электроэнергии и автоматизированного управления процессом энергопотребления.

Возможности АСКУЭ:

- непрерывное или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (потребление электроэнергии, мощность и др.) по точкам учета;
- круглосуточный сбор измерительных данных, накопление, обработку и передачу этих данных;
- передача накопленных данных на другие информационные уровни – в базы данных серверов как самого объекта учета, так и энергосбытовых организаций и общереспубликанских центров хранения и анализа данных;
- анализ и выработка управляющих воздействий на другие технические средства, при выходе учитываемых параметров электроэнергии за заданные пределы.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) — комплекс технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях. Человеческое участие при этом сведено к минимуму, но всё же присутствует на уровне принятия наиболее ответственных решений.

Основными целями автоматизации технологических процессов являются:

- Повышение эффективности производственного процесса.
- Повышение безопасности.
- Повышение экологичности.
- Повышение экономичности.

АСУ ТП позволяет:

- экономить ресурсы;
- сокращать численность персонала;
- улучшать качественные показатели технологических процессов;
- увеличивать надежность эксплуатации оборудования;
- автоматически регулировать параметры ТП;
- автоматически управлять исполнительными механизмами;
- доводить параметры безопасности управляемого объекта до современных требований;
- архивировать параметры всех событий в системе;
- улучшать экологические показатели объекта.

Автоматизированная система управления производством и сбытом электроэнергии (АСУ ПСЭ) как необходимый элемент контроля движения товара – электроэнергии – позволит поднять управляемость электроэнергетики на качественно новый уровень, решая такие задачи, как:

- оперативное управление производством и сбытом электроэнергии, включая современные методы отображения топологии электрических сетей, географии электропотребления, схем питания и режимов потребления;

- обеспечение технической и коммерческой отчетности всех сторон деятельности объединенной энергетической системы (ОЭС);
- создание и ведение структурированной информационной базы данных объектов ОЭС и потребителей электроэнергии;
- формирование и совершенствование моделей оптимизации и стратегии развития электроэнергетики, включая планы развития электропотребления;
- диагностика состояния технических устройств и достоверности циркулирующей информации;

АСУ ПСЭ призвана не только улучшить качество отображения текущего состояния ОЭС, обеспечить анализ вариантов развития, но и оптимизировать процесс производства, купли и продажи электроэнергии.

Литература

1. Забелло, Е. П. Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов: учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям) / Е. П. Забелло, В. А. Дайнеко, В. Г. Булах ; Минсельхозпрод РБ, УО БГАТУ, Кафедра электрооборудования сельскохозяйственных предприятий. - Минск : БГАТУ, 2016. - 436 с.
2. Петруша, Ю. С. АСУ производством и сбытом электроэнергии в условиях либерализации отрасли / Ю. С. Петруша // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика: международный научно-технический журнал. - 2013. - №2. - С. 38 - 43.

УДК 621.311

Повышение энергоэффективности ЭЭС оптимизацией режимов транспорта электроэнергии

Денисевич Т.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Среди потерь электроэнергии целесообразно выделить четыре составляющие:

1) технические потери электроэнергии ΔW_T , обусловленные потерями холостого хода в трансформаторах, токами утечки через изоляторы линий электропередачи и нагревом проводов и токоведущих частей электрооборудования подстанций при протекании электрического тока;

2) расход электроэнергии на собственные нужды подстанций ΔW_{CH} , необходимый для обеспечения работы приводов выключателей и разъединителей, обогрева ячеек, аварийного и дежурного освещения на подстанциях, а также безопасности обслуживающего персонала;

3) потери электроэнергии, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета (инструментальные потери) $\Delta W_{Изм}$;

4) коммерческие потери электроэнергии ΔW_K , обусловленные различными причинами, речь о которых пойдет ниже. Коммерческие потери показывают разницу между фактическими потерями и нормой расхода электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям (сумма первых трех составляющих, так называемые технологические потери)

К мероприятиям по оптимизации режимов транспорта электроэнергии относятся:

1. Установка и ввод в работу устройств компенсации реактивной мощности в электрических сетях – батарей конденсаторов (БСК). Эффект от ввода в работу устройств компенсации реактивной мощности определяется снижением нагрузочных потерь электроэнергии в электросети из-за снижения объемов и перераспределения потоков передачи реактивной мощности по ЛЭП и силовым трансформаторам. Факторы, оказывающие отрицательное влияние: увеличение уровней напряжения в узлах схемы и обусловленное этим увеличение потерь холостого хода на трансформаторах без использования РПН; наличие потерь электроэнергии в конденсаторных банках.

2. Установка и ввод в работу устройств компенсации реактивной мощности: замена конденсаторов, выбывших из строя. Эффект от восстановления номинальной мощности устройств компенсации реактивной мощности в электрических сетях МРСК определяется снижением нагрузочных потерь электроэнергии в электросети из-за снижения объемов и перераспределения потоков передачи реактивной мощности по ЛЭП и силовым трансформаторам. Факторы, оказывающие отрицательное влияние: увеличение уровней напряжения в узлах схемы и обусловленное этим увеличение потерь холостого хода на трансформаторах без использования РПН; наличие потерь электроэнергии в конденсаторных банках.

3. Замена проводов на перегруженных линиях. Реализация замены проводов на перегруженных линиях требует технико-экономического обоснования с учетом фактической нагрузки линии, предполагаемого ее увеличения на ближайшую перспективу и стоимость замены проводов. Если фактическая плотность тока даже в два – три раза превышает рекомендуемое экономическое значение – это не является безусловным основанием для замены проводов на провода с большим сечением. Эффект снижения потерь от замены проводов на перегруженных линиях определяется снижением нагрузочных потерь в линиях за счет уменьшения их активного сопротивления электрическому току и, как правило, является сопутствующим при проведении мероприятия с целью увеличения пропускной способности сети.

4. Замена ответвлений от воздушных линий электропередачи (ВЛ) 0,38 кВ к зданиям. Эффект от замены проводов, ответвлений от ВЛ 0,38 кВ, определяется снижением нагрузочных потерь за счет уменьшения их активного сопротивления электрическому току, а

также сокращением хищений электроэнергии при использовании самонесущих изолированных проводов (СИП).

5. Замена перегруженных и установка и ввод в работу дополнительных силовых трансформаторов на действующих подстанциях. Эффект от замены перегруженных и установки и ввода в работу дополнительных силовых трансформаторов на подстанциях определяется как результат одновременного снижения суммарных нагрузочных потерь в трансформаторной группе за счет уменьшения продольного активного сопротивления их схемы замещения и увеличения потерь холостого хода трансформаторов.

6. Замена недогруженных силовых трансформаторов. Эффект от их замены определяется как результат одновременного снижения суммарных потерь холостого хода в трансформаторной группе и увеличения нагрузочных потерь трансформаторов за счет увеличения продольного активного сопротивления их схемы замещения.

7. Установка и ввод в работу на трансформаторах с РПН устройств автоматического регулирования коэффициента трансформации (АРН). Эффект от их внедрения определяется уменьшением нагрузочных потерь за счет ускорения процесса регулирования напряжения.

8. Установка и ввод в работу устройств автоматического регулирования мощности батарей статических конденсаторов в электросетях. Эффект от реализации мероприятия определяется уменьшением нагрузочных потерь за счет ускорения процесса регулирования напряжения.

9. Совершенствование загрузки и/или режимов работы электрических сетей за счет строительства линий электропередачи. Эффект снижения потерь от выполнения мероприятия может возникнуть в случае, если изменение конфигурации сети за счет строительства линии перераспределяет энергопотоки в сети, приближая их к натуральному, соответствующему минимуму потерь в сети, потокораспределению. Мероприятие относится, как правило, к мероприятиям с сопутствующим снижением потерь электроэнергии.

10. Разукрупнение распределительных линий 0,4–35 кВ. Эффект от мероприятия определяется снижением нагрузочных потерь за счет снижения токовой нагрузки на линии.

Литература

1. Воротницкий В. Э., Комкова Е. В., Туркина О. В. и др. Методы и средства выявления несанкционированного потребления электрической энергии при наличии приборов учета. М. : ИУЭ ГУУ, ВИПКэнерго, ИПКгосслужбы, 2005. 64 с.

2. Воротницкий В. Э., Заслонов С. В., Калинкина М. А. и др. Методы и средства расчета, анализа и снижения потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям. М. : ДиалогЭлектро, 2006. 166 с.

3. Воротницкий В. Э., Заслонов С. В., Калинкина М. А. Учебное пособие для экспертов по нормированию потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим. М. : 2006. 99 с.

УДК 621.331

Электрифицированный транспорт

Рачкевич В.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

С 2010 по 2017 год потребление топливно-энергетических ресурсов в сфере транспорта увеличилось на 9,53% (Рисунок 1).

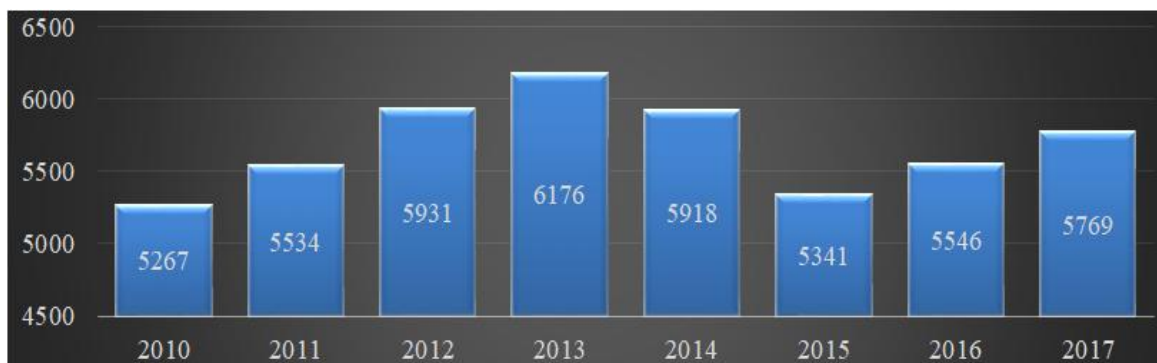


Рисунок 1 – Конечное потребление топливно-энергетических ресурсов в секторе транспорта (тысяч тонн условного топлива; в угольном эквиваленте)

Однако за тот же период потребление электроэнергии в секторе транспорта снизилось на 16,7% (рисунок 2), а по отношению к общему объему потребления топливно-энергетических ресурсов снизилось с 3,3% до 2,6%. Данный факт является негативным, так как с вводом БелАЭС в секторе транспорта желательно увеличение доли потребления электроэнергии.

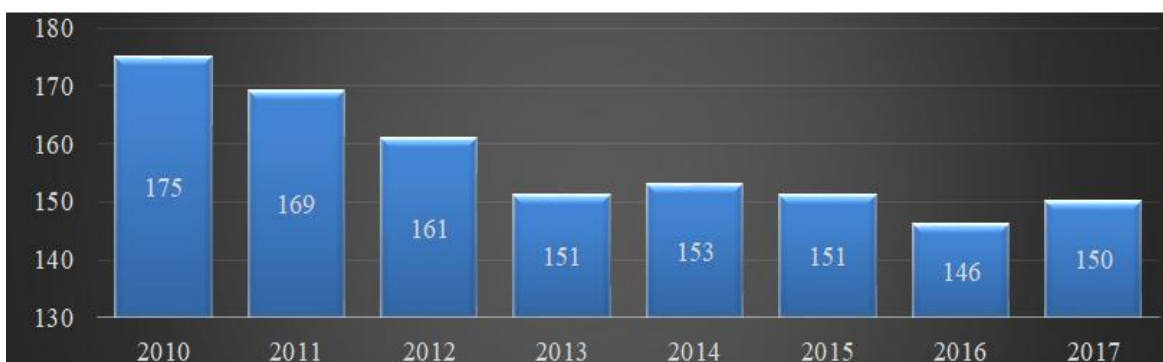


Рисунок 2 – Конечное потребление электроэнергии в секторе транспорта (тысяч тонн условного топлива; в угольном эквиваленте)

На сегодняшний день Белорусская железная дорога получает электропитание от 22 тяговых подстанций, эксплуатационная длина электрифицированных участков дороги - 1212,3 км, что составляет 22% от общей протяженности дороги (из них 97,8% на переменном токе). Электрифицированными являются дороги с наибольшей загрузкой: Брест-Минск-Орша, Гомель-Минск-Молодечно и др.

Белорусская ЖД использует переменное напряжение 27,5 кВ, что позволяет передавать электроэнергию с низкими потерями, так же используется система 2×25 кВ и постоянный ток напряжением 3,3 кВ.

Для повышения доли потребления электроэнергии в секторе транспорта возможно заимствование положительного опыта других государств.

В настоящее время в Нидерландах работает сеть железных дорог общей протяженностью 2900 километров. Из них полностью электрифицированы 72,4%.

В городе Амстердам (население 825 тыс. чел.) эксплуатируется наибольшая трамвайная сеть Западной Европе длиной 213 км. Что составляет 258 метров на тысячу человек. Для сравнения, в Минске (население 1975 тыс. чел.) длина трамвайной сети составляет 24 км или 12 метров на тысячу человек.

По данным на 2014 год в Нидерландах 12114 электрозаправок. Страна планирует полностью перейти на электромобили к 2030 году. Для сравнения в Республике Беларусь на 2018 год 6 электрозаправок.

Лидирующие позиции во внедрении энергосберегающих технологий занимает Япония, активно используя технологии Smart Grid.

Одним из важнейших элементов технологии Smart Grid являются современные накопители электроэнергии большой мощности. Долгое время ограничением к применению накопителей на подстанциях систем электроснабжения были их габаритные размеры и недостаточная мощность.

При торможении электротранспорта его тяговые электродвигатели переходят в генераторный режим (т.е. преобразовывают механическую энергию в электрическую) и вырабатывают электроэнергию - энергию рекуперации. Использование стационарных накопителей позволяет собирать рекуперативную энергию, накапливать и выдавать в электрическую сеть, поскольку напряжения заряда батареи выше, чем номинальное напряжение подстанции. Таким образом, батарея заряжается преимущественно от энергии рекуперативного торможения. В среднем экономия электроэнергии на подстанциях метро г.Осака за счет увеличения возможностей по использованию энергии рекуперации составляет 20-30% от общего электропотребления подстанциями.

В момент перегрузки поездов в часы пик, когда напряжение падает, разряд батарей позволяет соблюдать баланс между напряжением на СНЭЛ и напряжением подстанции. Таким образом, снижается уровень пиковой нагрузки подстанции. В среднем, на подстанциях метро г.Осака было достигнуто снижение установленной мощности каждой подстанции на 180-300кВт при использовании накопителей 225-600кВт.ч и установленной мощности подстанций 2000-2500кВт.

В метро г.Осака за счет установки стационарных накопительных систем минимальный уровень напряжения в линии был не ниже 700В при номинальном напряжении линии 750В. До установки систем напряжение в линии падало ниже 600В.

При строительстве новых линий метрополитена следует учитывать, что стационарные накопительные системы могут использоваться вместо подстанций, что значительно сокращает капитальные затраты на строительство и площадь, необходимую для размещения распределительного устройства.

Литература

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/>. – Дата доступа: 30.10.2018
2. Система накопителей электроэнергии для повышения энергоэффективности в метро/ Портал по энергосбережению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=185 / – Дата доступа: 30.10.2018
3. Электрификация и электроснабжение/Белорусская железная дорога [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rw.by/corporate/belarusian_railway/infrastructure/electricity_supply/ – Дата доступа: 30.10.2018

УДК 621.311.16

Повышение энергоэффективности ЭЭС оптимизацией режимов выработки электроэнергии

Скурат Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Повышение энергоэффективности энергетического производства можно достичь двумя путями:

- 1) Разработка и внедрение более совершенного оборудования: генераторы, трансформаторы, провода;
- 2) Рациональная эксплуатация существующих электроустановок.

Это значит:

- Оптимальное распределение нагрузки между электростанциями энергосистемы;
- Выбор наиболее выгодного состава рабочего оборудования;
- Оптимизация схемы энергосистемы;
- Проведение ремонтов в оптимальные сроки.

Вся вторая группа решений называется задачей оптимизации режимов электроэнергетических систем. Эффектом от оптимизации режима, как правило, является не только уменьшение стоимости на выработку, передачу и распределение электроэнергии, но и уменьшение таких важных составляющих как потери мощности, потери электроэнергии, соблюдение надежной работы электрооборудования.

В целях повышения энергоэффективности электроэнергетических систем, нас будет интересовать оптимизация режима энергосистемы, а именно оптимальное распределение нагрузки между станциями.

Сформулируем постановку данной задачи: затраты на производство, передачу, распределение электроэнергии зависят не только от внешних факторов (величина подключаемой нагрузки), но и от режима энергосистемы, на который можно воздействовать через систему управления. В каждый момент времени энергосистема находится в определенном состоянии, которое характеризуется параметрами состояния системы (номинальная мощность оборудования, длина и марка проводов) и режима (ток, напряжение, уровень воды на гидроэлектростанциях). Решение задачи управления режимами состоит в определении таких воздействий, которые обеспечили бы минимальные величины затрат, сохраняя при этом баланс активной мощности. То есть, оптимальное управление режимами заключается в экономичном распределении суммарной нагрузки энергосистемы между станциями.

Задача расчета режима сложна из-за большой размерности задачи. Плюс ко всему решение пока еще возможно только итерационными методами. Поэтому на практике чаще всего решаются две подзадачи:

- 1) Распределение нагрузки в энергосистеме при постоянных нагрузках в узлах и приближенном расчете потерь мощности;
- 2) Расчет режима при фиксированных активных мощностях станции. Здесь реактивная мощность узлов генерации определяется по критерию минимума суммарных потерь активной мощности.

Способы распределения нагрузки между электростанциями делятся на практические и аналитические. К первой группе относятся:

- 1) Метод относительных приростов;

Целью является распределение нагрузки таким образом между агрегатами, чтобы суммарные затраты были минимальными.

- 2) Табличный метод;

Отличие от метода относительных приростов в том, что исходными данными первого метода являются расходные характеристики, в то время как в табличном методе все

зависимости величин относительных приростов от величины загрузки агрегатов представлены в виде таблиц.

3) Графоаналитический метод.

Аналитические способы являются более сложными, но более корректными в сравнении с практическими способами распределения нагрузки:

1) Метод динамического программирования;

Предназначен для решения задач функции многих переменных. Смысл метода: рассмотреть многошаговый процесс, состоящий из рекуррентных соотношений, основанных на уравнениях Беллмана.

2) Прямой метод оптимизации;

3) Градиентный метод;

Определяет оптимальный режим путем решения системы уравнений последовательным приближением. При большом числе ограничений оптимизация неосуществима из-за большого количества итераций.

4) Метод штрафных функций.

Таким образом, постановка данной задачи может звучать следующим образом: минимизировать суммарный расход топлива на станциях при заданном составе оборудования, сохраняя при этом баланс мощности

Литература

1. Воротницкий В. Э., Заслонов С. В., Калинкина М. А. и др. Методы и средства расчета, анализа и снижения потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям. М. : ДиалогЭлектро, 2006. 166 с.

2. Воротницкий В. Э., Заслонов С. В., Калинкина М. А. Учебное пособие для экспертов по нормированию потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим. М. : 2006. 99 с.

УДК 621.3

Повышение энергоэффективности ЭЭС с помощью технологий smart grid

Тайна К.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

В основу концепции Smart Grid положена целостная и всесторонне согласованная система взглядов на роль и место электроэнергетики в настоящем и будущем, целей и требований к ее развитию, подходов к их реализации и созданию необходимого технологического базиса. На настоящем этапе развития под Smart Grid понимается набор программно-аппаратных средств, которые способствуют повышению эффективности производства, распределения и передачи электроэнергии. При этом под эффективностью подразумевается:

- децентрализация функций генерации и управления потоками электроэнергии и информации в энергетической системе;
- снижение затрат на генерацию, распределение и передачу электроэнергии;
- оперативное устранение неисправностей;
- возможность передачи электроэнергии и информации в двух направлениях, что является важным условием для более интенсивного развития распределенной и возобновляемой энергетики.

Различия с традиционными сетями

Технология Smart Grid характеризуется несколькими инновационными свойствами, такими как:

- Активная двунаправленная схема взаимодействия в реальном масштабе времени информационного обмена всеми между элементами и участниками сети, от генераторов энергии до конечных устройств электропотребителей.
- Охват всей технологической цепочки электроэнергетической системы от энергопроизводителей (как центральных так и автономных) и электrorаспределительных сетей до конечных потребителей.
- Обеспечение практически непрерывного управляемого баланса между спросом и предложением электрической энергии. Для этого элементы сети должны постоянно обмениваться между собой информацией о параметрах электрической энергии, режимах потребления и генерации, количестве потребляемой энергии и планируемом потреблении, коммерческой информацией.
- Smart Grid умеет эффективно защищаться и самовосстанавливаться от крупных сбоев, природных катаклизмов, внешних угроз.
- С точки зрения общей экономики Smart Grid способствует появлению новых рынков, игроков и услуг.

Эффект от внедрения

Оценки показывают, что переход к инновационному варианту развития на базе интеллектуальной энергетики будет сопровождаться существенным снижением вводов новых электростанций и связанных с ним сетевых объектов для выдачи мощности. Вследствие, чего снижение капиталовложений является наиболее значимым системным экономическим эффектом.

Вторым наиболее крупным эффектом является снижение топливных затрат электростанций. Дополнительный эффект может быть достигнут с учетом экономической стоимости выбросов парниковых газов.

В качестве примера рассмотрим моделирование внедрения умных сетей на территории ЭЭС России. Для предварительной оценки возможных системных эффектов в ЭЭС России при создании интеллектуальной электроэнергетики были использованы данные по результатам пилотных проектов Smart Grid, реализация которых начата в различных странах.

Беларусь

На сегодняшний момент развитие «умных сетей» в Беларуси находится на самом начальном уровне, вероятнее всего пока обсуждают возможности и аспекты внедрения данной технологии. Мировой опыт в реализации пилотных проектов и многочисленные исследования показывают, что применение интеллектуальных сетей в перспективно и экономически оправдано. На сегодняшний момент Smart Grid системы – это закономерный этап развития электроэнергетики с учетом мировых технических достижений. И Беларусь ни в коем случае не должна его игнорировать, двигаясь вперед совместно с ведущими державами. К это стоит добавить и тот факт, что для нашей страны не встанет вопрос о разработке основных концепций, ведь уже сейчас накоплен огромный опыт, который можно перенять и использовать уже установившееся и работающие технологии. Возможно, внедрение «умных сетей» позволило бы решить проблемы с интеграцией Белорусской АЭС в энергосистему страны.

Литература

1. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Smart Grid за рубежом как концепция инновационного развития электроэнергетики // Энергоэксперт. 2010. № 2. – С. 24–30.
2. Левченко С. А. Интеллектуальные энергетические сети – эффективная технология сбережения энергии. Концепция «Smart grid» в контексте устойчивого развития Белорусской энергосистемы // Энергетическая стратегия. – 2012. – № 2. – С. 46 – 49.
3. Короткевич А.М., Колик В.Р. , Кулаковская Е.В. Умные распределительные электрические сети 0,4–10(6) кВ в Белорусской энергосистеме – первый шаг // Энергетическая стратегия. – 2011. - № 5. – Стр. 27 – 29.

УДК 681.53

Повышение качества услуг электроснабжения на основе «Smart Grid»

Хилевич Р.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Умные сети электроснабжения — это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии.

Электрическая сеть всегда строилась как система односторонней передачи. Она состояла из одной или нескольких очень мощных генерирующих станций, связанных с потребителями энергии. Переход к возобновляемым источникам энергии и появление новых интеллектуальных устройств требуют иного подхода - строительства интеллектуальной односторонней сети.

К примеру, сегодня на крышах домов часто устанавливаются солнечные батареи, а многие домовладельцы пользуются собственными небольшими генераторами. Это значит, что энергия и информация должна идти не только к потребителям, но и в обратном направлении.

Таким образом, коммунальные службы должны превратиться в информационные компании и передавать не только электричество, но и данные.

Smart Grid

Система Smart Grid включает в себя: интеллектуальные счетчики, динамическое управление электросетями, регулирование спроса, повышение безопасности и экономия расходов.

Интеллектуальные счетчики (Smart Metering)

"Умный счетчик", установленный дома, может передавать данные о потреблении энергии практически в реальном времени, помогая потребителю принимать обоснованные решения о том, сколько энергии использовать и в какое время суток. В будущем счетчики станут отслеживать потребление энергии каждым домашним устройством и поддерживать определенные правила поведения в часы пиковой нагрузки и в другое время суток. К примеру, вечером, вернувшись домой, вы сможете подключить электромобиль к розетке, настроив его так, чтобы аккумулятор начал заряжаться ночью, когда стоимость электроэнергии минимальна.

Такой подход даст преимущества не только потребителям, но и энергетическим компаниям, которые повысят эффективность своих процессов (за счет удаленного управления счетчиками) и смогут лучше бороться с кражами электроэнергии (сегодня 10-20 процентов потребленной энергии не оплачивается).

Динамическое управление электросетями (Dynamic Grid Management)

Сегодня энергетическая компания узнает о перебоях с электричеством, только когда ей звонит разгневанный пользователь. Других способов мониторинга "последней мили" у нее нет.

"Smart Grid позволит подключить к интеллектуальной сети все наше оборудование, от электрических генераторов до пользовательских устройств. В результате мы будем видеть текущее состояние всех устройств в любой момент времени.

Регулирование спроса (Demand Response)

Мировые сети электропередач проектируются для удовлетворения пикового спроса, но строительство и эксплуатация избыточных мощностей на случай, если в час пик кому-то понадобится лишний киловатт, обходятся очень дорого. К тому же появляются огромные генерирующие мощности, которые большую часть времени простаивают.

Smart Grid позволяет регулировать спрос, сдвигая его по времени. Вместо того, чтобы использовать всю энергию в дневное время, мы можем запускать целый ряд устройств:

посудомоечные и стиральные машины, сушилки, зарядные устройства для электромобилей, - в часы минимальной нагрузки (как правило, ночью).

Повышение безопасности

Интеллектуальная IP-сеть решает многие вопросы информационной и физической безопасности. Передавая контрольную информацию по сети любого типа, мы должны быть уверены, что эту информацию никто не перехватит, не исказит и что никто не отключит наши системы. Физическая безопасность также имеет критически важное значение, тем более, что на "последней миле" наша инфраструктура совершенно открыта и не защищена от вандализма. Технологии сетевого видеонаблюдения и ограничения доступа позволят непрерывно наблюдать за удаленными ресурсами через Smart Grid.

Сокращение расходов

Использование системы Smart Grid позволит сократить расходы как для потребителей так и для энергоснабжающей организации путём полного контроля и изменения на оптимальные значения параметров сети.

Литература

1. Что такое Smart Grid? / А. Компаннеец // Материалы об экологии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.facepla.net/content-info/210-what-is-smart-grid.html>. Дата доступа: 20.09.2018
2. Smart Grid или умные сети электроснабжения [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.eneca.by/ru_smartgrid0/. Дата доступа: 20.09.2018

УДК 620.93

Инфракрасные обогреватели

Швырёв С. С.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Введение

Вам когда-нибудь приходилось греться в солнечных лучах, тогда как термометр показывает температуру ниже нуля? Если приходилось, то наверняка у вас возникало желание повторить то незабываемое ощущение еще и еще.

Инфракрасные обогреватели, о которых пойдет речь дают такой же эффект тепла как и солнце, посылая длинноволновые тепловые лучи, поглощаемые поверхностями стен, пола, различным предметами, которые в свою очередь отдают тепло окружающему воздуху, но при этом не поглощаемые воздухом.

Сравнение принципа действия с традиционными бытовыми источниками тепла

Способы передачи тепла в природе:

- а) Теплопередача - передача тепловой энергии через твердый материал;
- б) Конвекция - передача тепла через промежуточный жидкий/газообразный теплоноситель;
- в) Тепловое излучение - передача теплоой энергии с помощью электромагнитных волн в инфракрасном диапазоне.

ИКО использует для основной передачи тепловой энергии эл-магн излучение, в чем и состоит принципиальное отличие от других бытовых источников тепла.

Инфракрасные (ИК) лучи - это электромагнитное излучение, подчиняющееся законам оптики и, следовательно, имеющее ту же природу, что и видимый свет. Они занимают спектральную область между красным видимым светом (длина волны 0,74 мкм) и коротковолновым радиоизлучением ($1 \div 2$ мм). В свою очередь инфракрасную область спектра условно разделяют на коротковолновую (от 0,74 до 2,5 мкм), средневолновую (2,5 ÷ 50 мкм) и длинноволновую (50 ÷ 2000 мкм). ИК-лучи выделяют все нагретые твёрдые и жидкие тела, при этом длина излучаемой волны зависит от температуры тела - чем она выше, тем короче волны, но выше интенсивность излучения.

Простыми словами Инфракрасный диапазон – это длинные волны, невидимые нам, но ощущаемые как тепло. Такое излучение почти не поглощается воздухом, поэтому абсолютное большинство энергии передается напрямую людям и предметам в зоне охвата инфракрасного обогревателя. Этот принцип действия называют прямым нагревом, тогда как привычное нам конвекционное относится к косвенному.

Преимущества использования ИКО

- а) Нагрев непосредственно объекта, минуя промежуточный носитель;
- б) Нагрев происходит локально, т.е. можно эффективно использовать энергию, не нагревая при этом ненужные объемы помещения;
- в) Простота конструкции;
- г) В конструкции отсутствует жидкий теплоноситель;
- д) Конструкция позволяет разместить ИКО на потолке, что экономит полезное пространство;
- е) Бесшумность работы.

Недостатками является: высокая температура поверхности (от 200 градусов Цельсия), сразу же чувствуется отключение ИКО, пыль в помещении сгорает в воздухе, не работает в парных помещениях (пар поглощает излучение).

Классификация ИКО

По источнику энергии: электрические и газовые.

По форме излучающей панели: прямые и изогнутые (обогревают больший сектор).

По температуре на поверхности и свечению:

- а) супертемные (200-400 С) – самые популярные модели;

- б) темные (400-600 С);
- в) низкотемпературные каталитические (600-800 С);
- г) светлые среднетемпературные (800-1000 С);
- д) светлые высокотемпературные (1000 С и выше).

Литература

1. Савельев А.А. "Отопление дома. Расчет и монтаж систем" / А.А. Савельев. - Россия :2016.-360с.

УДК 621.311

Повышение энергоэффективности ЭЭС управлением баланса активной мощности

Шелест М. В.

Научный руководитель – к. т. н., доцент ПЕТРУША Ю. С.

Все элементы электрической системы (станции, подстанции, линии электропередач, сети, приемники энергии) взаимосвязаны непрерывным процессом генерирования, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Момент производства электроэнергии практически совпадает с моментом ее потребления, поэтому в любой момент времени мощность, отдаваемая генерирующими установками, должна быть точно равна мощности суммарной нагрузки системы, т. е. должен соблюдаться баланс генерируемых и потребляемых мощностей в системе. Невыполнение этого условия или нарушение баланса мощностей системы приводит к отклонению параметров ее режима.

Баланс активной мощности может поддерживаться только самой системой, т. е. генераторами системы.

В электрической системе при любых режимах должно удовлетворяться уравнение баланса активных мощностей:

$$P_{\text{раб}} = P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{с}} + P_{\text{сн}} = P_{\text{потр}}$$

где $P_{\text{раб}}$ — суммарная активная мощность, вырабатываемая генераторами электростанций, МВт;

$P_{\text{н}}$ — суммарная активная мощность нагрузок системы, МВт

$\Delta P_{\text{с}}$ — суммарные потери активной мощности в системе (во всех звеньях от генераторов станций до потребителей энергии), МВт;

$P_{\text{сн}}$ — суммарная активная мощность собственных нужд электростанций, МВт;

$P_{\text{потр}}$ — суммарная потребляемая активная мощность, МВт.

Потери активной мощности могут достигать 5... 15% от суммарной нагрузки системы, а расход на собственные нужды станций в зависимости от их типа составляет 1... 12%. Нарушение баланса активных мощностей в системе вызывается изменением нагрузки, авариями, изменением производительности оборудования и другими причинами, поэтому система должна располагать большей мощностью, т. е. иметь резерв.

Поскольку с ростом нагрузки, резерв уменьшаться не должен, то необходимо в системе вводить дополнительные мощности, чтобы сохранить его требуемый уровень.

Причинами нарушения баланса мощности могут быть:

- 1) аварийное отключение генератора;
- 2) неожиданный (неплановый, не предусмотренный расчетами) рост потребления мощности, например, увеличение потребления мощности электронагревателями в результате сильного снижения температуры;

- 3) аварийное отключение линий или трансформаторов связи.

При неизменном составе нагрузок системы потребляемая ими мощность связана с частотой переменного тока. При нарушении исходного баланса частота принимает новое значение. Снижение генерируемой активной мощности приводит к уменьшению частоты, ее возрастание обуславливает рост частоты. Иными словами, при $\Sigma P_{\text{г}} < \Sigma P_{\text{п}}$ (где $\Sigma P_{\text{г}}$ — суммарная генерируемая мощность, $\Sigma P_{\text{п}}$ — суммарная потребляемая мощность) частота понижается, при $\Sigma P_{\text{г}} > \Sigma P_{\text{п}}$ частота растет.

Отклонение частоты допускается: нормальное – в пределах $\pm 0,2$ Гц и максимальное – в пределах $\pm 0,4$ Гц. Приведенные нормы отклонений частоты относятся к нормальному режиму работы энергосистемы и не распространяются на послеаварийные режимы.

В послеаварийных режимах работы электрической сети допускается отклонение частоты от плюс 0,5 Гц до минус 1 Гц общей продолжительностью за год не более 90 ч.

К поддержанию частоты в электрических системах предъявляются повышенные требования, так как следствием больших отклонений могут являться выход из строя

оборудования станций, понижение производительности двигателей, нарушение технологического процесса и брак продукции.

Методы регулирования частоты в энергосистеме:

- Метод статических характеристик

Простейший метод получается при регулировании частоты всеми агрегатами системы, когда последние снабжены регуляторами скорости со статическими характеристиками. При параллельной работе агрегатов, работающих без смещения регулировочных характеристик, распределение нагрузок между агрегатами может быть найдено из уравнений статических характеристик и уравнений мощности.

В эксплуатации изменения нагрузки значительно превышают указанные величины, поэтому частота не может поддерживаться в заданных пределах. При таком методе регулирования необходимо иметь большой резерв, рассредоточенный на всех агрегатах системы.

Данный метод не может обеспечить экономичной работы электростанций, так как, с одной стороны, при нем не может быть использована полностью мощность экономичных агрегатов, а с другой стороны, нагрузка всех агрегатов непрерывно меняется.

- Метод АЧР (автоматическая частотная разгрузка).

В объединенной системе, включающей несколько энергосистем, регулирование частоты иногда поручается одной системе, а остальные контролируют передаваемую мощность.

Превышение ΣP_r над ΣP_n , приводящее к росту частоты, можно ликвидировать, уменьшая мощность генераторов или отключая часть из них. Понижение частоты из-за превышения ΣP_n над ΣP_r требует мобилизации резерва мощности или автоматической частотной разгрузки (АЧР). В противном случае понижение частоты может привести не только к браку продукции у потребителей, но и к повреждению оборудования станций и развалу системы.

Автоматическая частотная разгрузка—дискретная система регулирования, отключающая потребителей ступенями (или очередями). При снижении частоты на величину Δf срабатывает реле частоты, входящее в состав устройства АЧР, и отключает часть потребителей с мощностью ΔP .

Базовым вариантом выполнения АЧР в настоящее время является одновременное применение трех видов устройств, которые принято называть категориями:

1. АЧР I – быстродействующая разгрузка, действующая на отключение потребителей очередями с различными постепенно снижающимися уставками по частоте;
2. АЧР II – медленно действующая разгрузка, действующая на отключение потребителей очередями, имеющими одну или несколько близких уставок по частоте и различные постепенно увеличивающиеся уставки по времени;
3. Дополнительная разгрузка, действующая при возникновении дефицита мощности, превышающего максимальный расчетный дефицит. Фактором запуска дополнительной разгрузки, как правило, может быть, возникшее возмущение, например, отключение линии связи с контролем по параметрам предшествующего режима.

Выполнение АЧР I и АЧР II состоящими из большого числа очередей, отключающих нагрузку сравнительно небольшими долями придает АЧР свойство системы автоматического регулирования с обратной связью.

Переходный процесс при возникновении дефицита мощности и действии АЧР I и АЧР II (график приведен на рис.1)

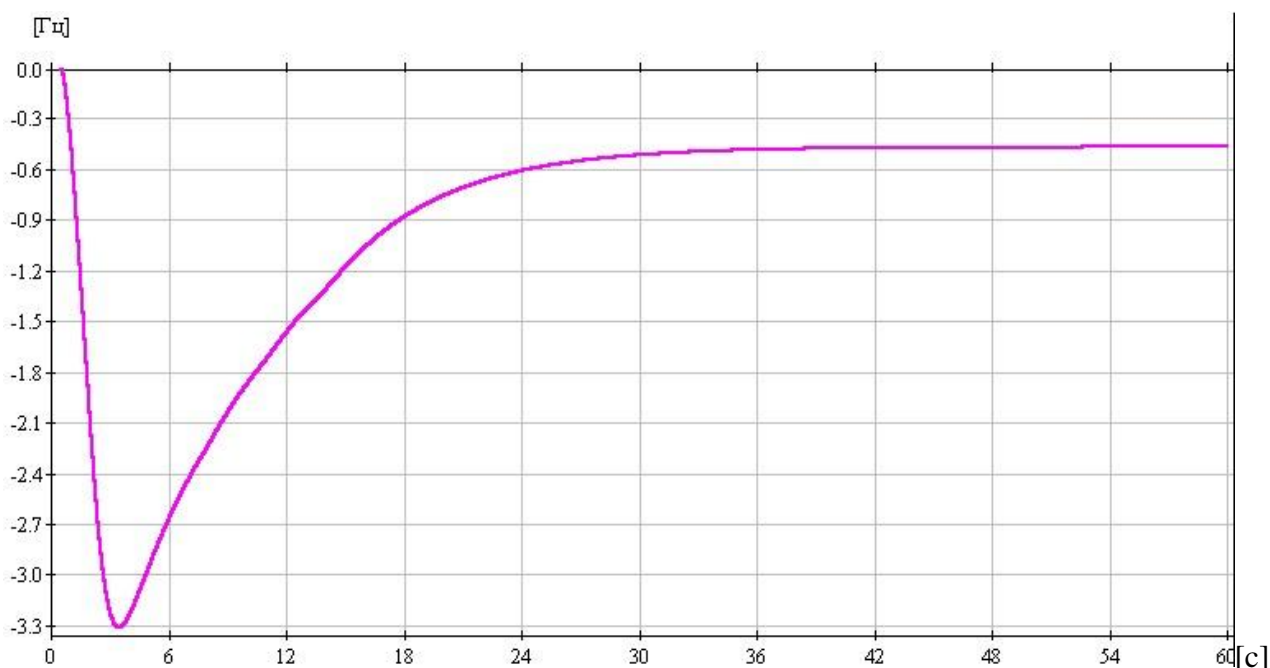


Рисунок 1 – Изменение частоты при возникновении дефицита мощности и действия АЧР.

Действие АЧР, обеспечивающее ликвидацию аварии, должно удовлетворять требованию минимизации ущерба при отключении потребителей. Это требование может быть обеспечено, если последовательность отключения потребителей будет такова, что в первую очередь отключаются менее ответственные потребители, а более ответственные остаются в работе.

Литература

1. Р.А. Вайнштейн, Методические указания для лабораторной работы автоматическая частотная разгрузка. – Издательство Томского политехнического университета, 2010 – 30 с.
2. Распопов Е. В. Электрические системы и сети. Качество электроэнергии и его обеспечение, СЗПИ, 1990. – 48 с.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Светодиодные источники света на принципе RGB смешения

Дубатовка А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Использование светодиодных светильников и газоразрядных ламп высокого давления в промышленном освещении

Гринкевич В.А., Рогацевич Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Солнечная энергетика в Республике Беларусь

Ракусевич А.О.

Научный руководитель – к.т.н. ГОРНОСТАЙ А.В.

Промышленные источники бесперебойного питания

Гринкевич В.А.

Научный руководитель – к.т.н. доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Защита от перенапряжений электрических сетей 6-10 кв. Разрядники типа рдип-10-iv-ухл1

Чучков А.В.

Научный руководитель – к.т.н. доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Энергосберегающее энергооборудование

Киреев В.В., Андросюк И. В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Электрические машины нового поколения

Ермолинская Л.Э., Пармоник Н.С.

Научный руководитель - к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Применение частотных преобразователей для управления приточной вентиляцией

Павлович Е.В.

Научный руководитель – к.т.н. доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Повышения энергоэффективности силовых Трансформаторов серии ТМГ

Веселов Ю.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Применение частотно-регулируемого привода для энергосбережения и повышения энергоэффективности электромеханических систем горно-шахтного оборудования.

Кравченя О.Н.

Научный руководитель - к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Применение солнечных батарей в элементах благоустройства территории города

Смоловская Д.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Изоляционные материалы для электрических машин высокого напряжения

Мелешко М.С., Березан П.В., Агеенко Ю. В.

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

Анализ энергоэффективности сухих распределительных трансформаторов

Волынчикова Е.В., Тарнацкая О.С.

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

Характеристика электрических соединений энергетической системы Республики Беларусь

Бойко Е.Г.

Научный руководитель – ст. препод. ЯРОШЕВИЧ Т.М.

УДК 621.3

Светодиодные источники света на принципе RGB смешения

Дубатовка А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Многоцветные светодиоды, или как их еще называют RGB светодиоды, используются для индикации и создания динамически изменяющейся по цвету подсветки. В основе идеи создания трехцветного светодиода лежит оптический эффект получения разнообразных оттенков путем смешивания 3-х базовых цветов. В качестве базовых цветов обычно используются красный (R), зеленый (G) и синий (B).

Конструктивно трехцветный светодиод представляет собой 3 цветных светодиода, смонтированных в общем корпусе, а если быть более точным, 3 кристалла, интегрированных на одной матрице. На рисунке 1 представлена микрофотография интегрального RGB светодиода. Цветные квадраты на фото – это кристаллы основных цветов.



Рисунок 1 – Интегральный RGB светодиод

Для адаптации к разным вариантам схемы управления, RGB диоды производятся в нескольких модификациях:

- Исполнение с общим катодом.
- Исполнение с общим анодом.
- Без общего анода или катода, с шестью выводами.

В первом случае светодиод управляется сигналами положительной полярности, поступающими на аноды, во втором – отрицательными импульсами, подаваемыми на катоды. Третья модификация исполнения допускает любые варианты коммутации и выпускается обычно в виде SMD (от англ. surface mounted device — прибор, монтируемый на поверхность) компонента.

Включение светодиода происходит при прохождении прямого тока, когда анод подключен к плюсу, катод к минусу. Многоцветный спектр излучения можно получить, изменяя интенсивность свечения каналов (RGB). Результирующий оттенок определяется соотношением яркостей отдельных цветов. Если все 3 цвета одинаковы по интенсивности свечения, результирующий цвет получается белым.

На цифровых выходах платы Arduino (небольшая плата с собственным процессором и памятью) формируются периодические прямоугольные импульсы напряжения, как на рисунке 2, с изменяемой скважностью.

Чем ниже скважность импульсов канала, тем ярче свечение соответствующего led диода. Программа управления скважностью импульсов цветовых каналов зашита в микросхеме контроллера. Такое изменение скважности импульсов, осуществляемое в целях управления процессом, называется ШИМ (широотно – импульсной модуляцией).

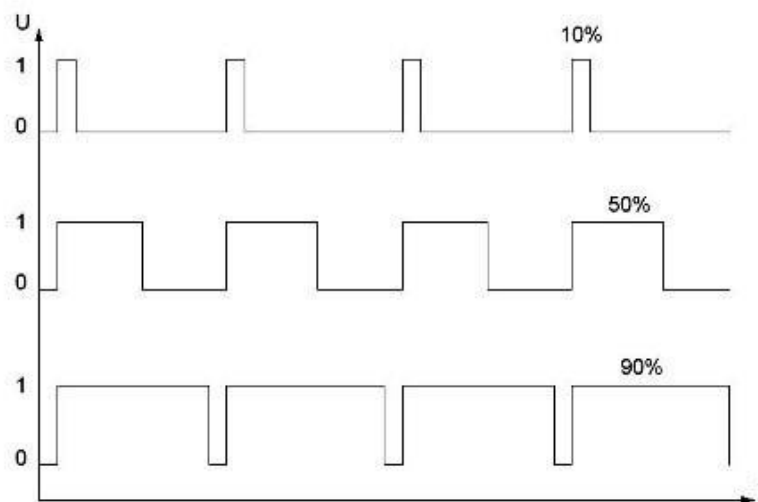


Рисунок 2 – Принцип ШИМ – регулирования

Принцип ШИМ-регулирования достаточно простой. Различное соотношение времени зажженного и погашенного состояния на глаз воспринимается как различная яркость свечения. Нулем и единицей обозначены логические уровни: логическая единица (высокий уровень) вызывает свечение светодиода, логический ноль (низкий уровень), соответственно, погасание. Однако все может быть и наоборот, поскольку все зависит от схемотехники выходного ключа, - включение светодиода может осуществляться низким уровнем а выключение, как раз высоким. В этом случае физически логическая единица будет иметь низкий уровень напряжения, а логический ноль высокий.

Управление цветом и интенсивностью свечения RGB светодиода может осуществляться и без ШИМ. На приведенной ниже схеме (Рис.3) применено аналоговое управление трехцветными светодиодами. Суть его заключается в регулировании постоянного тока диодов определенного цвета.

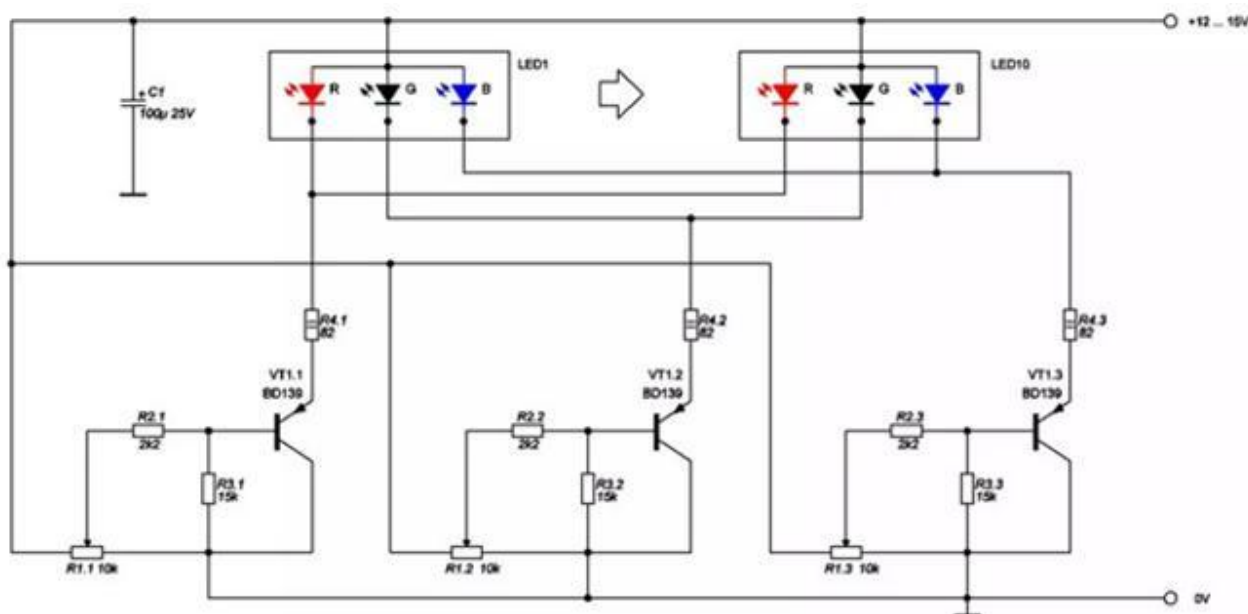


Рисунок 3 - Схема аналогового управления трехцветными светодиодами

На схеме (Рис.5) RGB диоды (led1- led10) имеют общий анод. Катоды одного цвета всех диодов объединены, и через резисторы R4.1, R4.2, R4.3 соединяются с эмиттером соответствующего транзистора. Таким образом, все светодиоды красного цвета подключены к транзи-

сторону VT1.1, зеленые светодиоды – к VT1.2, синие – к VT1.3. При перемещении движков потенциометров R1.1, R1.2, R1.3 изменяется ток базы соответствующего транзистора. Величина тока базы определяет степень открытия перехода «эмиттер – коллектор», и, в конечном счете, яркость свечения соответствующего цвета. Перед подключением нужно правильно определить полярность светодиода, иначе он не будет светиться.

Применение цифровых программируемых контроллеров предоставляет практически безграничные возможности управления цветом. В тех же случаях, когда не требуется создание цветовых динамических образов, может быть применен аналоговый способ управления. Это могут быть наружные или интерьерные светильники для статической подсветки с выбором цвета.

RGB-контроллер работает по такому же принципу, что и ШИМ: в нём стоит микропроцессор, который управляет минусовым выводом источника питания – подключает и отключает его от цепи соответствующего цвета. Обычно в комплекте с контроллером идёт пульт дистанционного управления. Контроллеры бывают разной мощности, от этого зависит их размер. Если необходимо получить источник света большой длины, применяют RGB-усилители (Рис. 4), так как сечение дорожек на светодиодной ленте не позволяет подключать последовательно большое количество отрезков.

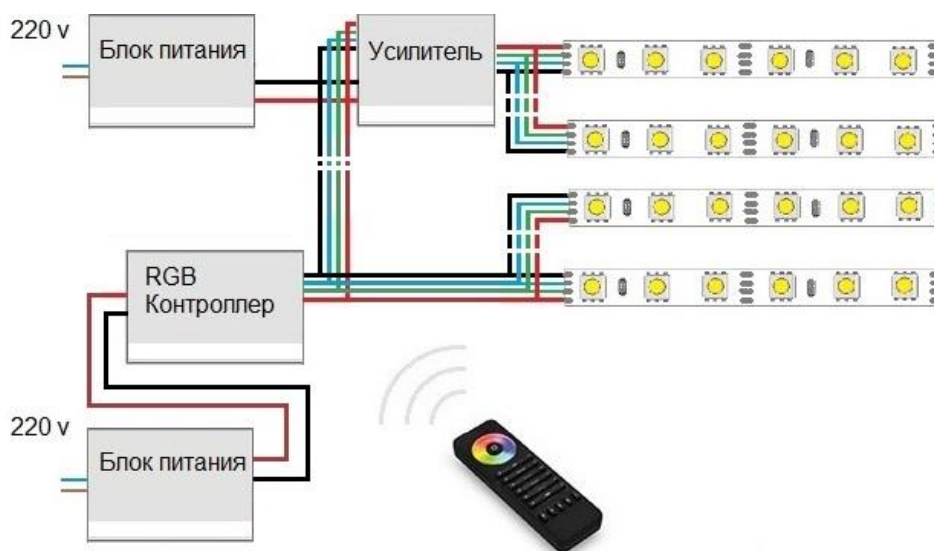


Рисунок 4 – Схема подключения RGB-усилителя

Таким образом можно запитать ленту от усилителя, который будет расположен непосредственно возле неё, тем самым сэкономив деньги и время на прокладку проводов от первичного RGB-контроллера.

RGBW светодиоды. Для того чтобы получить чисто белый цвет, используя разноцветный RGB светодиод, необходима точная балансировка яркости свечения по кристаллу каждого цвета. На практике это бывает затруднительно. Поэтому, для воспроизведения белого цвета и увеличения разнообразия цветовых эффектов, RGB светодиод стали дополнять четвертым кристаллом белого свечения. Чаще всего, RGBW светодиоды используются в светодиодных лентах RGBW SMD. Для питания таких светодиодных лент созданы специальные RGBW контроллеры, как правило, управляемые пультами дистанционного управления на инфракрасных лучах.

Основной сферой применения RGB светодиодов является создание световых эффектов для рекламы, сценическое оформление концертных площадок, развлекательных мероприятий, праздничное декорирование зданий, подсветка фонтанов, мостов, памятников. Интересные результаты получаются при использовании RGB LED диодов для дизайнерского светового оформления интерьеров. Для этих целей налажен выпуск разнообразной светотехники на основе RGB и RGBW – диодной технологии, номенклатура которой продолжает расширяться и

завоевывать новые области применения.

Многоцветный RGB светодиод — это разновидность обычного LED. Его конструктивная особенность позволяет получить любой спектр излучаемого цвета радуги. Это одновременно увеличивает его стоимость и усложняет схему подключения.

Литература

1. <http://elektrik.info/ledlight/1411-rgb-svetodiody-kak-oni-rabotayt.html>.
2. <http://ledno.ru/svetodiody/trexcvetnye-rgb.html>.
3. <https://cyberleninka.ru/article/v/issledovanie-svetodiodnyh-istochnikov-sveta-na-printsipe-rgb-smesheniya-s-vysokimi-indeksami-tsvetoperedachi>.
4. <http://elektrik.info/main/praktika/824-regulirovanie-yarkosti-svetodiodov.html>.
5. <https://diodtech.ru/svetodiody-harakteristiki/svetodiody-rgb-harakteristiki.html>.

УДК 621.321

Использование светодиодных светильников и газоразрядных ламп высокого давления в промышленном освещении

Гринкевич В.А., Рогацевич Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

В настоящее время, ключевую роль в направлении развития промышленности занимают вопросы экологической безопасности и снижения потребления электроэнергии. В связи с этим происходит внедрение новых технологий, в том числе и в системах освещения.

Качественное освещение на производстве – один из основополагающих факторов организации труда, который должен соответствовать следующим условиям:

- Отсутствие движущихся теней на рабочем месте.
- Отсутствие блеклости и ослепления светом рабочего персонала.
- Стабильность освещения.
- Освещение должно иметь достоверную цветопередачу.
- Отсутствие пульсаций у ламп, так как приводит к стробоскопическому эффекту.

Все эти требования устанавливаются в нормативно-технических документах, т.к. от уровня освещенности напрямую зависит утомляемость рабочих на производстве. За счет реализации грамотно спроектированного освещения и нужной освещенности снижается усталость человека и как следствие уменьшается брак и травматизм.

Решением качественного освещения на предприятиях являются светодиодные светильники, обладающие значительными преимуществами перед традиционными источниками света. Экологичность. Поскольку не используются токсичные и опасные материалы. Коэффициент цветопередачи. У светодиодов этот показатель составляет >70 . Он играет большую роль в уличном, бытовом, промышленном освещении, а также в магазинах и супермаркетах. Низкое энергопотребление. Поскольку нужен заряд чтобы шел р-п переход с излучением, а не накал и разогрев полупроводниковой нити накаливания. Высокая светоотдача 120-140 Лм/Вт. При этом светильники дают хорошую освещенность, что важно при точных работах. Светодиоды работают под меньшим напряжением и меньшей тепловой нагрузкой, как следствие больший показатель долговечности $\sim 25.000-100.000$ часов. Так же у светодиодов диапазон световой температуры может изменяться от 2700 К до 6500 К. Это большое преимущество при использовании светильников на производстве.

Наряду с преимуществами имеются недостатки. Главный недостаток – необходимость в хорошем теплоотводе, так как при перегреве светодиоды необратимо деградируют и теряют световую мощность. Эти светильники не рекомендуют использовать в местах с повышенной температурой. Теплоотвод можно организовать за счет использования радиаторов с большой площадью охлаждения. Для этого используются пластины, иголки, ребра, металлы с хорошей теплоотдачей: медь ($400 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) или алюминий ($240 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$). Но это все усложняет и удорожает конструкцию. Использование удешевленных китайских светильников, менее качественных, неграмотно сконструированных, что ведет к сокращению срока службы и опасности эксплуатации. Как следствие, работа таких светильников неэффективна, не соответствует заявленным показателям, создает негативную репутацию и ложное представление о светодиодных технологиях.

Из-за относительно большой стоимости светодиодного освещения предприятия выбирают более дешевые источники света: газоразрядные лампы (ГРЛ) высокого давления – несмотря на энергоэффективность, сроки и условия эксплуатации этих ламп. ГРЛ высокого давления – источники света, в которых оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах металлов или их смесях. Исходя из определения сразу наблюдается самый большой недостаток – использование вредных и опасных для человеческой жизни веществ, так же это ведет к дополнительным требованиям по утилизации данных ламп. Наружная колба покрыта люминофором и имеет эллипсоидную форму, обеспечивающая равномерное распределение температуры по поверхности. Из-за особенностей конструкции ГРЛ

слабочувствительны к температуре окружающей среды. Принцип работы: при подаче сетевого напряжения на лампу возникает тлеющий разряд в аргоне, газ нагревается, и содержащаяся в колбе ртуть начинает испаряться, сопротивление между электродами уменьшается – возникает дуговой разряд. Этот процесс очень длительный и занимает 5-7 мин., в зависимости от условий окружающей среды.

Лампы ДРЛ уступают современным источникам света, однако имеют свои особенности. Долговечность – средний срок работы 12-20 тыс. часов. При этом чем мощнее лампа, тем дольше срок службы. Возможность работы при низких температурах позволяет использовать лампы для уличного освещения. Светоотдача 45-60 Лм/Вт, при мощности ламп 80-2000 Вт светоотдача достигает достойных показателей. Широкий угол рассеивания освещения получают за счет работы кварцевой горелки и люминофорного покрытия. Цена на ДРЛ гораздо ниже, чем у светодиодных конкурентов.

Ряд недостатков ДРЛ ламп ограничивает применение этих ламп в быту и промышленности. Значимый недостаток – длительность розжига. А при низких температурах, хоть и разрешено использование этих ламп, это время увеличивается. Так же не допускается частое включение/выключение ДРЛ лампы так как она может перегореть. Долговечность значительно проигрывает светодиодному конкуренту, при этом к концу срока световой поток снижается до 70% от начального. Несмотря на применение стабилизатора, лампочки мерцают – выполнять длительную работу при таком освещении нежелательно, при этом возникает стробоскопический эффект, из-за чего ограничено применение данных ламп на производстве. Показатель цветопередачи очень низок: Ra= 40-50. Чувствительность к качеству электроснабжения, должна быть бесперебойная подача напряжения. Допустимое отклонение от номинального 20%. Снижение напряжения на 10-15% снижает эффективность и световой поток лампы на 25-30%.

ДРЛ лампы применяются как на открытом пространстве, так и внутри помещений. Используются для освещения производственных цехов, промышленных помещений, освещении общественных объектов. Лампы с красным отношением 6% рекомендуется использовать для освещения улиц и автострад, 10% – наружное освещение и внутреннее освещение промышленных объектов, 12% внутреннее освещение промышленных предприятий.

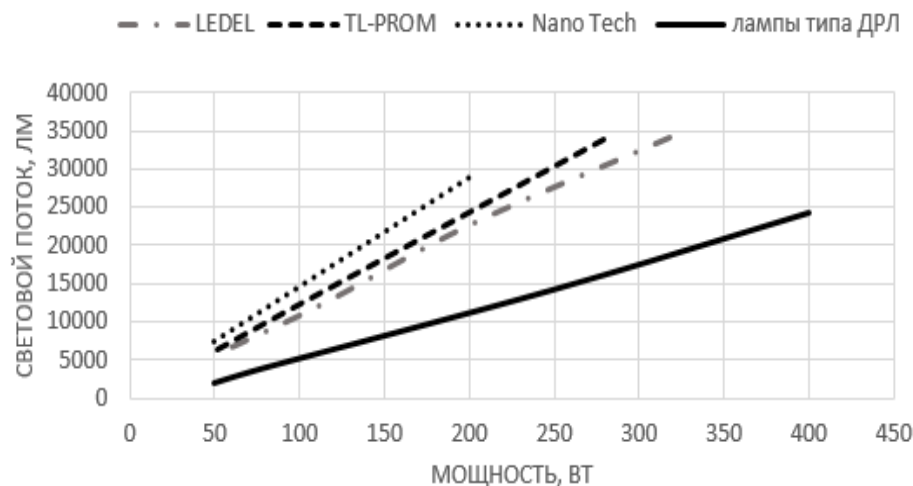


Рисунок 1 – График зависимости светового потока от мощности светильников современных производителей.

На графике представлена характеристика светодиодных светильников компании LEDEL, TL-PROM, Nano Tech и ламп типа ДРЛ, предлагаемых современным рынком. Исходя из графика (Рис.1) следует, что лампы типа ДРЛ уверенно уступают место светодиодным светильникам. Светодиодные светильники по всем техническим и эксплуатационным параметрам превосходят своих предшественников. Но не факт, что на практике они их подтвердят. Неоспоримые достоинства светодиодов: экологичность, минимальная пульсация, длительность

службы, моментальное включение, отличная передача цветов и контрастность. Эти светильники значительно лучше традиционных. В случае с дешевыми светильниками низкого качества эти преимущества становятся не актуальными. Выбор тех или иных источников света нужно осуществлять согласно с проектом.

Литература

1. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с., [12] л. цв. ил.
2. Совет инженера : [Электронный ресурс] URL: <http://sovet-ingenera.com/elektrika/svetylnik/lampa-drl.html> (Дата обращения: 12.11.2018)
3. Светодиодные светильники Ledel : [Электронный ресурс] URL: <https://ledel.ru> (Дата обращения: 05.11.2018)
4. Алтехнотрейд: [Электронный ресурс] URL: <https://www.attrade.by/catalog/promyshlennoe-osveshchenie> (Дата обращения 01.11.2018)

УДК 621.3

Солнечная энергетика в Республике Беларусь

Ракусевич А.О.

Научный руководитель – к.т.н. ГОРНОСТАЙ А.В.

В последние годы в мире всё чаще возникает проблема изменения климата. Увеличенный выброс углерода в атмосферу Земли сильно сказывается на состоянии экосистемы планеты в целом. Согласно последним подсчётам, мировые запасы углеводородов иссякнут примерно через 50 лет. При этом доля энергии, получаемой от органического топлива превышает 90%.

На сегодняшний день Республика Беларусь обеспечивает около 18 % своих потребностей в топливно-энергетических ресурсах. При развитии соответствующей инфраструктуры и увеличении добычи углеводородов можно достичь уровня покрытия собственных потребностей в 30 %.

В нашей стране активно ведётся строительство атомной электростанции, однако не смотря на все преимущества использования ядерной энергии, эксплуатация таких станций не решит вопрос с дефицитом электроэнергии в будущем.

Один из способов уменьшить затраты на закупку топливно-энергетических ресурсов – развитие альтернативных источников электроэнергии. Учитывая географическое положение и характер климатических условий, наиболее выгодным на сегодняшний день является развитие фотовольтаики, или другими словами – использование энергии Солнца. Но и здесь возникает много трудностей.

Согласно данным наблюдений, среднесуточный уровень солнечной инсоляции в Республике Беларусь составляет 2,86 кВт·ч/м². При этом, этот показатель сильно изменяется в зависимости от времени года. Уровни среднесуточной солнечной инсоляции представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни среднемесячной солнечной инсоляции по Республике Беларусь, кВт·ч/м² в сутки

Регионы/ Месяцы	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Брест	0,88	1,61	2,69	3,80	5,0	4,97	4,78	4,34	2,86	1,65	0,87	0,68
Гродно	0,80	1,50	2,62	3,70	4,98	4,90	4,75	4,33	2,82	1,58	0,77	0,61
Витебск	0,72	1,50	2,70	3,87	5,20	5,24	5,21	4,24	2,75	1,52	0,80	0,51
Могилев	0,86	1,69	2,85	3,82	5,01	5,05	4,99	4,23	2,84	1,66	0,85	0,65
Гомель	0,93	1,74	2,91	3,90	5,11	5,18	5,09	4,42	2,95	1,76	0,92	0,69
Минск	0,81	1,64	2,76	3,75	4,94	4,95	4,86	4,32	2,73	1,55	0,82	0,57

Как видно из приведенных выше значений, наиболее благоприятными для выработки электроэнергии являются май, июнь и июль, наиболее невыгодным же является декабрь. Связано это с продолжительностью светового дня и с количеством солнечных дней. Так, например, за декабрь 2016 года продолжительность солнечного сияния в Минске составила 18 часов 48 минут, а за декабрь 2017 – и вовсе 10 часов 24 минуты. В среднем же, за период с 2009 по 2013 год в Минске было 2404 солнечных часа. Конечно выработка электроэнергии будет происходить даже при отсутствии прямых солнечных лучей, но эффективность использования панелей заметно снижается.

Наиболее выгодным в нашем регионе является постройка солнечных электростанций, использующих фотоэлектрические модули (ФЭС). Данный тип электростанций наиболее распространен, т.к. не имеет жестких требований для установки, а также надежен и прост в эксплуатации. Такие станции требуют помывки панелей 1 раз в год, а также разворота панелей 2 раза в год в следствии изменения положения Солнца.

Немаловажным фактором для развития фотовольтаики является наличие больших свободных площадей, т.к. солнечные станции имеют довольно невысокий к.п.д., и, следовательно, для наиболее выгодной выработки необходимо большое количество солнечных панелей. На рисунке 1 представлена карта Республики Беларусь со среднемесячной солнечной инсоляцией за год (усредненное значение за последние 22 года).



Рисунок 1 – Среднемесячная солнечная инсоляция за год

Как видно из рисунка 1, наиболее выгодной для выработки солнечной электроэнергии является Гомельская область. К тому же, в результате аварии на ЧАЭС площадь белорусской части зоны отчуждения (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник) составляет 2162 км². Все эти земли выведены из хозяйственного оборота, и, следовательно, как нельзя лучше подходят для постройки солнечных электростанций. Учитывая то, что с момента аварии на ЧАЭС прошло 32 года, уровень радиационного излучения на пострадавших территориях позволяет безопасно для здоровья персонала эксплуатировать такие станции. Наиболее для работы подходит вахтовый метод, т.к. такие станции не требуют постоянного участия персонала в работе.

Так, например, до недавнего времени самой крупной в Беларуси являлась фотоэлектростанция «Солар II», которая находится на территории Брагинского района у деревни Соболи. Её максимальная электрическая мощность – 18,48 МВт, а в среднем станция выдаёт около 16 МВт. Этого достаточно для питания Брагинского, Хойникского и Лоевского районов. Стоимость постройки составила 24 млн евро. Каждый час работы такой электростанции позволяет экономить 7 тыс. кубометров природного газа.

На сегодняшний день самая крупная фотоэлектростанция в Республике Беларусь и одна из крупнейших на территории бывшего СССР находится в г. Речица (Гомельская область). Её максимальная электрическая мощность составляет 57,8 МВт. В общемировом зачёте станция располагается на 28м месте. Она занимает площадь в 110 Га (что примерно равно площади 154х футбольных полей). Заказчиком электростанции являлось ГПО «Белоруснефть». Строительство велось при поддержке Института энергетики НАН Беларуси. Первоначально планировалось возведение объекта меньшей мощности, однако наличие достаточного финансирования позволило расширить проект. После ввода данной станции в эксплуатацию, количество энергии, вырабатываемой за счёт Солнца в нашей стране увеличилось более чем в 2 раза. Так, в Республике Беларусь функционировало три десятка электростанций общей мощностью 41 МВт, а сейчас их суммарная мощность превышает 90 МВт. На Речицкой фотоэлектростанции расположено 217932 солнечных модуля BISOL, закреплённых на специальных системах крепления SMS-301, количество которых составляет 20800 штук, проложено более чем 1,5 тыс. км кабеля, установлено 23 инверторные станции АВВ, мощностью 2,4 МВт каждая.

Большим недостатком является тот факт, что в Республике Беларусь фактически отсутствует собственное производство солнечных панелей и связанных с ними систем. Исключение составляют такие предприятия, как ООО «Электрет» (солнечные водогрейные системы), СООО «Солар-Груп» (полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи).

Для подготовки будущих специалистов необходимо наличие соответствующей учебно-материальной базы. Так, например, Белорусский национальный технический университет, совместно с компанией «Power Montage», провёл монтаж гелиоэнергетического стенда (исследовательской солнечной станции мощностью 4,5 кВт) на крыше семнадцатого корпуса. Студенты получили возможность на практике ознакомиться с современным оборудованием, изучить принципы работы фотоэлектростанций.

До 2020 года в Республике Беларусь планируется строительство солнечных электростанций суммарной мощностью не менее 250 МВт, что позволит улучшить энергонезависимость страны и, безусловно, внедрить инновационные технологии в энергосистему.

УДК 621.3

Промышленные источники бесперебойного питания

Гринкевич В.А.

Научный руководитель – к.т.н. доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Источник бесперебойного питания (ИБП) – источник электропитания обеспечивающий сеть резервной мощностью при кратковременном отключении основного источника питания, а также стабилизирует параметры и защищает от помех в сети. В работе электрической сети неизбежны кратковременные нарушения нормального режима, а также помехи. Надежность и качество современного электрооборудования в меньшей степени допускает длительные перемены питания. Чаще встречаются кратковременные перемены, однако именно они могут нанести серьезный удар по производству и экономике предприятия, нарушив технологический процесс. Следовательно, важно защитить производственные агрегаты и обеспечить бесперебойное питание. Если на конвейерном производстве обесточить простой, но достаточно важный элемент в начале линии, то дальнейшее оборудование будет работать бесполезно или же выйдет из строя. При проектировании нужно учитывать этот нюанс. Варианты решения :

1. Использовать для отдельного оборудования одиночные ИБП, в этом случае требуется достойная защита каждого элемента, как следствие дополнительное оборудование обойдется предприятию дорого, не рентабельно, нецелесообразно.
2. Использовать один мощный ИБП чтобы он обеспечил работу всего производства. Хотя и единичная цена за такое оборудование будет больше, в процессе эксплуатации оно окупится.

Выбор ИБП сложный процесс учитывающий множество факторов: режим сети, суммарное потребление мощности, которое этот источник будет компенсировать в случае перебоа, количество оборудования, уровень критичности и отношение к помехам, к перепадам напряжения в сети. Для различных целей существует определённый тип ИБП. Основные три вида: *off-line UPS* , *line-interactive UPS* , *on-line UPS* .

1. Резервные ИБП(*off-line*) – наиболее простое из ИБП устройств. При помощи пассивных фильтров ликвидируются электромагнитные помехи и высоковольтные импульсы. При отклонении напряжения от допустим значений, питание нагрузки осуществляется за счет батарей ИБП. Линейно-интерактивные
2. ИБП (*line-interactive*) – модели со стабилизатором напряжения, позволяющим регулировать напряжение. Подходят для сетей с нестабильным напряжением, так как время переключения на аккумуляторы меньше чем у офлайн ИБП. Форма выходного напряжения – синусоидальная, прямоугольная, трапецеидальная.
3. ИБП с двойным преобразованием напряжения (*on-line*) – профессиональное оборудование большой мощности с высоким уровнем надежности. Применяется такое оборудование для защиты серверов, узлов связи, мед.оборудования и др. критических и важных объектов.

Представители современного рынка – Monolith XE10 / XE10WB, это трехфазные *on-line* ИБП. Индекс WB означает что модель с встроенными батареями, для длительной автономной работы, использование дополнительных зарядных устройств делает возможным подключение до 400 Ач и более. Особенности конструкции позволяют задействовать доп. источники питания тогда ,когда в этом есть необходимость. Вследствие чего работа электрооборудования осуществляется без потерь даже при значительных просадках напряжения. Особенности модели: ИБП с двойным преобразованием, синусоидальное выходное напряжение, холодный старт, ЖК-дисплей, возможность параллельной работы (до 3 ИБП), расширенные коммуникационные порты.

Таблица 1 – Показатели примерного времени автономной работы

Monolith XE10 (АКБ 240 В)						
Нагрузка	3600 Вт	5400 Вт	7200 Вт	9000 Вт	13500 Вт	18000 Вт
Емкость батарей	Время работы для нагрузки с коэф мощности 0,7 (час:мин)					
45 Ач	1:48	1:00	0:45	0:32	0:17	0:12
55 Ач	2:30	1:30	1:00	0:45	0:24	0:17
75 Ач	3:30	2:00	1:30	1:18	0:40	0:27
100 Ач	5:30	3:00	2:00	1:30	0:55	0:37

Основные недостатки ИБП:

1. За счет двойного преобразования происходит потеря электроэнергии.
2. Сложное устройство.
3. При работе создает определенный уровень шума
4. Создают электромагнитные помехи
5. Эти устройства требовательны к условиям окружающей среды.

В промышленности у этих устройств есть определённая проблема. Часто ИБП работают в неблагоприятных электромагнитных условиях. А именно, работают на одной шине с мощным электрооборудованием, электродвигателями, которые могут внести серьезные искажения в сеть и ИБП отреагирует на них неправильно и не сможет обеспечить нужную корректировку. ИБП сложно работать в индустриальной среде, поскольку здесь существуют различные суровые условия окружающей среды, перепады температур, повышенный уровень вибрации, влажность, пыль, специфические значения напряжения и частоты сети. К ним предъявляют особый ряд требований:

1. невосприимчивость к агрессивным и загрязненным средам (класс защиты от IP43 и более);
2. защита от вибраций;
3. высокая мощность;
4. устойчивость к высоким температурам и кратковременным повышенным перегрузкам;
5. удобный интерфейс, не требующий обслуживания спец персоналом;
6. возможность модернизации и изготовления приборов «под заказ»

Из-за нестандартных условий при которых планируется работа ИБП, выбор этого оборудования осуществляется с соблюдением ряда специфических требований. Для работы с максимальной эффективностью нужно создавать индивидуальные решения на базе отработанных узлов.

Литература

1. ELTENA – источники бесперебойного питания: [Электронный ресурс] URL: <https://eltena.com/catalog/>. (Дата обращения: 12.11.2018)
2. Совет инженера: [Электронный ресурс] URL: <http://sovet-ingenera.com/elektrika/svetylnik/lampa-drl.html> (Дата обращения: 12.11.2018)

УДК 621.316.933

Защита от перенапряжений электрических сетей 6-10 кв. Разрядники типа рдип-10-iv-ухл1

Чучков А.В.

Научный руководитель – к.т.н. доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) – сооружение, состоящее из проводов, вспомогательных устройств, и предназначенное для передачи или распределения электрической энергии. Благодаря своей протяженности на сотни и тысячи километров ВЛ являются потенциальной «мишенью» для прямого удара молнии и ее вторичных проявлений. За грозовой сезон каждые 30 км линий электропередачи принимают на себя один удар молнии, что является немаловажным фактором при планировании ее защиты от грозовых проявлений. При каждом воздействии молнии на энергетическое оборудование происходит выработка ресурса и значительное старение оборудования. Экономические потери от такого опосредованного воздействия молнии на энергосистемы значительно превосходят стоимость молниезащиты.

При ударе молнии в линию или вблизи нее на проводах линии возникает грозовое перенапряжение, под воздействием которого изоляция линии может перекрыться. После грозового перекрытия изоляции вероятность установления силовой дуги главным образом зависит от средней напряженности электрического поля, создаваемой рабочим напряжением линии на канале перекрытия.

При заданном номинальном напряжении вероятность возникновения дуги приблизительно обратно пропорциональна длине пути перекрытия. Поэтому за счет увеличения тока можно снизить вероятность установления силовой дуги и, следовательно, сократить число отключений линий. Данный способ грозозащиты реализует этот принцип за счет использования специальных разрядников.

Разрядники типа РДИП-10-IV-УХЛ1 находят все более широкое применение в различных регионах страны при строительстве новых, реконструкции и техническом перевооружении существующих ВЛ 6-10 кВ. Конструктивный эскиз, показывающий общий вид и основные составные части разрядника приведен на рис.1.

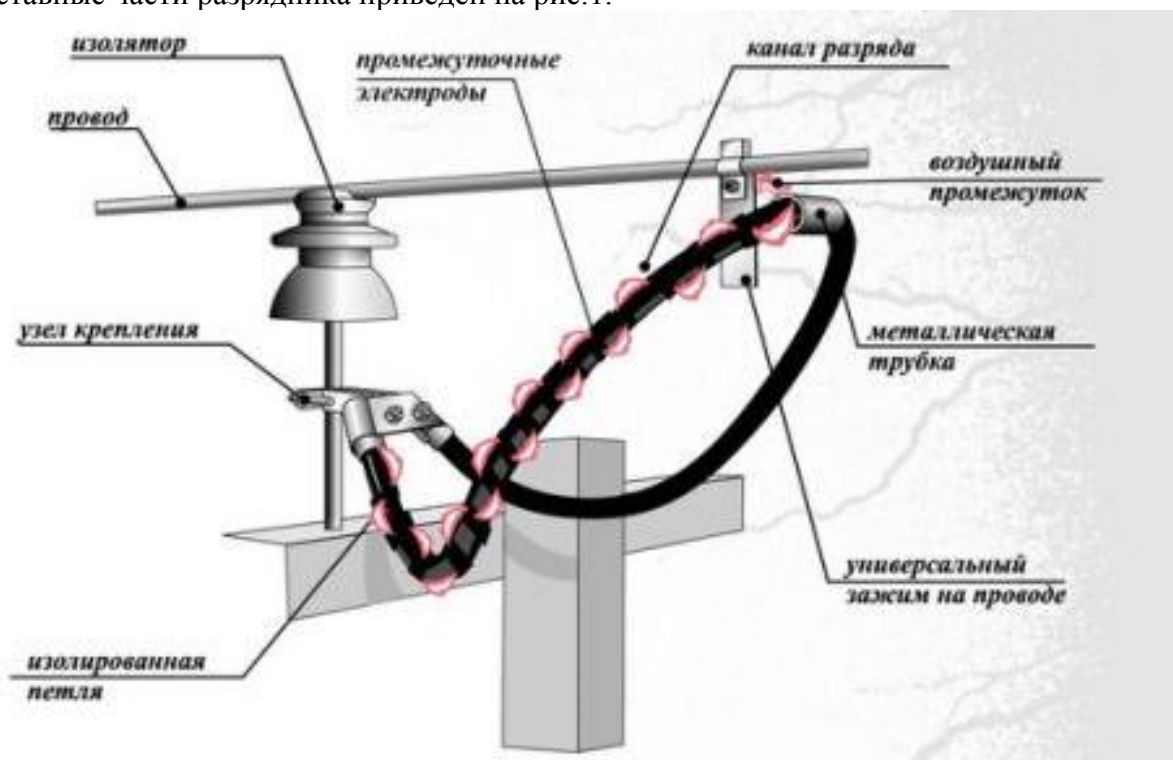


Рисунок 1 – Конструктивный эскиз РДИП-10-IV-УХЛ1

РДИП-10-IV-УХЛ1 предназначен для защиты воздушных линий электропередачи напряжением 6-10 кВ трехфазного переменного тока с защищенными и неизолированными проводами от индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий и рассчитан для работы на открытом воздухе при температуре окружающего воздуха от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30-и лет.

Разрядник состоит из согнутого в виде петли металлического стержня, покрытого слоем изоляции из полиэтилена высокого давления. Концы изолированной петли закреплены в зажиме крепления, с помощью которого разрядник присоединяется к штырю изолятора на опоре ВЛ. В средней части петли поверх изоляции расположена металлическая трубка. На проводе ВЛ, напротив металлической трубки разрядника, закрепляется универсальный зажим для создания необходимого воздушного искрового промежутка S . Закрепление изолированной петли разрядника на ВЛ производится с помощью зажима крепления. Зажим крепления изготовлен из стали, покрытой защитным слоем цинка, и имеет конструкцию, обеспечивающую надежное крепление разрядника к элементам арматуры ВЛ. Конструкция зажима крепления разрядника может быть изменена и иметь форму, адаптированную под конкретные условия крепления разрядника на опоре ВЛ.

Универсальный зажим для провода изготовлен из стали, покрытой защитным слоем цинка. Конструкция зажима позволяет устанавливать его как на неизолированные, так и на защищенные провода, зажим для которых имеет прокусывающие шипы. Принцип работы разрядника основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника, и предотвращении за счет этого перехода импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты. При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозового импульса искровой воздушный промежуток S между проводом ВЛ и металлической трубкой разрядника пробивается, и напряжение прикладывается к изоляции между металлической трубкой и металлическим стержнем петли, имеющим потенциал опоры. Под воздействием приложенного импульсного напряжения вдоль поверхности изоляции петли от металлической трубки к зажиму крепления разрядника (по одному, или по обоим плечам петли) развивается скользящий разряд. Вследствие эффекта скользящего разряда вольт-секундная характеристика разрядника расположена ниже, чем вольт-секундная характеристика изолятора, то есть при воздействии грозового перенапряжения разрядник перекрывается, а изолятор нет. После прохождения импульсного тока молнии разряд гаснет, не переходя в силовую дугу, что предотвращает возникновение короткого замыкания, повреждение провода и отключение ВЛ. На рис.2 представлен момент срабатывания разрядника при воздействии грозового импульса перенапряжения во время лабораторных испытаний на полномасштабной модели ВЛ 10 кВ.



Рисунок 2 – Фотография испытаний на макете.

Конструкция узла крепления РДИП-10-IV-УХЛ1 позволяет устанавливать его на штырь или крюк изолятора ВЛ и на другие элементы арматуры с защищенными и неизолированными проводами. Длинно-искровые разрядники:

- предотвращают пережог проводов (как и «дугозащитные рога»);
- исключают дуговые замыкания и отключения линии, возникающие вследствие индуктированных грозовых перенапряжений.

Основные технические характеристики данного разрядника представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики разрядника

Класс напряжения, кВ	10
Размер внешнего искрового промежутка, см	78
Размер внешнего искрового промежутка, см	2 - 4
50% импульсное пробивное напряжение, кВ, не более	110
Напряжение координации с изолятором ШФ10-Г, кВ	400
Выдерживаемое напряжение коммутационного импульса, кВ	90
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, кВ:	
в сухом состоянии	60
под дождем	50
Ток гашения дуги при номинальном напряжении, А	200
Выдерживаемый импульсный ток 8-20 мкс, кА	40

Разрядный элемент РДИ, вдоль которого развивается скользящий разряд, имеет длину, в несколько раз превышающую длину импульсного перекрытия защищаемого изолятора линии. Конструктивные особенности разрядника обеспечивают более низкое разрядное напряжение при грозовом импульсе по сравнению с разрядным напряжением защищаемой изоляции. Главной особенностью РДИ является то, что вследствие большой длины грозового перекрытия вероятность установления дуги короткого замыкания практически сводится к нулю.

Основные технические характеристики РДИП-10-IV-УХЛ1

Известно, что величина индуктированных перенапряжений не превосходит значения 300 кВ, и это позволяет при правильной организации грозозащиты исключить возможность одно-временного перекрытия двух или трех фаз на одной опоре и, соответственно, междуфазных коротких замыканий. Для этого необходимо устанавливать по одному разряднику на опору с чередованием фаз, например, на первой опоре разрядник устанавливается на фазу А, на второй — на фазу В, на третьей — на фазу С и т. д. (см. рис.3).

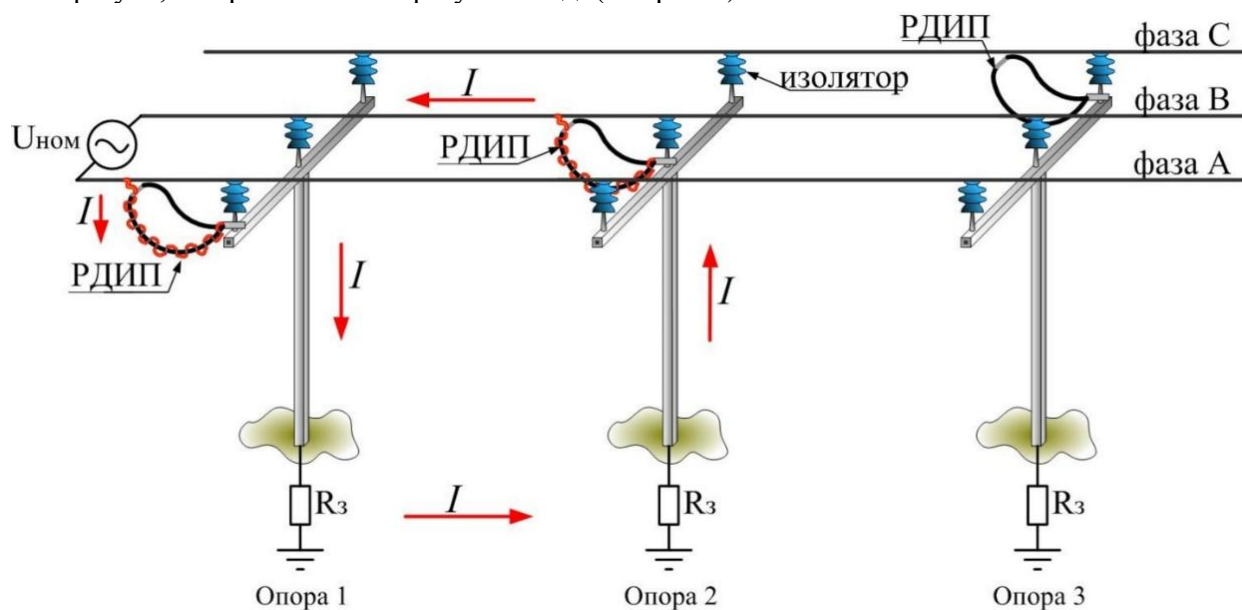


Рисунок 3 – Схема установки длинно-искрового разрядника РДИП-10-IV-УХЛ1

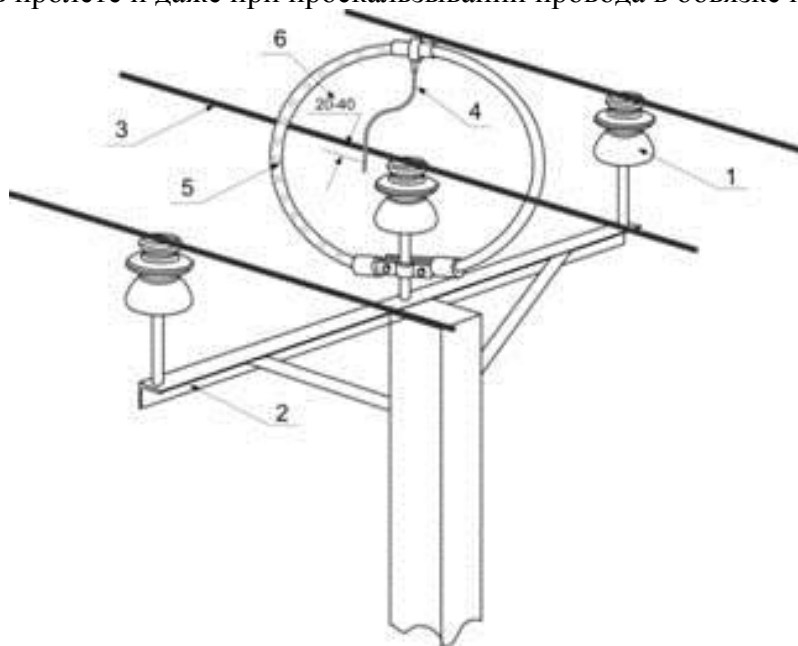
При такой системе установки индуктированное на линии грозное перенапряжение приводит к перекрытию разрядников на разных фазах соседних опор и образованию контура междофазного замыкания сопровождающего тока напряжения промышленной частоты, в который включены сработавшие разрядники и сопротивления заземления опор R_z (см. рис.3), ограничивающие этот ток на уровне нескольких сотен ампер, способствуя его гашению и предотвращению отключения ВЛ.

Разрядные характеристики РДИП-10-IV-УХЛ1 обеспечивают то, что ни один из изоляторов всех трех фаз в данной схеме не перекрывается, поскольку каждый из них защищен разрядником, установленным электрически параллельно ему и расположенным либо непосредственно рядом с изолятором, либо на соседней опоре. При уровнях индуктированных перенапряжений, близких к импульсному напряжению срабатывания разрядника, возможно перекрытие разрядника лишь на одной опоре, приводящее к однофазному замыканию на землю. Ток замыкания при этом не превышает 10-20 А, и петлевой разрядник с общей длиной перекрытия 80 см гарантированно исключает возникновение силовой дуги.

Достоинства и преимущества:

- Не только устраняют пережог проводов, но и предотвращают отключение ВЛ вследствие грозных индуктированных перенапряжений
- Устраняют последствия грозных перекрытий, не причиняя ущерба оборудованию линий и подстанций
- Экономят ресурс срабатывания высоковольтных выключателей
- Защищают электрические сети от дуговых перенапряжений, сопутствующих однофазным замыканиям на землю, вызванным грозными перенапряжениями
- Не подвержены разрушающему воздействию токов молнии и сопровождающих токов дуговых замыканий
- Не обуславливают никаких специальных требований по снижению сопротивлений заземления опор, на которых они установлены

Конструктивной модификацией РДИП-10-IV-УХЛ1 является РДИП1-10. Конструктивное отличие РДИП1-10 от РДИП-10-IV-УХЛ1 сводится к измененным форме изгиба петли, деталям узла крепления и способу обеспечения воздушного зазора между разрядником и проводом. Общий вид разрядника приведен на рис.4. Воздушный разрядный промежуток между электродом РДИП1-10 и проводом сохраняет установленные параметры независимо от геометрии провода в пролете и даже при проскальзывании провода в обвязке на изоляторе.



1 - изолятор; 2 - траверса; 3 - провод; 4 - электрод разрядника;
5 - разрядник; 6 - воздушный зазор

Рисунок 4 – Общий вид петлевого разрядника РДИП1-10

Литература

1. Подпоркин Г.В., Пильщиков В.Е., Спиваев А.Д. Защита ВЛ 6-10 кВ от грозовых перенапряжений посредством длинно-искровых разрядников модульного типа // Энергетик. – 2003. – №1. – С. 27-29.
2. <http://malahit-irk.ru/index.php/2011-01-13-09-04-43/191-2011-06-25-04-21-15.html>
3. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1329428>

УДК 621.316

Энергосберегающее энергооборудование

Киреев В.В., Андросюк И. В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Энергоресурсосбережение является одной из самых серьезных задач XXI века. Данная проблема должна быть отнесена к стратегическим задачам государства, являясь основным методом обеспечения энергетической безопасности. Снижение потребления позволяет обеспечивать подключение новых потребителей при минимальных капитальных затратах на развитие инфраструктуры и снимает проблемы выделения земельных участков под новое строительство объектов генерации, отчуждение санитарно-защитных зон и т.д., что в целом положительно сказывается на градостроительном развитии.

Существуют три способа снижения потребления энергии:

- Исключение нерационального использования энергоресурсов;
- Устранение потерь энергоресурсов;
- Повышение эффективности использования энергоресурсов.

Рассмотрим каждый из способов по отдельности.

За исключение нерационального использования энергоресурсов отвечает положение РБ «По нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии». В данном положении говорится, что нормы расхода топлива, тепловой и электрической энергии должны:

- разрабатываться на всех уровнях планирования по соответствующей номенклатуре продукции и видов работ на единой методической основе;
- учитывать условия производства, внедрение энергосберегающего оборудования;
- способствовать максимальной мобилизации резервов экономии топлива, тепловой и электрической энергии.

Примером энергооборудования, которое исключает нерациональное использование энергоресурсов являются теплосчетчики, расходомеры, газоанализаторы, системы контроля горения и АСУ тепловых станций. Предприятия много выиграют, если поставят экономию воды, электричества, тепла и газа на счетчик. С их помощью не расходуются лишние энергоресурсы, а платить за использованное придется меньше. Каждый счетчик выгоден с позиции экономии энергии.

Один из основных способов устранения потерь энергоресурсов – это снижение их потерь. Но для того, чтобы бороться с потерями, необходимо их обнаружить. Основными «рассточителями» энергоресурсов являются предприятия, занимающиеся электро- и теплогенерацией. Что касается потерь потребителей, то по тепловой энергии у них теряется не более 15%, электрической – порядка 5-6%. Одним из инструментов борьбы с потерями энергоресурсов является энергоаудит (энергетическое обследование предприятий), позволяющий не только обнаружить источники этих потерь, но и разработать методику по их эффективному устранению.

Повышение эффективности использования энергоресурсов осуществляется за счет использования энергосберегающего энергооборудования, такого как:

- каталитические генераторы тепла; плазменный поджиг;
- разнообразные плазмохимические технологии;
- системы сжигания углей ультратонкого помола и водоугольных суспензий;
- термические и каталитические методы переработки отходов;
- парокompрессионные и абсорбционные тепловые насосы;
- методы глубокой переработки углей и нефтепродуктов;
- термические, каталитические и другие методы очистки воды и воздуха;
- вихревые и радиационные методы очистки дымовых газов;
- энергосберегающие источники света; теплосберегающие покрытия на стеклах;
- кремний для солнечной энергетики;
- вентиляторы-рекуператоры;

- аккумуляторы тепла;
- базальтовый утеплитель;
- экологическое и энергоэффективное индивидуальное домостроение;

Таким образом, нахождение правильной стратегии и главное, практики внедрения экономических преобразований системы модернизации промышленности и других сфер хозяйствования позволит ввести энергосбережение в ежедневную практику «работы экономики», что положительно скажется на положении человечества в целом, т.к. современного человека невозможно представить без тепло- и электроэнергии.

Литература

1. <https://belzakon.net/Законодательство/Положения/1997>.
2. <http://energo.effecton.ru>
3. <https://gisee.ru/articles/energy-solutions>
4. <http://euroasia-science.ru/tehnicheskie-nauki/effektivnost-ispolzovaniya-energoresursov>

УДК 621.3

Электрические машины нового поколения

Ермолинская Л.Э., Пармоник Н.С.

Научный руководитель - к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Электрическая машина служит для преобразования механической энергии в электрическую и электрической в механическую, а также электрической энергии в электрическую же, отличающуюся по напряжению, роду тока, частоте и другим параметрам. Действие электрической машины основано на использовании явления электромагнитной индукции и законов, определяющих взаимодействие электрических токов и магнитных полей. Для преобразования механической энергии в электрическую служат электромашинные генераторы, электрической энергии в механическую - электрические двигатели. Каждая из этих машин энергетически обратима, т. е. может работать как в генераторном, так и в двигательном режиме; однако выпускаемые промышленностью электрические машины обычно предназначены для выполнения определенной работы.

В настоящее время развитие электрических машин неразрывно связано с созданием новых технологий.

Броуновский двигатель Исследователи из IBM Research провели первую демонстрацию работы реального колебательного броуновского двигателя, способного перемещать наноразмерные частицы вдоль predefined путей. Это, в свою очередь, позволит реализовать высокоточные процедуры сортировки этих частиц, использовать новый принцип движения в устройствах типа «лаборатория-на-чипе» и в других устройствах, предназначенных для исследований в области физики, химии, биологии и т.п.

Броуновский двигатель преобразовывает случайное Броуновское движение в механическую работу, т.е. хаотическое движение в прямолинейное движение частицы. Для этого используется механическое устройство, напоминающее отвертку с трещоткой, которая позволяет крутить отвертку в одном или в обратном направлении в зависимости от положения переключателя и направления зубцов трещотки.

Колебательные силы, вызываемые броуновским движением, прижимают частицы к зубцам трещотки. Это, с учетом направления зубцов трещотки, приводит к перемещению частиц в одном направлении. Броуновский двигатель сам не производит никакого движения, его устройство лишь препятствует перемещению частиц в обратном направлении.

Трещотка броуновского двигателя была создана при помощи нагретого острого кремниевого наконечника, который использовался для порезки полимерного материала. Такая технология называется тепловой литографией при помощи наконечника сканирующего микроскопа. Для создания устройства сортировки наночастиц были изготовлены две противонаправленные трещотки броуновских двигателей, расположенных рядом, имеющие различную длину зубцов. На эти трещотки была помещена капелька воды, в которой находилось большое количество золотых наночастиц, размером 60 и 100 нанометров. Все было покрыто слоем стекла, к которому был приложен электрический потенциал, под воздействием созданного электрического поля наночастицы распределились равномерно по всему объему воды. Частицы большего размера начали двигаться вдоль трещотки с большими зубцами, а меньшие - вдоль трещотки с меньшими зубцами, и в результате всего за несколько секунд все 60-нм наночастицы были отправлены в правую сторону, а все 100-нм частицы сгруппировались на левой стороне устройства.

Расчеты, проведенные учеными, показали, что такой метод сможет работать с наночастицами, размерами от 5 до 100 нанометров, а правильная сортировка наночастиц возможна при разнице их размеров всего в 1 нм. Созданное устройство, имеет очень малый размер и работает при электрическом потенциале в 5 Вольт, в отличие от других подобных устройств, оно не нуждается в перепадах давления, создаваемых микроскопическими насосами. Это делает данное устройство идеальным для использования в лабораториях-на-чипе, производящих

анализ размеров частиц, таких, как молекулы ДНК, белки, квантовые точки и нано частицы различных форм и размеров.

Ветряной генератор Haliade-X является самым большим и мощным ветряным генератором в мире на сегодняшний день, и который установлен на испытательном полигоне компании близ Блайта, Великобритания. Создание новой ветряной турбины было проведено сотрудниками Отдела возобновляемых источников энергии компании General Electric. Высота турбины составляет 260 метров, диаметр ротора - 220 метров, а длина одной лопасти - 107 метров. В течение года эта турбина способна выработать 67 ГВт·ч электроэнергии, что на 63 процента больше, чем может выработать любой другой из существующих ветряных генераторов. Такое кардинальное увеличение эффективности является следствием не только увеличения размеров турбины, но и использования в ее конструкции целого ряда самых современных инновационных технологий.

Магнитные катушки. Специалистами Лаборатории физики плазмы Принстонского университета созданы новые большие магнитные катушки. Использование этих катушек позволяет увеличить общую эффективность реактора термоядерного синтеза Wendelstein 7-X (W7-X) типа стелларатор, что было продемонстрировано в ходе последних экспериментов. Реактор W7-X является самым большим, мощным и современным стелларатором в мире, он используется для проведения исследований в области термоядерного синтеза и для проверки ряда технологий, уникальных для конструкций реакторов типа стелларатор.

Стеллараторы - это реакторы термоядерного синтеза, тороидальная камера которых имеет сложную извилистую форму, как и создаваемые вокруг нее магнитные поля. Такая необычная конструкция, согласно теории, помогает таким реакторам работать в непрерывном режиме, затрачивая на это гораздо меньше энергии, чем затрачивают обычные "ровные" реакторы типа токамак. Помимо этого, сложная конфигурация магнитного поля позволяет надежно удерживать высокотемпературную плазму, что уменьшает риск ее контакта с внутренними стенками камеры реактора.

Новая система управления, наряду с точным расположением катушек электромагнитов, позволяет контролировать размер и положение области контакта плазмы с теплоотводами. При этом, для гарантированного удержания шнура плазмы на месте оказалось достаточно 10 процентов от номинальной мощности этих катушек.

Высокочастотные электрические трансформаторы являются одним из основных электронных компонентов, обеспечивающих возможность беспроводного соединения и обмена данным. Такие трансформаторы являются одними из самых габаритных и тяжелых компонентов, устанавливаемых на электронных печатных платах.

Исследователям из университета Иллинойса удалось кардинально сократить размеры высокочастотных трансформаторов, благодаря чему их можно будет встраивать прямо в конструкцию гибридных чипов и модулей.

Новые трансформаторы представляют собой скатанные в миниатюрные рулоны тонкие пленки, на поверхность которых нанесены проводники. Такой подход позволяет сократить размер трансформатора в 10-100 раз по отношению к размерам самых миниатюрных их современных трансформаторов. При этом, производство такого компонента лишь немного сложнее, чем производство необходимых для него исходных материалов.

Решением обеспечения высокого магнитного сцепления между витками обмоток стала технология, разработанная ранее для изготовления "рулонных" катушек индуктивности. Токпроводящие проводники наносятся на поверхность растянутой упругой пленки, после чего она самостоятельно сворачивается в рулон. Для изготовления трансформатора требуются лишь незначительные изменения первоначальной технологии, для этого лишь требуется нанести на пленку не одну, а две или большее количество токопроводящих дорожек.

Высокое магнитное сцепление обмоток позволяет изготавливать таким методом трансформаторы, имеющие большое значение коэффициента передачи (трансформации). Это, в

свою очередь, позволит использовать такие трансформаторы не только в качестве согласующих трансформаторов и трансформаторов развязки, но и усиливающих трансформаторов, которые способны поднять чувствительность приемников электронных устройств.

В дальнейшем ученые планируют использовать в качестве обмоток проводники, изготовленные из более токопроводящих материалов, что в свою очередь позволит сделать рулонные трансформаторы еще меньшими, гибкими и более эффективными.

Сверхвысоковольтного трансформатора постоянного тока. Электротехническая компания АВВ в настоящее время проводит тестирование низковольтных и высоковольтных узлов самого мощного в мире **сверхвысоковольтного трансформатора постоянного тока**. Эта силовая установка с рабочим напряжением в 1100кВ будет использоваться для обеспечения работы высоковольтных линий электропередачи, связывающих провинцию Синьцзян, северо-восток Китая, и провинцию Аньхой на востоке. Линия будет способна транспортировать 12 000 МВт, что эквивалентно энергии, вырабатываемой 12 крупными электростанциями, и это на 50 процентов больше, чем обеспечивают существующие HVDC-линии, напряжением 800 кВ. Расстояние, на которое будет передаваться электрическая энергия, будет превышать 3 тысячи километров, в то время, как протяженность 800-кВ линий не превышает 2 тысяч километров. После введения в эксплуатацию, линия сможет обеспечить энергией восемь 500-кВ вторичных линий и две линии, напряжением 1000 кВ. Для обеспечения работы такой линии компанией АВВ был разработан целый ряд сопутствующих сверхвысоковольтных технологий, электрические компоненты, включая инверторы, выключатели постоянного тока, изоляторы и т.п.

Термоэлектрические (ТЭ) генераторы. Несмотря на массу исследований, проведенных в данном направлении, созданные термоэлектрические генераторы являются устройствами, работающими при достаточно высоких температурах. Исследователи из университета Осаки, совместно с инженерами компании Hitachi, Ltd., разработали новый материал с достаточно высокими термоэлектрическими параметрами и эффективностью работы при комнатной температуре.

Термоэлектрические генераторы, изготовленные из специальных материалов, вырабатывают электрический ток в случае, если их одна сторона нагрета сильнее, чем вторая. Помимо этого, термоэлектрический эффект может работать и в обратную сторону, регулируя электрический ток через материал, подаваемый от внешнего источника, можно поддерживать заданный температурный градиент между сторонами материала. Все термоэлектрические материалы обладают достаточно высокой электрической проводимостью, плюс низкой теплопроводностью, что не допускает произвольного выравнивания температурного градиента. Эффективность работы термоэлектрического материала выражается значением параметра, называемого коэффициентом мощности, который пропорционален электрической, тепловой проводимости и константе, называемой коэффициентом Сибека.

Ветряные генераторы. Компанией Tuerg Wind из Туниса создан генератор, который вместо вращательных движений, машет своими "крыльями", подражая движениям крыльев птицы колибри. Два крыла турбины Tuerg Wind, изготовленные из углеродистого волокна, имеют длину 1.6 метра. А полный "размах крыльев" этого генератора составляет 3.56 метра. При этом, область пространства, занимаемого генератором Tuerg Wind, меньше области, требующейся для традиционного ветрогенератора сопоставимой мощности, которая в данном случае составляет 1 кВт.

Ветрогенератор Tuerg Wind создает меньше шума по сравнению с традиционными генераторами. Кроме этого, он более безопасен для окружающей среды и не представляет угрозы для пролетающих мимо птиц. Конструкция ветрогенератора допускает увеличение его габаритов и мощности до уровня, необходимого для объединения ветрогенераторов в электростанции, располагаемые на суше или в море.

В настоящее время интенсивно разрабатываются **бесконтактные двигатели постоянного тока** на различные мощности. Катушки обмоток статора получают энергию от сети постоянного тока через специальный полупроводниковый коммутатор (инвертор), позволяющий

регулировать частоту вращения двигателя в необходимых пределах или стабилизировать ее. Механические характеристики БДПТ могут быть от абсолютно жестких, как у синхронного двигателя, до характеристик, соответствующих обычным коллекторным двигателям постоянного тока.

Применение бесколлекторных генераторов и бесконтактных двигателей постоянного тока позволит повысить надежность и улучшить эксплуатационные показатели систем электроснабжения и силового электропривода.

Кроме того, в настоящее время широко используются при производстве электрических машин самые современные конструкционные и изоляционные материалы, нанотехнологии.

Литература

1. <https://studfiles.net/preview/1640464/page:3/>
2. <https://www.dailytechinfo.org>
3. Электрическая машина /// Большая Советская Энциклопедия. Изд. 3-е. Т. 30. Экслибрис – Яя. – М.: Советская энциклопедия, 1978. – 632 с.
4. Электрические машины нового поколения / В.А. Ручкин. – К.: Знания Украины, 2013. – 19 с. – Библиогр.: с.19.

УДК 621.3

Применение частотных преобразователей для управления приточной вентиляцией

Павлович Е.В.

Научный руководитель – к.т.н. доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Промышленностью выпускаются частотные преобразователи электроиндукционного типа, представляющего собой по конструкции асинхронный двигатель с фазным ротором, работающий в режиме генератора-преобразователя, и преобразователи электронного типа.

Частотные преобразователи электронного типа часто применяют для плавного регулирования скорости асинхронного электродвигателя или синхронного двигателя за счет создания на выходе преобразователя электрического напряжения заданной частоты. В простейших случаях регулирование частоты и напряжения происходит в соответствии с заданной характеристикой V/f , в наиболее совершенных преобразователях реализовано так называемое векторное управление.

Частотный преобразователь электронного типа — это устройство, состоящее из выпрямителя (моста постоянного тока), преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный, и инвертора (преобразователя) (иногда с ШИМ), преобразующего постоянный ток в переменный требуемой частоты и амплитуды. Выходные тиристоры (GTO) или транзисторы (IGBT) обеспечивают необходимый ток для питания электродвигателя.

Для улучшения формы выходного напряжения между преобразователем и двигателем иногда ставят дроссель, а для уменьшения электромагнитных помех — ЕМС-фильтр [1].

Как правило, приточная вентиляция, служащая для поддержания температуры в цехах зимой, располагается в труднодоступных местах. Для поддержания в рабочем состоянии калориферов дежурному персоналу необходимо ежедневно делать обход оборудования, что затруднительно в случае ремонтных работ во 2 и 3 смены. В следствии чего температура теплоносителя падает, он замерзает и теплообменник выходит из строя. Так же большими являются потери тепловой энергии в момент, когда дежурный персонал загружен и не может включить двигатель вентилятора. Это действует и в обратную сторону: калорифер остыл, а двигатель вентилятора продолжает работать, что в последствии ещё может привести к выходу из строя теплообменника.

Решением данной проблемы может являться применение частотного преобразователя с обратной связью.

Система поддержания заданной температуры работает в автоматическом режиме по схеме с обратной связью. Преобразователь частоты 4 управляет скоростью вращения электродвигателя 5, изменяя тем самым производительность вентилятора 2. Температура в помещении оценивается датчиком температуры 3. Заданное значение температуры устанавливается с пульта управления преобразователя частоты. Температура калорифера оценивается датчиком 6.

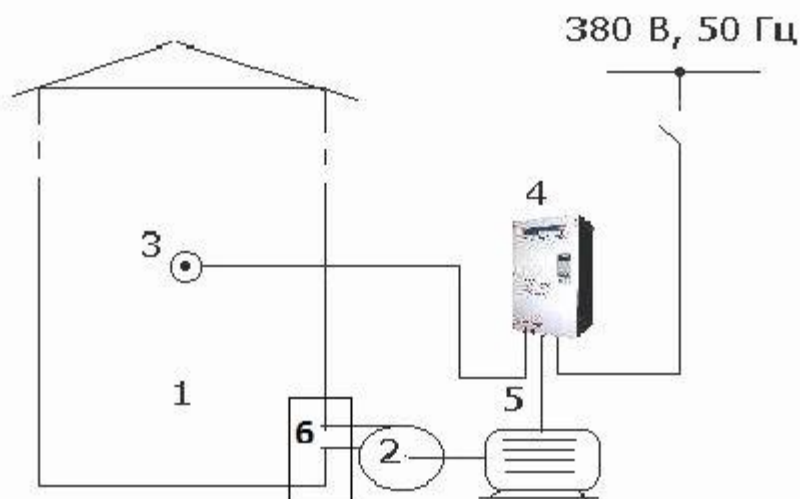


Рисунок 1 – Автоматическое поддержание температуры воздуха в помещении

Если температура воздуха, либо теплоносителя, отличается от заданной, то преобразователь частоты выдаст сигнал управления на двигатель. Скорость вращения двигателя и производительность вентилятора изменяются так, что температура воздуха в помещении становится равна заданному значению [2]. Либо, при остывании теплообменника скорость вращения двигателя уменьшится вплоть до отключения.

График потребления энергии в зависимости от расхода воздуха в этом случае практически аналогичен насосному применению преобразователя частоты.



Рисунок 2 – Потребляемая ЭЭ

При использовании преобразователя частоты обеспечивается:

- точное поддержание температуры воздуха и создание оптимального микроклимата в помещении,
- исключение механических регулирующих задвижек и упрощение эксплуатации системы в целом,
- снижение потребления электроэнергии за счет плавного регулирования скорости двигателя (см. график).
- Исключается выход из строя теплообменника.

Литература

1. Частотный преобразователь / wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 27.11.2018.
2. Сборник статей / electrolibrary.info [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electrolibrary.info/main/articles.htm/>. – Дата доступа: 27.11.2018.

УДК 621.3

Повышения энергоэффективности силовых Трансформаторов серии ТМГ

Веселов Ю.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Потери энергии характерны для всех систем распределения электроэнергии. Значительная часть потерь составляют потери в трансформаторах (потери холостого хода, возникающих вследствие перемагничивания стали сердечника, и нагрузочных потерь, представляющих собой сумму потерь в меди обмоток и дополнительных потерь в стенках бака и других металлических частях, вызываемых потоком рассеяния).

Стоимость трансформатора с учетом стоимости эксплуатации за весь срок службы состоит из следующих составляющих:

- цена трансформатора;
- стоимость монтажа на месте эксплуатации;
- стоимость профилактических работ и обслуживания;
- стоимость потерь.

Расходы на оплату потерь электроэнергии в трансформаторе за весь срок его службы многократно превышают стоимость покупки трансформатора. При этом именно на энергоснабжающую организацию, поставляющую электроэнергию конечному потребителю, ложатся затраты потерь в распределительных сетях. Применение энергосберегающих технологий, несмотря на удорожание готового изделия, позволяет в дальнейшем сократить издержки на передачу электроэнергии, что является приоритетным направлением деятельности любой энергоснабжающей организации.

Работа над снижением энергопотребления силовых трансформаторов ведется в направлении сокращения потерь холостого хода и потерь короткого замыкания. Как правило, снижение потерь обеспечивается за счет дополнительно вложенных материалов, затраченных на изготовление трансформаторов и применением новых современных материалов. Поэтому стоимость трансформаторов из энергоэффективной серии ТМГ15 превышает стоимость трансформаторов базовой серии в среднем на 10-15%.

В зависимости от мощности трансформатора и его загрузки, согласно технико-экономическим расчетам, инвестиции в трансформаторы энергоэффективной серии ТМГ15 окупят дополнительные расходы и начнут приносить дивиденды уже через 1-3,5 года их эксплуатации.

Разница сроков окупаемости дополнительных инвестиций на покупку трансформаторов серии ТМГ15, в сравнении с базовой серией ТМГ12, составляет всего лишь 3-5 месяцев (в зависимости от мощности трансформатора и его загрузки).

Существующая экономическая ситуация требует от электросетевых компаний рационального подхода в вопросе выбора и покупки электрооборудования. Выбор мощности вновь вводимого в эксплуатацию трансформатора, его цены, нагрузки, оптимального уровня потерь должен быть экономически обоснован, исходя, в первую очередь, из наименьшей стоимости жизненного цикла изделия. Также существует экологический аспект: чем ниже потери электроэнергии, тем меньше загрязняется окружающая среда.

Литература

1. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. – М. Энергоатомиздат, 1986.г.

УДК 621.3

Применение частотно-регулируемого привода для энергосбережения и повышения энергоэффективности электромеханических систем горно-шахтного оборудования.

Кравчяня О.Н.

Научный руководитель - к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Значительное место в народном хозяйстве Республики Беларусь занимает горнодобывающая промышленность. Калийная промышленность нашей страны по запасам сырья и объему производства занимает второе место в СНГ после «Уралкалия». ОАО «Беларуськалий» экспортирует свою продукцию в 107 стран мира.

Основным направлением развития отечественной горнодобывающей промышленности является улучшения качества производственных процессов, а также снижение потребления электроэнергии.

Горные машины занимают ведущее место в технологическом процессе добычи, транспортировке и переработке полезных ископаемых. На работу горных машин большое влияние оказывают условия их работы, специфичные для горных предприятий, наличие больших динамических и особенно знакопеременных нагрузок, высокая агрессивность окружающей среды в связи с избытками влаги, пыли и вредных газов, более тяжелые условия труда рабочих, что отрицательно сказывается на качестве ухода за оборудованием. В процессе работы суммарное действие данных факторов снижает эксплуатационную надежность горных машин.

Внедрение регулируемых электроприводов способно улучшить безотказность работы горных машин, а также призван обеспечивать высокую надежность функционирования его основных исполнительных органов.

Электроприводы обеспечивают приведение в движение исполнительного органа горной машины и управляют этим движением, потому от эффективности функционирования электропривода в существенной мере зависит эффективность работы всей горной машины. Требования предъявляемые к электроприводу горных машин: безопасность; надежность; высокая управляемость моментом электродвигателя при нулевой и на малых скоростях вращения вала; высокий пусковой момент электродвигателя для быстрого разгона; торможение электродвигателя с рекуперацией энергии; реверс электродвигателя; минимальные потери электроэнергии; минимальное потребление реактивной мощности электроприводом; минимальная стоимость и быстрая окупаемость затрат на электропривод. В частности, электроприводами оснащаются:

- тяговые механизмы;
- погрузочно-разгрузочные механизмы;
- механизмы подачи режущих инструментов;
- механизмы движения режущих инструментов;
- вспомогательные механизмы и т.д.

В составе всех электроприводов горных машин входит асинхронный электродвигатель. Главный его недостаток является сложность регулирования скорости традиционными способами: изменением напряжения питания и введением в цепь обмоток дополнительных сопротивлений. Более совершенным является частотный привод электродвигателя.

Применение частотных преобразователей в горнодобывающей отрасли позволяет добиться следующих преимуществ: экономия электроэнергии; повышение производительности исполнительных механизмов; уменьшение расходов на эксплуатацию; повышение надежности работы оборудования; увеличение срока службы двигателей и исполнительных механизмов.

Литература

1. Кодкин В. Л., Аникин А. С., Мальчер М.А. Проблемы внедрения частотного регулирования в горно-добывающей отрасли.- Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2012.

2. Кулешов А.А., Коптев В.Ю., Опыт применения самоходного пневмоколесного оборудования для проходки горных выработок Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2007.

УДК 621.3

Применение солнечных батарей в элементах благоустройства территории города

Смоловская Д.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Солнечные батареи – это один из альтернативных источников энергии, который питается за счёт энергии солнечного тепла. Эти устройства состоят из полупроводниковых устройств, которые преобразуют прямую солнечную энергию в электрический ток.

Энергии от солнечных батарей активно используют в элементах благоустройства территории городов. Рассмотрим использование солнечных батарей на примере экоскамьи и вело-дорожки.

Проекты нестандартных скамеек для садов, парков и улиц города, которые служат местом отдыха для владельцев тех или иных гаджетов и для их техники, уже широко используются во всём мире.

Компания Конкордия создала один из таких элементов городской архитектуры - экоскамью нового поколения.

Идея такой лавочки появилась благодаря изобретениям студентов бизнес-инкубатора (организация, которая занимается поддержкой проектов молодых предпринимателей на всех этапах развития) из Бургаса, но от первоначального прототипа осталось лишь внешняя похожесть.

За счёт встроенного Wi-Fi и красочной яркой подсветки, работающих на солнечных батареях, традиционный смысл скамьи расширился.

Эта универсальная зарядная станция, вписывающаяся в любую архитектурную задумку, будет не только способствовать позитивному настроению жителей, но и подзаряжать их мобильные устройства. Скамья оснащена солнечными панелями, которые заряжают литий-железо-фосфатные аккумуляторы. Станция питается энергией солнца, выполняет роль накопителя или power bank, впоследствии отдавая энергию через USB порт, заряжая различные девайсы или смартфоны.

Преимущества таких лавочек:

- экологический подход в использовании солнечных батарей и переработанных материалов. Из всех известных возобновляемых источников энергии именно солнечная энергия и солнечные батареи наносят минимальный ущерб окружающей среде. Электричество, произведенное при помощи солнечных батарей, не оказывает вредного воздействия на воздушные массы и никак не загрязняет ни поверхностные, ни подземные воды, не истощает природные ресурсы и не несёт опасности, как для животного мира, так и здоровья человека. Единственный реальный опасный эффект этого типа энергии связан с получением небольшого количества токсичных веществ и химикатов, например, кадмия и мышьяка, которые используются при изготовлении солнечных батарей. Но эти отрицательные эффекты минимальны по своему объёму, если имеется правильное направление по их повторному использованию и надлежащей утилизации;

- вседоступное общественное использование природного электричества посредством воздействия солнечных лучей;

- возможность повсеместного размещения на уличной территории города;

- нулевой выброс CO₂. Ведь выбросы CO₂ от потребления и сжигания природного газа в Беларуси 34 млн. метрических тонн на 2017 год, что больше на 3,03%, чем в 2016 году. А к 2020 году планируется выбросы сократиться на 10%;

- использование LED светильников. Это лампа с множеством в ней светодиодов, а также полупроводниковым кристаллом на подложке и оптической системой. LED или светодиод – это полупроводниковый прибор, который имеет низкое энергопотребление по сравнению с обычным светом. Нет ультрафиолетового излучения, которое может привести к повреждению

тканей глаза. Срок службы лампы, по оценке большинства производителей светодиодов, составляет 40000-50000 часов. Эти лампы экологически безопасны по сравнению с энергосберегающими лампами, в которых содержится ртуть;

- создаёт мощную Wi-Fi сеть;

- преобразует солнечное тепло в электроэнергию, что не требует дополнительных энергозатрат;

Имеет такие технические характеристики:

- солнечная панель 240 Вт, 36 V;

- все крепежные материалы из оцинкованной стали выполнены с антикоррозийной обработкой либо из нержавеющей стали, что существенно продлевает срок службы лавки;

- деревянные брусья для скамьи обязательно обрабатываются и покрываются маслом по специально разработанной технологии;

- подсветка 14 ламп x 4 Вт;

- контроллер заряда 30А;

- использование автоматической светодиодной подсветки.

Велосипедная дорожка, сделанная из солнечных батарей, выполнена в виде дорожного полотна, защищенного раскаленным стеклом, под которым закреплены бетонные плиты с солнечными панелями и люминесцентными камушками. Её поверхность имеет рельеф благодаря которому по ней можно ходить не боясь поскользнуться.

В дневное время суток батареи накапливают и аккумулируют солнечную энергию, позволяющую подсвечивать велодорожку ночью. Новая разработка принадлежит компании SolaRoad, создавшей экспериментальный участок дороги длиной 70 метров. Модульные блоки позволяют в сжатые сроки прокладывать дорожки любой длины, стандартный размер модуля составляет 2,5x3,5 метров.

Если в дальнейшем использовать технологии с применением солнечных батарей при строительстве городских дорог, то это позволит значительно сократить энергозатраты на освещение улиц. За год проект производит 70 кВт·ч на квадратный метр пространства, которое до этого не производило ни киловатта энергии, этого количества достаточно для питания трех домов. Дорожка также обеспечивает электричеством светофоры и фонари на улице и технику в ближайших домах. Выработанная электроэнергия может поступать в общую сеть или быть использована для зарядки электровелосипедов, электросамокатов и электромобилей.

Велодорожки продолжают своё функционирование даже под относительно большими нагрузками, а также не теряют своих эксплуатационных свойств под снегом и льдом.

Однако, стоимость проекта оценивается более 4 млн. долларов и проект окупится в течение 15 лет. С быстрым развитием технологий разработки должны значительно прогрессировать, поэтому с каждой новой дорожкой период возврата ее инвестиций должен сокращаться.

Конструкции с применением солнечных батарей в виде велодорожки производят на 30% меньше электричества, чем аналогичные по площади панели, установленные на крыше зданий. Однако для них не требуется дополнительное место, они встраиваются в существующие дорожные покрытия, в чем и заключается главный смысл их использования.

Солнечные батареи чрезвычайно перспективное направление альтернативных источников, но на данный момент, их эффективности недостаточно для выхода в массовое использование. Солнечные батареи очень дорогие, работающие нестабильно, быстро ломаются и выходят из строя. Такие панели безопаснее по сравнению с ядерным и радиоизотопным источниками электроэнергии и могут нанести вред природе только при их неправильной утилизации. Из недостатков можно ещё упомянуть высокую стоимость самих панелей и оборудования к ним на данном этапе разработок. Батареи не подходят для работы в тех местах, где нет достаточного количества солнечных лучей. За ними нужно следить и регулярно очищать. Панели не могут изменять угол наклона для аккумуляирования как можно большего количества света, как это делается на крышах.

Однако, невзирая на все проблемы, связанные с получением солнечной энергии, надо не забывать о том, что альтернативная энергия – это наше будущее. Но время не стоит на месте и уже сейчас стоит обратить на это внимание и применять энергию, получаемую от солнечных панелей.

Таким образом, солнечные батареи активно внедряются в энергетику будущего и вводится их использование в повседневную жизнь людей. Тем более, что в 2018 году, с открытием флексо-фотовольтаического эффекта (процесс, локального сдавливания полупроводниковых кристаллов при облучении их светом, что приводит к возникновению в нём градиента механического напряжения), обнаружена возможность увеличить КПД фотоэлементов. А также благодаря увеличению времени жизни горячих носителей (электронов), которые появляются в полупроводнике при поглощении света с энергией больше ширины запрещенной зоны, теоретический предел их эффективности поднялся сразу с 34 до 66 процентов. В материалах у которых в кристаллической структуре отсутствует центральная симметрия (пьезо- или сегнетоэлектрики), можно электрический ток преобразовать за счёт аномального фотовольтаического эффекта. Суть эффекта состоит в том, что фотовозбужденные электроны в материале имеют разную скорость и направление. Благодаря этому при поглощении света электрон смещается вдоль оси кристалла, происходит переход без излучения на соседний валентный уровень и электрон способен поглощать свет и смещаться ниже. В результате такого процесса материал солнечной батареи способен поглощать свет с энергией, во много раз превышающей ширину запретной зоны.

Таким образом ведётся активная работа над усовершенствованием солнечных батарей, ищутся способы их большего внедрения в жизнь людей и повсеместного использования.

Литература

1. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. <https://yearbook.enerdata.ru/co2-fuel-combustion/world-CO2-intensity.html>
3. <https://knoema.ru/atlas/Беларусь/topics/Энергетика/Газ/Выбросы-CO2>
4. <https://telegraf.by/2018/11/417550-vibros-co2-vo-vsem-mire-dostig-rekordnogo-urovnya>

УДК 621.3

Изоляционные материалы для электрических машин высокого напряжения

Мелешко М.С., Березан П.В., Агеенко Ю. В.
Научный руководитель – к.т.н. ДЕРЮГИНА Е.А.

Турбогенераторы, гидрогенераторы, синхронные компенсаторы и электрические двигатели, работающие при напряжениях 3–20 кВ относятся к электрическим машинам высокого напряжения. Изоляция машин данного типа работает в тяжелых условиях: перенапряжения, высокая температура, цикличность нагрева и охлаждения, механические усилия, частичные разряды, неоднородные поля, а ее стоимость составляет 50–80 % от стоимости всех материалов машин.

В зависимости от номинального напряжения, мощности и типа машины и способа охлаждения применяются разнообразные конструкции изоляции и различные изоляционные материалы.

Для изоляции обмоток электрических машин применяют изоляционные материалы на основе слюды. Слюда – минерал, который встречается в природе в виде кристаллов, легко расщепляется на пластинки. Тонкие пластинки – лепестки толщиной менее сотой доли миллиметра называют щепаной слюдой. Склеивая лепестки слюды, получают различные электроизоляционные материалы – миканиты.

Для увеличения их механической прочности лепестки слюды в некоторых материалах наклеивают на подложку из бумаги или стеклоткани. Подложки предохраняют слюдяной слой от расслаивания при изгибе материала. В зависимости от сорта слюды, способов изготовления, клеящего лака, наличия или отсутствия подложек различают несколько сортов миканита: твердые, формовочные, гибкие.

Твердые миканиты изготавливают без подложек, горячим прессованием пластинок слюды с термореактивным связующим. Они применяются для получения плоских, не подвергающихся изгибам изоляционных прокладок и имеют большую механическую прочность. К твердым миканитам относится коллекторный из которого изготавливают прокладки для изоляции коллекторных пластин (ламель) друг от друга.

Формовочные миканиты имеют способность принимать разную форму при прессовании в нагретом состоянии и сохранять ее после охлаждения. Они применяются в основном для изоляции коллекторов (фигурные коллекторные манжеты), различных втулок, каркасов катушек и других фасонных изоляционных деталей.

Гибкие миканиты отличаются от твердых и формовочных гибкостью при нормальной температуре, которую сохраняют после нагрева и охлаждения. Они применяются для изоляции различных частей обмоток в пазовой и лобовой частях, прокладок и т. п. Разновидностью гибкого миканита является микалента – ленточный материал из склеенных пластинок слюды с двухсторонней подложкой из микалентной бумаги или стеклоленты (стекломикалента). Толщина микалент 0,13 или 0,17 мм.

В настоящее время применяют материалы, в которых используются не пластинки слюды, а ее мелкие чешуйки, полученные механическим раздроблением кристаллов. Из чешуек изготавливают слюдинитовую бумагу, которая служит основой для ряда изоляционных материалов, аналогичных миканитам. С помощью связующих материалов и подложек из стеклоткани получают коллекторные и формовочные слюдиниты, гибкие слюдиниты и стеклослюдиниты, слюдинитофолии и стеклослюдинитофолий, слюдинитовые и стеклослюдинитовые ленты и другие материалы, вполне заменяющие миканиты. В то же время они намного дешевле и технологичнее, чем изоляционные материалы на основе щепаной слюды.

Из более крупных чешуек слюды изготавливают слюдопластовые материалы, аналогичные слюдинитовым, но имеющим более высокие механические свойства (коллекторный, формовочный прокладочный слюдопласт, слюдопластофолий, слюдопластовые ленты и т. п.). Эти материалы не уступают по своим электрическим свойствам, соответствующим сортам мика-

нитов, но превосходят их по гибкости, поэтому широко используются в современных изоляционных конструкциях.

Изоляционные материалы, изготовленные из стеклянного волокна, – стеклоленты и стеклоткани, обладают высокой нагревостойкостью и большой прочностью на разрыв, но они не стойки к истиранию и повреждаются при многократных изгибах. Их используют как вспомогательные при изолировании обмоток, а также в качестве подложек для изготовления стекломиканитов и композиционных материалов на основе слюдинитов, например, стеклослюдинита. Пропитка лаком повышает их механическую прочность, но снижает нагревостойкость, так как сами стекловолокнистые материалы имеют большую нагревостойкость, чем пропитывающие лаки.

Среди стекловолокнистых материалов следует выделить стеклоленты из нетканого стекловолокна, имеющие очень большую прочность на разрыв. Их используют для бандажирования лобовых частей обмоток, расположенных на роторах, вместо ранее применявшейся для этой цели стальной бандажной проволоки.

Литература:

1. Красько, А. С. Техника высоких напряжений (изоляция и перенапряжения): курс лекций / А. С. Красько, Е. Г. Пономаренко. – Минск: БНТУ, 2011. – 80 с.
2. Техника высоких напряжений : учебник для вузов / И. М. Богатенков, Ю. Н. Бочаров [и др.]; под ред. Г. С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат, 2003. – 603 с.
3. <http://www.electrichelp.ru/>.

УДК 621.3

Анализ энергоэффективности сухих распределительных трансформаторов

Волынчикова Е.В., Тарнацкая О.С.

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

Оценку энергоэффективности сухих трансформаторов можно производить по нормативам Комиссии ЕС, установленным на 2015 и на 2021 годы [1]. Трансформаторы средней мощности должны соответствовать значениям максимально допустимых потерь короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) или значениям индекса максимальной эффективности (КПД). Используя указанные нормативные данные, выполнена оценка показателей энергоэффективности сухих распределительных трансформаторов, выпускаемых Минским электротехническим заводом имени Козлова (МЭТЗ) [2]. На рис.1 представлена зависимость потерь (ΔP) КЗ и ХХ трансформаторов от их номинальной мощности $S_{\text{ном}}$ по нормативам Комиссии ЕС и данным МЭТЗ. Кривая, отражающая зависимость потерь КЗ трансформаторов МЭТЗ, на участке с номинальной мощностью до 160 кВ·А совпадает с нормативами ЕС как на 2015, так и на 2021 годы. Наиболее сильное расхождение потерь КЗ трансформаторов МЭТЗ по сравнению с нормами на 2021 год начинается с $S_{\text{ном}}=250$ кВ·А и продолжается до $S_{\text{ном}}=630$ кВ·А, в том время как нормам на 2015 год они полностью соответствуют.

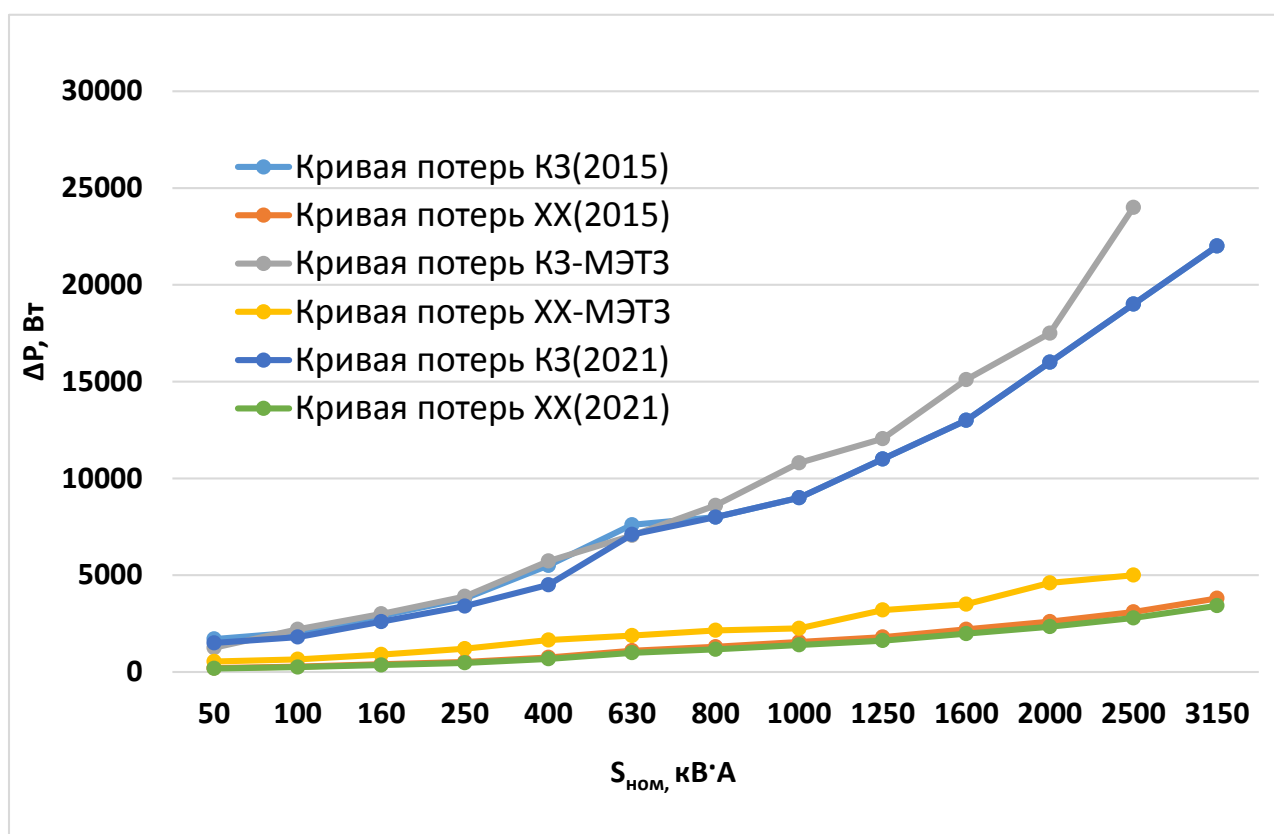


Рисунок 1– Зависимость потерь короткого замыкания и холостого хода от номинальной мощности трансформатора

Двигаясь вверх по кривой КЗ-МЭТЗ, можно отметить некоторое несовпадение характеристик трансформаторов с кривыми, построенными по нормам на 2021 и на 2015 годы. Отметим, что нормативы на указанные периоды полностью совпадают. Для трансформаторов МЭТЗ потери увеличиваются, начиная от значения $S_{\text{ном}}=630$ кВ·А, особенно при $S_{\text{ном}} \geq 2000$ кВ·А.

Что касается потерь ХХ, во всех трансформаторах МЭТЗ в независимости от $S_{\text{ном}}$ эти потери оказываются выше допустимых в соответствии с нормативами ЕС. Наибольшее расхождение имеет место в диапазоне $S_{\text{ном}}=1000-3150$ кВ·А.

Сами же нормы на 2015 и 2021 годы практически совпали по всей кривой зависимости потерь ХХ от номинальной мощности.

В работе произведена оценка суммарных потерь КЗ и ХХ сухих распределительных трансформаторов МЭТЗ в зависимости от $S_{ном}$ по нормативам ЕС. Полученные результаты приведены на рис.2.

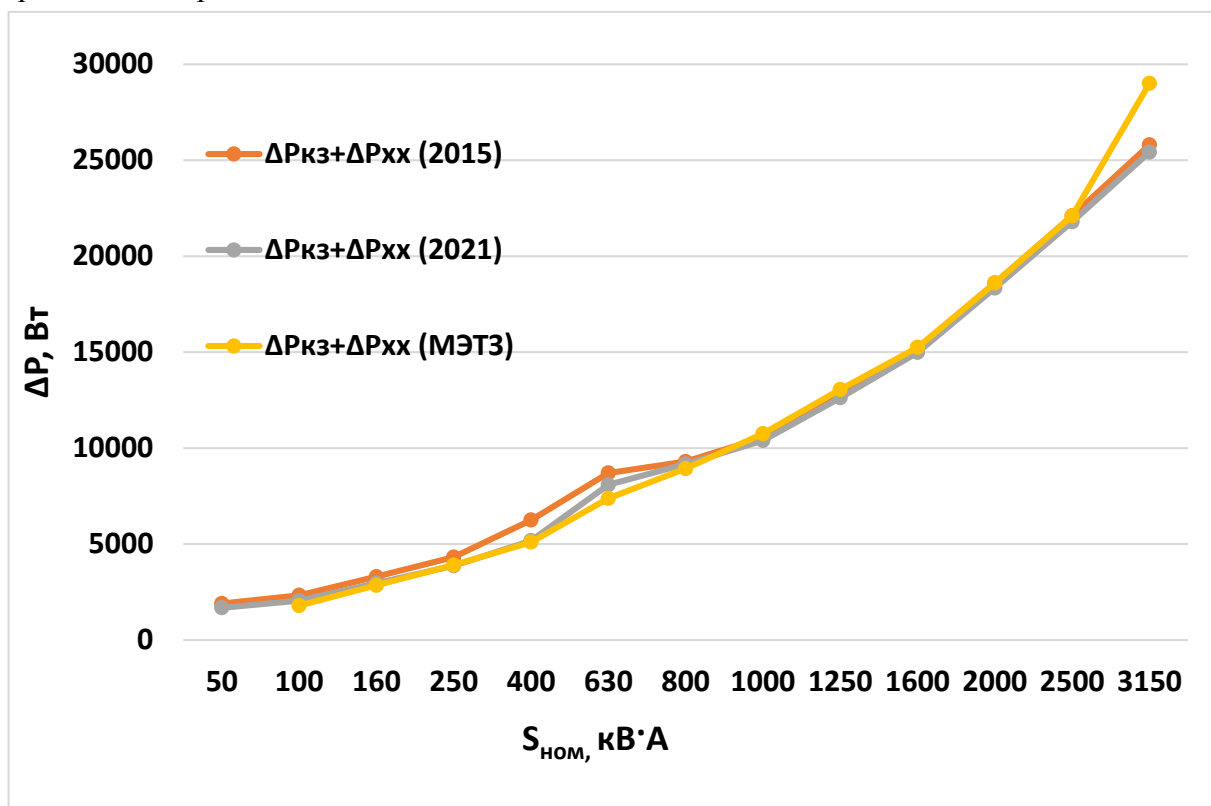


Рисунок 2 – Зависимость суммарных потерь мощности от номинальной мощности трансформатора

Анализ графических зависимостей приведенных на рис.1 и 2 показывает, что на рис.1 кривые потерь КЗ и ХХ на участке с $S_{ном}=800-2500$ кВ·А располагаются выше нормы, то на рис.2 кривые суммарных потерь мощности трансформаторов МЭТЗ и норматива наложились друг на друга. Для трансформаторов с $S_{ном}=50-250$ кВ·А существенного отклонения от норм не наблюдается.

Самый салюберогенный участок с $S_{ном}=400-800$ кВ·А: кривая общих потерь трансформаторов МЭТЗ лежит ниже нормируемых, что указывает на высокую энергоэффективность сухих трансформаторов МЭТЗ.

Анализируя построенные графики и полученную по ним информация, можно отметить, что больше всего соответствуют требованиям нормативам ЕС трансформаторы МЭТЗ с $S_{ном}=400-2500$ кВ·А.

Потери в распределительных трансформаторах составляют значительную часть общих потерь в системах передачи и распределения энергии. В связи с необходимостью достижения масштабного энергосбережения во всех отраслях народного хозяйства в технологически развитых странах в течение нескольких последних десятилетий уделяется также большое внимание решению проблемы существенного повышения энергоэффективности таких трансформаторов, несмотря на то, что до настоящего времени отсутствует четкое определение этого понятия.

Немаловажными факторами, влияющими на выбор трансформаторов, являются потери холостого хода и потери короткого замыкания, определяющие эффективность энергосбережения, а также уровни шума и электромагнитного излучения, экологичность и массогабаритные показатели.

Уменьшение мощности потерь холостого хода (потерь в магнитопроводе) непосредственно связано с изменением конструкции и материала магнитопровода. Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов - это применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, обеспечивающих более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали. Силовые трансформаторы с сердечником из аморфных сплавов долгое время в нашей стране считались оборудованием будущего. Теперь они стали настоящей реальностью. Недостатком сердечников из аморфных материалов является их более высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами.

Уменьшение мощности потерь короткого замыкания достигается инновациями в обмотках силовых трансформаторов, что связано с использованием высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов. Трансформаторы с обмотками из ВТСП материалов имеют ряд преимуществ:

- снижение нагрузочных потерь при номинальной нагрузке почти в два раза, что значительно увеличивает КПД трансформатора;
- уменьшение веса и габаритов трансформатора до 40%, что, в свою очередь, позволяет применять такие трансформаторы в уже существующих подстанциях без их конструктивных изменений со значительным увеличением мощности;
- свойство ограничения токов КЗ, что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;
- значительное уменьшение реактивного сопротивления, что позволяет обеспечить стабилизацию напряжения, не прибегая к его регулированию;
- большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора;
- уменьшение уровня шума.

Кроме того, трансформаторы с обмотками из ВТСП пожаробезопасны и экологичны.

Возможными способами повышения энергоэффективности трансформаторов являются оптимальный коэффициент загрузки (отношение потребляемой мощности к номинальной мощности трансформатора) и увеличение коэффициента мощности нагрузки.

Литература

1. Норматив Комиссии (ЕС) № 548/2014 от 21 мая 2014 г (электронный ресурс). Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=CELEX:32014R0548>. Дата доступа 15.10.2018.
2. Сухие силовые трансформаторы. Каталог. Минский электротехнический завод, 2018. – 53 с.

УДК 621.316

Характеристика электрических соединений энергетической системы Республики Беларусь

Бойко Е.Г.

Научный руководитель – ст. препод. ЯРОШЕВИЧ Т.М.

Энергетическая система Республики Беларусь (ОЭС Белоруссии) является самостоятельной энергетической системой и представляет собой сложный комплекс, включающий в себя электрические станции, подстанции, электрические и тепловые сети, которые связаны общностью технологического процесса.

ОЭС Беларуси работает параллельно с энергосистемами России, Украины и стран Балтии. Отдельно можно выделить ЭК БРЭЛЛ (электрическое кольцо Беларусь -Россия-Эстония -Латвия -Литва) имеющее электрическую связь по линиям электропередач напряжением 330-750кВ. с ОЭС России: ОЭС Северо - Запада и ОЭС Центра.

Параллельная работа ОЭС Беларуси со смежными энергосистемами других государств, позволяет обеспечить качественное регулирование частоты и напряжения в энергосистеме Беларуси, повысить надежность питания потребителей.

В настоящее время основными источниками электрической энергии энергетической системы на территории Республики Беларусь, являются 12 электростанций суммарной установленной мощностью 8365,8 МВт (по состоянию на 01.01.2012г), причем 9 из них являются электростанциями типа ТЭЦ (см. Таблицу 1).

Таблицу 1 – Мощности основных электростанций РБ

Наименование электростанции	Установленная мощность, МВт
Березовская ГРЭС	958
Лукомльская ГРЭС	2459,5
Минская ТЭЦ-5	320
Минская ТЭЦ-3	542
Минская ТЭЦ-4	1035
Светлогорская ТЭЦ	155
Новополоцкая ТЭЦ	455
Могилевская ТЭЦ-2	345
Бобруйская ТЭЦ-2	180
Гродненская ТЭЦ-2	180,8
Мозырская ТЭЦ	195
Гомельская ТЭЦ-2	544
ГЭС	15,3

Таким образом, основными генерирующими источниками ОЭС Беларуси являются две конденсационные станции: Березовская ГРЭС и Лукомльская ГРЭС, а что касается станций типа ТЭЦ, то распределение электрической энергии на электрических станциях данного типа производится в основном с шин генераторного напряжения 6-10 кВ для питания потребителей местного значения, которая составляет примерно 70% вырабатываемой мощности ТЭЦ, остальная мощность выдается в энергетическую систему по линиям электропередач (не менее двух ЛЭП) напряжением 110-220кВ.

Институтом РУП "Белэнергосетьпроект" был выбран вариант схемы выдачи мощности Белорусской АЭС в энергетическую систему на напряжении 330кВ с применением комплектных распределительных устройств работающих в среде электротехнического газа типа КРУЭ-330кВ.

Комплектное распределительное устройство 330 кВ (КРУЭ-330 кВ) с элегазовой изоляцией предназначено для приема и распределения электрической энергии между потребителями энергетической системы по линиям электропередач.

В соответствии с нормами технологического проектирования распределительные устройства высокого напряжения 330 кВ и выше рекомендуется выполнять по схеме 3/2 по так называемой полуторной схеме, когда на два присоединения приходится три выключателя.

Полуторная схема КРУЭ-330 кВ состоит из двух систем шин, электрическая связь между которыми осуществляется с помощью токопроводов, на которых установлены выключатели и разъединители. На каждом токопроводе (ячейке) установлено по три выключателя на два присоединения. Управление каждым присоединением (линией электропередач, блочным трансформатором) осуществляется двумя выключателями, т.е. выключатели среднего ряда являются общими для обоих присоединений, причем при срабатывании электрических защит любого присоединения формируется запрет на срабатывание трехфазного АПВ выключателя среднего ряда.

В целях повышения надежности электроснабжения потребителей энергетической системы, каждая система шин секционирована на две полусекции с помощью секционных выключателей СВ-1 и СВ-2, которые в нормальном режиме работы электрической схемы включены.

Передача электрической энергии от блочных трансформаторов до здания КРУЭ-330 кВ выполняется с помощью герметичных токопроводов проложенных на эстакадах, что повышает надежность работы энергоблока, так как исключаются короткие замыкания между фазами и предотвращает попадание персонала под высокое напряжение.

Герметичные токопроводы соединяющие элементы высоковольтного оборудования выполнены из полый алюминиевой шины круглого сечения и размещаются в центре герметичной оболочки. Герметичная оболочка крепится с помощью эпоксидных изоляторов обладающих высокой электродинамической стойкостью. В целях уменьшения переходного сопротивления, места соединений токопроводов имеют серебряное покрытие.

Главная электрическая схема КРУЭ-330кВ отвечает современным требованиям надёжности и безопасной эксплуатации электротехнического оборудования. Применение электротехнического газа в качестве газообразного диэлектрика, позволило выполнить КРУЭ-330кВ в закрытом помещении, исключить атмосферное воздействие на электротехническое оборудование, следовательно, повысить надёжность его эксплуатации.

Литература

1. РД ЭО 1.1.2.25.0549-2010 "Учебно-методические материалы для подготовки на должность и поддержания квалификации персонала атомных станций".
2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ 88/97, НП 001-97 (ПНАЭ Г 01 011 97), Москва, 1997.
3. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций, НП-031-01, Москва, 2001.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) издание 7

СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Изучение конструкции и принципа действия фотоэлектрических преобразователей

Игнатович Р.С., Богдан А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Актуальность использования ТЭЦ в энергетическом секторе Республики Беларусь

Деветьярова М.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Вентиляторные градирни

Боровой А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Опробование защит автоматики безопасности котлоагрегатов котельной ОАО «ТБЗ Дитва»

Гербедь А.Р.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Технологии производства аммиака

Боровой А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Технология химводоочистки Лидской ТЭЦ

Твердунова А.Д.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Энергосбережение в рамках «Пинской ТЭЦ»

Сатишур Д.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Применение абсорбционной холодильной машины для охлаждения воздуха на предприятии ОАО «Гродноазот»

Страчинский С.И., Шалабодова К.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Анализ состава основного оборудования Жодинской ТЭЦ

Акулич А.В., Пузевич А.А., Пузевич К.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

Использование автоматизированных систем управления на СООО «СК «Добрыня»

Павлович И.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Энергосберегающие мероприятия асфальтобетонных заводов

Буцько К.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Энергетическое обследование учреждения образования «Полоцкий государственный университет»

Игнатович Р. С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

Криогенный способ производства продуктов разделения воздуха

Грищенко А.Ю., Егосенков И. Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Энергетический аудит ОАО «Витебские ковры»

Зуева Е. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Поля фильтрации ОАО «БЕЛЛАКТ»

Богдан А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Энергосбережение в котельных

Кулаков В.М., Мосевич С.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Общие сведения о когенерационной газопоршневой установке Wärtsilä 20V34SG

Малашук А.М.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии

Деветьярова М.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Исследование конструкции и работы котла Е-75-3,9-440 ГМ котельного цеха ОАО «ГРОДНО АЗОТ»

Сидорчук А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Паротурбинная установка ПТ- 60-130/13 Минской ТЭЦ-4.

Лешкевич В.С., Авижа А. В., Зинкевич Д. В., Грищенко А. Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

Структура Брестской ТЭЦ

Карасёва А.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Исследование системы энергоснабжения предприятия ОАО «МОЗЫРЬСОЛЬ»

Иванова О.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

Совершенствование учёта электроэнергии

Музыкантова К.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Энергоснабжение ОАО «СВЕТЛОГОРСКХИМВОЛКНО»

Самончик К.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Исследование конструкции и работы котла ДКВР-10-13 котельной УП «МИНСККОММУНТЕПЛОСЕТЬ»

Валендюк И.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Турбокомпрессоры

Алексеева И.В., Бурмич А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Материалы для солнечных батарей

Иванова Д.С.

Научный руководитель – д.ф.-м. наук ДОБРЕГО К. В.

Основные решения по реконструкции ТЭЦ Надёждинского металлургического завода

Бурмич А. Д.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Энергосбережение в энергетике и теплотехнологиях

Боровой А. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Ветроэнергетика в Республике Беларусь

Борбовский В.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Экзотермический генератор для приготовления контролируемых атмосфер

Музыкантова К.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Топливоснабжение минской ТЭЦ-2

Захарченко В.Ю., Иванова Д.С., Лисовский С.А., Добренко Г, Нахай Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Структура и основные направления деятельности КЖУП «Светочь»

Северин В.Ф.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н

Техническое описание и характеристики ГТУ SGT-600

Захарченко В. Ю., Иванова Д.С., Лисовский С.А., Добренко Г, Нахай Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Технологии получения оксида углерода

Малащук А.М.

Научный руководитель – ст. препод. Прокопеня И.Н.

УДК 621.383.51

Изучение конструкции и принципа действия фотоэлектрических преобразователей

Игнатович Р.С., Богдан А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Солнечная батарея — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток, в отличие от солнечных коллекторов, производящих нагрев материала-теплоносителя. Различные устройства, позволяющие преобразовывать солнечное излучение в тепловую и электрическую энергию, являются объектом исследования гелиоэнергетики. Производство фотоэлектрических элементов и солнечных коллекторов развивается в разных направлениях. Солнечные батареи бывают различного размера: от встраиваемых в микрокалькуляторы до занимающих крыши автомобилей и зданий.

Батареи, основой которым служит кремний, на сегодняшний день являются самыми популярными. Объясняется это широким распространением кремния в земной коре, его относительной дешевизной и высоким показателем производительности, в сравнении с другими видами солнечных батарей. Как видно из рисунка выше кремниевые батареи производят из моно- и поликристаллов Si и аморфного кремния.

Монокристаллические солнечные батареи представляют собой силиконовые ячейки, объединенные между собой. Для их изготовления используют максимально чистый кремний, получаемый по методу Чохральского. После затвердевания готовый монокристалл разрезают на тонкие пластины толщиной 250-300 мкм, которые пронизывают сеткой из металлических электродов. Используемая технология является сравнительно дорогостоящей, поэтому и стоят монокристаллические батареи дороже, чем поликристаллические или аморфные. Выбирают данный вид солнечных батарей за высокий показатель КПД (порядка 17-22%).

Для получения поликристаллов кремниевый расплав подвергается медленному охлаждению. Такая технология требует меньших энергозатрат, следовательно, и себестоимость кремния, полученного с ее помощью меньше. Единственный минус: поликристаллические солнечные батареи имеют более низкий КПД (12-18%), чем их моно «конкурент». Причина заключается в том, что внутри поликристалла образуются области с зернистыми границами, которые и приводят к уменьшению эффективности элементов.

Если проводить деление в зависимости от используемого материала, то аморфные батареи относятся к кремниевым, а если в зависимости от технологии производства – к пленочным. В случае изготовления аморфных панелей, используется не кристаллический кремний, а силан или кремневодород, который тонким слоем наносится на материал подложки. КПД таких батарей составляет всего 5-6%, у них очень низкий показатель эффективности, но, несмотря на эти недостатки, они имеют и ряд достоинств:

- Показатель оптического поглощения в 20 раз выше, чем у поли- и монокристаллов.
- Толщина элементов меньше 1 мкм.
- В сравнении с поли- и монокристаллами имеет более высокую производительность при пасмурной погоде.
- Повышенная гибкость.

Помимо описанных выше видов кремниевых солнечных батарей, существуют и их гибриды. Так для большей стабильности элементов используют двухфазный материал, представляющий собой аморфный кремний с включениями нано- или микрокристаллов. По свойствам полученный материал сходен с поликристаллическим кремнием.

Разработка пленочных батарей обусловлена:

1. Потребностями в снижении стоимости солнечных батарей.
2. Необходимостью в улучшении производительности и технических характеристик.

Исследования теллурида кадмия, как светопоглощающего материала для солнечных батарей начались еще в 70-х годах. В то время его рассматривали как один из оптимальных вариантов для использования в космосе, сегодня же батареи на основе CdTe являются одними из самых перспективных в земной солнечной энергетике. Так как кадмий является кумулятивным ядом, то дискуссии возникают лишь по одному вопросу: токсичен или нет? Но исследования показывают, что уровень кадмия, высвобождаемого в атмосферу, ничтожно мал, и опасаться его вреда не стоит. Значение КПД составляет порядка 11%. Согласитесь, цифра небольшая, зато стоимость ватта мощности таких батарей на 20-30% меньше, чем у кремниевых.

Как понятно из названия, в качестве полупроводников используются медь, индий и селен, иногда некоторые элементы индия замещают галлием. Такая практика объясняется тем, что большая часть производящегося на сегодня индия требуется для производства плоских мониторов. Именно поэтому с целью экономии индий замещают на галлий, который обладает схожими свойствами. Пленочные солнечные батареи на основе селенида меди-индия имеют КПД равный 15-20%. Следует иметь в виду, что без использования галлия эффективность солнечных батарей возрастает примерно на 14%.

Разработка данного вида батарей началась сравнительно недавно. В качестве светопоглощающих материалов используются органические полупроводники, такие как полифенилен, углеродные фуллерены, фталоцианин меди и другие. Толщина пленок составляет 100 нм. Полимерные солнечные батареи имеют на сегодняшний день КПД всего 5-6%. Но их главными достоинствами считаются:

- Низкая стоимость производства.
- Легкость и доступность.
- Отсутствие вредного воздействия на окружающую среду.

Применяются полимерные батареи в областях, где наибольшее значение имеет механическая эластичность и экологичность утилизации.

Фотоэлектрический преобразователь (фотоэлемент) - электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию.

Преобразование энергии в ФЭП (фотоэлектрический преобразователь) основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП, среди которых наиболее важную роль играет фотопроводимость. Она обусловлена явлениями внутреннего фотоэффекта в полупроводниках при облучении их солнечным светом.

Кристаллический модуль (солнечная батарея) состоит из нескольких отдельных солнечных элементов, практически всегда соединенных последовательно, что позволяет увеличить напряжение и выходную мощность по сравнению с одним солнечным элементом. Обычно напряжение модуля проектируется так, чтобы оно соответствовало напряжению батареи 12В. Напряжение отдельного солнечного элемента при 25 °С и атмосферной массе 1.5 составляет около 0,6 В. Принимая во внимание то, что производительность солнечных элементов уменьшается при увеличении температуры, а для зарядки аккумулятора требуется напряжение порядка 15В, большинство модулей включают в себя 36 элементов, соединенных последовательно. Такой модуль вырабатывает напряжение 21 В при стандартных условиях тестирования и имеет рабочее напряжение равное 17-18 В при максимальной мощности и температуре. Избыточное напряжение необходимо, чтобы компенсировать падение напряжения на других элементах фотоэлектрической системы и работу не в точке максимальной мощности в следствии уменьшения интенсивности излучения. Устройство солнечной батареи показано на рисунках 1, 2.

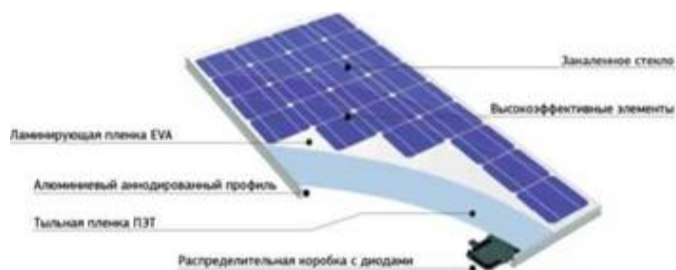


Рисунок 1 – Устройство солнечной батареи

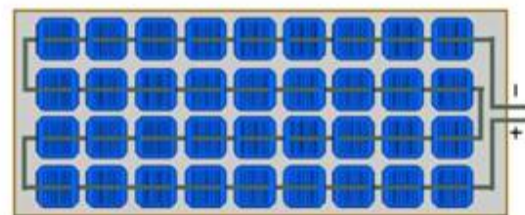


Рисунок 2 – Соединение элементов

Плотность упаковки солнечных элементов в модуле равна отношению площади модуля, которую занимают солнечные элементы к общей площади. Плотность упаковки на ряду с рабочей температурой и КПД ФЭП является фактором, определяющим выходную мощность батареи. Плотность упаковки зависит от формы используемых солнечных элементов. Например монокристаллические элементы бывают круглыми или полукруглыми, поликристаллические элементы обычно квадратные. Поэтому плотность упаковки монокристаллических элементов ниже, чем поликристаллических.

Если между элементами специально оставить зазоры и заднюю поверхность сделать из белого материала, то можно увеличить выходную мощность за счет эффекта концентрации излучения. Определенное количество света, попадающего в области между солнечными элементами и проводкой, рассеивается и направляется в активные области модуля.

Литература

1. Некоторые вопросы о солнечных батареях [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [http://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/davajte-vkrattse-razberem-nekotorye-voprosy-o-solnechnyh-batarejah]. – Дата доступа: [15.09.2016].
2. Блокирующий диод [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [<http://greenevolution.ru/enc/wiki/blokiruyushhij-diod/>]. – Дата доступа: [26.09.2016].
3. Способы соединения солнечных модулей [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [http://ekobatarei.ru/sdelaj_sam/sposoby-soedineniya-solnechnyx-modulej]. – Дата доступа: [30.09.2016].

УДК 621.645.2

Актуальность использования ТЭЦ в энергетическом секторе Республики Беларусь

Деветьярова М.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Вследствие строительства АЭС в Беларуси ставится весьма актуальным вопрос о равномерности распределения суточной нагрузки. В связи с этим был произведен анализ работы ТЭЦ.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) - вид тепловой электростанции, вырабатывающая совместно электрическую и тепловую энергию (в качестве теплоносителя используется горячая вода и пар для нужд отопления и горячего водоснабжения).

ТЭЦ работает по двум графикам нагрузки:

- тепловому - электрическая нагрузка сильно зависит от тепловой нагрузки (тепловая нагрузка - приоритет)

- электрическому - электрическая нагрузка не зависит от тепловой, либо тепловая нагрузка вовсе отсутствует, например, в летний период (приоритет - электрическая нагрузка).

Мини-ТЭЦ (малая теплоэлектроцентраль) - вид тепловой электростанции, вырабатывающая совместно электрическую и тепловую энергию в установках единичной мощностью до 25 МВт, независимо от вида оборудования.

Главной задачей мини-ТЭЦ является производство электрической и тепловой энергии из различных видов топлива.

Принцип размещения мини-ТЭЦ в непосредственной близости к энергопотребителю имеет ряд преимуществ (в сравнении с ТЭЦ):

–дает возможность уменьшить затраты на установку дорогих и опасных высоковольтных линий электропередач (ЛЭП);

–уменьшаются потери при передаче энергии;

–исключается необходимость финансовых затрат на реализацию технических условий на подключение к сетям централизованного электроснабжения;

–бесперебойное снабжение электроэнергией потребителя;

–электроснабжение качественной электроэнергией, соблюдение заданных значений напряжения и частоты;

Всего в Республике Беларусь насчитывается 37 ТЭЦ, среди них 27 крупных ТЭЦ и 10 мини-ТЭЦ.

Наибольшей установленной мощностью обладают Минская ТЭЦ-4 (1035 МВт), Минская ТЭЦ-5 (719,6 МВт), Могилевская ТЭЦ-2 (347,3 МВт).

Исследования показали, что работа ТЭЦ при вводе в эксплуатацию АЭС позволит уменьшить неравномерность распределения нагрузки и обеспечить бесперебойное энергоснабжение потребителя.

УДК 661.426

Вентиляторные градирни

Боровой А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Вентиляторные градирни предназначены для эффективного охлаждения теплоносителя (в качестве которого выступает вода), в замкнутом контуре оборотного водоснабжения. В этих установках, а в некотором случае и сооружениях, посредством работы достаточно мощных вентиляторов осуществляется принудительная подача направленного воздушного потока непосредственно в оросительное пространство градирни или из него, в зависимости от классификации устройства. Применение этих приспособлений позволяет достаточно эффективно и без значительных затрат, понижать температуру воды, используемой в системе охлаждения производственного, промышленного или строительного оборудования, установок ТВЧ, а также компрессоров, холодильных машин и систем кондиционирования воздуха.

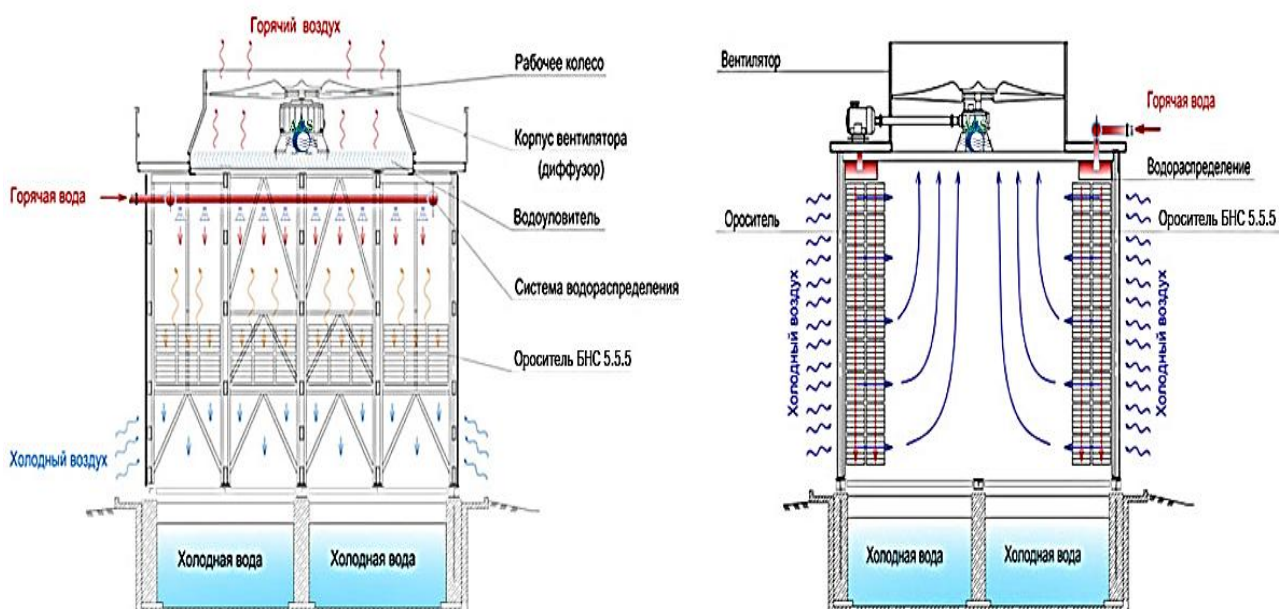


Рисунок 1 – Принцип работы и устройство

Испарительная вентиляторная градирня состоит из емкости, системы водораспределения, оросителя, по отверстиям которого проходит охлаждаемая вода, поддона, каплеуловителя и вентилятора. В нижней части емкости установлены воздухозаборные жалюзи. Принцип работы вентиляторной градирни достаточно прост: теплоноситель (вода), из охлаждаемого оборудования поступает в установку, где в зависимости от ее разновидности, охлаждается, с помощью обдувающего или втягивающего потока воздуха. После прохождения полного цикла, охлажденная вода из поддона перекачивается в систему охлаждения оборудования. Испаряемая влага улавливается каплеуловителем и также возвращается в поддон аппарата. В зависимости от направления движения воздушного потока, эти установки могут быть противоточными или поперечно-точными. В противоточных, воздух движется снизу-вверх, навстречу воде, а в поперечно-точных, в поперечном направлении к движущейся по оросителю воде. В плане экономии электроэнергии на работу вентилятора и эффективности охлаждения теплоносителя, противоточные градирни являются наиболее выгодными.

Преимущества

- гибкость конструкции

- отсутствие обмерзания
- энергоэффективность
- легкость ремонта
- наличие большого ассортимента запасных частей

Недостатки

- требуется обученный персонал для обслуживания
- необходимы дополнительные меры зимой

Литература

1. Вентиляторные градирни [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ventilationpro.ru/estestvennaya-ventilyatsiya/cto-takoe-ventilyatornye-gradirni.html> – Дата доступа: 06.05.2018
2. Вентиляторные градирни [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://masterok.livejournal.com/3698236.html> – Дата доступа: 06.05.2018

УДК 696.4

**Опробование защит автоматики безопасности котлоагрегатов
котельной ОАО «ТБЗ Дитва»**

Гербець А.Р.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Автоматика безопасности срабатывает при нарушении нормальной работы котлоагрегатов в следующих случаях:

- понижение давления газа в газопроводе к горелкам;
- повышение и понижение уровня воды в барабане котла;
- повышение давления пара в барабане котла;
- уменьшение разряжения в топке котла;
- погасание факела в топке котла;
- понижение давления воздуха перед горелками.
- отключение электроэнергии

Автоматику безопасности следует проверять при снятом молотке отсеченного клапана ПКН – 200 на газопроводе котла.

Понижение давления газа

Проверку по этому параметру производить следующим образом:

- перекрыть вентиль подачи газа датчиках тяги (СПД) газа;
- снять импульсную трубку с датчика тяги СДД;
- должна сработать звуковая и световая сигнализация с мгновенной отсечкой клапана ПКН – 200.

Понижение и повышение уровня в барабане котла

Перекрыв уравнительную колонку и тем самым подняв или опустив уровень в колонке.

- срабатывает электронный сигнализатор предельных уровней ЭСПУ по одному из уровней в зависимости от уровня в колонке;
- срабатывает звуковая сигнализация.

Отключить самопишущий прибор уровня котла и вручную подогнать стрелку прибора к микропереключателям, выставленных согласно длин электродов ЭСПУ.

- должна сработать звуковая и световая сигнализация по следующим параметрах: +/- 74 мм от среднего уровня и 12 сек. с задержкой по времени и отсечкой клапана ПК

Повышение давления пара в барабане котла

По этой защите установлен ЭКМ настроенный на предельное давление пара в барабане котла. При проверке необходимо стрелкой переключить контакты ЭКМ.

- должна сработать звуковая и световая сигнализация при повышении давления 13,2 атм., с задержкой по времени 12 сек. и отсечкой клапана ПКН – 200.

Уменьшение разряжения в топке котла

Для проверки этого параметра необходимо снять импульсную трубку с датчика разряжения СПД.

- должна сработать звуковая и световая сигнализация при падении разряжения до 0 мм в.ст. Отсечка клапана с задержкой по времени 12 сек.

Погасание факела в горелке котла

Для проверки необходимо вынуть электроды из горелки котла.

- работает звуковая и световая сигнализация с отсечкой клапана через 5 сек.

Понижение давления воздуха перед горелками

Для проверки необходимо снять импульсную трубку с датчика воздуха.

- при понижении давления 10 мм в.ст. срабатывает звуковая и световая сигнализация с отсечкой клапана ПКН – 200 через 12 сек.

Автоматику безопасности проверяет электрослесарь КИПиА 1 раз в неделю в первую смену в присутствии старшего машиниста с обязательной записью в оперативный журнал котельной.

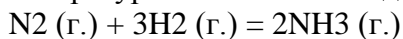
УДК 661.531

Технологии производства аммиака

Боровой А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Современный процесс получения аммиака основан на его синтезе из азота и водорода при температурах 380 - 450 °С и давлении 250 атм с использованием железного катализатора:

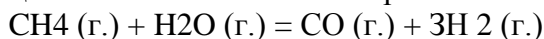


Азот получают из воздуха. Водород получают восстановлением воды (пара) с помощью метана из природного газа либо из лигроина. Лигроин (нафта) представляет собой жидкую смесь алифатических углеводородов, которая получается при переработке сырой нефти.

Работа современного аммиачного завода очень сложна. На рисунке 1 показана упрощенная схема действия аммиачного завода, работающего на природном газе. Эта схема действия включает восемь стадий.

1-я стадия. Удаление серы из природного газа. Это необходимо, поскольку сера представляет собой каталитический яд.

2-я стадия. Получение водорода восстановлением пара при 750 °С и давлении 30 атм с помощью никелевого катализатора:



3-я стадия. Впуск воздуха и сгорание части водорода в кислороде вводимого воздуха:

$2\text{H}_2 (\text{г.}) + \text{O}_2 (\text{г.}) = 2\text{H}_2\text{O} (\text{г.})$ В результате получается смесь водяного пара, монооксида углерода и азота. Водяной пар восстанавливается с образованием водорода, как на 2-й стадии.

4-я стадия. Окисление монооксида углерода, образующегося на стадиях 2 и 3, до диоксида углерода по следующей реакции «сдвига»: $\text{CO} (\text{г.}) + \text{H}_2\text{O} (\text{г.}) = \text{CO}_2 (\text{г.}) + \text{H}_2 (\text{г.})$

Этот процесс проводится в двух «реакторах сдвига». В первом из них используется катализатор из оксида железа и процесс проводится при температуре порядка 400 °С. Во втором используется медный катализатор и процесс проводится при температуре 220 °С.

5-я стадия. Вымывание диоксида углерода из газовой смеси при помощи буферного щелочного раствора карбоната калия или раствора какого-либо амина, например этаноламина $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$. Диоксид углерода в конце концов сжижают и используют для производства мочевины, либо выпускают в атмосферу.

6-я стадия. После 4-й стадии в газовой смеси остается еще около 0,3% монооксида углерода. Поскольку он может отравлять железный катализатор во время синтеза аммиака (на 8-й стадии), монооксид углерода удаляют путем конверсии водородом в метан на никелевом катализаторе при температуре 325 °С.

7-я стадия. Газовую смесь, которая теперь содержит приблизительно 74% водорода и 25% азота, подвергают сжатию; при этом ее давление возрастает от 25-30 атм до 200 атм. Поскольку это приводит к повышению температуры смеси, ее сразу же после сжатия охлаждают.

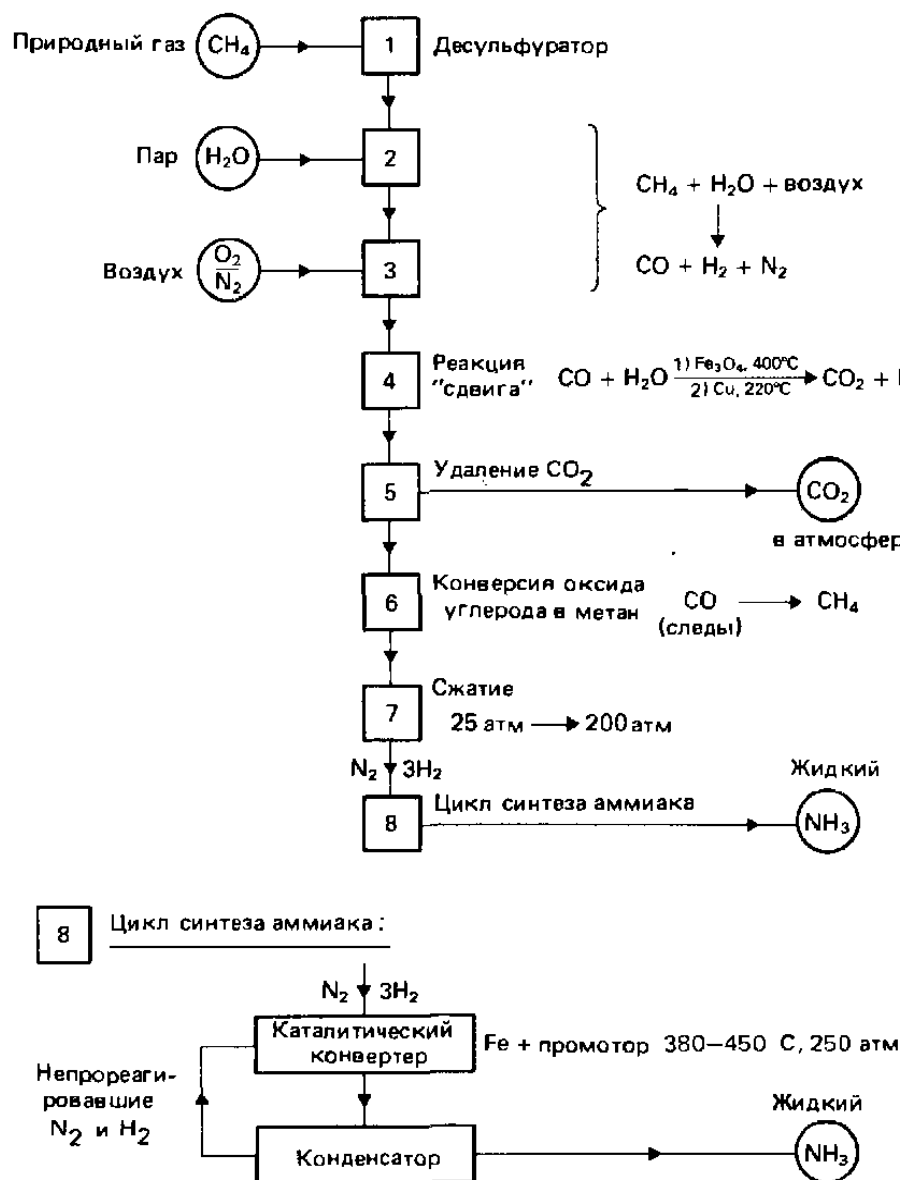


Рисунок 1 – Схема получения аммиака

8-я стадия. Газ из компрессора поступает теперь в «цикл синтеза аммиака». Схема, приведенная на рис. 1, дает упрощенное представление об этой стадии. Сначала газовая смесь попадает в каталитический конвертер, в котором используется железный катализатор и поддерживается температура 380-450°С. Газовая смесь, выходящая из этого конвертера, содержит не более 15% аммиака. Затем аммиак сжижают и направляют в приемный бункер, а непрореагировавшие газы возвращают в конвертер.

Литература

1. Современный процесс производства аммиака [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.himikatus.ru/art/ch-act/0353.php> – Дата доступа: 06.05.2018

УДК 621.438.081.12

Технология химводоочистки Лидской ТЭЦ

Твердунова А.Д.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Технология подготовки воды для питания котлов и подпитки тепловой сети включает:

- умягчение воды производится по схеме известкование с коагуляцией, флокуляцией в осветлителях, осветление на механических фильтрах, двухступенчатое Na-катионирование (подпитка котлов);

- известкование с коагуляцией, флокуляцией в осветлителях, осветление на механических фильтрах, одноступенчатое Na-катионирование (подпитка ТС).

Очистка возвращаемого производственного конденсата производится по схеме фильтрование на механических фильтрах и одноступенчатое Na-катионированием. Для очистки замасленных и замазученных вод станции прибегают к методу осветления на механических фильтрах, обработки на сорбционных угольных фильтрах.

Химводоподготовка на Лидской ТЭЦ предназначена для следующих нужд:

- приготовление добавочной воды для подпитки станции;
- приготовление воды для подпитки теплосети;
- очистки производственного и замазученного конденсата;
- очистка замазученных и замасленных сточных вод станции.

Так же в химическом цехе осуществляется:

- хранение и приготовление раствора сернокислого железа (коагулянта) и флокулянта;
- хранение и приготовление раствора извести (известковое молоко);
- хранение и приготовление реагентов для регенерации фильтров;
- хранение и приготовление раствора аммиачной воды для коррекционной обработки питательной воды;
- хранение и приготовление раствора хеламина для обработки питательной воды.

Умягчение воды для подпитки котлов производится по схеме известкование с коагуляцией, флокуляцией в осветлителях, осветление на механических фильтрах, двухступенчатое Na-катионирование. Производительность установки – 141 т/ч.

Тип фильтров:

- Na-катионитовый фильтр 1 ступени, ФИПа I - 3,0 - 0,6, диаметром 3000 мм – 4 шт.;
- Na-катионитовый фильтр 1 и 2 ступени, ФИПа I - 3,0 - 0,6, диаметром 3000 мм – 1 шт.;
- Na-катионитовый фильтр 2 ступени, ФИПа II - 2,6 - 0,6, диаметром 2600 мм – 2 шт.

Принципиальная схема химводоподготовки ТЭЦ:

- Два осветлителя ВТИ- 250 м³/г.
- Шесть механических фильтров.
- Пять натрий-катионированных фильтров 1 ступени.
- Два натрий-катионированных фильтра 2 ступени.

Приготовление подпиточной воды для теплосети производится по схеме известкование с коагуляцией, флокуляцией в осветлителях, осветление на механических фильтрах, одноступенчатое Na-катионирование. Производительность установки – 130 т/ч.

Для схемы подпитки теплосети используются Na-катионитовые фильтры 1 ступени, Na-катионитовый фильтр 1 и 2 ступени - для схемы умягчения воды для подпитки котлов.

Предочистка оборудована двумя осветлителями типа ВТИ-250, производительностью – 250 м³/ч каждый и однокамерными механическими фильтрами ФОВ - 3,4 - 0,6 в количестве 6 штук диаметром 3400 мм (для схемы умягчения и для схемы подпитки теплосети используются одни и те же фильтры). Проектная производительность - 90 т/час.

Очистка конденсата с производства производится по схеме фильтрование на механических фильтрах и одноступенчатое Na-катионирование.

Оборудование конденсатоочистки:

- механический фильтр ФОВ - 1,0 - 0,6 диаметром 1000 мм (3 шт.);

- На-катионитовый фильтр ФИПа II - 1,0 - 0,6, диаметром 1000 мм (3 шт.).

Производительность конденсатоочистки – 40 м³/ч.

На очистных сооружениях предусмотрена схема очистка замасленных и замазученных вод станции. С приемных резервуаров (2 бака-отстойника V = 160 м³ каждый) центробежными насосами вода подается на механические фильтры, а затем проходит обработку на сорбционных угольных фильтрах.

Тип фильтров:

- механический фильтр ФОВ - 3,0 - 0,6, диаметром 3000 мм – 2 шт.;

- фильтр сорбционный угольный ФСУ - 3,0 - 0,6, диаметром 3000 мм – 3 шт.

Производительность очистных сооружений – 40 м³/ч.

В химическом цехе имеются складские помещения и оборудование для приготовления и хранения следующих реагентов: поваренная соль, коагулянт технический (сернокислородное железо), флокулянт, известь, аммиачная вода, хеламин.

Водоснабжение ТЭЦ осуществляется из двух источников:

- река Неман с водозаборными сооружениями, принадлежащими заводу «Оптик», от которых вода поступает в резервуар объемом 3000 м³ станции 2-го подъема, принадлежащей ТЭЦ, и водоводом длиной около 10 км подается на технические нужды ТЭЦ;

- собственный артезианский водозабор на площадке ТЭЦ, которым обеспечиваются хозяйственно-питьевые нужды, а также часть производственных нужд в период сильного загрязнения речной воды во время паводков.

УДК 620.9.002.68

Энергосбережение в рамках «Пинской ТЭЦ»

Сатишур Д.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

В последние 10 – 15 лет проведена поэтапная реконструкция Пинской ТЭЦ с установкой нового и модернизацией части существующего оборудования. Работы по реконструкции ТЭЦ проводились с применением достаточно эффективных проектных решений по использованию новой энергосберегающей техники и технологии, оснащению оборудования современными приборами учёта и контроля параметров его работы, автоматического регулирования технологических процессов. В связи с этим, возможности существенного повышения энергоэффективности ТЭЦ за счёт проведения энергосберегающих мероприятий этих направлений были оценены как весьма ограниченные.

Основное внимание при подготовке перечня мероприятий по реализации потенциала энергосбережения уделялось проблемам качества работ по эксплуатационному обслуживанию оборудования, вопросам совершенствования тепловых схем отдельных технологических узлов, оценке имеющихся объёмов вторичных энергоресурсов и возможностей их использования.

В процессе настоящего энергетического обследования было определено, что не проведенные по различным причинам несколько мероприятий из состава рекомендованных к реализации по результатам предыдущего энергоаудита сохранили актуальность. Учитывая, что в прошедшем после предыдущего энергоаудита пятилетия произошли изменения в режимах работы оборудования ТЭЦ, а также существенно снизились удельные расходы топлива на отпуск электроэнергии на замыкающей КЭС и изменилась расчётная стоимость условного топлива, эти мероприятия были рассмотрены повторно и оценки их энергоэффективности подверглись корректировке.

В Пинских тепловых сетях ведутся работы по подготовке теплофикационного комплекса «Пинская ТЭЦ – Западная мини-ТЭЦ» к вводу в действие на Западной мини-ТЭЦ электродкотла. Проект строительства электродкотельной разрабатывают РУП «БелНИПИэнергопром» и РУП «БелТЭИ». Предварительная проработка режимов работы электродкотла свидетельствует о том, что условия и режимы эксплуатации существующего оборудования теплофикационного комплекса могут заметно измениться. В связи с этим, в Пинских тепловых сетях вопросы подготовки Пинской ТЭЦ и Западной мини-ТЭЦ к работе в новых условиях рассматриваются с учётом возможностей применения таких технологических решений, которые позволят при изменении существенных требований к характеристикам и режимам работы оборудования оперативно проводить корректирующие мероприятия с минимальными затратами.

Отмечено, что использование отдельных технологических решений, нацеленных на обеспечение надёжности теплоснабжения потребителей обслуживаемой теплофикационным комплексом зоны, может сопровождаться существенным ухудшением технико-экономических показателей ТЭЦ.

Актуальным направлением повышения энергоэффективности Пинской ТЭЦ является совершенствование организации технического учёта, контроля и энергетического анализа ТЭП оборудования. Важность мероприятий этого плана определяется также необходимостью создания в Пинских тепловых сетях системы мониторинга режимов и ТЭП оборудования теплофикационного комплекса, как эффективного инструмента предотвращения существенных потерь энергоресурсов, которые могут быть вызваны отсутствием должного контроля рационального их расходования в период освоения новых режимов работы комплекса после ввода в действие электродкотла.

УДК 629.76

Применение абсорбционной холодильной машины для охлаждения воздуха на предприятии ОАО «Гродноазот»

Страчинский С.И., Шалабодова К.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Для охлаждения воздуха предполагается использовать захлажденную воду с АБХМ. Учитывая возможные колебания температуры и потери в окружающую среду, выбирается абсорбционная холодильная машина холодопроизводительностью 3000 кВт. В качестве аналога рассматривается World Energy, модель L820-НН. Двухконтурная одноступенчатая АБХМ на горячей воде серии ЛНН является высокоэффективной АБХМ, разработанной для максимального использования входной тепловой энергии. Высокая эффективность достигается за счет использования материалов с высоким коэффициентом теплопередачи, а также за счет улучшенной конструкции теплообменников. Серия ЛНН имеет двойное распределение хладагента в испарителе, и двойное распределение раствора в абсорбере, что позволяет увеличить коэффициент полезного действия холодильной машины.

Схема одноступенчатой АБХМ представлена на рисунке 1.

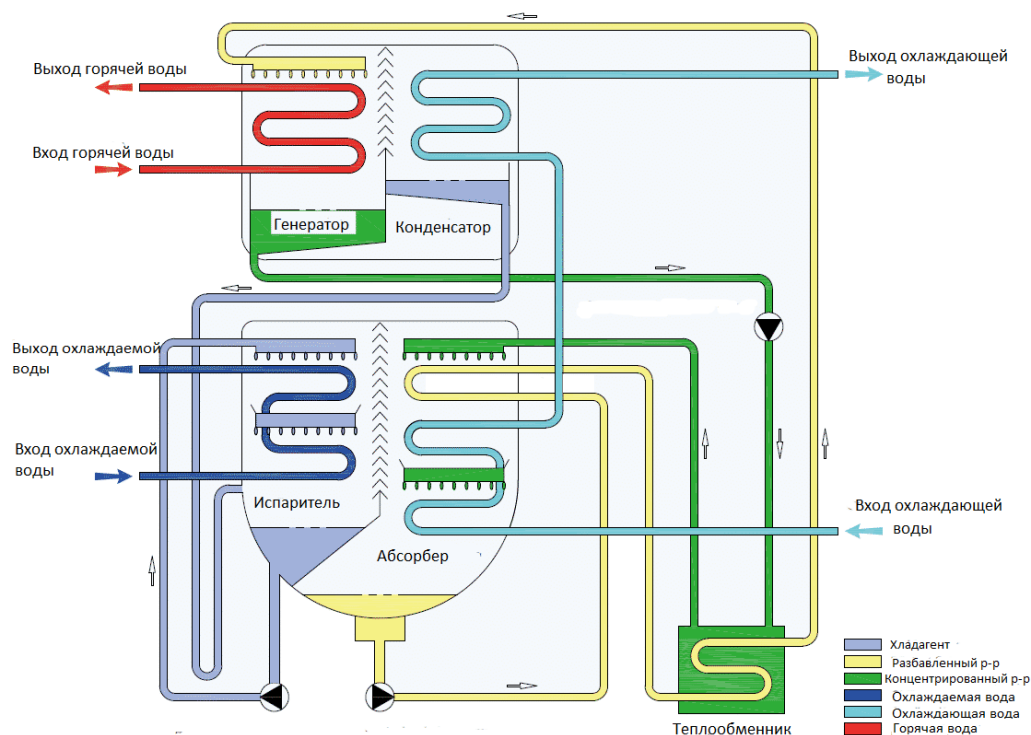


Рисунок 1 – Схема одноступенчатой АБХМ

Концентрированный раствор попадает в абсорбер из генератора, где поглощает воду и становится разбавленным. Выделяемое тепло при этом поглощается контуром, по которому циркулирует вода, охлажденная в градирне. Раствор попадает в теплообменник, после генератора, где нагревается от контура обогрева. Вода испаряется и попадает в конденсатор, откуда перетекает в испаритель, где превращается в пар, забирая тепло у охлаждаемой воды. За счет испарения концентрация раствора увеличивается, он возвращается в абсорбер.

УДК 621.311

Анализ состава основного оборудования Жодинской ТЭЦ

Акулич А.В., Пузевич А.А., Пузевич К.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

Тепловая схема ТЭЦ выполнена с поперечными связями линий на давление 1,4 МПа и 9,8 МПа по питательной воде, конденсату, пару. Принципиальная тепловая схема ТЭЦ представлена на рис. 4.1.

Тепловая схема разделена на два взаимосвязанных пароводяных тракта: котлов 1-ой очереди (низкого давления), включающих котлы ГМ-50-14 ст. №№ 2, 3, 5. В состав котлов 2-ой очереди входят котлы ПК-20 ст. №№ 6, 7, 8 и котел Е-60-9,5-510ДФТ. В отдельную группу выделены водогрейные котлы КВГМ-100 ст. №№ 9, 10.

От котлов 2-ой очереди пар поступает на турбины, которые реконструированы с переводом их в теплофикационные и организацией регулируемого теплофикационного отбора 1,5-2,5 кгс/см². Максимальный расход пара в Т-отбор - 100 т/ч на каждой турбине. В последующем турбины были переведены в режим работы с ухудшенным вакуумом. Номинальный расход пара в теплофикационный отбор - 100 т/ч. Максимальный расход пара через ЧВД – 190 т/час, через ЧНД – 90÷100 т/ч.

Котел ГМ-50-14-вертикально-водотрубный, однобарабанный.

Сжигаемое в котле топливо - природный газ и мазут.

Номинальная производительность- 50т/час, избыточное давление перегретого пара-13 кгс/см², температура перегретого пара на выходе из котла- 250 °С. Гарантийный КПД котла брутто при номинальной паропроизводительности при работе на природном газе- 93%. Температура питательной воды перед экономайзером котла- 104 °С.

Котел ГМ-50-14-250 имеет трехступенчатую схему испарения. К первой ступени испарения подключены задний экран и котельный пучок; ко второй ступени подключены боковые экраны; к третьей ступени подключен передний экран.

Таблица 1 – Краткая техническая характеристика котла ГМ-50-14-250

Наименование	Размерность	Величина
Паропроизводительность	т/ч	50
Давление в барабане	кгс/см ²	16
Давление перегретого пара	кгс/см ²	14
Температура перегретого пара	°С	250
Температура питательной воды	°С	100

Котел ПК-20- однобарабанный, вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией.

Номинальные параметры перегретого пара за котлом: давление-100 ата, температура перегретого пара 510 °С, рабочее давление в барабане котла-110 ата.

Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Топка камерная, представляет собой восходящий газоход, в верхней части которой установлен ширмовый пароперегреватель. Степень экранирования топки- 0,947.

Котел работает по циркуляционной схеме, сочетающей трехступенчатое испарение с барбатажной промывкой пара питательной водой. Во 2-ую и 3-ю ступень испарения выделена вся средняя часть боковых экранов.

Основное топливо, сжигаемое в котлах- природный газ, резервное мазут марки М-100..

Таблица 2 – Краткая техническая характеристика котла ПК-20

Наименование	Размерность	Величина
Паропроизводительность	т/ч	140
Давление в барабане	кгс/см ²	110
Давление перегретого пара	кгс/см ²	100
Температура перегретого пара	°С	510

Температура питательной воды	°С	215
Объем топочной камеры	м3	613
Водяной объем котла	м3	58
Паровой объем котла	м3	20
Полная лучевоспринимающая поверхность котла	м2	454,2
Поверхность нагрева пароперегревателя	м2	880
Поверхность нагрева воздухоподогревателя	м2	5889
Тип горелок	БКЗ	
Количество горелок	шт.	6

Водогрейный котел КВГМ-100

Предназначен для получения горячей воды давления до 22,5 кг/см² и температурой до 150 °С, используемой в системах отопления в связи с расчетным давлением тепловых сетей 14 кг/см² (разрешенное давление в котле устанавливается не более 14 кг/см²).

Котел унифицированной серии, рассчитан на сжигание природного газа и высокосернистого мазута, водотрубный, радиационный.

Котел работает в пиковом режиме, сетевая вода насосами подается двумя потоками:

- первый - в нижние камеры справа и слева конвективного пучка, проходит конвективный пучок снизу вверх, малые боковые экраны, затем по перепускным трубам Ø273 в верхнюю камеру заднего экрана, и, пройдя сверху вниз задний экран, входит в коллектор прямой сетевой воды котла;

- второй - в нижнюю камеру слева и справа промежуточного экрана, проходит его снизу-вверх, по перепускным трубам Ø273, попадает в верхние камеры боковых экранов, и, пройдя два хода поступает в верхнюю камеру фронтального экрана. Пройдя фронтальный экран сверху вниз попадает в коллектор прямой воды.

Котел КВГМ-100 оборудован тремя газомазутными горелками производительностью 4140 м³/час или 3900 кг/час мазута. Конструкция горелок предусматривает механический распыл с воздушными регистрами на каждой горелке для закручивания воздушного потока.

При эксплуатации котла должны соблюдаться следующие нормы качества подпиточной воды и сетевой:

- растворенный кислород не более 0,05 мг/кг;
- взвешенные вещества - не более 5 мг/кг;
- карбонатная жесткость (при кальциевой жесткости не более 3,5 мгэкв/кг) не более 0,7 мгэкв/кг;
- остаточная общая жесткость при использовании воды продувки котлов - 0,05 мг/кг;
- свободная углекислота отсутствует;
- масла и тяжелые нефтепродукты - не более 1 мг/кг.

Котел Е-60-9,5-510 ДФТ

Стационарный, вертикально-водотрубный, однобарабанный, с естественной циркуляцией, с уравновешенной тягой, имеет сомкнутую схему компоновки поверхностей нагрева и состоит из мембранных предтопка «кипящего слоя», топочной камеры, опускного газохода, а также газоплотных опускной и подъемной конвективной шахты, рассчитан для работы с уравновешенной тягой. Предназначен для сжигания торфобрикетов, древесины и природного газа.

В состав котла Е-60-9,5-510 ДФТ входят:

- предтопок и топочная камера:

Таблица 3 – Краткая техническая характеристика котла Е-60-9,5-510 ДФТ

Вид топлива	Размерность	Торфобрикет	Торф фрезерный	Древесное топливо	Природный газ
Паропроизводительность	т/ч	60	60	60	36
Давление перегретого пара	МПа	9,5	9,5	9,5	9,5
Температура перегретого пара	°С	510	510	510	510
Температура питательной воды	°С	158/215	158/215	158/215	158/215
Теплота сгорания топлива	ккал/кг	3426	1940	2052	8400
Температура воздуха на входе в котел	°С	30	30	30	30
Температура воздуха за 2-й ступенью воздухоподогревателя	°С	303/311	347/358	365/368	270/300
Расход воды на впрыск 1-ст.	т/ч	6/2,1	11,1/7	13,9/9,9	0,9/0
Расход воды на впрыск 2-ст.	т/ч	1,2/1,2	1,2/1,2	1,2/1,2	0,4/0,0
Температура дымовых газов на выходе из котла	°С	133/142	144/146	141/148	94/105
Влажность топлива	%	18,2	50,0	45,0	-
Расход топлива	т/ч	12,5/ 11,4	22,8/20,8	21,6/19,72	2,98/2,71
КПД	%	90,3/ 89,7	87,6/87,4	87,2/86,6	92,28/91,61

Турбина паровая

Паровая турбина Т-30-90 конденсационная с регулируемым теплофикационным отбором пара, номинальной мощностью 30 МВт, частотой вращения 3000 об/мин представляет собой одновальный одноцилиндровый агрегат, предназначенный для непосредственного привода генератора ТВС-30 переменного тока и отпуска пара на нужды отопления.

Примечание (для справки). Паровая турбина ВК-25-1 ст. №4 введена в эксплуатацию в 1957г., ст. №5 – в 1958г.

На обеих турбинах произведена реконструкция с целью организации теплофикационного отбора и увеличения электрической мощности: на ТГ-4 – в 1975г., на ТГ-5 – в 1971г.

УДК 620.9:658.011.56

Использование автоматизированных систем управления на СООО «СК «Добрыня»

Павлович И.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

В настоящее время стал актуальным процесс использования автоматических систем регулирования на предприятиях большой и малой энергетики. В связи с актуальностью вопроса мною были проведены исследования автоматических систем регулирования на предприятии СООО «СК «Добрыня».

С начала эпохи использование систем автоматизации, которая не обошла теплоэнергетику стороной, для котловых агрегатов стали применять системы регулирования и оптимизации работы. С приходом автоматизации в промышленность повысилась рентабельность и надежность котельного оборудования, так же использование систем автоматического регулирования позволило обеспечить безопасную работу персонала. Современная автоматика позволила обеспечить и гарантировать эффективную и безаварийную работу оборудования, без использования труда оператора. Человеку только требуется выполнять онлайн-мониторинг работы оборудования и следить за параметрами всего комплекса устройств.

При современном уровне развитии систем автоматизации применяют разнообразные схемы и системы автоматизации основных технологических процессов. Ниже описаны используемые в котловых агрегатах схемы автоматизации.

Автоматизация процесса горения в топочной камере.

Параметры смеси, состоящей из топлива и воздуха, поступающей в камеру сгорания непосредственно зависит от потребителя, а именно параметры пара или горячей воды. Совместно с подачей топлива и воздуха, выполняется задача – работа дымососа, необходимого для создания разрежения в камере сгорания и газовом тракте котла. В данной системе используются регуляторы разрежения, давления, соотношения “топливо-воздух” и др.

Автоматизация питания котла водой.

Чтобы уровень воды в барабане парового котельного агрегата оставался на требуемом уровне, следует поддерживать и обеспечивать требуемую пропорцию между количеством производимого пара, воды, которая удаляется продувкой, и питательной воды. Это соотношение обеспечивается установкой автоматических регуляторов питания, которые воздействуют на подачу питательной воды насосами в котельный агрегат.

На котельной предприятия СООО «СК «Добрыня» используется автоматика системы Viessmann. Для управления котлами контуром отопления и вентиляции на котлах устанавливаются устройство цифрового программного управления контуром котловой воды Vitotronic 100 тип GC1, на стене цифровой каскадный контролер Vitotronic 333 тип MW1S.

Автоматизация, управление силовыми цепями и диспетчеризация выполнена на базе двух щитов – щита котельной (ЩК) и щита диспетчера (ЩД). Щит котельной устанавливается в котельной на стене, щит диспетчера в проходной. Связь между ЩК и ЩД осуществляется кабелем КВВГ 10х0,75. В котельной установлен теплосчетчик ТЭМ-104.

Для определения загазованности устанавливается прибор ФСТ-03 с двумя датчиками.

Так же предусмотрены:

- контроль температуры и давления с помощью местных приборов;
- автоматическое управление работой котла и отопительных контуров зависимости от температуры наружного воздуха;
- автоматическое с возможностью ручного управления насосами, аварийным клапаном отсечки газа;
- автоматическое отключение горелки;
- светосигнализация с выводом в диспетчерскую:
 - неисправность оборудования;

- работы аварийного клапана отсечки газа;
- концентрация горючих газов выше 10%;
- несанкционированного входа в котельную;
- при пожаре.

Исследования показали, что использование автоматических систем регулирования повышают безопасность работы оборудования, а также повышают его эффективность и долговечность

УДК 62-1/-9

Энергосберегающие мероприятия асфальтобетонных заводов

Буцько К.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Сейчас многие работающие бетонные заводы существенно изношены. На них установлены устаревшие дозировщики, отсутствуют современные автоматические электронные дозаторы термометрического типа, системы автоматического управления процессом изготовления бетона.

Можно с уверенностью заявить, что вся работа асфальтобетонных заводов зависит от того, насколько качественно происходит сушка сырья, то есть насколько хорошо работает сушильный барабан. А сердцем сушильного барабана является газовая горелка, обеспечивающая его необходимым теплом.

Горелка, одна из главных целей при модернизации и реконструкции асфальтобетонных заводов, служит для создания в сушильном барабане газовой высокотемпературной среды. Под воздействием высокой температуры сырье теряет лишнюю влагу и доводится до состояния, когда может быть обеспечено приготовление качественной смеси.

На старых заводах горелка сушильного барабана запускается с помощью самодельного факела, что не соответствует современным требованиям. Также отсутствует контроль пламени (при погасании пламени мазут продолжает поступать в сушильный барабан, что приводит к браку асфальтобетонной смеси, а в худшем случае к взрыву). Если на старом асфальтобетонном заводе отсутствует регулировка производительности горелки, то оператору приходится повышать или понижать производительность питателей, для того чтобы выровнять температуру каменных материалов.

Использование современного сушильного барабана с газовой горелкой позволит существенно снизить энергозатраты. Кроме того, устанавливаемое газовое оборудование является эффективным мероприятием по уменьшению объема выбросов в атмосферу экологически вредных веществ.

С экономической точки зрения наиболее оправдано использование при реконструкции или модернизации асфальтобетонного завода квазикинетической блочной газовой горелки серии КП.

Стоит отметить и современную автоматику промышленных горелок асфальтобетонных заводов, позволяющую плавно изменять тепловую производительность.

Рекомендуется также использовать приборы теплотехнического контроля, которые позволяют оператору оперативно контролировать температуру каменных материалов и отходящих газов на выходе из сушильного барабана, что позволяет не допускать перегрев материалов и соответственно не допустить выпуск некачественной асфальтобетонной смеси. Также можно контролировать температуру асфальта в бункере накопителе и температуру битума в емкостях.

Асфальтобетонные заводы имеют в составе очень много электрооборудования и электроники различной сложности (приборы, пульты управления, автоматы, реле, датчики и т.д.) и от бесперебойной работы этого оборудования зависит нормальная работа асфальтобетонного завода и выпуск асфальта.

В настоящее время актуальна модернизация электрооборудования асфальтобетонного завода, например, замена силовых панелей в кабине оператора или замена системы управления.

Ранее выпускаемые асфальтосмесительные установки ДС117-2К и ДС117-2Е, ДС-158 на сегодняшний день технически и морально устарели, конструктивно на них невозможно приготовить высококачественную асфальтобетонную смесь. Производство высококачественной смеси возможно только на установках, оснащенных агрегатом минерального порошка и смесительным агрегатом с разделением на фракции не менее

четырёх. Кроме того, вышеперечисленные установки не соответствуют современным требованиям по экологическим параметрам.

Для того, чтобы усовершенствовать асфальтосмесительные установки необходимо привести рабочее место оператора в порядок: демонтировать старый пульт и установить новый шкаф микропроцессорной системы.

Взамен рычажной системы с весовыми головками на дозаторы каменных материалов и минерального порошка, как говорилось выше, следует установить электронную систему взвешивания на тензодатчиках. Вместо имеющейся системы битумопроводов и объемного дозатора битума целесообразно переоборудовать или заменить последние на новый битумный дозатор с тензодатчиками. Тензометрическая система взвешивания позволит добиться более точного дозирования материалов в результате чего существенно повысится качество смеси.

Необходимо заменить существующие пневмоцилиндры, пневмораспределители и концевые выключатели на современные бесконтактные пневмоприводы с клапанами быстрого спуска. Это значительно улучшит надежность, простоту настройки и обслуживания как датчиков, так и пневмосистемы в целом, а также повышает точность дозирования за счет быстрого и четкого закрытия затворов.

В настоящее время имеются модификации установок, которые работают не только на жидком топливе, но и на природном газе, с микропроцессорной системой управления и с тканевыми фильтрами. На практике данные установки значительно сократят энергозатраты.

Модернизация сушильного агрегата позволит повысить производительность установки до 55 т/час.

С целью улучшения экологических параметров (в 10 раз) предлагается модернизация пылеочистных устройств отходящих дымовых газов из сушильного барабана.

Подводя итог вышесказанному, процесс модернизации включает в себя следующие этапы:

- 1) Настройка и модернизация горелок сушильного агрегата и битумного хозяйства асфальтобетонного завода
- 2) Использование приборов теплотехнического контроля
- 3) Электрооборудование асфальтобетонного завода
- 4) Тензометрия на асфальтобетонном заводе
- 5) Усовершенствование асфальтосмесительных установок

Литература

1. ОАО «Брестсельмаш». Горелки блочные газовые. Руководство по эксплуатации ГБГ-0,34.00.00.000 РЭ. – 2008 г.
2. Кременчугское производственное объединение «Дормашина». Установка асфальтосмесительная ДС-158. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ДС-158.00.00.000 ТО. – 1988 г.
3. http://elib.sfukras.ru/bitstream/handle/2311/70481/kalinin_aleksandr_viktorovich.pdf

УДК 621.311

**Энергетическое обследование учреждения образования
«Полоцкий государственный университет»**

Игнатович Р. С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

Одним из наиболее действенных механизмов достижения максимальной эффективности использования ТЭР и выявления резервов их экономии, особенно в энергоемких отраслях народного хозяйства, является проведение энергетического обследования предприятий, учреждений и организаций.

Энергетическое обследование является основным методом анализа и планирования энергоиспользования предприятий и направлено на решение следующих основных задач:

- оценка фактического состояния и эффективности энергоиспользования на предприятии, выявления причин возникновения и определения потерь энергоресурсов и энергоносителей;
- выявление и оценка резервов экономии топлива и энергии и разработки плана мероприятий, направленных на снижение их потерь;
- совершенствование системы учета и нормирования расхода ТЭР;

В результате энергетического обследования (II квартал 2018 г. по показателям работы за 2017 год) проведен анализ норм и отчетно-статистических данных, мониторинг тепло- и электропотребления, установлены резервы энергосбережения учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

Отдельные показатели учреждения образования «Полоцкий государственный университет» за 2017 год:

- потребление тепловой энергии 1697 т у.т.;
- потребление электрической энергии 300 т у.т.

Составленная программа по энергосбережению на период до 2023 года, исходя из технических и материальных возможностей предприятия, позволит сэкономить 486 т у.т., что составляет 24,3 % от суммарного потребления ТЭР учреждением за 2017 год. Выбор предлагаемых к внедрению энергосберегающих мероприятий основан на передовых технологиях в сфере энергетики и энергосбережения, а также на изучении опыта развития аналогичных предприятий.

При обследовании организации проведены натурные обследования зданий, энергетического и технологического оборудования, электрических сетей с использованием современных средств измерений. При анализе материала использовались официальные данные форм статической и внутренней отчетности, включая информацию по нормированию ТЭР. Исходными данными также являлись технологическая и эксплуатационная документация, паспорта на оборудование и технологические регламенты, проводился опрос работников предприятия.

Основные установленные направления энергосбережения Учреждения образования «Полоцкий государственный университет»:

- Внедрение современных энергоэффективных оконных блоков;
- Термореновация ограждающих конструкций зданий;
- Внедрение энергоэкономичных осветительных приборов для внутреннего и наружного освещения;
- Установка теплоотражающих экранов за радиаторные батареи;
- Внедрение современных энергоэффективных гаражных секционных ворот;
- Децентрализация теплоснабжения объектов учреждения в пос. Междуречье;

На период 2019–2023 гг. запланировано к внедрению 38 энергосберегающих мероприятий с суммарным энергетическим и экономическим эффектом в сопоставимых условиях в пределах до 486 т у. т. и 209 тыс. руб. соответственно

Литература

1. Белэнерго [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.belenergo.by/content/deyatelnost-obedineniya/sbytovaya-deyatelnost/sovershenstvovanie-ucheta-otpuskaemoj-potrebiteljam-elektricheskoy-energii/> – Дата доступа: 25.09.2018
2. Полоцкий государственный университет [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.psu.by/studencheskaya-zhizn/tvorcheskaya-sreda.html> – Дата доступа: 25.09.2018
3. РУП «Минскэнерго» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.energosbyt.by/counters_ul.php – Дата доступа: 25.09.2018
4. Охрана окружающей среды и природопользование. Экологический паспорт предприятия: СТБ 17.01.00-01-2012. – Введ. 25.09.12. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2012. – 24 с.;

УДК 697.432

Криогенный способ производства продуктов разделения воздуха

Грищенко А.Ю., Егощенков И. Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Производство продуктов разделения воздуха, таких как азот, кислород, аргон, ксенон и других, широко востребовано современной промышленностью в различных технологических процессах. Системы разделения широко применяются в самых различных областях:

- нефтегазовой, химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности;
- электронике и электроэнергетике;
- металлургии;
- строительстве;
- на предприятиях, которые занимаются оптовой торговлей техническими газами.

Разделение воздуха осуществляется тремя основными способами: криогенным, адсорбционным и мембранным. Первый вариант считается классическим, поскольку позволяет получать не только чистый кислород и азот, но и аргон, гелий, неон и прочие составляющие.

Адсорбционный способ считается одним из самых прогрессивных. Он основан на способности некоторых материалов поглощать газы из атмосферного воздуха. Процесс протекает при обычной температуре, и аппарат быстро выходит на проектную мощность. Является идеальным вариантом для получения кислорода или азота чистотой до 95 %.

Мембранный способ основан на разной скорости проникновения компонентов атмосферного воздуха под определенным давлением через тело мембраны. Применяется в тех случаях, когда не требуются большие объемы газа.

Остановимся подробнее на первом способе разделения воздуха. Принцип работы криогенной ректификационной колонны основывается на разнице в температурах кипения газов, составляющих атмосферный воздух. Легкокипящие вещества, такие как гелий и неон, оказываются в виде пара, скапливающегося в верхней части колонны. Обладающие меньшей летучестью криптон и ксенон остаются в виде жидкости внизу. Аргон вместе с кислородом и азотом относится к средней фракции. Поскольку она всего лишь на несколько градусов отличается от их температур кипения, это несколько осложняет процесс его получения.

После частичного отделения кислорода и азота, остается смесь, содержание аргона в которой колеблется от 85 до 94 %. Такой «сырой» аргон подлежит доочистке. Примеси азота, составляющие от 3 до 5 % смеси, удаляются ректификацией. А 3 – 10 % кислорода убираются адсорбцией или химическим способом, связывая его водородом или серой. В результате чистота полученного аргона достигает 99,99 %.

Рассмотрим схему ВРУ для получения аргона. При разделении воздуха содержащийся в нем $Ar(0,93\%)$ распределяется между N_2 и O_2 . При получении чистого азота основное количество Ar отводится с кислородом (до 4%), при получении чистого кислорода - с азотом (до 1%). Наличие в N_2 и O_2 примеси Ar не всегда допустимо. Например, при синтезе NH_3 из элементов Ar как инертный газ накапливается в системе, что снижает эффективное давление процесса. Кроме того, поддержание в цикле содержания Ar на допустимом уровне приводит к необходимости непрерывного вывода (путем продувки) из системы части циркулирующей азотоводородной смеси. Чистые азот и кислород получают отбором из верхней части колонны фракции N_2-O_2-Ar , а Ar как целевой продукт - ректификацией данной фракции в дополнительной колонне. Отводимый из этой колонны сырой Ar , содержащий 2-5% O_2 и 1-2% N_2 , смешивают (для связывания O_2) с водородом и подвергают очистке от O_2 на палладиевом катализаторе. От азота и некоторого избытка водорода аргон освобождают ректификацией в специальной колонне.

Получение Ne , Kr и Xe . Неон в составе азот-неон-гелиевой смеси вместе с N_2 накапливается под крышкой конденсатора-испарителя. Криптон и ксенон, накапливаемые в

кубе верхней части колонны, выделяются при получении больших количеств кислорода и азота. Смесь O_2 -Kr-Xe разделяется в дополнительной колонне, из куба которой отбирается жидкий O_2 , содержащий небольшие количества Kr и Xe (так называемый первичный концентрат). Ne из неон-гелиевой смеси и Kr и Xe из обогащенного первичного концентрата выделяются адсорбционным методом.

Большим плюсом является получение продуктов разделения с низким содержанием примесей. Привычная криогенная ректификационная технология получения продуктов разделения воздуха позволяет получать их в больших объемах. Но, дороговизна и сложность получения таким способом вдохновляет изобретателей на поиски более удобного и дешевого способа получать эти газы в нужном количестве. Также серьезным недостатком является невозможность полной автоматизации процесса.

В заключении хотелось бы сказать, что в современных условиях стабильное снабжение промышленных предприятий продуктами разделения воздуха является важной задачей, и технология криогенной ректификации отлично справляется с данной задачей.

Литература

1. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов – М.: Издательство МЭИ, 2001, - 472 с.
2. Некоторые аспекты регулирования отпуска теплоты на теплоснабжение от газотурбинных ТЭЦ / В.П. Вершинский, Н.М. Коробов, З.П. Сорокина. – М.: «Промышленная энергетика». 2002, № 2, с. 29-31.
3. «Эффективность использования топлива» / М.Б. Равич. – М.: Изд-во «Наука», 1977, 443 с.

УДК 628.3

Энергетический аудит ОАО «Витебские ковры»

Зуева Е. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

В ходе проделанного энергетического аудита можно сделать следующие выводы:

1. Высокий уровень энергоэффективности основного технологического оборудования и систем энергоснабжения. Отмечена высокая производственная и технологическая дисциплина персонала, четкое следование технологическим регламентам производств. Параметры энергоиспользования в основном соответствуют паспортным и технологическим нормам. На предприятии проводится системная работа по внедрению энергосбережению. Реализованы малозатратные направления по энергоэффективности, проведена модернизация и реконструкция технологического оборудования и вспомогательных систем. Основные перспективные мероприятия является частью реализации стратегии внедрения нового оборудования.

2. Высокий уровень проделанной за последние годы работы по снижению энергопотребления.

3. Основные перспективные резервы повышения энергоэффективности заключены в реализации направлений по модернизации вспомогательных систем и оборудования, системы обогрева зданий (утилизация вентвыбросов).

Основными факторами, сдерживающими реализацию этих направлений являются:

1. Для реализации мероприятий необходима дополнительная предпроектная, проектная разработка конструктивных решений и планировок;

2. Высокая капиталоемкость;

3. Высокие сроки окупаемости.

Данные направления рекомендуются как перспективные, долгосрочные и не включены в полном объеме в Программу по энергосбережению на ближайшие 5 лет. (раздел 5 отчета).

Основные краткосрочные резервы повышения энергоэффективности заключены в реализации направлений:

1. Модернизация системы электроснабжения (компенсация реактивной мощности);

2. Модернизация пароконденсатной системы (модернизация конденсатоотводных узлов);

3. Модернизация системы распределения тепловой энергии (внедрение быстросъемной изоляции) и пароконденсатной системы.

Следует отметить, что по результатам энергетического обследования выявлены относительно невысокие резервы снижения потребления электроэнергии, по причине невысокой доли электроэнергии в обобщенных энергозатратах.

Основные выделенные мероприятия по энергосбережению:

1. Снижение потребления тепловой энергии

2. Тепловая изоляция запорной арматуры;

3. Тепловая изоляция поверхности красильных агрегатов;

4. Замена паропроводов Ду250 и Ду219 на паропровод меньшего диаметра;

5. Внедрение дренажных конденсатоотводных узлов на паропроводах;

6. Внедрение и модернизация конденсатоотводчиков на паропотребляющем оборудовании;

7. Перспективное внедрение систем утилизации вентвыбросов аппаратурной машины.

8. Повышение эффективности потребления электроэнергии

9. Установка компенсаторов реактивной мощности.

10. Руководство предприятия хорошо осведомлено о текущем состоянии энергопотребления о важности мероприятий по повышению эффективности использования энергоресурсов.

В дальнейшем наиболее эффективной будет являться работа по детальным частным энергетическим обследованиям отдельных систем и производств предприятия, что отображено следующим поэтапным планом:

1. Внедрение новой системы организации работы по энергосбережению (СТБ ISO 50001-2013 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению»). Ориентировочный срок реализации первые 1-1.5 года.

2. Реализация рекомендаций энергетического обследования. Ориентировочный срок реализации 1-5 лет.

3. Реконструкция систем энергоснабжения, производственных технологий. Внедрение нового оборудования. Снижение себестоимости и затрат. Внедрение энергоэффективного оборудования, систем утилизации вентвыбросов.

4. Необходимо отметить что эти мероприятия являются капиталоемкими и требуют глубокой предпроектной подготовки, привлечения значительных инвестиций.

5. Экологическая направленность мероприятий. На данном этапе предпочтение отдается экологически чистым схемам с детальной оценкой возможного энерго- и ресурсосбережения. В первую очередь это рассмотрение вопроса о создании энергоэффективной системы совместной выработки тепловой и электроэнергии.

УДК 628.3

Поля фильтрации ОАО «БЕЛЛАКТ»

Богдан А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Поля фильтрации ОАО «Беллакт» расположены в западной части от г. Волковыска Гродненской области на расстоянии 3 км от предприятия и предназначены для очистки сточных вод в естественных условиях.

Представим их устройство и технические характеристики. Поля фильтрации общей площадью 34,2 га включают в себя:

- приемная камера сточных вод (расположенная в здании КНС) – территория Волковысского ОАО «Беллакт»;
- приемная камера сточных вод (поля фильтрации);
- 2 песколовки;
- 2 жироловки;
- пруды испарители (карты) 19 шт.;
- лотковая распределительная система – 2 ветки;
- иловая площадка (1,67 м²).

Проектная мощность полей фильтрации составляет 3015 м³/сутки. Режим эксплуатации – круглосуточный.

Описание технологического процесса работы установки, представленный ниже.

Загрязненные сточные воды образуются в результате производственных процессов, связанных с мойкой оборудования, тары, полов, от производственной прачечной. Эти сточные воды загрязнены продуктами распада молочной продукции: белок, молочный сахар, азот и другими, моющими средствами: кальцинированная и каустическая сода, кислоты и тому подобными.

Сточные воды подвергаю механической и биологической очистке.

На входе в приемную камеру КНС сточная вода проходит механическую очистку посредством решетки. Насосными агрегатами сточная вода из приемной камеры по напорному коллектору транспортируется в приемную камеру сточных вод (поля фильтрации). Посредством распределительного устройства сточная вода проходит механическую очистку через песколовку, далее через жироловку для отделения жировых осев. По лотковой системе, снабженной шиберами – заслонками сточная вода распределяется по прудам-испарителям. При выключении насосных агрегатов на КНС подача сточных вод на поля фильтрации прекращается.

Пруды-испарители используются для почвенной очистки сточных вод.

При эксплуатации полей фильтрации необходимо строго выполнять следующие требования:

- проводить локальный мониторинг за влиянием сточных вод в прудах-испарителях на подземные воды согласно ежегодного плана-графика проведения локального мониторинга подземных вод полей фильтрации;
- по мере необходимости, но не реже 2 раз в смену производить прочистку решетки на входе сточной воды в приемную камеру КНС;
- при помощи распределительного устройства и лотковой системы равномерно распределять сточные воды по прудам-испарителям в соответствии с графиком;
- по необходимости, но не реже одного раза за смену производить очистку лотков;
- не менее двух раз за смену, а также после выпадения атмосферных осадков производить осмотр всей территории полей фильтрации на предмет целостности брусчаток прудов испарителей, лотковой системы, напорного коллектора;
- не реже одного раза в год проводить ремонтно-профилактические работы, включающиеся в себя:

- 1) очистка песколовков, жироловок;
- 2) снятие верхнего илистого слоя с дна осушенных прудов испарителей с последующим рыхлением;
- 3) ремонт лотков и шиберов;
- 4) обкос территории полей фильтрации;
- 5) соблюдение требований Государственного санитарного и природоохранных надз

Исходя из вышеизложенного исследования, можно сделать вывод, что поля фильтрации, полностью удовлетворяют производственным и экологическим нормам. Тему считаю актуальной, так как экологический аспект работы предприятий – важная часть их работы, ведь масштабы загрязнения окружающей среды велики и проблема утилизации отходов несомненно становится глобальной.

УДК 621.3

Энергосбережение в котельных

Кулаков В.М., Мосевич С.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Энергосбережение – это реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Актуальность энергосбережения обусловлена следующими основными причинами:

- необходимостью обеспечения устойчивых темпов развития экономики и конкурентоспособности отечественных товаров;
- потребностью обеспечения населения страны её хозяйственного комплекса необходимыми топливно-энергетическими ресурсами;
- важностью сохранения топливно-энергетических ресурсов для будущих поколений;
- необходимостью обеспечения экологической безопасности;
- большими затратами на обеспечение жизнедеятельности;
- усложнением условий добычи и транспортировки ТЭР;
- высокими затратами на ввод в действие новых энергетических объектов.

Рассмотрим энергосбережение в котельной. Среди факторов, увеличивающих расход топлива в котельных, можно выделить: физический и моральный износ котельных установок; отсутствие или плохую работу системы автоматики; несовершенство газогорелочных устройств; несвоевременную наладку теплового режима котла; образование отложений на поверхностях нагрева; плохую теплоизоляцию; неоптимальную тепловую схему; отсутствие экономайзеров-подогревателей.

Основные направления энергосбережения в котлах становятся очевидными при рассмотрении их тепловых балансов. Их анализ для существующих паровых и водогрейных котлов показывает, что наибольшие потери теплоты (10-25%) происходят с уходящими дымовыми газами. Снижению потерь с уходящими газами способствуют:

- поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха в топке котла и снижение присосов воздуха по его тракту;
- поддержание чистоты наружных и внутренних поверхностей нагрева, что позволяет увеличить коэффициент теплопередачи от дымовых газов к воде;
- увеличение площадей хвостовых поверхностей нагрева;
- поддержание в барабане парового котла номинального давления, обеспечивающего расчётную степень охлаждения газов и хвостовых поверхностях нагрева;
- поддержание расчётной температуры питательной воды, определяющей температуру уходящих после экономайзера дымовых газов;
- перевод котлов с твёрдого или жидкого топлива на природный газ.

Приведём некоторые из энергосберегающих мероприятий, приводящих к снижению затрат энергии в источниках теплоты и связанных со схемными изменениями и режимами эксплуатации. В ряде случаев является целесообразным перевод паровых котлов в водогрейный режим, что позволяет существенно повысить фактический КПД паровых котлов типов ДКВР, ДЕ. Переведённые на водогрейный режим паровые котлы в эксплуатации не уступают специализированным водогрейным котлам, а по ряду показателей и возможностей превосходят их, например, в отношении:

- доступности для внутреннего осмотра, контроля, ремонта, улавливания шлама и очистки, благодаря наличию барабанов;
- возможности более гибкого регулирования производительности в допустимых пределах (качественно по температуре сетевой воды и количественно по её расходу);
- повышения КПД при переводе на водогрейный режим на 1,5 – 12,0 %.

Перевод на водогрейный режим требует внесения изменений в конструкцию котла.

Перевод котлов с твёрдого или жидкого топлива на природный газ приводит к снижению избытка воздуха в топке и уменьшению наружного загрязнения теплопередающих поверхностей. Снижаются затраты энергии на подготовку топлива. При переводе на газ котлов, работающих на мазуте, отпадает необходимость в затратах теплоты на распыление последнего с помощью паровых форсунок. При замене твёрдого топлива на газ удаётся избежать потерь с механическим недожогом и с теплотой шлаков. Данное мероприятие применяется, если это целесообразно по экономическим и экологическим показателям.

При эксплуатации энергосбережению способствует рациональное распределение нагрузки между несколькими одновременно работающими котлами. В состав котельной установки, как правило, входят несколько котлов, которые могут различаться по своим характеристикам, сроку службы и физическому состоянию. С падением нагрузки ниже номинальной уменьшается температура уходящих газов, а значит, снижаются потери теплоты с уходящими газами. При малых нагрузках уменьшаются скорости истечения газа и воздуха, могут возникнуть потери с химической неполнотой сгорания. Абсолютные потери теплоты через обмуровку остаются практически неизменными, а относительные (отнесённые на единицу расхода топлива) возрастают. Это приводит к тому, что существуют режимы, которым соответствует максимальное значение КПД.

Поскольку зависимости КПД котлов, расходов условного топлива от производительности индивидуальны для различных типов, конструкций котлов, сроков их эксплуатации, то рациональным распределением нагрузки между двумя и более котлами можно влиять на суммарные затраты энергии для котельной.

Проведение энергосберегающих мероприятий должно сопровождаться их всесторонним анализом, который не должен ограничиваться технико-экономической оценкой эффективности этих мероприятий для одного конкретного потребителя энергии. Таким образом, вопросы энергосбережения необходимо рассматривать в комплексе, т.е. при их решении необходим системный подход.

Литература

1. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов / Б. В. Сазанов, В. И. Ситас; под ред. Н. М. Пеунова. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.: ил.
2. Техническая термодинамика: учебник. В 2 частях. Часть 2./ Б. М. Хрусталёв, А. П. Несенчук, В. Н. Романюк. – Мн.: УП “Технопринт”, 2004. – 506 с.
3. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О. Л. Данилов, А. Б. Горяев, И. В. Яковлев и др.; под ред. А. В. Клименко. – Л.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 424

УДК 621

Общие сведения о когенерационной газопоршневой установке Wärtsilä 20V34SG

Малащук А.М.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Газомоторные электростанции Wärtsilä разработаны для достижения оптимальных производственных показателей станций самого широкого назначения, предоставления быстро вводимой и гибкой мощности в сочетании с различными динамическими режимами эксплуатации, от предельно быстрого резервирования сети до эффективных режимов базовой нагрузки.

Такие устойчивые и доступные по капитальным затратам системы отличаются высочайшей энергетической эффективностью, минимизируют затраты и обеспечивают надежное электроснабжение независимо от конъюнктуры цен и доступности топлива.

Теплоэлектростанции Wärtsilä вырабатывают как электрическую, так и тепловую энергию. Общий КПД установок может превышать 90%. Такие станции могут работать на различном топливе, отличаются высоким КПД и низкими выбросами. Системы утилизации тепла не влияют напрямую на характеристики двигателя или его эксплуатацию. ТЭЦ позволяют значительно экономить топливо по сравнению с отдельным производством электроэнергии и тепла.

Общий вид и габаритные размеры установки Wärtsilä 20V34SG на рисунке 1.

Схема производства горячей воды для теплофикации представлена на рис. 2.

Диаграмма использования топлива представлена на рисунке 3.

Зависимость коэффициента использования топлива от температуры горячей воды представлена на рисунке 4.

В состав оборудования ГПУ входит:

- модуль двигатель-генератор (двигатель и генератор смонтированы на общей раме);
- система утилизации тепла;
- электрическое распределительное устройство генераторного напряжения.

Модуль двигатель-генератор состоит из: газового двигателя внутреннего сгорания – четырехтактного, на обедненной смеси, с форкамерой, искровым зажиганием, впрыском топлива во впускные каналы, открытым поршнем, турбонагнетанием и внутренним охлаждением, укомплектованного низкоэмиссионной камерой сгорания.

Система утилизации тепла (СУТ) позволяет передать часть тепла, образующегося при работе ГПУ (от дымовых газов, зарубашечной воды, масла, двигателя, генератора), передать сетевой воде и далее – потребителям тепла. В состав СУТ входит котел-утилизатор (теплообменник дымовых газов), а также теплофикационные теплообменники:

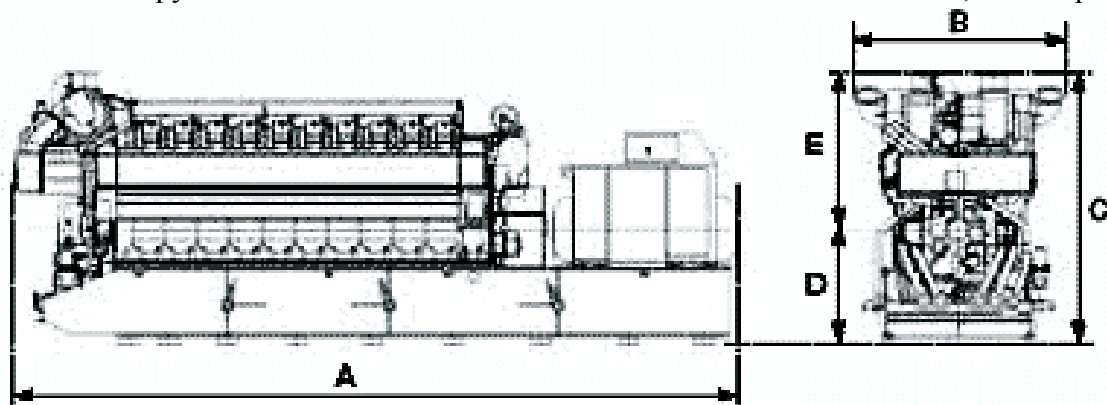
- контура охлаждения рубашки двигателя, передающего тепло от воды контура, охлаждающего рубашку двигателя, во внутренний теплофикационный контур установки;
- контура охлаждения масла, передающего тепло из масляного контура двигателя, во внутренний теплофикационный контур установки;
- низкотемпературного контура охлаждения двигателя.

Дополнительно в комплект ГПУ входит система «принудительного охлаждения» с вентиляторными градирнями, обеспечивающая требуемый теплосъем контуров охлаждения масла и зарубашечной воды при недостаточных тепловых нагрузках в межотопительный период, либо повышенной температуре охлаждающей (обратной сетевой) воды в отопительный период. При этом часть тепла, отбираемого от контуров охлаждения масла и зарубашечной воды сбрасывается в атмосферу.

Электрическое распределительное устройство – трехфазное, в металлических шкафах, воздухоизоляционного типа.

Основные заводские технические характеристики ГПУ:

- номинальная электрическая мощность на клеммах генератора: 8730 кВт;
- применяемое топливо – природный газ;
- номинальная тепловая мощность: 9203 кВт (7,915 Гкал/ч) при полной утилизации тепла масла и зарубашечной воды, и 7113 кВт (6,117 Гкал/ч) при полном сбросе тепла масла и зарубашечной воды в атмосферу через вентиляторные градирни;
- номинальный к.п.д. по электрической мощности на клеммах генератора (без учета тепла, получаемого в системе утилизации тепла): 42,9 %;
- двигатель: конфигурация – V-образная; количество цилиндров – 20; диаметр цилиндра – 340 мм; ход поршня – 400 мм; частота вращения – 750 об/мин; степень сжатия – 12:1; среднее эффективное давление – 17,4 кгс/см²;
- генератор: номинальная мощность – 10,913 кВа; номинальный коэффициент мощности ($\cos\phi$) – 0,8; номинальное напряжение – 10,5 кВ; номинальный ток – 600 А; частота – 50 Гц; частота вращения – 750 об/мин;
- диапазон регулирования мощности: 40...100 % в течение длительного периода; допустима также работа в диапазоне 25...40 % в течение не более 2 часов с последующим увеличением нагрузки не менее, чем до 70 %;
- дымовая труба для отвода выхлопных газов двигателя: высота – 32 м, диаметр – 1,2 м.



A, мм	B, мм	C, мм	D, мм	E, мм	Масса электростанции, кг
12466	3233	4348	1998	2648	137500

Рисунок 1 – Общий вид и размеры Wärtsilä 20V34SG

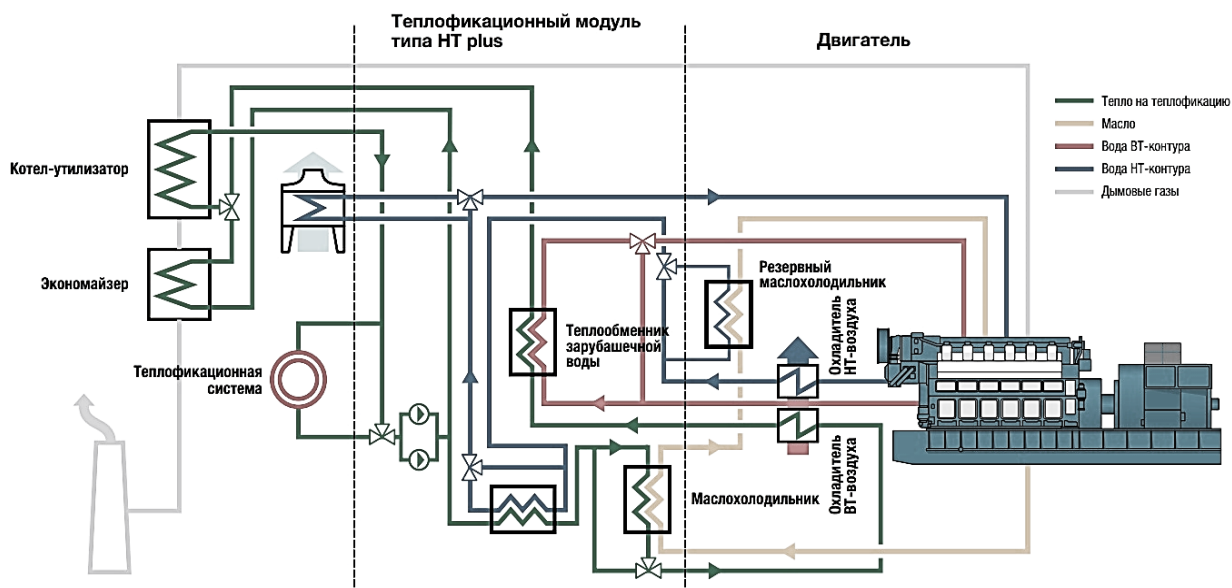
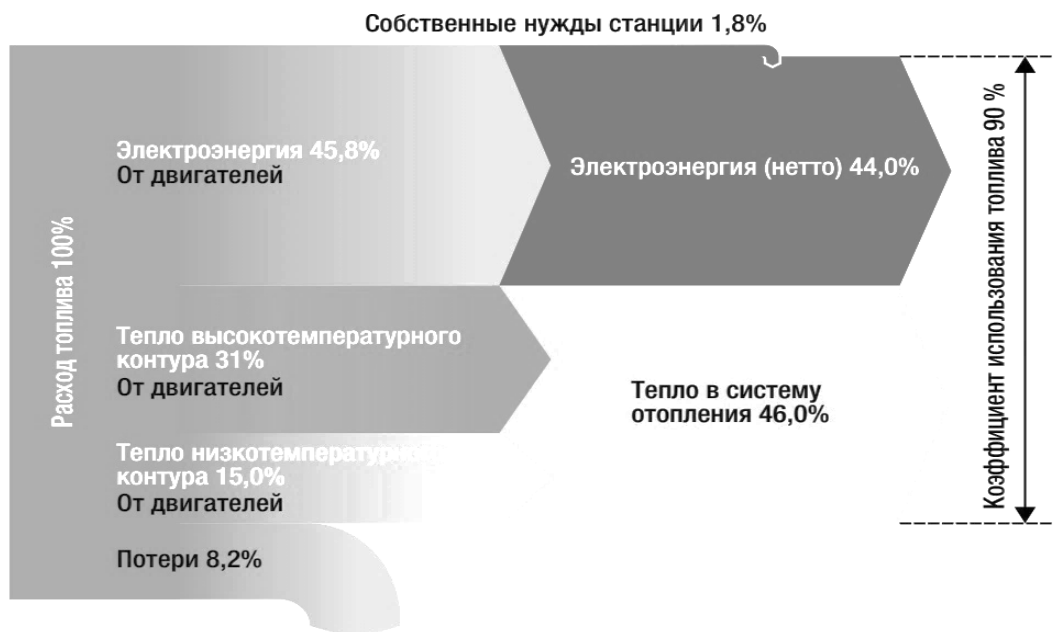
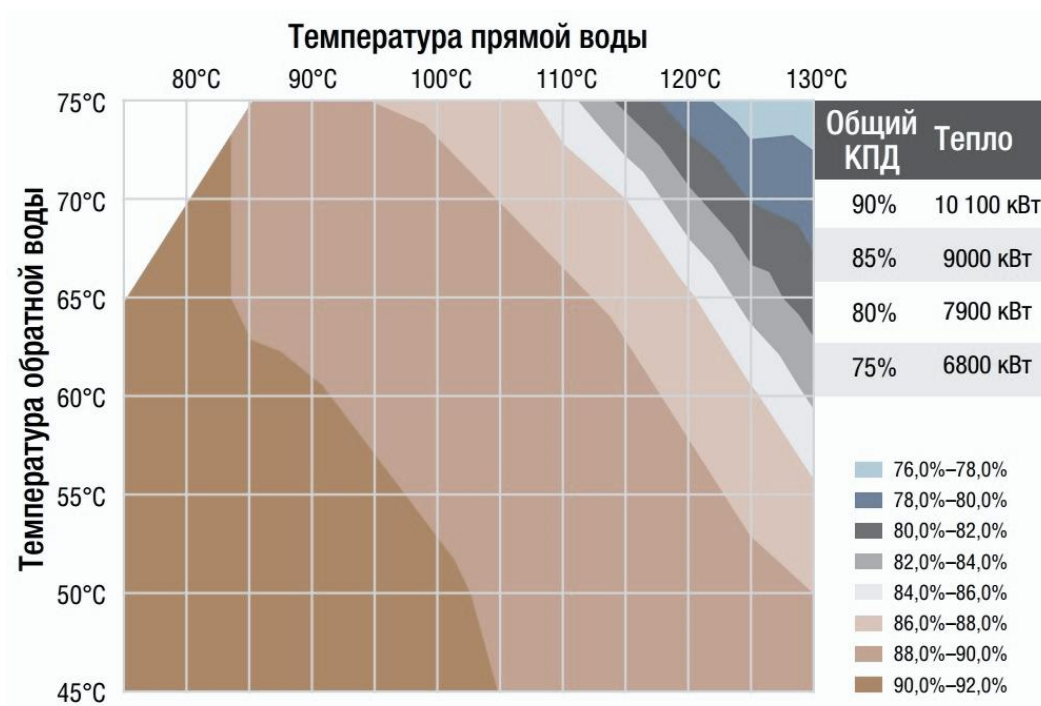


Рисунок 2 – Схема производства горячей воды для теплофикации



Для двигателя 20V34SG C2, при 25 °С, относительная влажность 30%.

Рисунок 3 – Диаграмма использования топлива



Для двигателя 20V34SG C2, при 25 °С, относительная влажность 30%.

Рисунок 4 – Зависимость коэффициента использования топлива от температуры горячей воды

Литература

1. Газопоршневые электростанции Wartsila. [Электронный ресурс] – Режим доступа: cogeneration.ru>wartsila-gpu/wartsila_20v34sg.html. Дата доступа: 25.09.2018
2. Газопоршневая электростанция Wartsila 20V34SG [Электронный ресурс] – Режим доступа: RoltPower.ru/equipment/wartsila/wartsila-20v34sg-/. Дата доступа: 25.09.2018
3. 20V34SG new [Электронный ресурс] – Режим доступа: newnorta.net/. Дата доступа: 25.09.2018

УДК 620.92

Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии

Деветьярова М.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Борьба за экологию и стремление повысить энергоэффективность экономического развития способствовали активизации усилий прогрессивных стран во всем мире по созданию более зеленой энергетики, движению к низкоуглеродной экономике. Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволит существенно сократить нагрузку на окружающую среду. Первичные источники энергии возобновляемы и практически неисчерпаемы, кроме того ВИЭ способствуют экономии органического топлива, как базы химико-технологической индустрии.

Гибридные энергетические системы чаще всего объединяют несколько возобновляемых энергетических источников: солнечные батареи, мини-ГЭС и другие устройства для аккумулирования энергии, которые преимущественно предназначены для обеспечения объектов электрической энергией. В состав системы могут также входить источники тепловой энергии (биогазовые установки, солнечные тепловые коллекторы) и источники на органическом топливе (дизель-генераторы), которые выполняют роль резервного питания. Технологические конфигурации могут быть классифицированы в соответствии с видом напряжения в сети: постоянного, переменного тока или смешанные линии.

Гибридная система – энергетическая система с несколькими источниками электрической энергии (генераторами), использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии.

Технические задачи, поставленные перед такой установкой, можно разделить на следующие основные моменты:

1. Производство и накопление энергии экономически выгодным способом;
2. Если используют ВИЭ:
 - отдавать предпочтение использованию ВИЭ, где это локально доступно;
 - накапливать энергию от ВИЭ, когда они доступны;
 - использовать резервные источники энергии (наборы генераторов) для достижения указанного уровня сервиса, когда ВИЭ недоступны или недостаточны.

В общем случае гибридная система (рисунок 1) будет состоять из:

1. Фотоэлектрической батареи и ветроэлектрической станции. Если есть быстрый водоток или перепад воды, можно рассмотреть вариант с использованием микроГЭС;
2. Аккумуляторной батареи;
3. Резервного жидкотопливного генератора;
4. Блока бесперебойного питания.

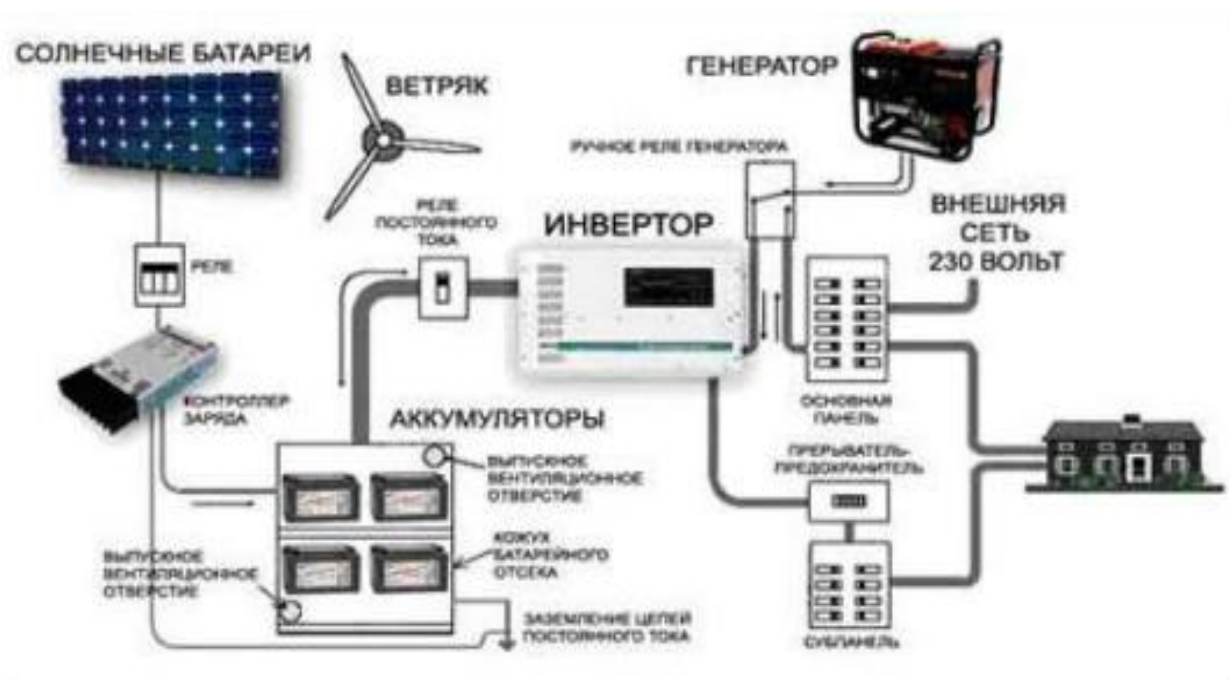


Рисунок 1 – Общая схема гибридной системы

Гибридные системы берут наилучшие черты от каждого источника энергии и обеспечивают электроэнергию мощностью от 1 кВт до нескольких сот киловатт. Они могут быть разработаны как новый интегрированный дизайн в небольших системах распределения электроэнергии (мини-сетей), а также подпитываться от энергосистем, основанных на дизельном электропитании. Ими могут также выполняться функции резервного электроснабжения в случае аварийного отключения традиционных сетей.

Исходя из особенностей работы, гибридные системы классифицируются как последовательные, переключаемые и параллельные.

В последовательных системах аккумуляторы заряжаются от солнечного фотоэлектрического модуля (в представленной конфигурации) или от дизель-генератора постоянного тока (при отсутствии солнечного излучения). От аккумуляторов с помощью инвертора запитывается нагрузка переменного тока. Система может работать в ручном или автоматическом режиме при наличии сенсоров зарядки батарей и контроллера включения дизель-генератора.

Последовательная конфигурация системы имеет относительно простую схему и в настоящее время применяется достаточно широко.

В качестве недостатков можно отметить частые перезарядки аккумулятора, что приводит к сокращению его срока службы, необходимость наличия батарей повышенной емкости (для уменьшения глубины разряда). Выход из строя инвертора приводит к полному отключению потребителей от сети.

В переключаемых гибридных системах переменное напряжение потребителям может подаваться через инвертор от аккумуляторов, возобновляемых источников или от генератора переменного тока. Зарядка аккумуляторов осуществляется от возобновляемых источников или от дизель-генератора (через выпрямитель). При работе системы в автоматическом режиме контроллеры управления создают необходимую конфигурацию системы, что позволяет обеспечить бесперебойное питание потребителей и необходимый уровень заряда аккумулятора.

По сравнению с последовательной переключаемая гибридная система имеет большую надежность в энергообеспечении, но, конечно, и большую сложность.

В параллельной конфигурации гибридной системы имеется возможность подачи энергии потребителям независимо каждым входящим в систему источником (при малых и средних

нагрузках), а также одновременно от всех — при пиковых нагрузках. В последнем случае требуется синхронизация формы напряжения на выходе инвертора и генератора переменного тока. Двухнаправленный инвертор обеспечивает зарядку аккумуляторов от генератора переменного тока и преобразование постоянного тока от солнечных батарей и аккумуляторов в переменный ток. Следует отметить, что эффективная эксплуатация параллельной гибридной системы требует сложной системы управления. Однако, исходя из больших возможностей надежного энергообеспечения, последняя конфигурация имеет перспективность в практическом применении, в особенности, когда в систему подключены несколько видов возобновляемых источников энергии.

Электрификация при помощи гибридных систем, основанных на ВИЭ, предоставляет более дешевый и дружелюбный для окружающей среды вариант. Повышение надежности гибридных систем, незначительные потери при передаче энергии, рациональное ее потребление и оптимальное использование местных ресурсов играют приоритетную роль в выборе такого децентрализованного решения. Гибридные системы доказали свою состоятельность, и опыт их использования во многих странах свидетельствует о перспективности таких решений для сельской местности.

Применение гибридных систем на основе возобновляемых источников энергии является перспективным решением для децентрализованного электроснабжения в сельской местности и удаленных объектов, а также для обеспечения аккумулирования излишков электрической энергии, снятия пиковых нагрузок при эксплуатации сезонно и погодно зависящих возобновляемых источников энергии большой мощности (ветропарки). Для Республики Беларусь, которая имеет хорошее покрытие всей территории энергетическими сетями, гибридные решения будут не настолько эффективны, как, например, для России. Однако в связи с долгосрочной программой развития сельского хозяйства, строительством агрогородков, новых ферм, животноводческих комплексов гибридные технологии целесообразно рассматривать как альтернативу централизованному энергоснабжению.

Литература

1. Возобновляемые источники энергии / С.П. Кундас, С.С. Позняк, Л.В. Шенец – Мн.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. 390 с.;
2. Повышение энергоэффективности и использование возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь / Минск: Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, 2011. 8 с;
3. Hybrid Renewable Energy Systems for the Supply of Services in Rural Settlements of Mediterranean Partner Countries. Agricultural University of Athens, 2004.

УДК 621.3

**Исследование конструкции и работы котла Е-75-3,9-440 ГМ
котельного цеха ОАО «ГРОДНО АЗОТ»**

Сидорчук А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Котел Е-75-3,9-440 ГМ – однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, оснащен камерной топкой с тремя газомазутными горелками типа ГМ-20, для сжигания газообразного и жидкого топлива.

Основные расчетные характеристики котла:

- паропроизводительность (номинальная) – 75 т/ч;
- давление перегретого пара на выходе из котла – 3,9 МПа;
- температура перегретого пара на выходе из котла – 440 ± 15 °С;
- температура питательной воды – 104 ± 5 °С;
- температура уходящих газов:
 - при работе на природном газе – 120 °С;
 - при работе на мазуте – 190 °С;
- КПД брутто при номинальной паропроизводительности (природный газ/мазут) – $-94,3/91,8$ %;
- диапазон регулирования паропроизводительности – 30-100 %.

Рассмотрим принцип работы и конструкцию котла в зависимости от теплоносителя, проходящего через котел.

Газовый тракт

Котел паровой водотрубный, однобарабанный, с камерной экранированной топкой с двумя конвективными газоходами. Топочная камера и первый конвективный газоход ограждаются мембранными экранами. В нижней части фронтальных экранов топки расположены три газомазутные горелки для сжигания топлива. Продукты сгорания, отдавая часть тепла через радиационный теплообмен испарительным экранам топки, обеспечивают в них парообразование из котловой воды. Через верхнюю часть заднего топочного экрана газы выходят из топки в поворотный и далее в опускной конвективный газоход, в которых последовательно по ходу газов размещаются конвективные поверхности нагрева: змеевики двухступенчатого пароперегревателя и два змеевиковых блока экономайзера. Во втором конвективном газоходе расположены два яруса газотрубных секций воздухоподогревателя. Первый конвективный газоход соединяется со вторым отдельно стоящим газоходом - газоперепускным коробом. Из второго газохода газы через дымосос направляются в дымовую трубу.

В котле применена естественная циркуляция в испарительных поверхностях нагрева.

Пароводяной тракт

Питательная вода через узел питания подается в экономайзер, в котором осуществляется предварительный подогрев воды. Из водяного экономайзера вода поступает в барабан. В обогреваемых газами трубах, образующих топку и конвективную шахту, происходит образование насыщенного водяного пара. Пароводяная смесь поступает в верхние коллекторы, а из них по пароводящим трубам – в барабан-паросборник и выносные сепараторы-циклоны. В барабане и циклонах происходит отделение пара от воды. К барабану присоединены необогреваемые опускные стояки, а к циклонам – необогреваемые опускные трубы, по которым котловая вода поступает в нижние коллекторы экранов. В образованных таким образом замкнутых контурах происходит естественная циркуляция рабочего тела благодаря разнице в весах столбов воды в опускных трубах и пароводяной смеси в обогреваемых трубах.

Отсепарированный во внутрибарабанных сепарационных устройствах пар по системе пароперепускных труб поступает в змеевиковый пароперегреватель, а затем в паросборную камеру и далее потребителю.

Литература

1. Инструкция Е-75-3,9-440 ГМ – 2017: «ИНСТРУКЦИЯ ПО ПУСКУ, ОСТАНОВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛА Е-75-3,9-440 ГМ» – 2017: [Электронный ресурс]. – Электрон., текстовые дан. (244 Кб). – Гродно : Петров В.Е., 2017.

УДК 621.577

Паротурбинная установка ПТ- 60-130/13 Минской ТЭЦ-4.

Лешкевич В.С., Авижа А. В., Зинкевич Д. В., Грищенко А. Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

«Минская ТЭЦ-4» является Филиалом Минского республиканского унитарного предприятия электроэнергетики «Минскэнерго» (Предприятие), относящегося к республиканской собственности, основанного на праве хозяйственного ведения, входящего в состав Государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго», подчиненного Министерству энергетики Республики Беларусь. Филиал расположен вне места нахождения Предприятия, осуществляет часть его функций, в том числе функции представительства.

Установленная электрическая мощность – 1035 МВт.

Установленная тепловая мощность – 1519 Гкал/ч.

Основное оборудование ТЭЦ состоит из двух частей (очередей):

- неблочной части с параметрами 12,7 МПа (130 кгс/см²) и 555 °С;

- блочной части с параметрами 23,5 МПа (240 кгс/см²) и 540/540 °С.

Кроме того, в отдельно стоящем здании установлены две турбодетандерные установки с номинальной электрической мощностью 2,5 МВт каждая.

Неблочная часть построена по типу серийных ТЭЦ-ЗИГМ, оборудование размещено в двухпролетном главном корпусе со встроенной деаэрационной этажеркой. Тепловая схема неблочной части – с поперечными связями. Установлено три турбоагрегата: ПТ-60-130/13 ст. № 1, Т-110/120-130-3 ст.№ 2, Т-110/120-130-4 ст.№ 3 и четыре котла БКЗ-420-140НГМ ст.№ 1,2,3,7.

Основное оборудование блочной части размещено в трехпролетном здании, примыкающем к главному корпусу неблочной части. Установлено три энергоблока 250 МВт с турбоагрегатами Т-250/300-240-3 (ст. № 4, 5), Т-255/305-240-5 (ст. № 6) и котлами ТГМП-344А.

За долгое время своей эксплуатации турбина ПТ60-130/13 прошла 11 капитальных ремонтов, наработав более 338 тыс. часов, устарела морально и физически. Многие элементы турбоагрегата отработали свой парковый ресурс и имели серьезные дефекты, предельно изношены были вспомогательное оборудование, а также генератор.

Паровая турбина типа ПТ-60-130/13 – конденсационная, с двумя регулируемыми отборами пара.

Номинальные значения основных параметров турбины:

- электрическая мощность	60 МВт;
- расход свежего пара	387 т/ч;
- температура свежего пара	555 °С;
- давление свежего пара	12,7 МПа (130кгс/см ²);
- расход пара производственного отбора	140 т/ч;
- давление пара производственного отбора	1,3 МПа (13 кгс/см ²);
- расход пара теплофикационного отбора	100 т/ч;
- давление пара теплофикационного отбора	0,12 МПа (1,2 кгс/см ²);
- давление пара в конденсаторе	4,4 кПа (0,045 кгс/см ²).

Пределы регулирования давления пара теплофикационного отбора 0,07-0,25 МПа (0,7-2,5 кгс/см²). Минимальный пропуск пара в часть низкого давления при закрытой поворотной диафрагме (при давлении пара в камере теплофикационного отбора 0,118 МПа) составляет 20 т/ч.

В состав турбинной установки, наряду с турбиной, входит следующее оборудование:

- турбогенератор ТВФ-63-2 с водородным охлаждением;
- деаэрактор 0,7 МПа (7 кгс/см²) типа ДСП-500М;

- три подогревателя высокого давления: ПВД-5 типа ПВ-350-230-21М, ПВД-6 типа ПВ-350-230-36М, ПВД-7 типа ПВ-350-230-50М;
- эжектор уплотнений типа ПС-50-1, расход пара на эжектор 550 кг/ч (из уравнительной линии деаэраторов 0,7 МПа);
- сальниковый подогреватель типа ПСВ-90-7-15;
- четыре подогревателя низкого давления: ПНД-1 (встроен в конденсатор), ПНД-2 типа ПН-100-16-4-1; ПНД-3,4 типа ПН-130-16-9-1;
- два сливных насоса ПНД-2 марки Кс50-110/4;
- два подогревателя сетевой воды типа ПСВ-500-3-23;
- два конденсатных насоса бойлеров марки КсД125-140;
- конденсатор 60 КЦС-1 - поверхностный, двухходовой и двухпоточный по охлаждающей воде, имеет встроенный пучок для подогрева сырой воды (двухходовой, однопоточный), общая поверхность охлаждения конденсатора - 3000 м², в т.ч. основных пучков - 2345 м², встроенного пучка - 655 м².

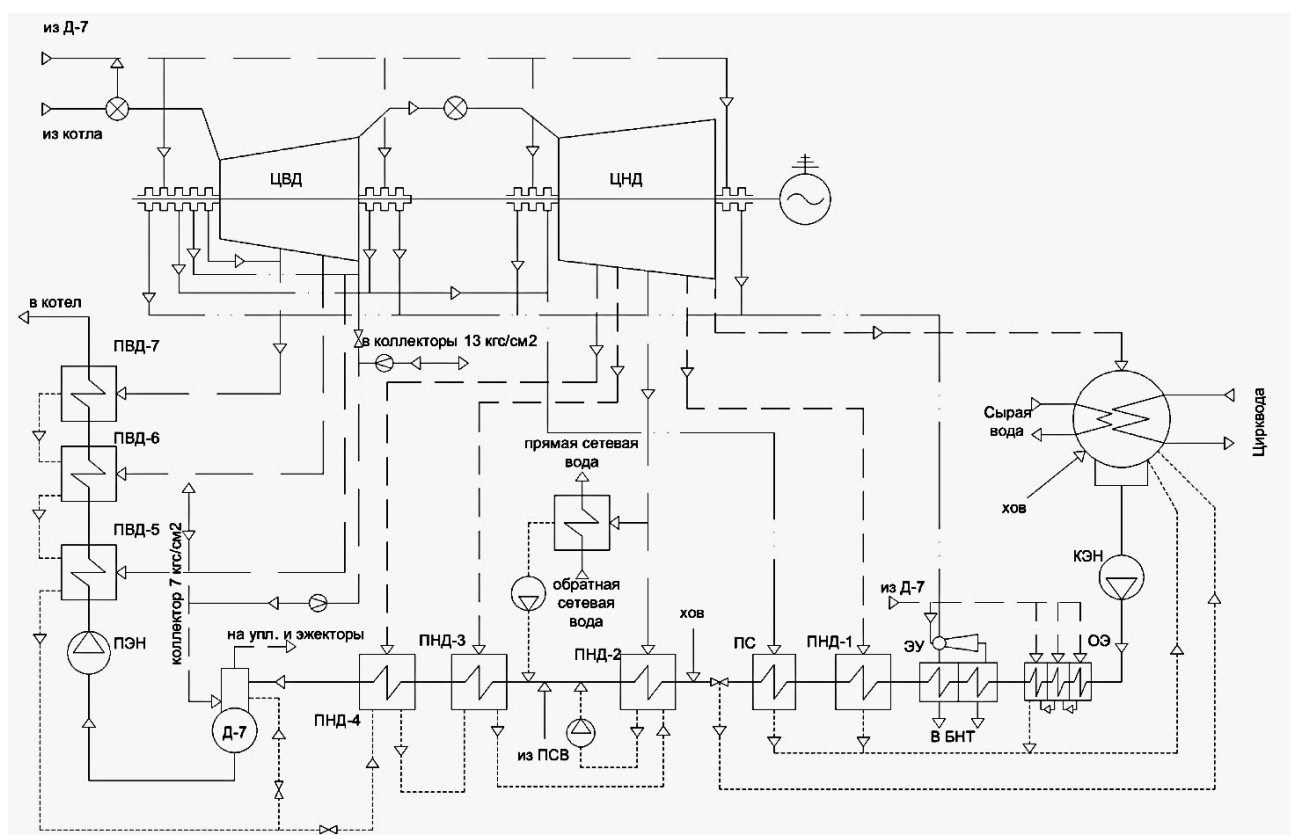


Рисунок 1 – Тепловая схема турбины ПТ–60–130/13

Литература

1. Турбина ПТ-60-130/13 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.tehnoinfra.ru/parovuyeturbiny2/68.html](http://www.tehnoinfra.ru/parovuyeturbiny2/68.html). – Дата доступа: 10.07.2018.
2. Насосы питательные типа ПЭ (ПЭ 150, 380, 580 и другие) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nktechnology-group.ru/nasosy_pitatelnye1. – Дата доступа: 10.07.2018.
3. Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А. Энергосбережение на Минской ТЭЦ 4 как демонстрационной зоне высокой энергоэффективности/Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А. – Минск: БНТУ, – с.67-74.

УДК 620.424.1

Структура Брестской ТЭЦ

Карасёва А.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Теплоэлектроцентраль (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). Такие устойчивые и доступные по затратам системы отличаются высочайшей энергетической эффективностью, минимизируют затраты и обеспечивают надежное электроснабжение независимо от конъюнктуры цен и доступности топлива.

ТЭЦ конструктивно устроена, как конденсационная электростанция (КЭС, ГРЭС). Главное отличие ТЭЦ от КЭС состоит в возможности отобрать часть тепловой энергии пара после того, как он выработает электрическую энергию.

В зависимости от вида паровой турбины, существуют различные отборы пара, которые позволяют забирать из неё пар с разными параметрами. Турбины ТЭЦ позволяют регулировать количество отбираемого пара. Отобранный пар конденсируется в сетевых подогревателях и передаёт свою энергию сетевой воде, которая направляется на пиковые водогрейные котельные и тепловые пункты. На ТЭЦ есть возможность перекрывать тепловые отборы пара, в этом случае ТЭЦ становится обычной КЭС. Это даёт возможность работать ТЭЦ по двум графикам нагрузки:

- тепловому — электрическая нагрузка сильно зависит от тепловой нагрузки (тепловая нагрузка — приоритет)
- электрическому — электрическая нагрузка не зависит от тепловой, либо тепловая нагрузка вовсе отсутствует, например, в летний период (приоритет — электрическая нагрузка).

В 1925 году в Бресте была построена городская дизельная электростанция. Отпуск электроэнергии в энергосистему производится двумя трансформаторами связи 63 МВА 110/6,3 кВ, потребителям – по кабельным и воздушным линиям напряжением 6,3 кВ и 110 кВ. Все потребители тепла в горячей воде, питающегося от коллекторов ТЭЦ, подключены к тепловым сетям.

Для теплоснабжения систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения промышленных предприятий, ЖКХ и соцкультбыта принята горячая вода по графику 150-70оС. Горячее водоснабжение предусматривается по закрытой схеме.

Далее представлена обобщенная схема ТЭЦ.

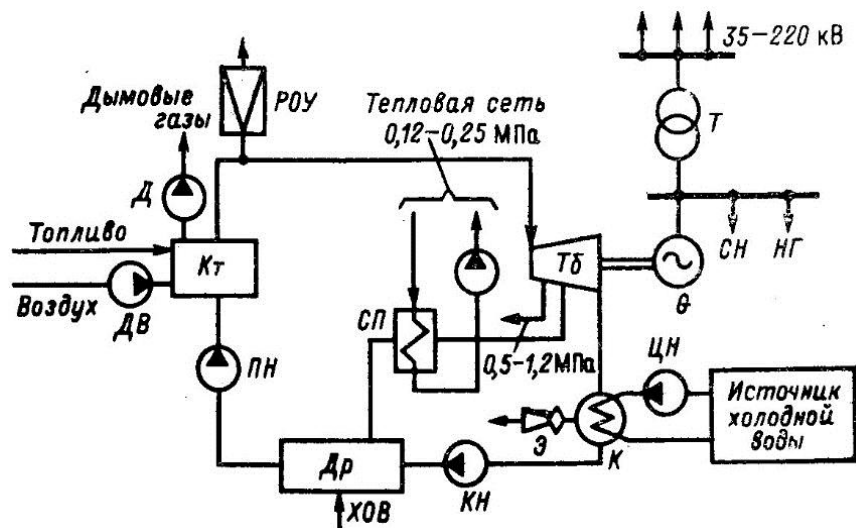


Рисунок 1 – Принципиальная схема ТЭЦ.

Основными элементами ТЭЦ являются: котлоагрегаты, производящие пар высоких параметров; паротурбинные установки, преобразующая теплоту пара в механическую энергию вращения ротора турбоагрегата, и электрические устройства, обеспечивающие выработку электроэнергии.

На ТЭЦ установлено: 3 газомазутных котлоагрегата:
два котла типа ГМ - 50 и один ГМ - 40.

В качестве топлива на ТЭЦ используется мазут и газ.

Выдача электроэнергии потребителям производится через главное распределительное устройство (ГРУ) 6,3 кВ, в энергосистему через открытое распределительное устройство (ОРУ) 110 кВ.

Управление и контроль за работой оборудования производится с главного щита управления (ГЩУ), центральных тепловых щитов № 1 и № 2 (ЦТЩ), теплового щита водогрейной котельной, щитов управления химводоочистки ХВО – 1 и ХВО -2.

В здании водогрейной котельной расположены насосы рециркуляции сетевой воды. Отпуск пара и сетевой воды потребителям производится через отдельностоящую коллекторную. Для защиты потребителей и оборудования ТЭЦ от повышения давления при внезапном останове сетевых насосов установлен гидрозатвор на обратном коллекторе сетевой воды.

Также к вспомогательному оборудованию относят химводоочистку.

Химводоочистка ТЭЦ предназначена для восполнения потерь воды и пара в цикле станции и у потребителей, очистки возвращаемого производственного конденсата, очистки замазученного конденсата из мазутохозяйства ТЭЦ. Исходной водой для приготовления добавочной воды является вода реки Муховец, предварительно подогретая в главном корпусе ТЭЦ до температуры 35оС. Сырая вода насосами сырой воды ВНДВ-60, установленные в котлотурбинном цехе, подается на химводоочистку, проходя последовательно теплообменники производственного конденсата и паровые пароподогреватели сырой воды, установленные в котельном цехе.

Приготовление добавочной воды для котлов производится по схеме двухступенчатого обессоливания: I ступень Н-катионирования, I ступень анионирования, декарбонизация, 2 ступень Н-катионирования и анионирования; амминирование. Для подпитки теплосети вода умягчается по схеме Na-катионирования. Кроме того, Na-катионированная вода для обеих схем коагулируется в осветлителях сернокислым железом и совместно с известкованием проходит предочистку. Для интенсивности процесса коагуляции, в осветлители дозируется раствор полиакриламида. В процессе коагуляции и извешкования снижаются щелочность и жесткость воды, содержание кремниевой кислоты и органических веществ.

Существующие котлы и турбины оснащаются системами технологического контроля, автоматического регулирования, сигнализацией, технологическими защитами, дистанционным управлением запорной и регулирующей арматурой, оперативной связью.

Литература

1. История Брестской ТЭЦ [Текст]. – Брест, 2018. – 100 с.
2. Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. Том 1 под редакцией проф. А.Д.Трухня // Основы современной энергетики. В 2-х томах. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 472 с. — ISBN 978 5 383 00162 2.
3. Э.П.Волков, В.А.Ведяев, В.И.Обрезков. Энергетические установки электростанций / Под ред.Э.П.Волкова. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 280 с.

УДК 664.41

Исследование системы энергоснабжения предприятия ОАО «МОЗЫРЬСОЛЬ»

Иванова О.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н.

Открытое акционерное общество «Мозырьсоль» – крупнейший производитель вакуум-выварочной пищевой соли сорта «Экстра» на территории СНГ и Западной Европы с производственной проектной мощностью — 480 тысяч тонн соли в год. Завод берет начало с 1982 года. Сырьевой базой производства является Мозырское месторождение каменной соли, разведанные запасы которой исчисляются сотнями миллионов тонн. Месторождение, ставшее отправной точкой создания ОАО «Мозырьсоль», представляет собой куполовидное поднятие, состоящее из сложно чередующихся пропластков нерастворимых пород и соли. Глубина залегания соли колеблется от 600 до 1250 метров.

Основным видом деятельности общества является добыча и производство соли пищевой, а также соли для промышленного применения. На основе соли экстра «Полесье» выпускаются и другие виды продукции, ассортиментный перечень которых составляет более 60 позиций.

Кроме того, предприятие имеет котельную (в составе 4-х паровых котлов ГМ-50-14 суммарной установленной мощностью 136 Гкал/ч), вырабатывающую тепловую энергию в виде пара и горячей воды, как для нужд собственного производства, так и для отопления и горячего водоснабжения сторонних потребителей. Установленный водогрейный котел КВГМ-100 по договору с Мозырской ТЭЦ обеспечивает в пиковом режиме теплоснабжение города.

Электроснабжение предприятия осуществляется от сетей филиала Мозырские электрические сети РУП «Гомельэнерго», от двух паротурбогенераторов «Кубань-1,5», установленных на предприятии, и от двух ГПА Caterpillar G3516C. Также предприятие осуществляет отпуск электроэнергии в энергосистему РУП «Гомельэнерго», вырабатываемую собственной блок-станцией.

Газоснабжение промышленных потребителей топлива предприятия производится от ГРП, установленного на территории предприятия. Также на территории котельной имеется собственное мазутное хозяйство.

Добыча соли производится бесшахтным способом – подземным растворением водой соленосной толщи. Процесс добычи соли начинается на расстоянии 3-х километров от основной промышленной площадки на рассолопромысле. Через скважины подается вода, размывающая соль в месте залегания, а насыщенный рассол поднимается на поверхности посредством рассолопроводов подается на основную площадку. После рассол постепенно очищается от механических примесей, солей кальция и магния и подается на выпарку. Для упаривания солевого раствора установлены три выпарные установки, в том числе одна резервная. Выпарная установка оснащена четырьмя выпарными аппаратами с принудительной циркуляцией и выносной греющей камерой поверхностью теплообменника 500 м². После этого солепульпа сгущается, центрифугируется, в результате чего получается соль с остаточной влажностью 3%. Затем вводится антислеживающая добавка (ферроцианид калия) и сушильные установки доводят этот полуфабрикат до конечной кондиции сухой соли экстра «Полесье» с остаточной влажностью около 0,1 %. Сушка соли происходит в барабанных сушилках и комплексной установке кипящего слоя. В качестве сушильного агента применяется горячий воздух с температурой до 300°C. Очистка отработанного воздуха от соляной пыли, выносимой в процессе сушки, предусмотрена в две ступени: сухим и мокрыми способами. Для очистки от более крупных частиц от соляной пыли сухим способом применены циклоны. Для окончательной санитарной очистки воздуха от тонкодисперсных частиц пыли мокрым способом применяется струйный скруббер Вентури. Далее соль отправляется в цех фасовки и затаривания, где все дальнейшие стадии технологии производства соли (введение специальных микродобавок и упаковка) напрямую зависят от складывающейся конъюнктуры рынка и потребительского спроса.

Благодаря высокой степени очистки исходного рассола и специальным приемам ведения технологического процесса производится продукт с содержанием основного вещества натрия хлора не менее 99,7%.

Существующая система контроля качества охватывает весь производственный цикл, включая поставляемое сырье. Предприятие гарантирует высокие стандарты безопасности. ОАО «Мозырьсоль» получил сертификаты ISO 9001:2008, FSSC 22000 и подтвердил соответствие систем менеджмента международным стандартам. Внедрена и сертифицирована ИСО 14000 – система управления окружающей средой, а также система OHSAS 18001.

Производство оснащено высокотехнологичным современным оборудованием. Проводятся плановые мероприятия по модернизации. Для удержания достигнутых позиций, увеличения объемов производства необходимо было увеличение производственных мощностей, в связи с чем внедрен проект «Реконструкция существующих мощностей ОАО «Мозырьсоль» с увеличением производительности до 480 тыс. тонн соли в год», завершение которого осуществлено в 1 квартале 2016 года.

Занимаемая ОАО «Мозырьсоль» доля белорусского рынка составляет 53,0%. Продукция поставляется в 18 стран по всему миру.

Литература

1. Технологический регламент по производству вакуум-выварочной соли и продукции на её основе ТР 10.04.04.14.02 – 2008, Мозырь 2008.
2. Технологический регламент на производство вакуум-выварочной соли и продукции на её основе ТР 10.04.04.14.01-2003. Часть 6. Производство соли поваренной пищевой «Белорусской», Мозырь 2003.

УДК 621.311

Совершенствование учёта электроэнергии

Музыкантова К.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Работа по совершенствованию приборного учета электрической энергии ведется по двум направлениям:

1. Замена индукционных приборов учета электроэнергии на электронные приборы учета;
2. Внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии – АСКУЭ.

Одной из основных задач филиала «Энергосбыт» является обеспечение надежной и точной работы расчетных приборов учета электрической энергии на объектах энергосистемы РУП «Минскэнерго» и у потребителей города Минска и Минской области. Для выполнения этой задачи персоналом филиала проводятся работы по наладке систем учета электроэнергии, замене, опломбировке однофазных и трехфазных счетчиков электрической энергии, установленных у потребителей. По заявлениям потребителей или заявкам представителей энергоснабжающей организации производится снятие приборов учета электрической энергии для проведения экспертной проверки в РУП «Белорусский Государственный Институт Метрологии». Производится проверка параметризации электронных приборов учета, установленных у потребителей, а также корректировка параметризации согласно действующим распорядительным документам.

За 11 месяцев 2017 года произведена плановая Государственная периодическая замена 129 397 электрических счетчиков индукционной системы и 22 305 электрических счетчиков электронной системы, выполнен ремонт и поверка 46 228 электрических счетчиков индукционной системы и 3 508 электрических счетчиков электронной системы.

Одним из важнейших направлений технической политики филиала является внедрение новой технологии сбыта электрической энергии, базирующейся на использовании современных электронных приборов учета, которые обеспечивают более точный учет электроэнергии. Начиная с 2016 года, в филиале ведется работа по выполнению программы модернизации средств учета электрической энергии до 2023 года, целью которой является замена индукционных приборов учета на электронные приборы учета электрической энергии у бытовых потребителей за счет средств энергосистемы.

Всего за 2016 год и 11 месяцев 2017 года по программе модернизации за счет средств энергосистемы у бытовых потребителей установлено 125 791 электронный прибор учета взамен индукционных. Ежегодно увеличивается количество вводимых в эксплуатацию автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии у потребителей (АСКУЭ) как в бытовом, так и в промышленном секторе. По состоянию на 01.12.2017 общее количество объектов АСКУЭ, находящихся в эксплуатации, составляет 6 432 шт., в т.ч. 2 549 бытовых объектов АСКУЭ и 3 883 объекта АСКУЭ промышленного сектора.

Электронный счетчик представляет собой преобразователь аналогового сигнала в частоту следования импульсов, подсчет которых дает количество потребляемой энергии.

Главным преимуществом электронных счётчиков по сравнению с индукционными, является отсутствие вращающихся элементов. Кроме того, они обеспечивают более широкий интервал входных напряжений, позволяют легко организовать многотарифные системы учёта, имеют режим ретроспективы – т.е. позволяют посмотреть количество потреблённой энергии за определённый период – как правило, помесечно; измеряют потребляемую мощность, легко вписываются в конфигурацию систем АСКУЭ и обладают ещё многими дополнительными сервисными функциями.

Разнообразие этих функций заключается в программном обеспечении микроконтроллера, который является неотъемлемым атрибутом современного электронного счётчика электроэнергии.

Конструктивно электросчётчик счетчик состоит из корпуса с клеммной колодкой, измерительного трансформатора тока и печатной платы, на которой установлены все электронные компоненты.

Основными компонентами современного электронного счётчика являются: трансформатор тока, дисплей ЖКИ, источник питания электронной схемы, микроконтроллер, часы реального времени, телеметрический выход, супервизор, органы управления, оптический порт (опционально).

ЖКИ представляет собой многоразрядный буквенно-цифровой индикатор и предназначен для индикации режимов работы, информации о потребленной электроэнергии, отображении даты и текущего времени.

Источник питания служит для получения напряжения питания микроконтроллера и других элементов электронной схемы. Непосредственно с источником связан супервизор. Супервизор формирует сигнал сброса для микроконтроллера при включении и отключении питания, а также следит за изменениями входного напряжения.

Сердцем электронного электросчётчика является микроконтроллер. В электронном счетчике выполнение практически всех функций возложено на микроконтроллер. Он является преобразователем АЦП (преобразует входной сигнал с трансформатора тока в цифровой вид, производит его математическую обработку и выдаёт результат на цифровой дисплей.) Микроконтроллер также принимает команды от органов управления и управляет интерфейсными выходами.

Своевременная замена морально устаревших индукционных счетчиков на современные электронные – это действенная мера по повышению точности учета отпускаемой бытовым потребителям электроэнергии и, как следствие, снижению расхода электроэнергии на ее транспорт.

АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электроэнергии - система технических и программных средств для автоматизированного дистанционного измерения, сбора, передачи, хранения, накопления, обработки, анализа, отображения и документирования результатов потребления электроэнергии в территориально распределенных точках учета, расположенных на объектах энергоснабжающей организации и (или) потребителей.

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.

Литература

1. Белэнерго [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.belenergo.by/content/deyatelnost-obedineniya/sbytovaya-deyatelnost/sovershenstvovanie-ucheta-otpuskaemoy-potrebitelyam-elektricheskoy-energii/> – Дата доступа: 25.09.2018
2. Про электронные счетчики и АСКУЭ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/master/103-pro-yelektronnye-schetchiki-i-askuye-dlya.html> – Дата доступа: 25.09.2018
3. РУП «Минскэнерго» филиал «Энергосбыт» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.energosbyt.by/counters_ul.php – Дата доступа: 25.09.2018

УДК 677.4

Энергоснабжение ОАО «СВЕТЛОГОРСКХИМВОЛКНО»

Самончик К.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Открытое акционерное общество «СветлогорскХимволокно» было основано в 1964 году. Сегодня предприятие является одним из крупных многопрофильных предприятий нефтехимического комплекса Республики Беларусь. В структуру завода входят мощности по выпуску вискозного корда, углеродных и термостойких материалов, полипропиленовой продукции, нетканого материала «СпанБел», оксида цинка, натрия-КМЦ, полиэфирных текстильных нитей. В структуре товарной продукции основную долю (55%) занимают комплексные полиэфирные текстильные нити, выпускаемые заводом полиэфирной текстильной нити.

В состав ОАО «СветлогорскХимволокно» входят:

- завод полиэфирной текстильной нити;
- завод искусственного волокна;
- производство товаров народного потребления;
- заводоуправление;
- вспомогательные подразделения.

Источники электроснабжения предприятия:

- ПС – 110 кВ, находящаяся на балансе Речицких электрических сетей;
- ПС – 110 кВ «Лавсан» (баланс ОАО «СветлогорскХимволокно»), запитанная воздушными линиями $U = 110$ кВ от Светлогорской ТЭЦ и от ПС «Светлогорск» (Светлогорская ТЭЦ). Два силовых трансформатора Т-1, Т-2 мощностью 40 МВА каждый.

Теплоснабжение ОАО «СветлогорскХимволокно».

Светлогорская ТЭЦ отпускает следующие виды теплоносителей:

- отборный водяной пар с параметрами: $P = (9,0 \pm 0,50)$ кгс/см² ($0,90 \pm 0,05$) МПа; $t = (220 \pm 10)$ °С;
- редуцированный водяной пар с параметрами: $P = (9,0 \pm 0,50)$ кгс/см² ($0,90 \pm 0,05$) МПа; $t = (220 \pm 10)$ °С.

Годовой расчетный отпуск тепла составляет 143725 Гкал. Максимальная среднечасовая нагрузка предприятия составляет 86 т/ч водяного пара, в летний период – 56 т/ч.

Топливоснабжение предприятия:

Годовой договорной объем подачи природного газа составляет 51120 м³ (объем определен к стандартным условиям – $P = 0,101325$ МПа, $t = 20$ °С).

Природный газ $P = 0,30$ МПа поступает от городских газопроводных сетей на газораспределительные пункты предприятия (ГРП-1, ГРП-3), где его давление снижается до $P = 0,05$ МПа на ГРП-1 и $P = 0,0003$ МПа на ГРП-3. Затем природный газ подается на цеховые газораспределительные устройства, где его давление снижается до требуемого для подачи на технологические установки.

Воздухоснабжение и холодоснабжение предприятия:

Воздушно-холодильно-компрессорная станция предназначена для обеспечения цехов предприятия сжатым воздухом для технологических нужд, оборотной охлаждающей водой для охлаждения оборудования ВХКС и технологических нужд цехов ЗПТН, а также хладоносителем для кондиционеров прядильного цеха № 3.

Производительность станции по сжатому воздуху составляет 86000 м³/ч, по холоду - 1645 кВт.

Водоснабжение и водоотведение предприятия:

Водоснабжение ОАО «СветлогорскХимволокно» осуществляется от двух источников: подземного и поверхностного.

Подземный источник – артезианская вода, используемая на предприятии для хозяйственно-бытовых нужд сотрудников и на нужды кондиционирования.

Поверхностный источник – береговая насосная станция р.Березина. речная вода используется для технологических и вспомогательных нужд предприятия. Причём часть речной воды поступает на водоумягчительную станцию (ВУС), где из неё приготавливается умягчённая и фильтрованная воды, используемые для технологических нужд.

В процессе производства нитей образуются промышленные сточные воды, содержащие вещества: серную кислоту, сульфаты цинка и натрия, модификаторы, замасливатели и другие загрязнения. Для предохранения водоема (р. Березина) от загрязнения сточными водами на предприятии предусмотрены следующие очистные сооружения: - локальная очистка сточных вод (ЛОС), биологические очистные сооружения (БОС).

Литература

1. ОАО «СветлогорскХимволокно» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://sohim.by> – Дата доступа: 30.08.2018.
2. Газета «Химики» [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://www.sohim.by/rus/press/newspaper/2018.by>. – Дата доступа: 16.07.2018.

УДК 621.3

**Исследование конструкции и работы котла ДКВР-10-13
котельной УП «МИНСККОММУНТЕПЛОСЕТЬ»**

Валендюк И.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Устройство котла ДКВР

Котел ДКВР состоит из двух горизонтально расположенных барабанов: верхнего и нижнего. Нижней барабан укорочен настолько, что не попадает в пределы топки. Это повышает надежность работы котла, так как не требуется защита от излучения факела части барабана обращенного в топку.

В паровом пространстве верхнего барабана расположены сепарационные устройства. В водяном пространстве верхнего барабана находится питательная труба и труба для непрерывной продувки. В нижнем барабане размещается перфорированная труба для периодической продувки и устройство для прогрева барабана при растопке.

Для котлов с производительностью от 6,5 тонн в час и выше верхний и нижний барабаны соединены между собой кипяtilьными трубами, завальцованными в верхний и нижний барабаны. Задние кипяtilьные трубы являются опускными, а передние подъемными. Все вместе они образуют конвективную поверхность нагрева котла или конвективный пучок.

На боковых стенках топки расположены экранные трубы. Они образуют радиационную поверхность нагрева котла. Верхние концы экранных труб завальцовываются в верхнем барабане, а нижние привариваются к коллекторам. Для создания циркуляционного контура коллекторы соединены с верхним барабаном водоопускными трубами и присоединены к нижнему барабану водоперепускными трубами.

Котел ДКВР 10-13 конструктивно отличается от котлов меньшей производительности: у него приподнят нижний барабан под который сделан лаз в топку котла. Котел имеет дополнительные фронтальной и задний экраны.

Циркуляция воды в котле ДКВР

Питательная вода поступает в нижнюю часть верхнего барабана из экономайзера по перфорированной трубе. Из верхнего барабана котловая вода по опускным трубам расположенным на фронте котла поступает в коллекторы, а по задним трубам конвективного пучка готовая вода опускается в нижний барабан. Из нижнего барабана вода по перепускным трубам поступает в коллекторы, пароводяная смесь поднимается в верхний барабан по экранным трубам и передним трубам конвективного пучка. Пар отсепарированный в паровом пространстве барабана направляется в паропровод.

Движение газов в котле ДКВР

Топочная камера по глубине разделена на два объемных блока: топка и камера догорания. С правой стороны задней стенки топочной камеры имеется окно через которое продукты сгорания поступают в камеру догорания и далее в конвективный пучок. В конвективном пучке разворот газа осуществляется в горизонтальной плоскости при помощи шамотной и чугунной перегородок. В перегородке имеется отверстие для прохода трубы стационарного обдувочного аппарата. Обдувка котла производится насыщенным паром или воздухом.

Литература

1. Инструкция ДКВР-10-13 – 2017: «ИНСТРУКЦИЯ ПО ПУСКУ, ОСТАНОВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛА ДКВР-10-13» – 2015: [Электронный ресурс]. – Электрон., текстовые дан. (244 Кб). – Минск: Петров В.Е., 2015.

УДК 331.458

Турбокомпрессоры

Алексеева И.В., Бурмич А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Наряду с поршневыми компрессорами в промышленности используются также высоконапорные центробежные компрессоры или турбокомпрессоры. Центробежные компрессоры, в сравнении с поршневыми аналогами, обычно развивают меньшее давление, но способны обеспечивать большую производительность, что позволяет им занимать свою нишу в промышленном компрессорном оборудовании.

Нагнетание газа в них происходит путем передачи газовому потоку кинетической энергии от вращающихся лопаток рабочего колеса, которая переходит затем в потенциальную энергию давления газа.

Существует много типов и марок турбокомпрессоров. Все они работают по одному принципу и имеют общие элементы конструктивного исполнения. Проточная часть любого турбокомпрессора состоит из входного патрубка центробежных ступеней и выходного патрубка. Центробежная ступень состоит из рабочего колеса и неподвижных элементов безлопаточного и лопаточного диффузоров, обратного направляющего аппарата.

Турбокомпрессоры бывают одно-, двух- и многоцилиндровые. Валы роторов отдельных цилиндров соединяются зубчатыми муфтами. Для увеличения числа оборотов ротора компрессора используют редукторы. Турбокомпрессорные агрегаты с приводом от газовых и паровых турбин выполняют без редукторов.

Турбокомпрессоры обычно применяются в энергетике и металлургии для подачи больших объемов воздуха и топочных газов. В химической промышленности их применяют как для подачи реакционных газов в аппараты, так и для продувки емкостей, трубопроводов и т.д. Нефтяная и газовая промышленности также имеют множество путей использования таких компрессоров: закачка газа в пласт, улавливание попутного нефтяного газа, сжатие и транспортировка газообразных углеводородов, а также выравнивание давления перед подачей в газопровод. Этот вид оборудования часто применяется для сжатия и подачи водяного пара, а также хладагентов в теплообменном оборудовании.

Промышленные турбокомпрессоры обычно представляют собой агрегат, в котором непосредственно компрессор объединен общим или сборным корпусом с охладителями, а также с другими дополнительными элементами, такими как система смазки, фильтрами и т.д. Проходя последовательно все ступени сжатия, на выходе получается газовый поток с необходимым давлением. Все рабочие колеса разных ступеней приводятся в движение от одного приводного вала, с которым через зубчатую передачу соединены валы, на которых расположены сами колеса.

В химической промышленности находят применение вакуумные турбокомпрессоры, предназначенные для отсасывания воздуха и других газов из технологических аппаратов. Основной их особенностью является создание относительно глубокого вакуума всасывании и высокая степень сжатия.

Рост производительности новых технологических установок во многих отраслях химической и нефтехимической промышленности потребовал создания турбокомпрессоров высокого давления и большой производительности. Так, в связи с ростом производства азотных удобрений возникла необходимость в создании крупных агрегатов синтеза и переработки аммиака (1500 т в сутки и более).

Преимущества турбокомпрессоров перед поршневыми компрессорами:

- 1) возможность получения большей производительности;
- 2) значительно меньшие габариты и масса (меньше капитальные затраты);
- 3) отсутствует загрязнение воздуха маслом;
- 4) имеется возможность непосредственного соединения с быстрходным приводом (турбина, электропривод);

- 5) уравновешенность инерционных сил (мал фундамент);
- 6) более простой и дешевый ремонт;
- 7) непрерывная (без пульсаций) подача;
- 8) возможность экономичного регулирования производительности (изменением частоты вращения и др.).

Недостатки ТК по сравнению с ПК:

- 1) более низкий КПД (при подаче $<100 \text{ м}^3/\text{мин}$);
- 2) ограниченная степень повышения давления (8-15);
- 3) неустойчивость режимов при нормальной работе;
- 4) наличие больших проохладителей требует подвального помещения в машинном зале для их размещения (или 2-этажной компоновки).

УДК 621.311

Материалы для солнечных батарей

Иванова Д.С.

Научный руководитель – д.ф.-м. наук ДОБРЕГО К. В.

Человечество стремится перейти на альтернативные источники электрического снабжения, которые помогут сохранить чистоту окружающей среды и сократить затраты на выработку энергии. Производство солнечной батареи является современным промышленным методом. Система электроснабжения включает в себя приемники солнечного света, аккумуляторы, контролирующие устройства, инверторы и другие приборы, предназначенные для определенных функций.

Солнечная батарея является главным элементом, с которого начинается накопление и преобразование энергии лучей. В современном мире для потребителя при выборе панели существует много подводных камней, так как промышленность предлагает большое число изделий, объединенных под одним названием.

Кремниевые солнечные батареи. Эти изделия популярны у современных потребителей. В основу их изготовления положен кремний. Запасы его в недрах широко распространены, добыча сравнительно недорогая. Кремниевые элементы выгодно отличаются уровнем производительности от других батарей солнечного света.

Производство солнечных батарей из кремния ведется следующих типов: монокристаллический, поликристаллический, аморфный.

Различаются вышеназванные формы устройств тем, как компонуются кремниевые атомы в кристалле. Основным отличием элементов становится различный показатель коэффициента полезного действия преобразования световой энергии, который у двух первых видов находится приблизительно на одном уровне и превышает значения у приборов из аморфного кремния.

Промышленность сегодняшнего дня предлагает несколько моделей солнечных ловителей света. Отличие их состоит в том, какое применяется оборудование для производства солнечных батарей. Играет роль технология изготовления и разновидность начального материала.

Монокристаллический тип. Эти элементы состоят из силиконовых ячеек, скрепленных между собой. По способу ученого Чохральского производится абсолютно чистый кремний, из которого изготавливают монокристаллы. Следующим процессом является разрезание застывшего и затвердевшего полуфабриката на пластины толщиной от 250 до 300 мкм. Тонкие слои насыщают металлической сеткой электродов. Несмотря на дороговизну производства, такие элементы применяют достаточно широко из-за высокого показателя преобразования (17-22%).

Изготовление поликристаллических элементов. Технология производства солнечных батарей из поликристаллов состоит в том, что расплавленная кремниевая масса постепенно охлаждается. Производство не требует дорогого оборудования, следовательно, затраты на получение кремния снижены. Поликристаллические солнечные накопители имеют меньший коэффициент эффективности (11-18%), в отличие от монокристаллических. Это объясняется тем, что в процессе остывания масса кремния насыщается мельчайшими зернистыми пузырьками, что приводит к дополнительному преломлению лучей.

Элементы из аморфного кремния. Изделия относят к особому типу, так как их принадлежность к кремниевому виду исходит от наименования используемого материала, а производство солнечных батарей выполняется по технологии пленочных приборов. Кристалл в процессе изготовления уступает место кремниевому водороду или силону, тонкий слой которых покрывает подложку. Батареи имеют самое низкое значение эффективности, всего до 6%. Элементы, несмотря на существенный недостаток, имеют ряд неоспоримых преимуществ, дающих им право стоять в ряду с вышеназванными типами:

- значение поглощения оптики выше в два десятка раз, чем у монокристаллических и поликристаллических накопителей;
- имеет минимальную толщину слоя, всего 1 мкм;
- пасмурная погода не влияет на работу по преобразованию света, в отличие от других видов;
- из-за высокого показателя прочности на изгиб без проблем применяется в трудных местах.

Три вышеописанных вида солнечных преобразователей дополняются гибридными изделиями из материалов с двойственными свойствами. Такие характеристики достигаются, если в аморфный кремний включаются микроэлементы или наночастицы. Полученный материал схож с поликристаллическим кремнием, но выгодно отличается от него новыми техническими показателями.

Сырье для производства солнечных батарей пленочного типа из CdTe. Выбор материала диктуется потребностью в уменьшении стоимости изготовления и повышении технических характеристик в работе. Наиболее часто применяется светопоглощающий теллурид кадмия.

В 70-е годы прошлого столетия CdTe считался основным претендентом на космическое использование, в современной промышленности он нашел широкое применение в энергетике солнечного света. Этот материал относят к категории кумулятивных ядов, поэтому не стихают прения по вопросу его вредности. Исследования ученых установили тот факт, что уровень вредного вещества, поступающего в атмосферу, является допустимым и не наносит вреда экологии. Уровень КПД составляет всего 11%, но стоимость преобразуемой электроэнергии от таких элементов ниже на 20-30%, чем от приборов кремниевого вида.

Накопители лучей из селена, меди и индия. Полупроводниками в приборе служат медь, селен и индий, иногда допускается замещение последнего на галлий. Это объясняется высокой востребованностью индия для производства мониторов плоского типа. Поэтому выбран этот вариант замещения, так как материалы имеют похожие свойства. Но для показателя КПД замена играет существенную роль, производство солнечной батареи без галлия повышает эффективность работы устройства на 14%.

Солнечные ловители на полимерной основе. Эти элементы относят к молодым технологиям, так как они недавно появились на рынке. Полупроводники из органики поглощают свет для преобразования его в электрическую энергию. Для производства применяют фуллерены углеродной группы, полифенилен, меди фталоцианин и др. В результате получают тонкие (100 нм) и гибкие пленки, которые в работе выдают коэффициент эффективности 5-7%.

Величина небольшая, но производство гибких солнечных батарей имеет несколько положительных моментов:

- для изготовления не затрачиваются большие средства;
- возможность установки гибких батарей в местах изгибов, где эластичность имеет первоочередное значение;
- сравнительная легкость и доступность установки;
- гибкие батареи не оказывают вредного воздействия на окружающую среду.

Химическое травление в процессе производства. Самой дорогой в солнечной батарее является мульткристаллическая или монокристаллическая пластина из кремния. Для максимально рационального использования кремния режут псевдоквадратные фигуры, эта же форма позволяет плотно уложить пластины в будущем модуле. После процесса резки на поверхности остаются микроскопические слои нарушенной поверхности, которые убираются при помощи травления и текстурирования, чтобы улучшить прием падающих лучей. Обработанная подобным способом поверхность представляет собой хаотично расположенные микропирамиды, отражаясь от грани которых, свет попадает на боковые поверхности других выступов. Процедура рыхления текстуры понижает отражающую способность материала приблизительно на 25%. В процессе травления применяют серию кислотных и щелочных

обработок, но недопустимо сильно уменьшать толщину слоя, так как пластина не выдерживает следующие обработки.

Полупроводники в солнечных батареях. Технология производства солнечных батарей предполагает, что основным понятием твердой электроники является р-n-переход. Если в одной пластине совместить электронную проводимость n-типа и дырочную проводимость р-типа, то в месте соприкосновения их возникает р-n-переход. Основным физическим свойством указанного определения становится возможность служить барьером и пропускать электричество в одном направлении. Именно такой эффект позволяет наладить полноценную работу солнечных элементов.

В результате проведения фосфорной диффузии на торцах пластины складывается слой n-типа, который базируется у поверхности элемента на глубине всего 0,5 мкм. Производство солнечной батареи предусматривает неглубокое проникновение носителей противоположных знаков, которые возникают под действием света. Их путь в зону влияния р-n-перехода должен быть коротким, иначе они могут при встрече погасить один другого, при этом не сгенерировав никакого количества электричества.

При желании обеспечить работу промышленного здания или жилого помещения за счет энергии солнца необходимо предварительно разобраться в отличиях оборудования, ведь для различных климатических зон используются разные типы солнечных панелей.

Литература

1. Харченко Н.В. «Индивидуальные солнечные установки» / Москва: Энергоатомиздат, 1991 г. — 208 с.;
2. Глиberman А.Я, Зайцева А.К. «Кремниевые солнечные батареи» / Москва-Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1961 г.
3. Н.Герасименко, Ю. Пархоменко. «Кремний – материал наноэлектронники» / Москва: Техносфера, 2007. - 351 с.

УДК 621.1

Основные решения по реконструкции ТЭЦ Надёждинского металлургического завода

Бурмич А. Д.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

На данный момент, на территории предприятия имеется ЦЭС, которая будет выведена из эксплуатации по завершению строительства новой ТЭЦ. Проектирование новой ТЭЦ в замену старой ЦЭС должно помочь предприятию достичь следующих целей: обеспечение полного использования избытков доменного газа; полное обеспечение текущих и прогнозируемых потребностей завода в тепловой энергии при отказе от теплоснабжения г. Серова; экономически целесообразное удовлетворение текущих и прогнозируемых потребностей завода в электроэнергии за счет собственной выработки; обеспечение резервной мощности не менее 12 МВт; предупреждение возможного выхода из строя паровых турбин ЦЭС в связи с их износом и возникновения экономических потерь от недовыработки собственной электроэнергии. Данный вариант новой ТЭЦ рассмотрен для условия отказа от теплоснабжения сторонних потребителей. При этом потребности в паре снижаются вдвое от существующих, тепловая мощность вновь устанавливаемого оборудования также уменьшается в два раза. Также стоит отметить, что ХВО новой ТЭЦ построена на той же ионообменной технологии, что и существующая ХВО ЦЭС, но при этом проектируемая ХВО по производительности в 1,5 раза меньше, то количество стоков ХВО в сбросах из производственной канализации предприятия в водные источники уменьшается и остается в пределах ПДК.

Согласно техническому заданию, ТЭЦ должна соответствовать следующим параметрами: Установленная электрическая мощность – 24,9 МВт (6,3 кВ, 50 Гц), тепловая мощность – 100,6 Гкал/ч из них пар технологическим потребителям предприятия (13 ата, 240°C), питательная вода для установки испарительного охлаждения (25 ата, 105°C), пар в пароводяные подогреватели бойлерной №1 (2,2 ата, 170°C), подпиточная вода в бойлерную №1 (1,5 ата, 40°C), обратная сетевая вода в бойлерную №1 (5,5 ата, 85°C).

В ходе проектной деятельности была предложена и утверждена заказчиком следующая работа ТЭЦ, которая разделена на 3 основных помещения (машинный зал, котлотурбинный зал и помещения административно-бытового комплекса):

Машинный зал: ГПУ работает по следующей схеме: сжигание топлива (природного газа) осуществляется в цилиндрах четырех двигателей внутреннего сгорания. Топливный газ смешивается с потоком воздуха в камере смешения и подается в турбокомпрессор. После сжатия в турбокомпрессоре рабочая смесь охлаждается в теплообменнике специальной конструкции и направляется в два распределительных коллектора, по одному на каждый ряд цилиндров. В цилиндрах происходит дополнительное сжатие и воспламенение рабочей смеси с последующим расширением продуктов сгорания. Энергия детонации рабочей смеси передается на коленчатый вал при помощи кривошипно-шатунного механизма. Мощность, полученная на валу двигателя, используется для привода электрогенератора, который вырабатывает электроэнергию. За каждым ГПУ для утилизации теплоты дымовых газов, которые имеют температуру около 384 °С, в проекте предусмотрена теплоутилизационная установка, состоящая из парового котла-утилизатора (один на две ГПУ) для выработки пара 13 ата и газо-водяного теплообменника (ГВТО) для догрева воды внутреннего контура ТЭЦ. Производительность теплоутилизационной установки рассчитана на полную утилизацию теплоты дымовых газов от ГПУ. Охлажденные дымовые газы после ГВТО с температурой 120 °С выбрасываются в атмосферу через индивидуальные дымовые трубы. В летнее время, ГВТО выводится из работы. Тогда ГПУ работают с отводом дымовых газов через байпас ГВТО в дымовые трубы. Охлаждение двигателя осуществляется за счет градирен охлаждения рабочей смеси и экстренного охлаждения.

Котлотурбинный зал: Паросиловая установка (ПСУ) работает по следующей схеме – в паровых котлах, работающих на доменном, природном газу и их смеси, вырабатывается

перегретый пар давлением 40 ата и температурой 440 °С, который направляется в паровую конденсационную паровую турбину отбором 2,2 ата. В турбине происходит выработка электрической энергии. Пар из отбора турбины с температурой порядка 170 °С направляется в пароводяные подогреватели существующей бойлерной №1, где используется для подогрева сетевой воды, отпускаемой в тепловые сети предприятия по температурному графику 130/70 °С. Для обеспечения перегрева пара 13 ата, вырабатываемого в котлах-утилизаторах за ГПУ, на ПСУ ТЭЦ предусматривается редуцирующая установка РУ-40/13. Обеспечение резервирования по пару 13 ата, на случай остановки ГПУ, предусматривается за счет редуцирующей-охлаждающей установки РОУ-40/13. Обеспечение резервирования по пару 2,2 ата, на случай остановки паровой турбины, предусматривается за счет редуцирующей-охлаждающей установки РОУ-40/2,2. В летнее время для обеспечения покрытия тепловых нагрузок предприятия в части ПСУ ТЭЦ достаточно работы одного парового котла.

Далее, в результате технических и экономических расчётов, был осуществлён подбор следующего основного и вспомогательного оборудования:

Основное оборудование: 4 когенерационных установки ед. электрической мощностью 4,5 МВт на базе газопоршневых агрегатов TCG2032B V16 фирмы «MWMGmbH» (Германия). Единичная номинальная тепловая производительность каждой когенерационной газопоршневой установки (ГПУ) по пару 13 ата составляет 2,3 т / ч, по воде – 2,9 Гкал / ч; 3 паровых БЭМ-35/4,0-440ДГ котла ед. паропроизводительностью 35 т / ч для производства пара давлением 40 ата, температурой 440 °С, КПД брутто при номинальной нагрузке – 94,5 %, производства «Белэнергомаш - БЗЭМ» (г. Белгород); 1 конденсационная паровая турбина С7-4/0,22 с отбором (2,2 ата, 170 °С) установленной электрической мощностью 6,9 МВт, производства «QNP» (Китай).

Вспомогательное оборудование: Питательные насосы парового котла Grundfos CR 10-20 A-FJ-A-E-HQQE представляет собой вертикальный многоступенчатый центробежный насос с всасывающим и нагнетательным патрубками, расположенными на одном уровне (т. н. "ин-лайн"). Насос имеет следующие характеристики: диапазон температур от -20 до 120 °С, общий гидростатический напор насоса 202,5 м, расход воды с $t = 105$ °С составляет 6,03 м³ / ч, оснащён двигателем с мощностью 7,5 кВт и частотой вращения 2919 об /мин. В качестве ПХОВ (подогревателя хим. очищенной воды) и ПОК (подогревателя основного конденсата) был выбран пластинчатый ТА Ридан НН-41-16 с 83 и 41 пластинами соответственно. ТО имеют следующие характеристики (ПХОВ/ПОК): массовый расход горячего теплоносителя 101/47 т / ч, массовый расход холодного теплоносителя 32/26 т / ч, температура горячего теплоносителя на входе 91/91 °С, температура холодного теплоносителя на входе 17/46 °С, температура горячего теплоносителя на выходе 70/70 °С, температура холодного теплоносителя на выходе 85/85 °С.

Также, для наглядности, были оценены предполагаемые технико-экономические показатели проектируемой ТЭЦ и сопоставлены с известными показателями существующей ЦЭС.

Основные ТЭП (ЦЭС/ТЭЦ): Установленная электрическая мощность: 9,8/24,9 МВт, отпуск электроэнергии: 86/176 млн. кВтч / год, расход ЭЭ на собственные нужды 12/11 кВтч / год, выработка ТЭ в виде пара 220/227 тыс. Гкал / год, выработка ТЭ в виде воды 101/111 тыс. Гкал / год, суммарный КПД выработки ЭЭ 18/30 %, суммарный КПД выработки ТЭ 30/37 %, потребление доменного газа паровыми котлами 169/190 млн. нм³ / год, удельный расход топлива на выработку ЭЭ при $b_{тэ} = 170$ кг.у.т / Гкал 320/229 г.у.т / (кВт * ч).

В заключении отметим, что строительство новой ТЭЦ благоприятно скажется на показателях работы предприятия.

УДК 621.3

Энергосбережение в энергетике и теплотехнологиях

Боровой А. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Энергосбережение – это реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Актуальность энергосбережения обусловлена следующими основными причинами:

- необходимостью обеспечения устойчивых темпов развития экономики и конкурентоспособности отечественных товаров;
- потребностью обеспечения населения страны её хозяйственного комплекса необходимыми топливно-энергетическими ресурсами;
- важностью сохранения топливно-энергетических ресурсов для будущих поколений;
- необходимостью обеспечения экологической безопасности;
- большими затратами на обеспечение жизнедеятельности;
- усложнением условий добычи и транспортировки ТЭР;
- высокими затратами на ввод в действие новых энергетических объектов.

Энергосбережение следует рассматривать в двух аспектах. Первый аспект состоит в структурной перестройке экономики стран в пользу малоэнергоёмких обрабатывающих отраслей, наукоёмких производств и сферы услуг. Второй аспект включает в себя реализацию потенциала организационного и технологического энергосбережения, т.е. внедрение передовых технологий, техническое перевооружение существующих производств, внедрение энергосберегающих мероприятий, позволяющих существенно снизить затраты энергии на выпуск единицы продукции.

Экономия энергии неразрывно связана со сбережением ресурсов. Важнейшим ресурсом, который необходимо экономить, является пресная вода, потребляемая в огромных количествах. Экономия ресурсов во всех отраслях хозяйственной деятельности влечёт за собой существенную экономию первичного топлива.

Среди экономических мер, стимулирующих рациональное использование энергии, следует выделить обоснованное регулирование внутренних цен на энергоносители, создание дополнительных хозяйственных стимулов энергосбережения, превращающих его эффективную сферу бизнеса.

В число мер также входит широкая популяризация государством эффективного использования энергии среди населения, массовое обучение персонала, пропаганда идей энергосбережения в средствах массовой информации.

Проведение энергосберегающих мероприятий должно сопровождаться их всесторонним анализом, который не должен ограничиваться технико-экономической оценкой эффективности этих мероприятий для одного конкретного потребителя энергии. Таким образом, вопросы энергосбережения необходимо рассматривать в комплексе, т.е. при их решении необходим системный подход.

Литература

1. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О. Л. Данилов, А. Б. Гаряев, И. В. Яковлев и др.; под ред. А. В. Клименко. – Л.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 424 с.: ил.
2. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов / Б. В. Сазанов, В. И. Ситас; под ред. Н. М. Пеунова. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.: ил.
3. Техническая термодинамика: учебник. В 2 частях. Часть 2./ Б. М. Хрусталёв, А. П. Несенчук, В. Н. Романюк. – Мн.: УП “Технопринт”, 2004. – 506 с.

УДК 621.3.022.

Ветроэнергетика в Республике Беларусь

Борбовский В.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Беларусь располагает одним из лучших ресурсов в Европе для развития ветроэнергетики. **Потенциал высок, однако для развития ветроэнергетики в стране пока не созданы условия. Таков основной тезис отчета о снижении рисков инвестирования в возобновляемые источники энергии.** Развитие ветроэнергетики в Беларуси — это прежде всего вопросы энергобезопасности и диверсификации источников энергии. Ветроэнергетика выходит на новый уровень в нашей стране: вместо отдельных ветроустановок, бывших в употреблении, возводятся ветропарки с новым, современным оборудованием. В этой ситуации важен диалог государства и инвесторов в достижении оптимальных условий работы в данной сфере для всех заинтересованных.



Рисунок 1 – Ветряная электростанция (ВЭС) в Грабниках

В Беларуси установлены различные возобновляемые источники энергии общей электрической мощностью 260 МВт. Ветроустановки вырабатывают 75,8 МВт электроэнергии. Согласно прогнозам, к 2020 году энергетическая мощность установок ВИЭ в Беларуси составит 1001 МВт, в том числе ветроустановок — 289 МВт. К 2030-му мощность последних достигнет предположительно 500 МВт.

Стоимость установки ветряка значительно уменьшится, если будут снижены риски инвестора. Основными из них аналитики считают непрозрачность процедуры предоставления квот на установку ВИЭ и отсутствие фиксированного тарифа на электроэнергию, вырабатываемую ветроустановками, реестра доступных земельных участков для установки ветряков, унифицированных разрешений на их установку, четкой финансовой политики, способствующей инвестициям в «зеленую» энергетику. Если все необходимые решения будут приняты на законодательном уровне, то частные инвестиции в ветроэнергетику активизируются, обещают разработчики проекта. Реализация рекомендованных ими мер позволит снизить нормированную стоимость энергии ветра с 12,6 до 9,3 цента/кВт·ч, что

почти соответствует затратам на выработку электроэнергии на газовых электростанциях (9,1 цента/кВт·ч).



Рисунок 2 – Ветряные электростанции (ВЭС) под Новогрудком

К примеру, ветровые мельницы высотой 80 метров вращаются на Новогрудчине всюду. Один такой ветряк может обеспечить электроэнергией на целый год около 3 тыс. домашних хозяйств. Суммарная мощность установок, которые вырабатывают энергию с помощью ветра, около 15,5 МВт. В Беларуси 79 ветряков, и только 6 из них принадлежат государству, остальные – частникам.

В государственном ветропарке стоят новые генераторы китайского производства. На строительство ветропарка «Гродноэнерго» потратило около \$ 13 млн, планируется, что эти деньги вернутся примерно через 11 лет. Далее – работа на прибыль, а для государства фактически – бесплатное электричество, которое потом будут продавать пользователям. Общий срок работы ветрогенераторов – 25 лет.

Впервые День ветра отмечался в Европе в 2007 году. Уже в 2009-м он приобрёл статус всемирного, к празднованию присоединились более 30 стран. 15 июня во многих странах мира устраивают экскурсии на ветровые станции и встречи с экспертами, проходят лекции и семинары на тему «Ветер — альтернативный источник энергии».

Среди основных препятствий для устойчивого развития отрасли в Беларуси выделяют фрагментированную систему квот и непостоянные тарифы на ветровую энергию, ограничение финансирования и отсутствие инвестиционного опыта в сфере ветроэнергетики. Немецкое аэрокосмическое агентство разработает для Беларуси сценарий энергетической революции. Авторы исследования предлагают ряд мер, реализация которых позволит создать значительную финансовую экономию при достижении инвестиционной цели внедрения в Беларуси к 2030 году 500 МВт дополнительных мощностей в ветроэнергетику. К этим мерам относятся привлечение частного финансирования, прозрачное планирование энергетического сектора, разработка долгосрочной национальной стратегии по развитию ветроэнергетики. Предложенные меры позволят снизить нормированную стоимость энергии ветра от 12,6 USD/центов за кВт*ч до 9,3 USD/центов за кВт*ч, что почти соответствует затратам на производство электроэнергии с использованием газовых электростанций (9,1 USD/центов за кВт*ч).

Стоимость строительства современной ветряной электростанции велика. Однако, следует отметить, что ничтожна стоимость ее эксплуатации. Экологические и экономические выгоды зависят от правильного расположения. Требуется это детального и всестороннего анализа как технических аспектов, так и экологических, а также финансовых. Ветряная энергетика соответствует всем условиям, необходимым для причисления ее к экологически чистым методам производства энергии. Ее основными преимуществами являются:

1) Отсутствие загрязнения окружающей среды – производство энергии из ветра не приводит к выбросам вредных веществ в атмосферу или образованию отходов.

2) Использование возобновляемого неисчерпаемого источника энергии, экономия на топливе, на процессе его добычи и транспортировке.

3) Территория в непосредственной близости может быть полностью использована для сельскохозяйственных целей.

4) Стабильные расходы на единицу полученной энергии, а также рост экономической конкурентоспособности по сравнению с традиционными источниками энергии.

5) Минимальные потери при передаче энергии

6) Простое обслуживание, быстрая установка, низкие затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию.

Литература

1. <http://www.belmarket.by/belarus-raspolagaet-odnim-iz-luchshih-resursov-v-evrope-dlya-razvitiya-vetroenergetiki>
2. <http://belsat.eu/ru/news/tsi-mozhna-u-belarusi-zarabits-na-vetry-yak-pratsuyuts-ve-traki-na-navagrudchyne/>
3. <http://greenbelarus.info/articles/15-06-2017/3-milliarda-dollarov-na-veter-kak-dela-s-vetroenergetikoy-v-belarusi>
4. <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/581-plyusy-minusy-vetroenergetiki.html>

УДК 697.432

Экзотермический генератор для приготовления контролируемых атмосфер

Музыкантова К.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЯРМОЛЬЧИК Ю.П.

Экзотермический газ или экзогаз используется для термической обработки металлов как защитный газ. Это наиболее дешевый доступный защитный экранирующий газ, который может вырабатываться в экзотермическом газовом генераторе сжиганием природного газа, состоящего, в основном, из метана или других гидроуглеродов с некоторым недостатком кислорода. Этот процесс осуществляется в условиях тепловой эмиссии и поэтому является экзотермическим.

В основном вырабатываются диоксид углерода и водород. В зависимости от коэффициента смешения газов и условий реакции, монооксид углерода также образуется при неполном сгорании некоторого количества метана, также как и воды, выработанной частичным окислением водорода. Содержание влажности может быть снижено вторичной обработкой эндотермического газа. Небольшое количество несожженных углеводородов также используется. Поступающий из воздуха азот, используемый для горения метана, имеется, естественно, в больших количествах и его содержание может быть еще увеличено, чтобы снизить процентное содержание водорода.

Водород – это восстановитель, он предотвращает окисление или коррозию металлических поверхностей в печи. Необходимо, однако, принять во внимание, что диоксид углерода, как и водород, снижает содержание углерода в стали. Диоксид углерода реагирует с углеродом при образовании монооксида углерода и вода может реагировать с углеродом при высокой температуре при образовании монооксида углерода и водорода. Экзотермическая атмосфера используется в операциях отжига малоуглеродистых сталей, меди, бронзы медноникелевых сплавов; нормализации, спекания и пайки в печах малоуглеродистых сталей; продувки термических печей и аппаратов.

Экзотермический генератор предназначен для приготовления экзотермической контролируемой атмосферы путем сжигания углеводородного сырья с коэффициентом расхода воздуха $\alpha=0,65-0,98$ и последующей переработке продуктов горения.

Получение экзотермического газа основано на неполном сжигании углеводородных газов в смеси с газом. Изменяя расход воздуха при сжигании, можно варьировать составом газовой атмосферы в достаточно широких пределах по содержанию в ней CO_2 , CO , N_2 . Блочный принцип конструкции экзотермического генератора и современные методы очистки газов позволяют значительно расширить область применения газовых сред и номенклатуру обрабатываемых материалов.

Условия эксплуатации оборудования безопасны, так как получаемые газовые среды малотоксичны и невзрывоопасны. Новые конструктивные решения экзогенераторов обеспечивают повышение их производительности и качества газовых сред в результате рециркуляции продуктов сгорания, рационального размещения адсорбентов, новых способов продувки и вакуумирования при регенерации.

Генератор содержит футерованный кожух 1, в стенке которого закреплен патрубок 2 подвода газозоудной смеси и газогорелочного устройства 3. В полости генератора закрепляется ёмкость 4 с сетчатым дном. Ёмкость заполнена катализатором. В верхней части ёмкости расположен выходной конец 5 патрубка 6 подвода углеводородного газа. Кожух снабжен патрубком 7 для выхода бедного эндогаза и патрубком 8 для выхода контролируемой атмосферы (Рисунок 1).

Генератор работает следующим образом. Газозоудная смесь по патрубку 2 поступает в газогорелочное устройство 3, размещенное в футеровке кожуха 1, и сгорает. Образовавшиеся продукты сгорания поступают сверху в слой катализатора, размещенного в ёмкости 4. Углеводородный газ через выходной конец 5 патрубка 6 поступает сверху в слой катализатора одновременно с продуктами сгорания. Величина добавки углеводородного газа зависит от

требуемого состава готовой атмосферы. В слое катализатора осуществляется конверсия углеводородного газа продуктами сгорания. Выходя из слоя катализатора, продукты конверсии охлаждаются в водяном охладителе 9 и, выходя из патрубка 10, представляют собой готовую контролируемую атмосферу.

Генератор позволяет получить контролируемую атмосферу любых составов в пределах изменения коэффициента расхода воздуха от 0,25 до 1,00 в одном аппарате. При коэффициентах расхода воздуха α от 0,4 до 1,0 процесс получения атмосферы осуществляется автотермично, т.е. тепла продуктов сгорания хватает для обогрева катализатора, обеспечивающего нормальное протекание реакции конверсии метана или пропан-бутана, продуктами сгорания углеводородного газа. При коэффициентах расхода воздуха α от 0,25 до 0,4 сжигается избыточное количество газовой смеси, превышающее количество, необходимое для получения контролируемой атмосферы. Поэтому часть продуктов сгорания выводится из аппарата, минуя катализатор, по патрубку 7 в водяной охладитель 11, выходя из которого, представляет собой готовую контролируемую атмосферу – бедный экзогаз, причем количество отводимых продуктов сгорания изменяется от 0 (при $\alpha=0,4$) до 50% при ($\alpha=0,25$).

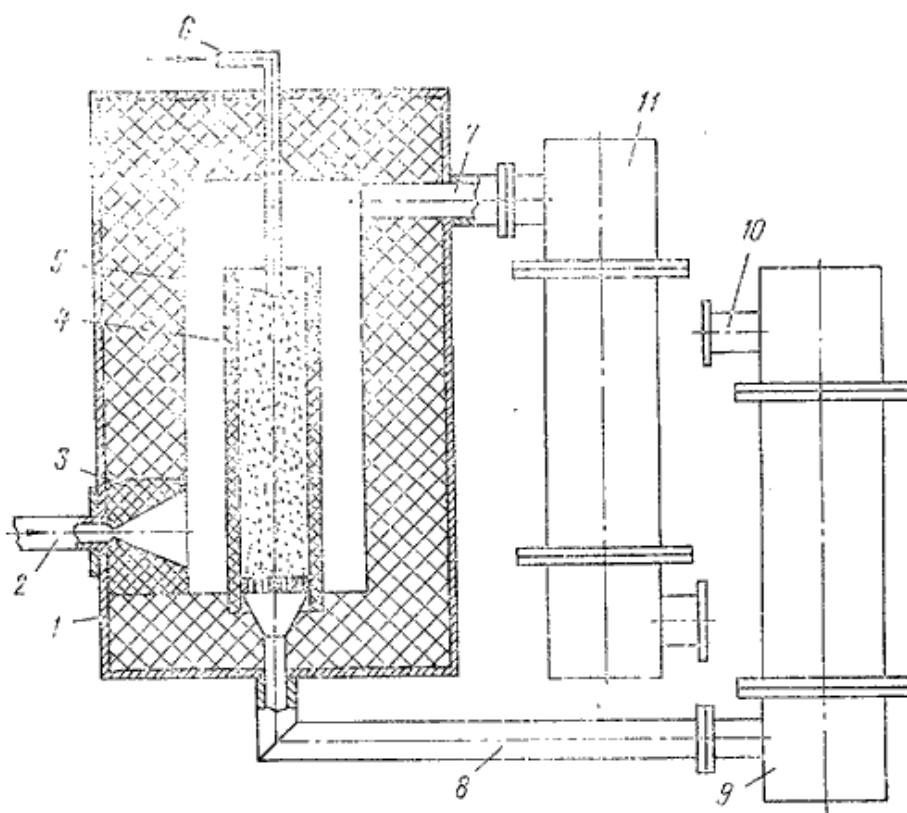


Рисунок 1 – Экзотермический генератор

Литература

3. Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий / В.Г. Лисиенко, Н.М. Беляев, А.П. Несенчук и др. – Мн.: Выш. шк. , 1989, - 279 с.
4. Генератор контролируемых атмосфер [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://patents.su/2-578096-generator-kontroliruemyykh-atmosfer.html> – Дата доступа: 06.06.2018

УДК 62-611

Топливоснабжение минской ТЭЦ-2

Захарченко В.Ю., Иванова Д.С., Лисовский С.А., Добренко Г., Нахай Е.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Основным топливом для Минской ТЭЦ-2 служит природный газ, резервным — мазут.

Мазутное хозяйство размещается на расстоянии 600 м от административного здания ТЭЦ-2, на ее территории. Для хранения мазута используются две емкости общим объемом $5 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ каждая. Доставка топлива осуществляется по железной дороге в баках объемом 60-80 м^3 . Для слива мазута используются эстакады слива мазута и мазутные насосы. Слив топлива осуществляется по 16 баков одновременно. Подача жидкого топлива к водогрейным и паровым котлам осуществляется с помощью насосов с силой $25 \cdot 10^5 \text{ кгс/м}^2$. На котлах устанавливаются мазутные горелки с механическим распылением. Подача пара на топливное хозяйство осуществляется из отбора под давлением 0,686 МПа.

Снабжение ТЭЦ-2 газом производится с помощью двух газорегулировочных пунктов (ГРП), один из которых снабжает газом только паровые энергетические котлы, второй - водогрейные. Все производственное оборудование ГРП-1, ГРП-2 состоит из нижеприведенных главных узлов:

1. расходомеров;
2. регулирующих устройств;
3. устройств, для фильтрации газа от механических примесей;
4. отключающих устройств;
5. предохранительных устройств.

Общие параметры ГРП-1:

- давление газа перед ГРП – 300 кПа;
- давление газа за ГРП – 60 кПа;
- максимальная эффективность – $1,92 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{мин}$;
- минимальная эффективность – $0,05 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{мин}$.

Питание газом ГРП-1 производится с помощью двух газопроводов, один – газопровод номинального давления диаметром 0,4 м, второй – газопровод малого расхода диаметром 0,150 м. Питание газом энергетических котлов осуществляется с помощью коллектора, который расположен по длине фронта котлов на внешней стене здания. Регулирование энергетическими котлами и ГРП-1 производится с помощью пультов управления и щитов, которые находятся в здании котельного цеха ТЭЦ-2. На каждой из линии понижения давления для фильтрации газа от механических примесей на ГРП-1 установлено по одному сетчатому фильтру диаметром 0,2 м.

Общие параметры ГРП-2

- давление газа перед ГРП – 300 кПа;
- давление газа за ГРП - 60 кПа;
- максимальная эффективность – $0,83 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{мин}$;
- минимальная эффективность – $0,83 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{мин}$.

Питание газом ГРП-2 производится газопроводом диаметром 0,5 м. Для подвода газа от ГРП-2 к котельной используется также газопровод диаметром 0,5 м. В хвостовой зоне пиковой котельной расположено производственное оборудование ГРП-2. В здании ГРП-2 находятся линии понижения давления газа с поворотными регулирующими заслонками. Электрические приводы поворотных регулируемых заслонок расположены за ГРП-2 в здании котельной. На ГРП-2 на каждой линии понижения давления для фильтрации газа от механических примесей установлено по одному волосяному фильтру диаметром 0,2 м.

УДК 621.181

Структура и основные направления деятельности КЖУП «Светочь»

Северин В.Ф.

Научный руководитель – к.т.н., доцент САПУН Н.Н

Коммунальное жилищное унитарное предприятие «Светочь» является многоотраслевым предприятием, относящимся к коммунальной собственности Светлогорского районного Совета депутатов.

Основной целью деятельности предприятия является обеспечение населения и прочих потребителей всем комплексом жилищно-коммунальных услуг в необходимых объёмах и соответствующего качества.

Предприятие включает в себя:

- цех водопроводно-канализационного хозяйства;
- цех по обслуживанию тепловых сетей;
- электроцех;
- участок благоустройства;
- спецавтобазу;
- аварийно-диспетчерскую службу;
- ремонтно-механический участок;
- участок сортировки и переработки твёрдых бытовых отходов;
- цех технического обслуживания транспорта.

Предприятие обслуживает по городу и району около 400 км водопроводных сетей, 240 км канализационных сетей, 33 канализационно-насосные станции, 14 полей фильтрации, 44 мини-полигона, 175 км тепловых сетей, 31 котельную, 85 артезианских скважин и 35 водонапорных башен.

Согласно Уставу, предприятие осуществляет следующие виды экономической деятельности:

- эксплуатация водопроводных сетей и распределение на коммунально-бытовые нужды и населению;
- эксплуатация канализационных сетей;
- теплоснабжение;
- электрообеспечение;
- содержание городских дорог, мостов, путепроводов и переходов;
- уборка населённых пунктов;
- предоставление услуг гостиниц, бань.

Энергоёмкость предприятия вызвана разнородностью оказываемых услуг и видов выпускаемой продукции.

Для обеспечения тепловых нагрузок потребителей в составе структурного подразделения отопительных котельных и тепловых сетей КЖУП «Светочь» находится 31 отопительная котельная. Из них 7 котельных, расположенных в г. Светлогорске и 24 в сельской местности.

Только одна котельная №5 работает на двух видах топлива – природный газ и МВТ, остальные 30 котельных работают только на МВТ.

10 котельных производительностью более 0,5 Гкал/час и 20 котельных производительностью менее 0,5 Гкал/час.

Суммарная установленная тепловая мощность котельных 23,9 Гкал/ч.

Самая крупная котельная по установленной мощности (7,48 Гкал/ч) – котельная №5 г. п. Сосновый Бор.

Котельная введена в эксплуатацию в 2010 году. На её балансе два котла СН-12000 ДН-V производительностью по 2,06 Гкал/ч работают на щепе, три котла КБН-Г-2,5-3 работают на

природном газе. В топливном балансе предприятия доля сожжённого топлива на этой котельной составляет 55,2%, в том числе щепа – 32,1%.

На предприятии используются следующие виды топлива: природный газ, печное топливо, дрова, топливная щепа. Потребителями топлива являются котельные предприятия.

На сегодняшний день предприятие достигло уровня снижения норм расхода ТЭР за ряд предшествующих лет, когда дальнейшее снижение невозможно без разработки и внедрения новых энергосберегающих мероприятий.

Высокие потери тепловой энергии в тепловых сетях – наиболее острая проблема для предприятия. Из-за большой протяжённости теплосетей (175 км в однотрубном сечении), технического состояния (многим сетям более 20 лет) и снижения нагрузок, на отдельных теплоисточниках тепловые потери выше нормативных. Для снижения высоких потерь в тепловых сетях необходимо произвести перекладку тепловых сетей используя предварительно изолированные трубы.

Снижение потребления электрической энергии предприятие достигло за счёт пересмотра мощностного ряда установленного насосного оборудования на ряде котельных и внедрения частотно-регулируемых приводов.

Проводимые предприятием работы по снижению потребления электрической энергии на нужды водопотребления и водоотведения (замена насосов артезианских скважин, КНС и внедрение частотно-регулируемых приводов на насосном оборудовании) позволили добиться снижения удельных расходов электроэнергии на эти статьи расходов. Дополнительную экономию электроэнергии на нужды водоснабжения и водоотведения можно получить, проведя дальнейшую замену насосного оборудования и внедрения энергоэффективных компрессоров на станции обезжелезивания. Внедрение устройства плавного пуска на двигателях насосов позволит существенно снизить эксплуатационные затраты.

Кроме того, требуется замена теплообменников горячего водоснабжения на соответствующие по мощности высокоэффективные пластинчатые теплообменники.

Тепловизионное обследование жилых зданий выявило необходимость проведения термореновации ограждающих конструкций. Экономия тепловой энергии при термореновации достигается за счет сокращения тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции жилых зданий. Это, одновременно приведёт к изменению удельной отопительной характеристики зданий и снижению нормы потребления тепловой энергии на отопление, обеспечивая при этом комфортные условия для пребывания людей в помещениях при меньшем потреблении тепловой энергии.

УДК 621.438.081.12

Техническое описание и характеристики ГТУ SGT-600

Захарченко В. Ю., Иванова Д.С., Лисовский С.А., Добренко Г, Нахай Е.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Газовые турбины фирмы SIEMENS блоков ПГУ 32,5 МВт Минской ТЭЦ-2 относятся к типу SGT-600 с возможностью работы на двух видах топлива в цикле комбинированного производства тепловой и электрической энергии.

ГТУ можно разделить на пять основных составляющих:

- комплексная воздухоочистительная установка (КБОУ);
- осевой компрессор;
- камера сгорания;
- газогенератор (турбина компрессора);
- силовая турбина

На рисунке 1 изображен турбоблок ГТУ SIEMENS SGT-600.



Рисунок 1 – Турбоблок ГТУ SIEMENS SGT-600.

Воздух из окружающей среды через КБОУ поступает в осевой компрессор. Сжатый в компрессоре воздух направляется в камеру сгорания, где смешивается с топливом (газ либо дизельное топливо). Горячий газ расширяется в газогенераторе и силовой турбине. Газогенератор приводит в движение компрессор, а силовая турбина – электрический генератор (через редуктор с передаточным отношением 5,2). Газогенератор и силовая турбина механически не связаны между собой. Уходящие газы после силовой турбины отводятся через выхлопной диффузор и направляются в котел-утилизатор.

Осевой компрессор 10-ступенчатый, первые 2 ступени компрессора поворотные и являются входным направляющим аппаратом компрессора (ВНА). Степень сжатия воздуха в компрессоре – 14:1, максимальное давление за компрессором (P_3) $\leq 1,55$ МПа.

Компрессор оснащен 2-я отборами воздуха (за 2 и 5 ступенями). Отбираемый за 2-ой ступенью воздух используется для охлаждения элементов турбины, за 5-ой – на уплотнение, а также для продувки форсунок. На корпусе компрессора установлены антипомпажные клапаны (МВТ10АА005, МВТ10АА010), воздух из которых сбрасывается во всасывающий воздуховод перед компрессором.

Камера сгорания кольцевого типа, малотоксичная, оснащена 18-ю горелками. Газогенератор осевой, 2-х ступенчатый. Силовая турбина осевая, 2-х ступенчатая.

Номинальная частота вращения:

- ротора газогенератора – 9700 об/мин;
- ротора силовой турбины – 7734 об/мин;
- ротора электрического генератора – 1500 об/мин.

Автономная работа ГТУ без КУ в тепловой схеме цеха ПГУ ТЭЦ-2 не предусмотрена.

ГТУ имеет следующие основные характеристики (заводские данные) приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики ГТУ

Электрическая выходная мощность на клеммах генератора*	26082 кВт
Ограничение электрической выходной мощности редуктором при (T0= -20°C)	28200 кВт
Удельный расход теплоты топлива*	10734 кДж/кВт·ч
Содержание окислов азота (NO _x) при 15% O ₂ , электрической мощности 80-100% от номинальной и работе на газе	≤25 ppm объемн.
Содержание окислов азота (NO _x) при 15% O ₂ , электрической мощности 80-100% от номинальной и работе на дизельном топливе	≤48,7 ppm объемн.
КПД электрический	34,2%
*при температуре окружающей среды – 6,9° С, барометрическом давлении 0,9875 бар, относительной влажности воздуха 58 %	

На рисунке 2 отображена принципиальная схема ГТУ.

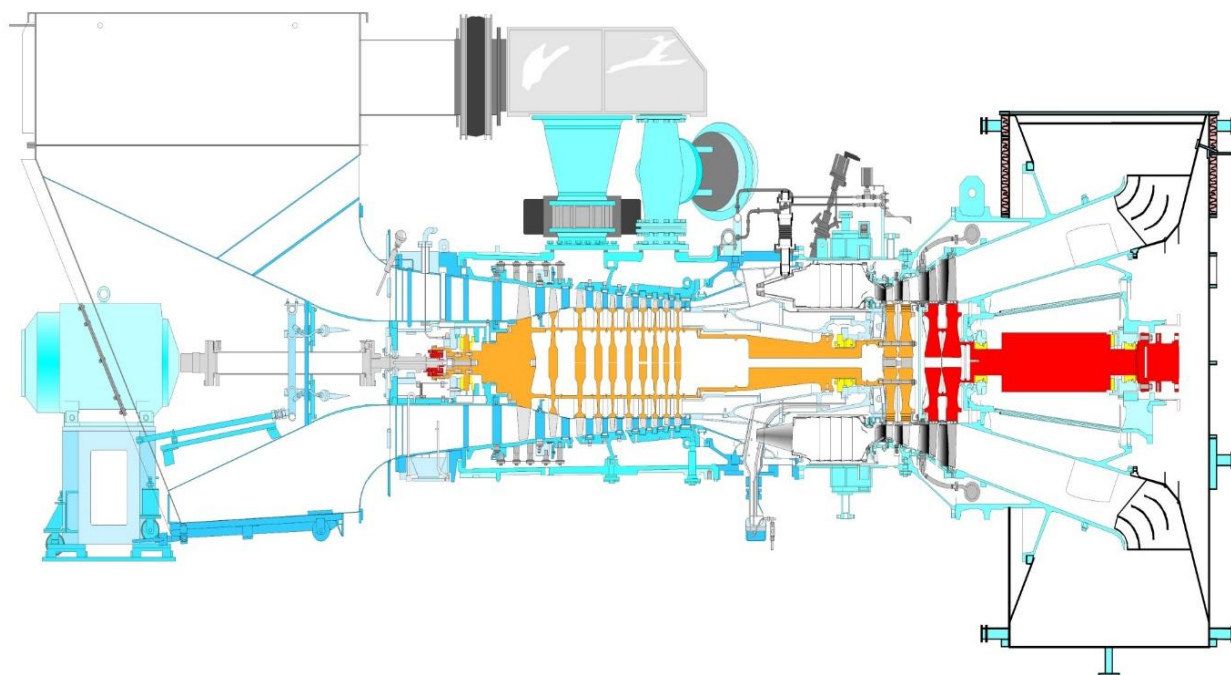


Рисунок 2 – Принципиальная схема ГТУ

УДК 661.971

Технологии получения оксида углерода

Малащук А.М.

Научный руководитель – ст. препод. Прокопеня И.Н.

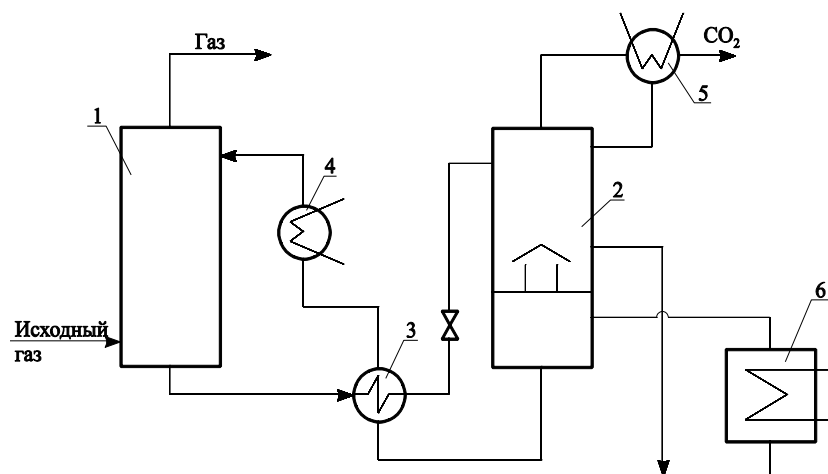
Оксид углерода (*углекислый газ, диоксид углерода, двуокись углерода, угольный ангидрид*) — CO_2 , бесцветный газ (в нормальных условиях), без запаха, со слегка кисловатым вкусом [1]. Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли составляет в среднем 0,0395 %. Плотность при нормальных условиях 1,97 кг/м³. При атмосферном давлении диоксид углерода не существует в жидком состоянии, переходя непосредственно из твёрдого состояния в газообразное. Твёрдый диоксид углерода называют сухим льдом. При повышенном давлении и обычных температурах углекислый газ переходит в жидкость, что используется для его хранения. В больших количествах CO_2 попадает в атмосферу с дымовыми газами, или как побочный продукт химических процессов, например, при разложении природных карбонатов (известняк, доломит) или при производстве алкоголя.

Абсорбционная технология производства. В установках для получения CO_2 из уходящих газов чаще всего используют абсорбционный метод. В качестве абсорбента применяется 30 процентный водный раствор моноэтаноламина (МЭА), который способен абсорбировать CO_2 содержащийся в дымовых газах. Принципиальная схема абсорбционной установки представлена на рисунке 1. Дымовые газы направляются в абсорбер. Насыщенный углекислым газом абсорбент направляется в регенератор, в котором путем подогрева раствора выделяется CO_2 , а восстановленный абсорбент вновь направляется в абсорбер. Поскольку моноэтаноламин абсорбирует только CO_2 при улавливании происходит предварительная очистка. Эффективность улавливания CO_2 , составляет 85-95%. Далее газ подвергается очистке до уровня, предусмотренного ГОСТ 8050-85 для соответствующего сорта. Для высшего сорта объемное содержание CO_2 , должно составлять не менее 99,8%. Для приложений, где требуется особо чистый газ (фармацевтическая промышленность, микроэлектроника), его дополнительно очищают до требуемых кондиций.

Двуокись углерода поставляется в газообразном (по трубам), сжиженном (в баллонах или изотермических цистернах) или твердом виде. Твердая двуокись углерода (сухой лед) изготавливается из жидкой или газообразной двуокиси углерода и выпускается в виде блоков или гранул.

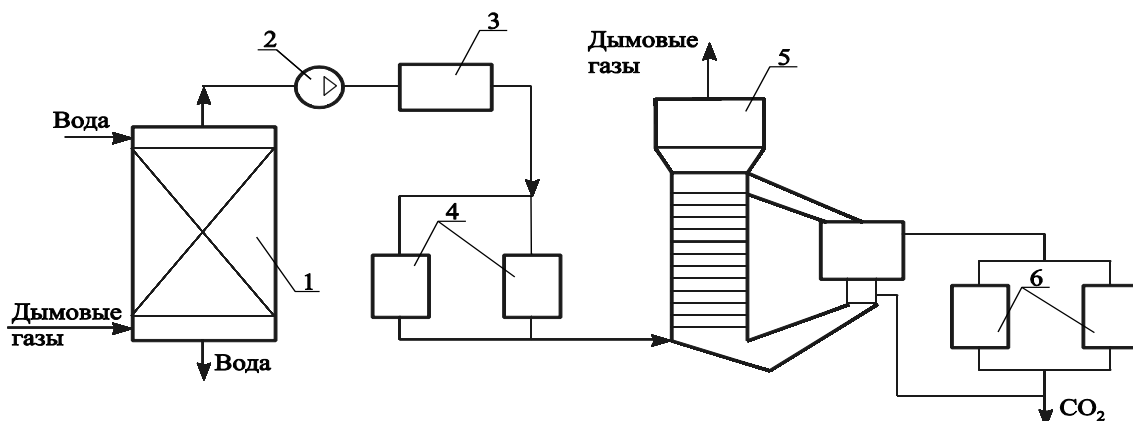
Адсорбционная технология производства. На рисунке 2 приведена принципиальная схема извлечения CO_2 из дымовых газов на базе эффекта термопсевдооживления слоя цеолита. Дымовые газы проходят скруббер, где они охлаждаются примерно до 40–45 °С, затем газодувкой подаются в холодильник газа (охлаждение до 0–5 °С) и далее, через силикагелевые колонки, где продукты сгорания осушаются до точки росы минус 40 °С, они поступают в адсорбционно-десорбционный блок. Охлажденные и осушенные дымовые газы проходят через адсорбционно-десорбционный блок 5, затем либо сбрасываются в атмосферу, либо служат сырьем для экзогаза. Диоксид углерода через блок осушки 6 подается к потребителю. Активированный цеолит через холодильник возвращается в адсорбер [2].

Технология физического разделения (глубокого охлаждения). Это технология основана на различии температур фазовых переходов компонентов газовой смеси. В процессе постепенного охлаждения из дымовых газов можно последовательно выделить водяные пары и целевой продукт – углекислый газ. Конструктивно такую технологию можно реализовать с помощью системы вихревых труб [5] (рис. 3) или путем охлаждения потока в поверхностных теплообменниках до температур, ниже температуры насыщения двуокиси углерода, соответствующей парциальному давлению в газовой смеси (рис. 4а), а также путем вымораживания в объеме газового потока (рис. 4б), расширяющегося в турбодетандере регенеративной газовой холодильной машины с понижением температуры до состояния насыщения диоксида углерода, превращающегося за проточной частью турбогенератора в снежную кристаллическую пыль [4, 5].



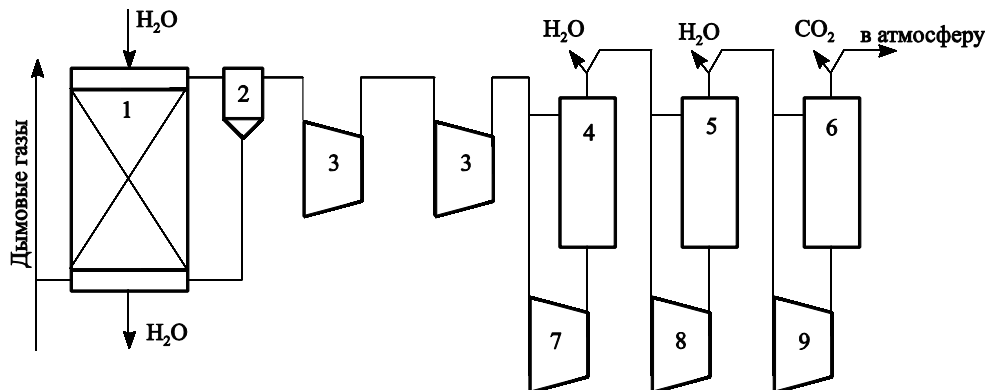
1 – абсорбер; 2 – регенератор; 3 – теплообменник; 4 – холодильник раствора; 5 – холодильник парогазовой смеси; 6 – кипятильник

Рисунок 1 – Принципиальная схема абсорбционной установки



1 – мокрый скруббер; 2 – газодувка; 3 – холодильник, 4 – блок осушки дыма (силикагелевые фильтры); 5 – адсорбционно-десорбционный блок; 6 – блок осушки CO₂

Рисунок 2 – Принципиальная схема адсорбционной углекислотной установки

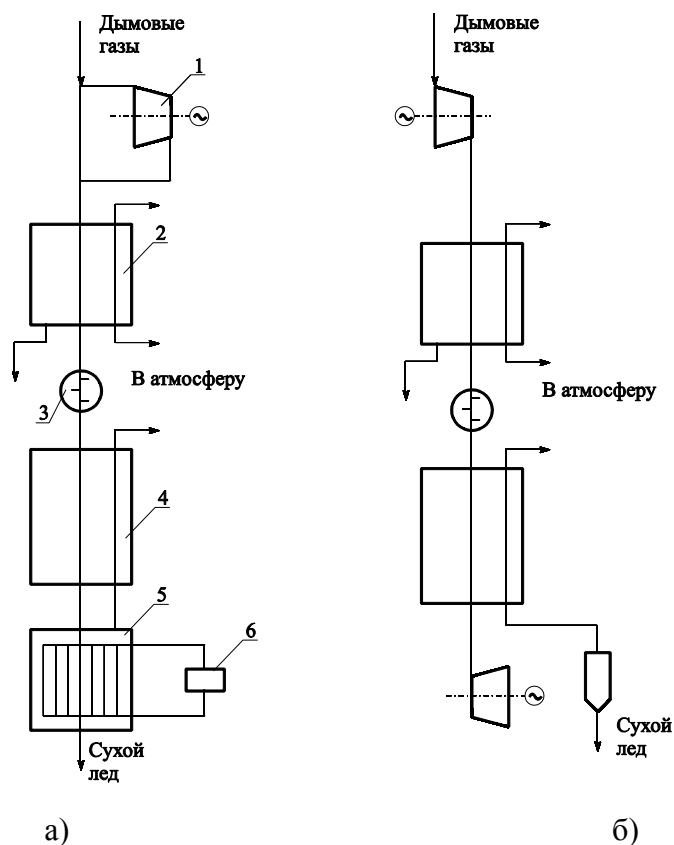


1 – мокрый скруббер; 2 – влагоотделитель; 3 – двухступенчатый компрессор; 4–6 – вихревые трубы; 7–8 – компрессоры

Рисунок 3 – Принципиальная схема получения CO₂ с применением вихревых труб

Технология получения диоксида углерода (с применением вихревых труб) из дымовых газов приведена в [3]. Дымовые газы на входе в блок вихревых труб должны иметь температуру ~ 40 °С и давление ~ 2 МПа. В результате вихревого эффекта в трубах происходит разделение газового потока на две части: «холодный» и «горячий» поток. «Горячий» поток направляется в систему рециркуляции, а «холодный» – в компрессор следующей вихревой

трубы. На рисунке 3 показана схема установки с тремя вихревыми трубами. После первой ступени температура «холодного» потока достигает ~ 263 К, что приводит к выделению влаги. После второй ступени параметры этого потока: $T \approx 233$ К и $p \approx 3$ ата, что приводит к вымораживанию окислов азота. И достигаемые после третьей ступени параметры ($T \approx 193$ К и $p \approx 0,1$ МПа) позволяют выделить диоксид углерода.



1 – компрессор; 2 – холодильник; 3 – осушитель; 4 – регенератор, 5 – холодильник (вымораживатель); 6 – холодильная установка; 7 – детандер; 8 – сепаратор; а – с поверхностным теплообменником; б – с детандером

Рисунок 4 – Принципиальные схемы установок по технологии глубокого охлаждения

Литература

1. Получение углекислого газа из дымовых газов котельной [Электронный ресурс], URL: <http://kursak.net/poluchenie-uglekislogo-gaza-iz-dymovyx-gazov-kotelnoj/>
2. Седнин В.А. Моделирование, оптимизация и управление теплотехническими системами: Учеб. метод. пособие / В.А.Седнин. – Мн.: БНТУ, 2018.- 76 с.
3. Титов, В.Д. Исследование процесса вымораживания двуокиси углерода из дымовых газов / В.Д. Титов // Холодильная техника. – 1976. - №10. – С. 22-27.
4. Щелкунов, В.Н. Экспериментальное исследование процесса вымораживания диоксида углерода из бинарных смесей / В.Н. Щелкунов, Н.З. Руденко, Ю.В. Шостак // Холодильная техника. - 1986. - №5. - С. 21-26.
5. Вихревые аппараты / А.Д. Суслов, С.В. Иванов, А.В. Мурашкин, Ю.В. Чижиков.– М.: Машиностроение, 1985. – 251 с.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ****Стрелы провеса проводов пролетов с разными натяжными гирляндами изоляторов**

Абраменко М.В.

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

Вариация параметров в электронной лаборатории

Никитин Е.А.

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

Моделирование стабилизаторов постоянного напряжения в электронной лаборатории

Науменко В.И., Никитин Е.А.

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

Вариация параметров при моделировании стабилизаторов постоянного напряжения в электронной лаборатории

Науменко В.И.

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

Электрическое оружие

Матусевич В.В., Сидор А.А.

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

Анализ параметров управления активного фильтра

Романович Н.М., Чучков А.В.

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

Электрофорная машина с бесколлекторным двигателем

Чиков А.В., Кузнецов П.В.

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

Электромагнитное излучение и здоровье человека

Шиханцова Т.И., Никифорова Д.Р.

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

Системы диагностики силового агрегата электромобиля

Луцинский Д.В., Кисляк Д.В.

Научные руководители – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В., ст. препод. ЗЕЛЕНКО В.В.

Теплогенератор Потапова как пример холодного ядерного синтеза

Буйницкий С.В., Курилик А.С.

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

Активная мощность гармонических составляющих тока силового трансформатора

Тарарай А.О., Ермолинская Л.Э.

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

Электромагниты

Рудик П.С., Пименов В.В.

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

Влияние электромобилей на окружающую среду

Богданов Ю.И.

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

Определение временных интервалов между характерными точками при определении гармонического состава искажённого тока потребителей

Рogaцевич Е.А., Пармоник Н.С.

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

Влияние СВЧ на живые организмы

Коновалов Д.А.

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

Автономные источники энергии

Анищик О.Р., Стаскевич П.И.

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

Измерение текущих значений коэффициентов нелинейных искажений

Киреев В.В., Андросюк И.В.

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

МГД-генератор

Ласица В.В., Литош А.В.

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

Возобновляемые источники в республике Беларусь

Бородич В.Д., Гаркуша М.С.

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

Трансформатор тесла. Устройство и способы применения

Борисевич К.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Ячейка Мейера

Борисевич К.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Статические компенсаторы реактивной мощности в энергосистемах

Матвеев Е.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент МОРОЗ Р.Р.

Статические компенсаторы и параметрические стабилизаторы

Горнак А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент МОРОЗ Р.Р.

Высоковольтные вакуумные выключатели

Опиок А.А., Кислянков В.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Перспективы развития электрооборудования автомобиля

Куземко М.М.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Алюминий-ионные аккумуляторы

Хоронко В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Геотермальная энергетика

Кривицкая К.А. Яцкевич Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Квантовый компьютер

Петрулевич А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Наведённое напряжение

Кодолич А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Пьезоэлектрический эффект

Эркабаева Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Комплектные распределительные устройства элегазовые

Ковзова М.Е.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Роботы в энергетике

Дячек О.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Теплосчетчик «Sensonic II»

Токарев Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Энергия в космических аппаратах

Мелешков Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Дистанционная биометрическая система распознавания лиц *Face ID*

Габерник П.Н., Коломиец Е.И.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Устройства для защиты аккумуляторов от повреждения в портативных устройствах

Шибeko А.С., Швед П.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Беспроводная передача электроэнергии посредством электромагнитной индукции

Ярмош М.С., Казейка К.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Принцип работы сканера отпечатка пальца в мобильных устройствах

Кириленко К.А. Дубина А.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Киберкостюм – нательный нейроинтерфейс

Протасевич Т.М., Чуйкова М.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Устройство и разновидности частотных преобразователей для питания асинхронных двигателей

Ковалёв Д.В., Силкин Н.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Принципы работы металлоискателей

Данилюк С.А., Гуринчук А.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Виды электрошокеров

Дедкова Т.С., Шнип Д.И.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Принцип работы устройств, для проведения спектрального анализа веществ

Науменко А.М., Мигуцкая Н.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Электромагнитные волны и их влияние на человека

Алексеева О.С., Стриголович И.И.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Безлопастные турбины как более безопасный способ преобразования энергии ветра

Лагойко А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Перепады напряжения. Методы защиты от перепадов напряжения

Борбуш А.Л., Ващилов С.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Хлопковые выключатели

Стома Д.М., Калий В.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Квантовые цифровые батареи

Станкевич П.С., Коваль Д.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Беспроводное зарядное устройство

Малюжанец Ж.А., Стрик Е.Б.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

УДК 621.315.176

Стрелы провеса проводов пролетов с разными натяжными гирляндами изоляторов

Абраменко М.В.

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

Для механического расчета гибких проводов распределительных устройств и воздушных линий выведены коэффициенты нагрузки, учитываемые в решении уравнений состояния, при наличии одной или двух одинаковых натяжных гирлянд изоляторов, а также при их отсутствии [1, 2]. Однако в проектной практике встречаются решения, когда в одном пролете используются различные гирлянды. Цель статьи – определение коэффициентов для расчета стрел провеса при наличии в пролете разных гирлянд изоляторов.

В методике [2] для перехода от неоднородной нити, получающейся при представлении системы «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов», к эквивалентной однородной при любой схеме загрузки пролета определяется переходный коэффициент нагрузки K . Приведенная нагрузка всей системы вычисляется как произведение величины равномерно распределенной нагрузки для проводов фазы на коэффициент нагрузки, учитывающий наличие гирлянд изоляторов, сосредоточенных нагрузок от шлейфов, отпаек, распорок, заградительных шаров [3].

При длинах пролета до 500-700 м уравнение цепной линии заменяют параболой, что не дает большую погрешность. В [3] были проведены расчеты по существующим методикам, которые дали схожие результаты. Наиболее близкие результаты дали представление провода цепной линией и использование двух слагаемых разложения в ряд при расчете стрел провеса. Представление провода параболой дало абсолютную погрешность в расчетах всего пару сантиметров. Тяжение провода при наличии сосредоточенной нагрузки рассчитывалось по уравнению состояния и совпадало с результатами расчета по программе MR2.20 [4]. В [4] был сделан вывод, что при известных значениях составляющих сосредоточенных сил можно пользоваться принятой в проектной практике моделью провода в виде параболы.

Стрела провеса (рис. 1) в любом месте пролета может быть определена по формуле

$$y = \frac{M(x)}{H}, \quad (1)$$

где $M(x)$ – балочный изгибающий момент в точке x ;

H – горизонтальная составляющая тяжения в проводе.

Стрелы провеса определяются на основании общей формулы (1). Опорные балочные реакции определяются согласно рис. 1 по формулам:

$$A = \frac{ql}{2} + (q_{r1} - q)l_{r1} + \frac{qc - d}{2l};$$

$$B = \frac{ql}{2} + (q_{r2} - q)l_{r2} - \frac{qc - d}{2l},$$

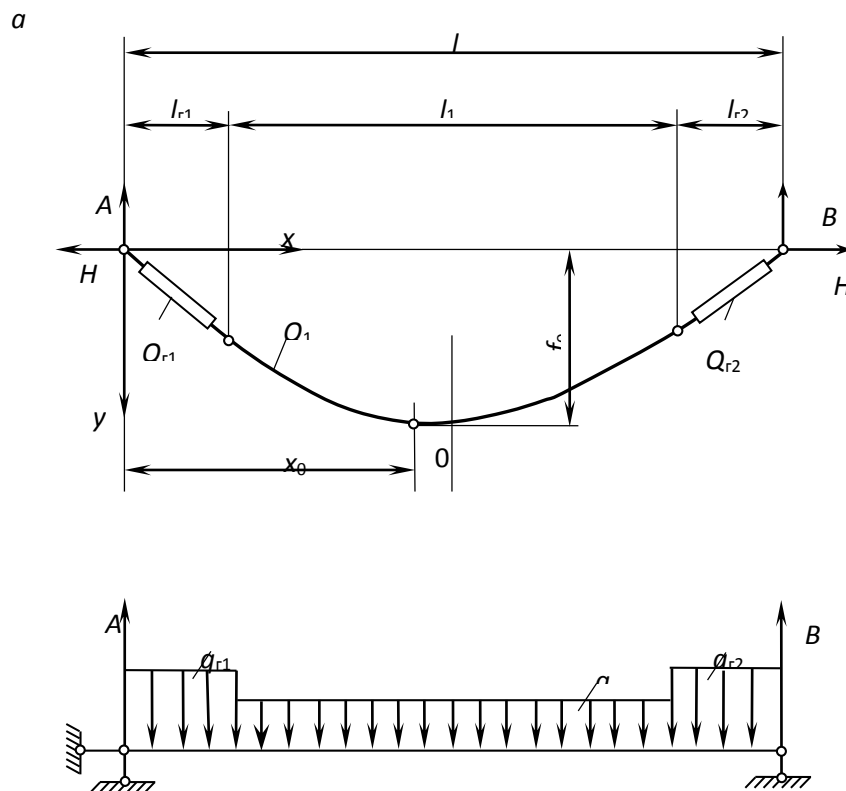
$$\text{где } c = l_{r1}^2 - l_{r2}^2; \quad d = q_{r1}l_{r1}^2 - q_{r2}l_{r2}^2,$$

q – погонный вес проводов фазы (если фаза не имеет расщепления, то просто вес 1 м провода);

q_{r1}, q_{r2} – погонный вес первой и второй гирлянд изоляторов (с учетом возможного многоцепного исполнения, а также арматуры, зажимов, коромысел и др.);

l – длина пролета (горизонтальное расстояние между точками крепления);

l_{r1}, l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов.



а) пролет с вертикальными нагрузками от провода q , гирлянд изоляторов q_{r1} и q_{r2} ;
 б) пролет в виде простой разрезной балки с шарнирными опорами, загруженной так же
 Рисунок 1 – Расчетная схема пролета

Вводим обозначения:

$$K_{B1} = \frac{q_{r1}}{q}; \quad K_{B2} = \frac{q_{r2}}{q} \quad \text{– кратности веса первой и второй натяжных гирлянд изоляторов}$$

относительно веса провода;

$$K_{r1} = \frac{l_{r1}}{l}; \quad K_{r2} = \frac{l_{r2}}{l} \quad \text{– кратности длин первой и второй натяжных гирлянд изоляторов}$$

относительно длины пролета.

После упрощения получим опорную балочную реакцию

$$A = \frac{ql}{2} \left[1 + \delta_1 \left(\frac{2l}{l_{r1}} - 1 \right) + \delta_2 \right],$$

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.

Рассмотрим случай расположения максимальной стрелы провеса на проводе на рис. 1. На этом участке провода до точки x имеем балочный изгибающий момент

$$M(x) = Ax - q_{r1}l_{r1} \left(x - \frac{1}{2}l_{r1} \right) - \frac{1}{2}q(x - l_{r1})^2,$$

что дает по формуле (1) стрелу провеса

$$y(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1} l_{r1} \left(x - \frac{1}{2} l_{r1} \right) - \frac{1}{2} q (x - l_{r1})^2 \right] \text{ при } l_{r1} < x < l - l_{r2}.$$

Максимальная стрела провеса будет на расстоянии x_0 от начала пролета:

$$x_0 = \frac{l}{2} + \frac{1}{2l} \left(c - \frac{d}{q} \right) \text{ или } x_0 = \frac{1}{2} \left(l + \frac{c}{l} - \frac{d}{ql} \right) = \frac{1}{2} \left(l + \frac{qc - d}{ql} \right)$$

и равна

$$f_0 = \frac{1}{8H} \left[ql^2 + 2(q_{r1} - q)l_{r1}^2 + 2(q_{r2} - q)l_{r2}^2 + \frac{(qc - d)^2}{ql^2} \right] \text{ или}$$

$$f_0 = y(x_0) = \frac{ql^2}{8H} K_f, \quad (2)$$

где K_f – коэффициент увеличения стрелы провеса, обусловленный наличием гирлянд изоляторов:

$$K_f = 1 + 2(K_{B1} - 1)K_{r1}^2 + 2(K_{B2} - 1)K_{r2}^2 + 2(K_{B1} + K_{B2} - 1)K_{r1}^2 K_{r2}^2 - (2K_{B1} - 1)K_{r1}^4 - (2K_{B2} - 1)K_{r2}^4 + (K_{B1}K_{r1}^2 - K_{B2}K_{r2}^2)^2.$$

После упрощения получим

$$K_f = 1 + 2(K_{B1} - 1)K_{r1}^2 + 2(K_{B2} - 1)K_{r2}^2 + \left[(K_{r1}^2 - K_{r2}^2) - (K_{B1}K_{r1}^2 - K_{B2}K_{r2}^2) \right]^2$$

или

$$K_f = 1 + 2\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_{12}, \quad (3)$$

где $\delta_{12} = \left[(K_{r1}^2 - K_{r2}^2) - (K_{B1}K_{r1}^2 - K_{B2}K_{r2}^2) \right]^2 = (\delta_1 - \delta_2)^2$ – коэффициент, учитывающий разницу в параметрах гирлянд изоляторов.

Таким образом, получена компактная формула (3), позволяющая учесть разные натяжные гирлянды изоляторов.

Литература

1. 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.
2. Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких токопроводов при замене сосредоточенной нагрузки распределенной с учетом конструктивных элементов / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 3. С. 220-234.
3. Сергей, И. И. Механический расчет гибких проводов воздушных линий с заградительными шарами / И. И. Сергей, Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 4. С. 299-309.

УДК 621.316.38

Вариация параметров в электронной лаборатории

Никитин Е.А.

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

Электронная лаборатория Electronics Workbench [1] – одна из популярных и эффективных программ для визуального моделирования электрических и электронных схем, обладающая удобным интерфейсом. В электротехнике и электронике много элементов с нелинейными характеристиками приборов, которые отражаются в реальных амплитудных, входных, выходных и передаточных характеристиках устройств.

Анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов удобно проводить с использованием вариации параметров (пункты меню Analysis\DC Sweep или Analysis\Parameter Sweep). Например, варьируя напряжение на элементе и измеряя ток через него, можно получить ВАХ нелинейного элемента [2].

В верхнем блоке параметров диалогового окна Parameter Sweep указываются внутреннее имя элемента (идентификатор) и изменяемый параметр элемента. Для визуализации в окне схем внутреннего имени элемента требуется предварительно отметить в окне параметров схемы пункт Show reference ID.

Блок Analysis диалогового окна предназначен для установки начального и конечного значения напряжения источника, для выбора линейного или другого типа изменения параметра, для установки шага изменения напряжения и для выбора номера узла, напряжение в котором будет рассчитываться при вариации параметров. Поэтому необходимо заранее в схеме пронумеровать узлы командой меню Circuit\Schematic Options, закладка Show/Hide, где отмечен пункт меню Show nodes. В блоке Sweep for устанавливается вид анализа.

В работе приводятся шаги для снятия ВАХ полупроводникового диода путем вариации параметра I1 (рис. 1).

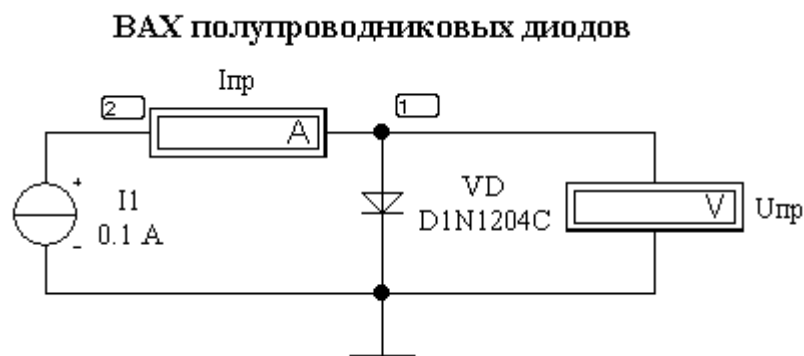


Рисунок 1 – Схема для снятия ВАХ диода вариацией параметра I1

После нумерации узлов необходимо выполнить команду меню Analysis\Parameter Sweep. В появившемся диалоговом окне (рис. 2) задать параметры анализа и нажать кнопку Simulate.

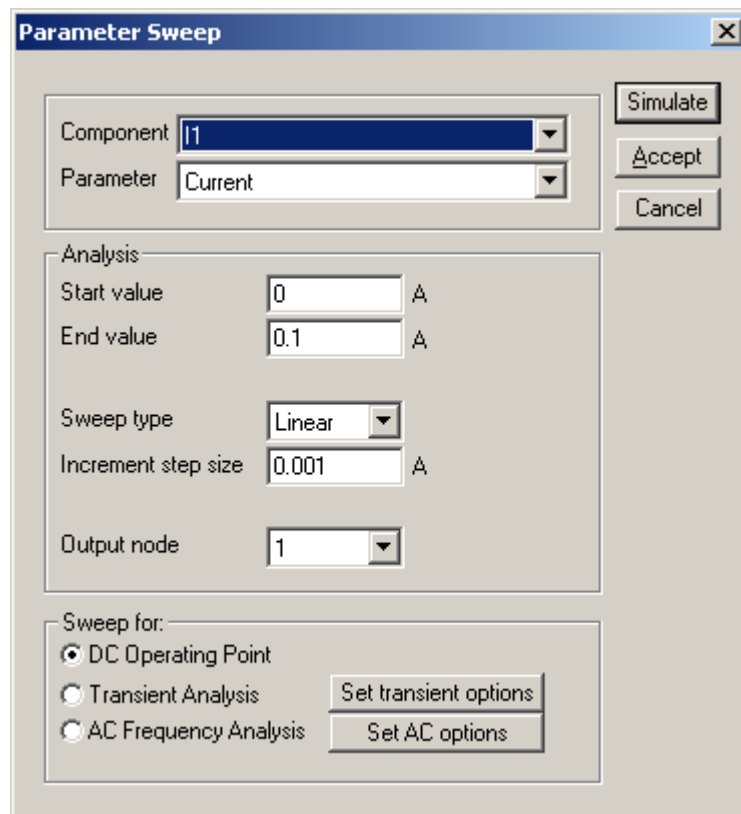


Рисунок 2 – Диалоговое окно при вариации параметра источника тока I1

В окне Analysis Graphs\Parameter (рис. 3, б) строится ВАХ $U(I)$, где изменяемый параметр определяет ось абсцисс. Для замены осей и построения ВАХ $I(U)$ предлагается использовать модернизированную схему (рис. 4).

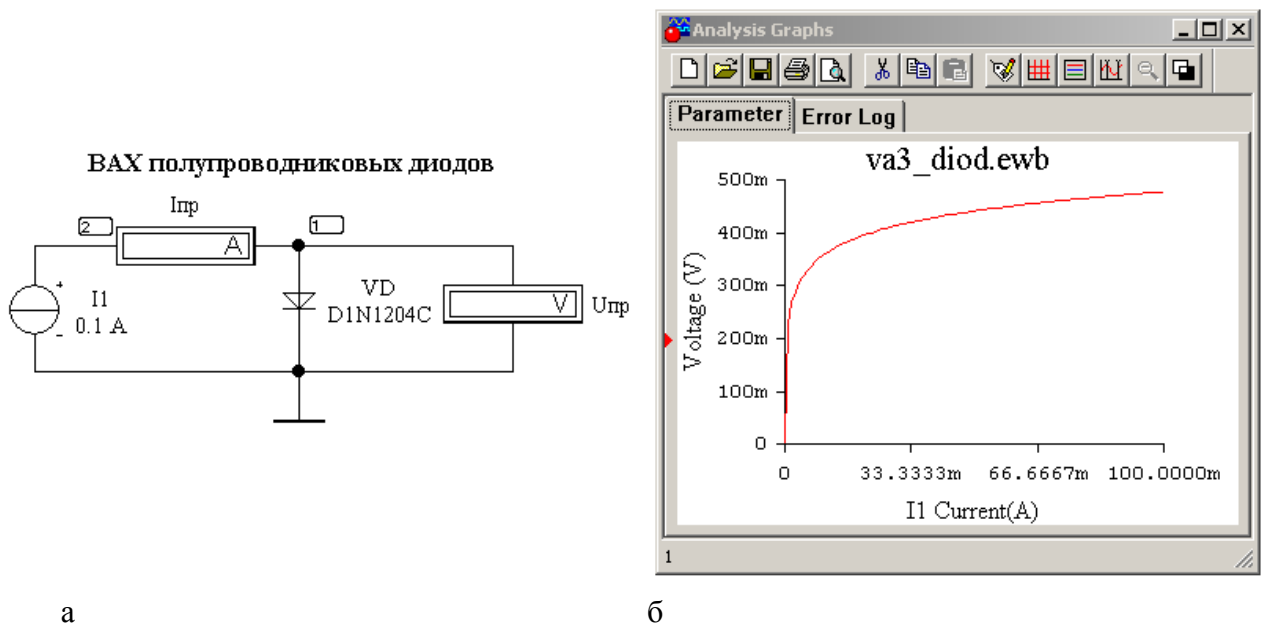


Рисунок 3 – Снятие ВАХ диода путем вариации параметра I1

Снятие ВАХ диода путем вариации параметра источника V1 В схеме (рис. 4) амперметр включен через преобразователь тока Current Controlled Current Source.

ВАХ полупроводниковых диодов

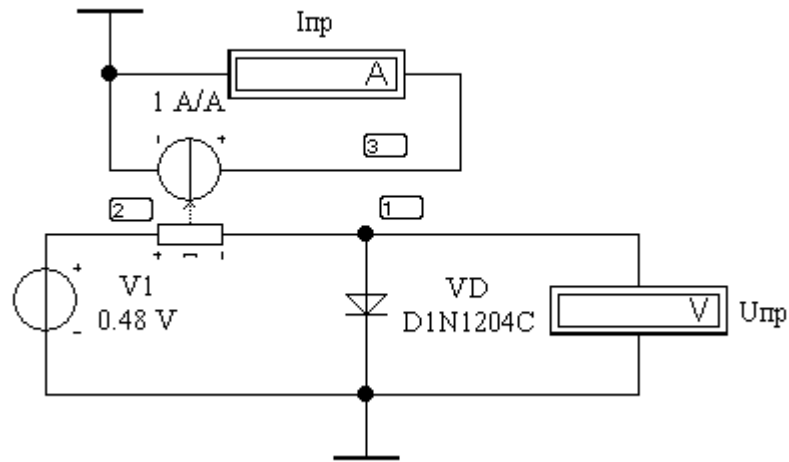


Рисунок 4 – Схема для снятия ВАХ диода вариацией параметра V1

После выполнения команды меню Analysis\Parameter Sweep в появившемся диалоговом окне (рис. 5) задать параметры анализа и нажать кнопку Simulate.

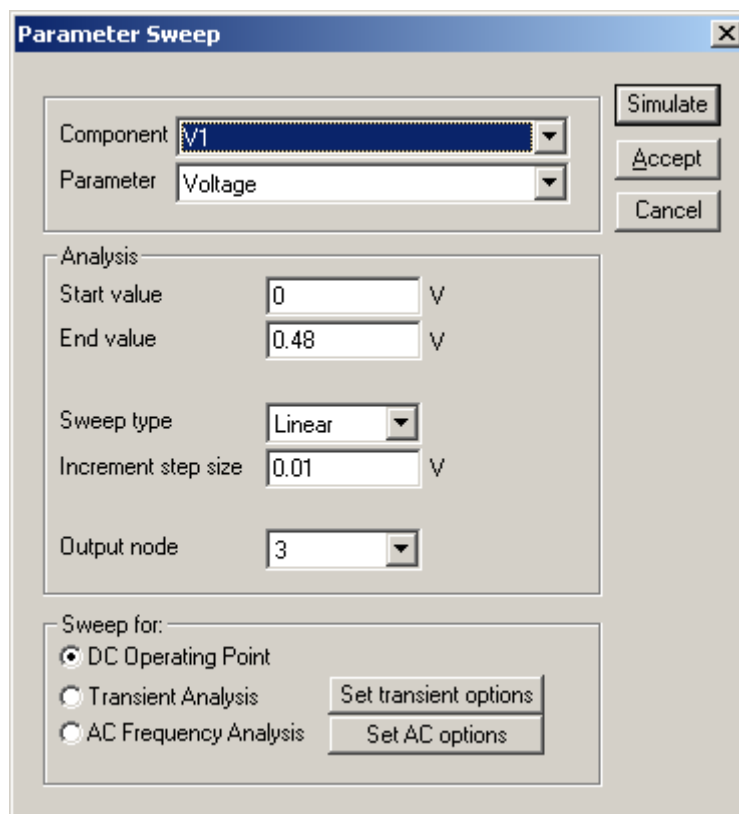


Рисунок 5 – Диалоговое окно при вариации параметра источника напряжения V1

Необходимо обратить внимание на оси координат (рис. 6, б). Значениями оси ординат являются напряжения в узле 3, численно равные токам диода.

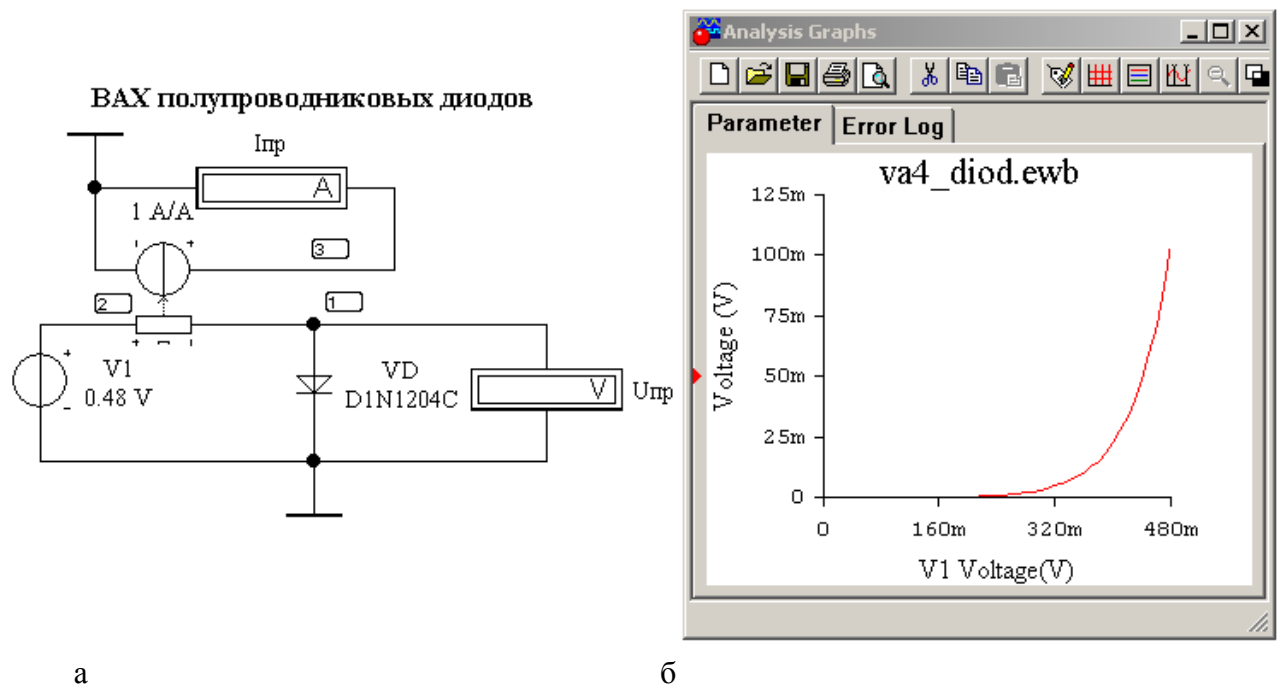


Рисунок 6 – Снятие ВАХ диода путем вариации параметра V1

Если при анализе задать отрицательное значение Start value, то на осциллограмме будет видна часть обратной ветви ВАХ.

Подобные исследования с вариацией параметров можно проводить для всех схем электротехники и электроники [3], где необходимо получение и обработка диаграмм зависимостей. Удобно пользоваться для цепей с нелинейными характеристиками полупроводниковых диодов, транзисторов, тиристоров, операционных усилителей с их реальными амплитудными, входными, выходными и передаточными характеристиками. Вариация параметров в электронной лаборатории прекрасно подходит для схем ограничителей, формирователей, импульсных схем и устройств преобразовательной техники, например, стабилизаторов постоянного напряжения и тока.

Литература

1. Бладыко Ю.В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016.– 190 с.
2. Бладыко Ю.В. Практические занятия в электронной лаборатории: Учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника». В 3 ч. Ч. 1. – Мн.: БНТУ, 2015.– 74 с.
3. Сборник задач по электротехнике и электронике. Учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов/ Ю.В. Бладыко, Т.Т. Розум, Ю.А. Куварзин, С.В. Домников, Г.В. Згаевская.– Мн.: Выш. шк., 2013.– 478 с.

УДК 621.316.38

Моделирование стабилизаторов постоянного напряжения в электронной лаборатории

Науменко В.И., Никитин Е.А.

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

Визуальное моделирование преобразовательных устройств в электронной лаборатории Electronics Workbench [1] выполняется легко и удобно. В работе рассматривается моделирование параметрических стабилизаторов постоянного напряжения [2].

Прежде всего проверялся расчет параметрических стабилизаторов напряжения [3]. На рис. 1 он представлен при разных входных напряжениях. Это позволяет одним запуском файла определить коэффициент стабилизации напряжения

$$k_{ст} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вых} / U_{вых}}$$

Параметрический стабилизатор напряжения

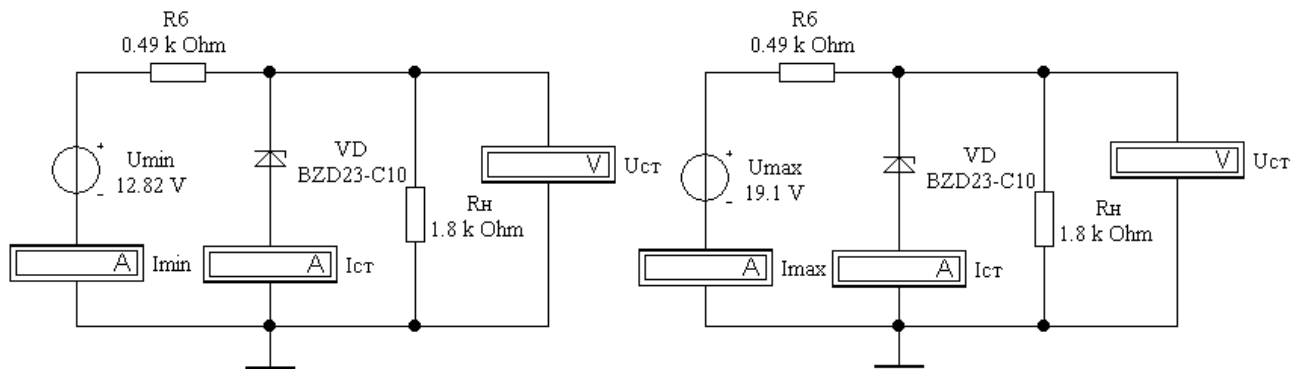


Рисунок 1 – Параметрический стабилизатор напряжения

Расчеты [3] показали низкий КПД параметрического стабилизатора постоянного напряжения (рис. 2)

Определение КПД стабилизатора

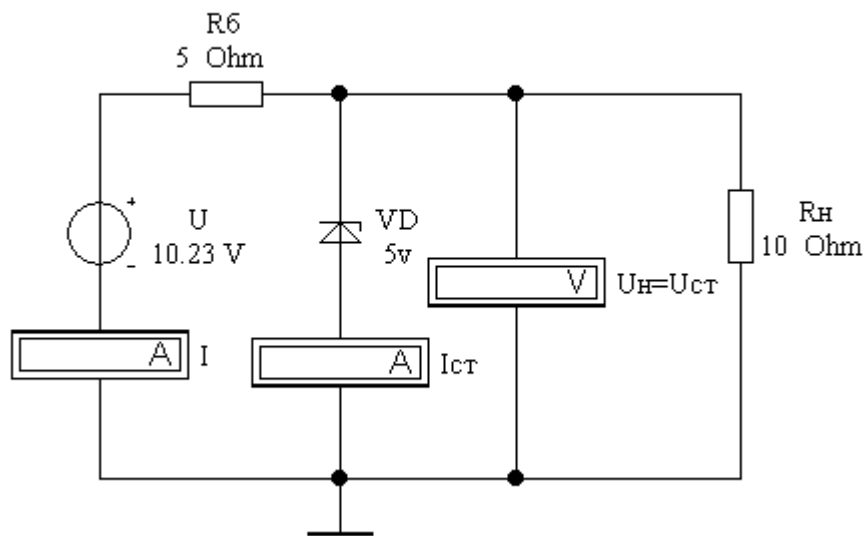


Рисунок 2 – Определение КПД стабилизатора

Далее исследовались параметрические стабилизаторы напряжения с термокомпенсацией и на транзисторе для больших токов (рис. 3). Модели позволяют

рассмотреть работу при изменении сопротивления нагрузки (клавишей R от 5% до 95%) без отключения процесса моделирования.

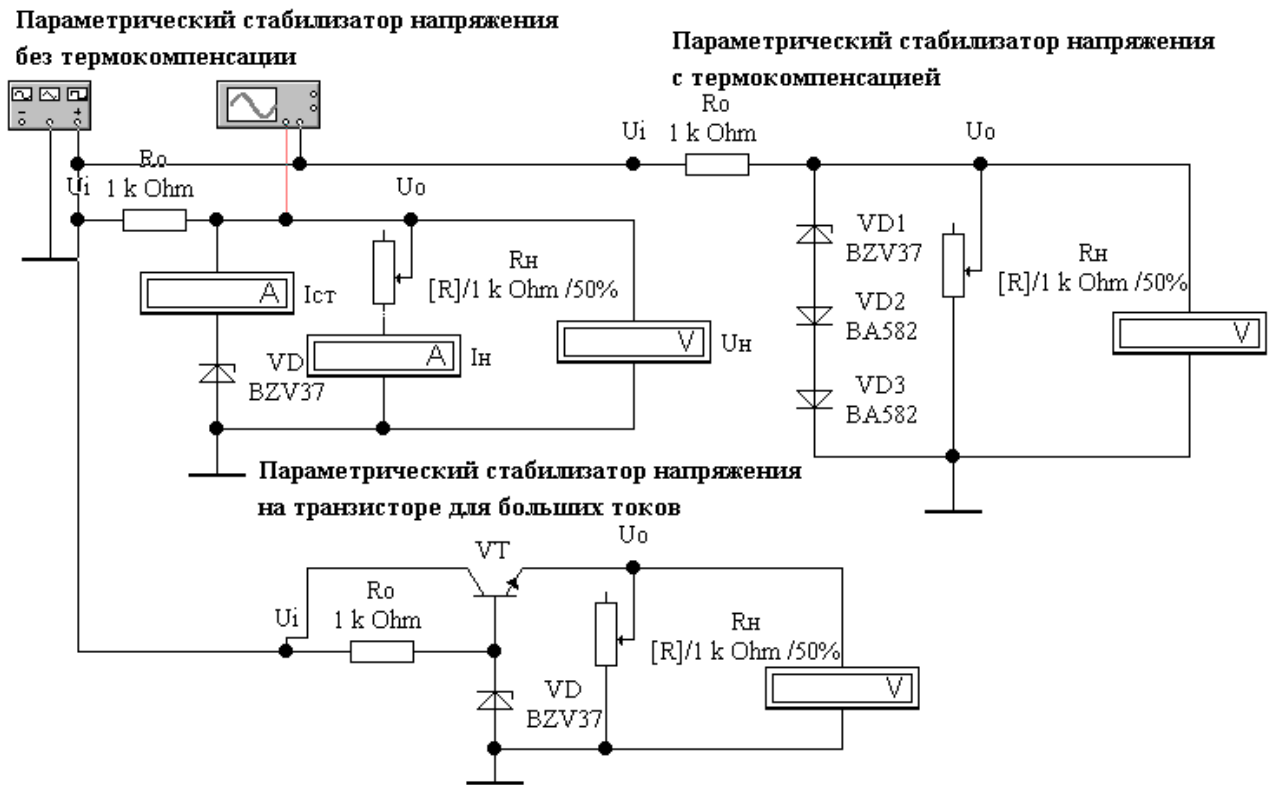


Рисунок 3 – Параметрические стабилизаторы напряжения

На рис. 4 представлена модель двухкаскадного параметрического стабилизатора напряжения. Также предусмотрена возможность изменения напряжения источника (клавишей R от 5% до 95%).

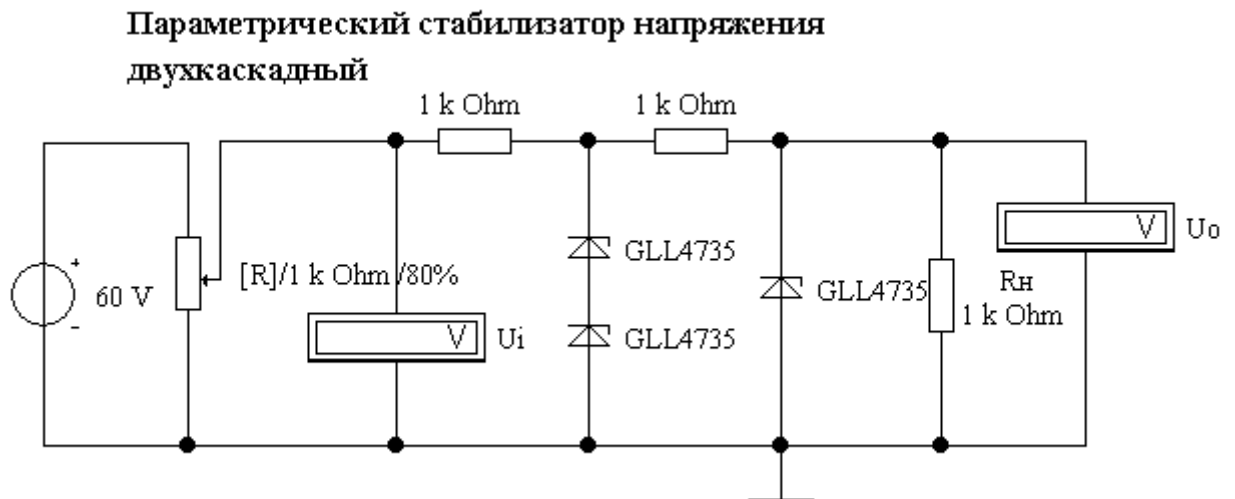


Рисунок 4 – Двухкаскадный параметрический стабилизатор напряжения

Мостовые параметрические стабилизаторы напряжения представлены на рис. 5. Модели позволяют определить диапазон изменения напряжения генератора, при котором практически отсутствует изменение напряжения стабилизации.

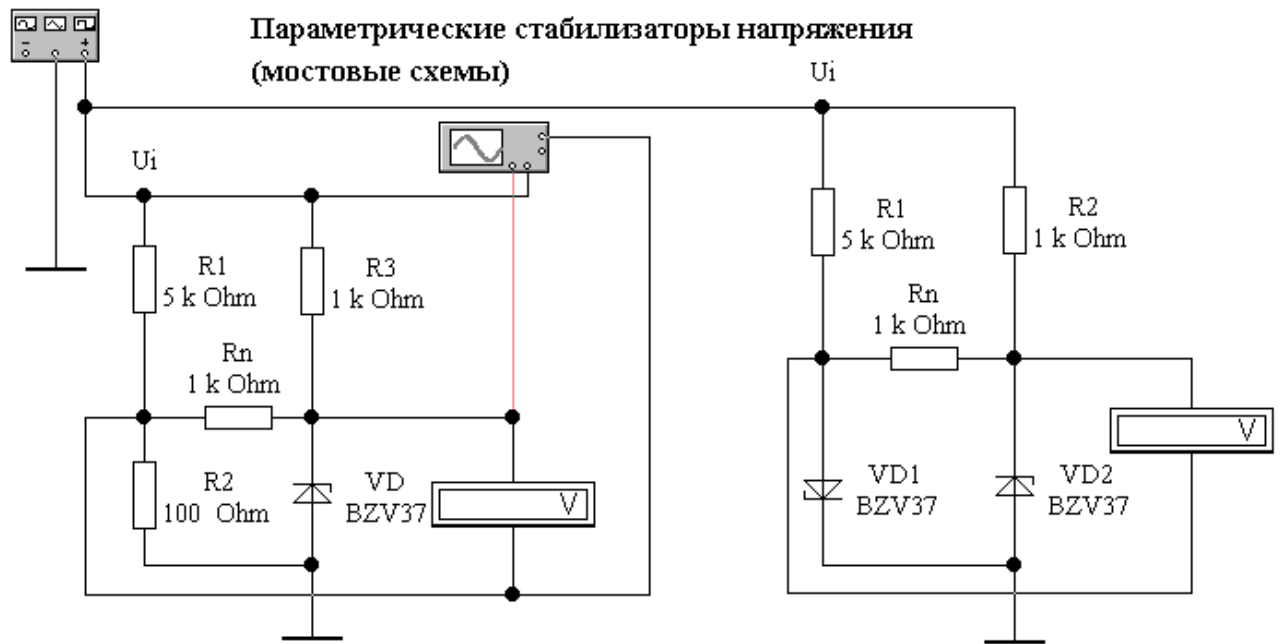


Рисунок 5– Мостовые схемы стабилизаторов напряжения (файл stab5.ewb)

Интерес представляет параметрический стабилизатор напряжения с источником тока на биполярном транзисторе (рис. 6). Схема позволяет оценить стабилизацию при изменении амплитуды функционального генератора.

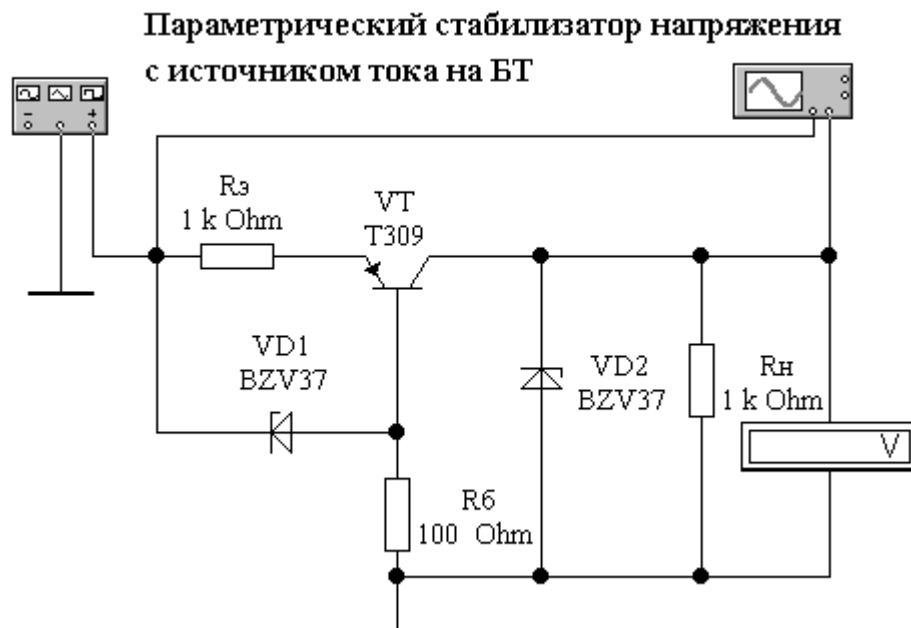
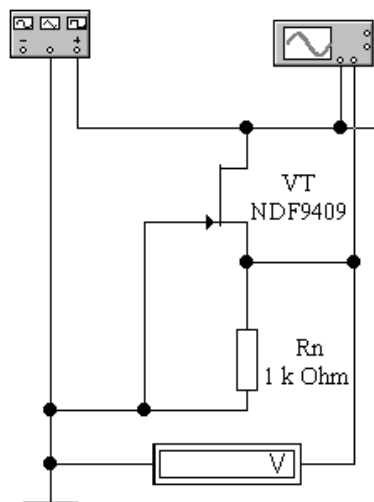


Рисунок 6 – Стабилизатор напряжения с источником тока на биполярном транзисторе

Исследовать параметрические стабилизаторы напряжения на транзисторах и операционном усилителе позволяют модели на рис. 7. С их помощью определяется диапазон изменения напряжения на входе, при котором сохраняется работоспособность стабилизатора.

Параметрический стабилизатор напряжения (тока) на полевом транзисторе



Параметрический стабилизатор напряжения (тока) на биполярном транзисторе и ОУ

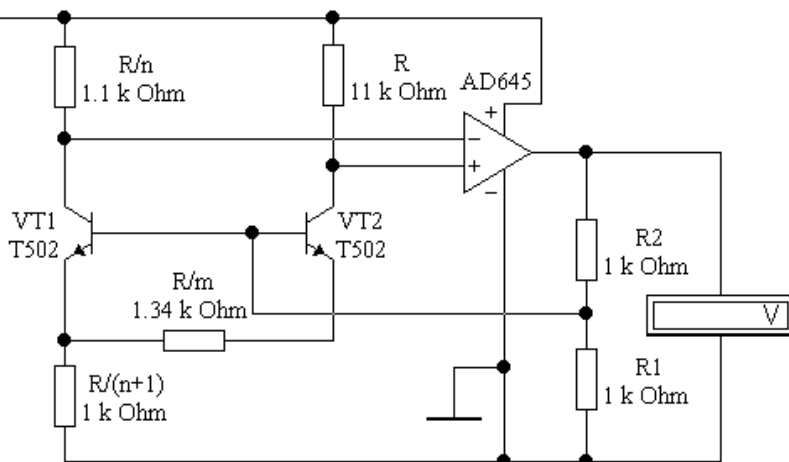


Рисунок 7 – Стабилизаторы напряжения на транзисторах и операционном усилителе

Исследовать транзисторный стабилизатор можно, реализовав схему рис. 8. Меняя значение переменной составляющей входного напряжения, можно найти его предельное значение, при котором сохраняется стабилизация.

Транзисторный стабилизатор

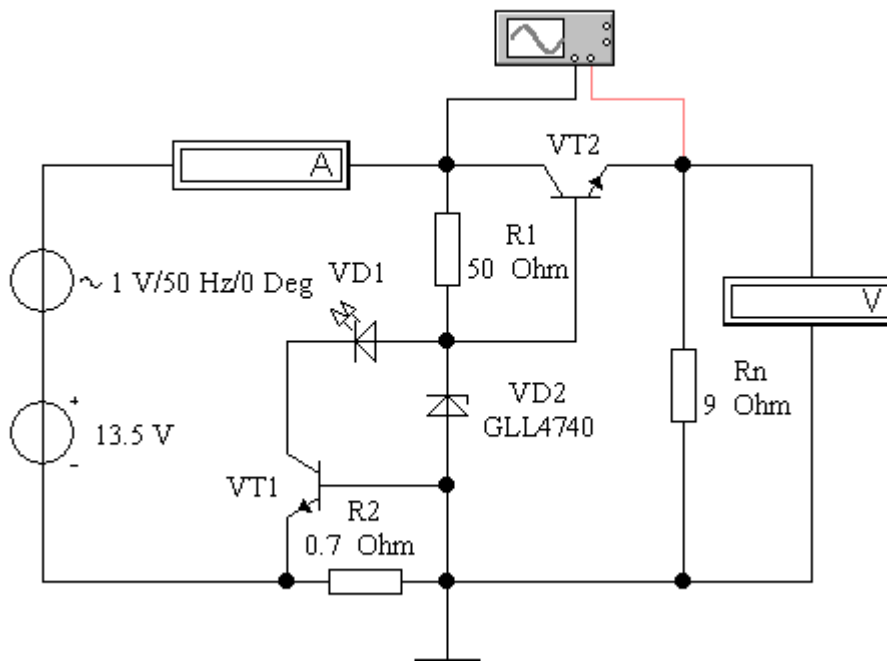


Рисунок 8 – Транзисторный стабилизатор

Для исследования предложенных схем стабилизаторов можно применить метод вариации параметров, реализованный в электронной лаборатории [1]. Это позволяет

построить передаточные характеристики, по которым удобно оценить параметры стабилизации.

Литература

1. Бладыко Ю.В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016.– 190 с.
2. Бладыко Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории: Учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника». В 3 ч. Ч. 1. – Мн.: БНТУ, 2015.– 74 с.
3. Сборник задач по электротехнике и электронике. Учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов/ Ю.В. Бладыко, Т.Т. Розум, Ю.А. Куварзин, С.В. Домников, Г.В. Згаевская.– Мн.: Выш. шк., 2013.– 478 с.

УДК 621.316.38

Вариация параметров при моделировании стабилизаторов постоянного напряжения в электронной лаборатории

Науменко В.И.

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

Моделирование преобразовательных устройств в электронной лаборатории Electronics Workbench [1] наглядно и несложно. В работе рассматривается моделирование параметрических стабилизаторов постоянного напряжения путем вариации параметров [2].

Эффективность работы стабилизатора оценивается коэффициентом стабилизации напряжения

$$k_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вых}}},$$

где $\Delta U_{\text{вх}}$, $\Delta U_{\text{вых}}$ - изменения входного $U_{\text{вх}}$ и выходного напряжений $U_{\text{вых}} = U_{\text{н}}$.

Для исследования в электронной лаборатории был построен параметрический стабилизатор постоянного напряжения (рис. 1). В схеме пронумерованы узлы командой меню Circuit\Schematic Options, закладка Show/Hide, где отмечен пункт меню Show nodes. Для визуализации в окне схем внутреннего имени элемента требуется отметить в окне параметров схемы пункт Show reference ID.

Параметрический стабилизатор напряжения

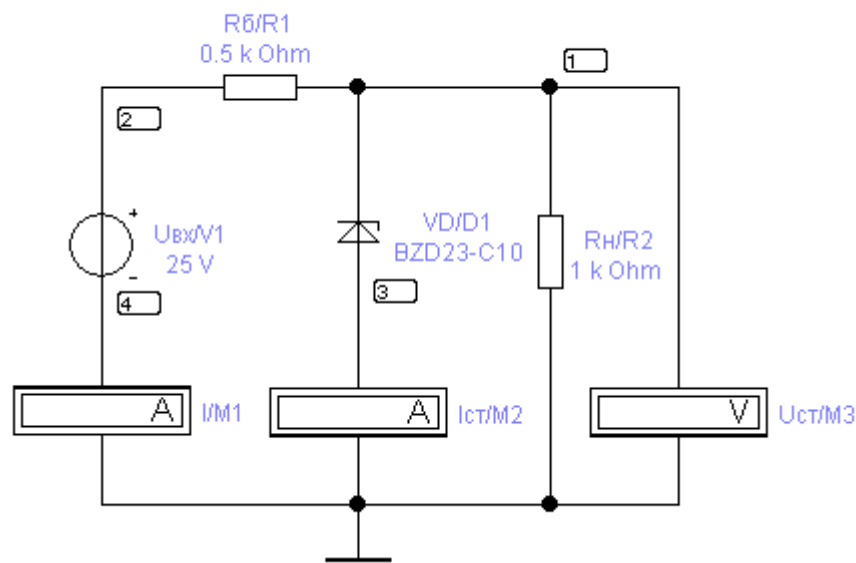


Рисунок 1 – Параметрический стабилизатор напряжения

Анализ работы стабилизатора удобно проводить с использованием вариации параметров. Так при использовании команды меню Analysis\DC Sweep в появившемся диалоговом окне (рис. 2) нужно задать параметры анализа (начальное и конечное значение напряжения, шаг его изменения, номер выходного узла) и нажать кнопку Simulate.

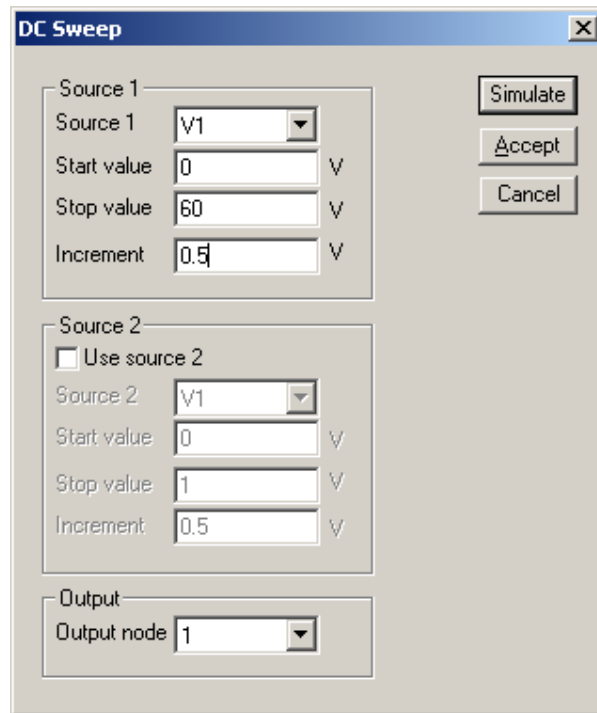


Рисунок 2 – Диалоговое окно при изменении напряжения источника V1

В окне Analysis Graphs\DC Sweep (рис. 3) строится передаточная характеристика $U_H(U_{ВХ})$.

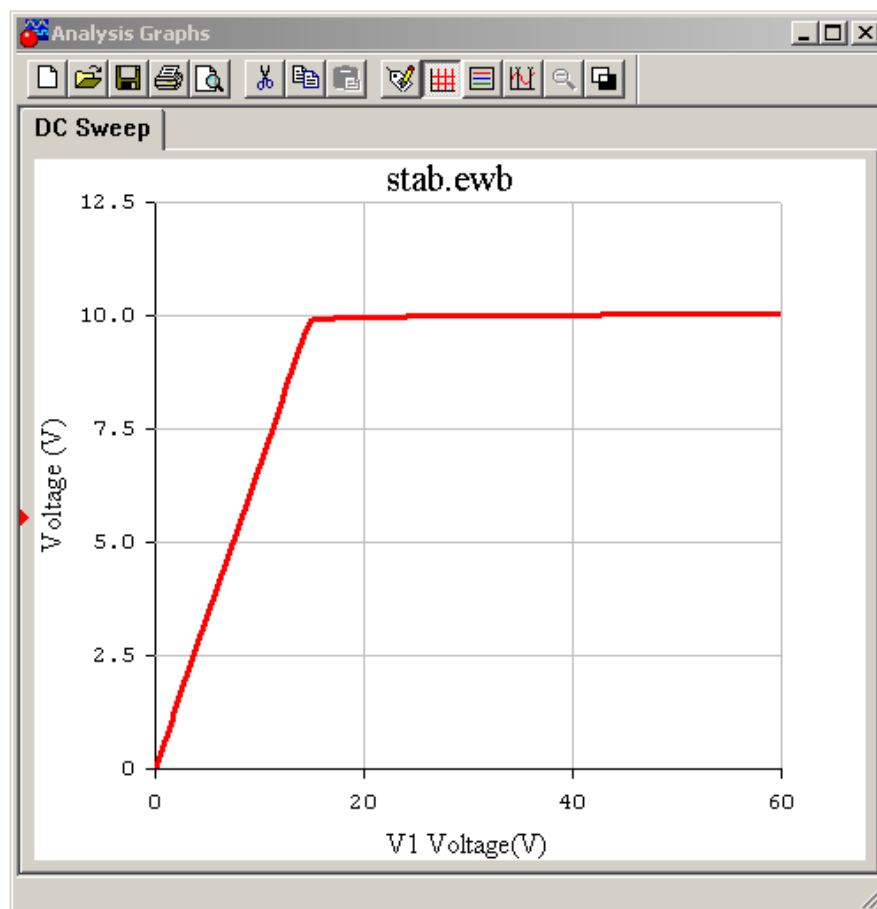


Рисунок 3 – Передаточная характеристика при изменении входного напряжения

Такой же результат можно получить при использовании команды меню Analysis\Parameter Sweep, когда появится диалоговое окно (рис. 4). В верхнем блоке параметров диалогового окна Parameter Sweep указываются внутреннее имя элемента (идентификатор) и изменяемый параметр элемента. Блок Analysis диалогового окна предназначен для установки начального и конечного значения напряжения источника, для выбора линейного или другого типа изменения параметра, для установки шага изменения напряжения и для выбора номера узла, напряжение в котором будет рассчитываться при вариации параметров. В блоке Sweep for устанавливается вид анализа.

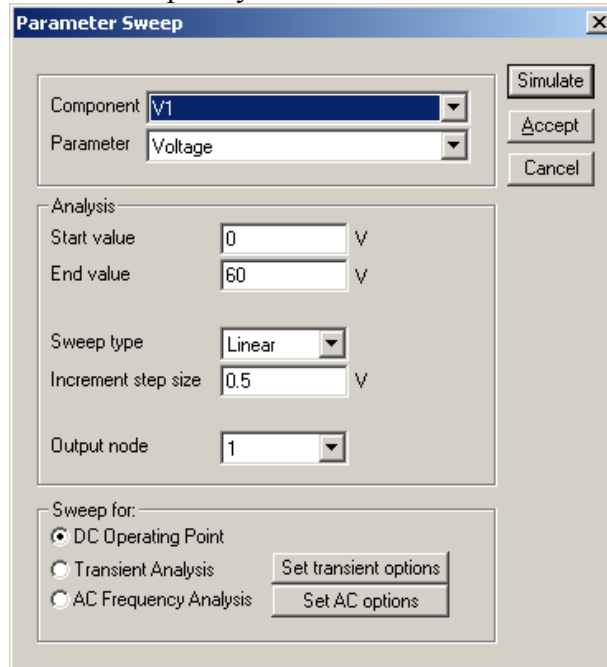


Рисунок 4 – Диалоговое окно при вариации параметра источника напряжения V1

В окне Analysis Graphs\Parameter (рис. 5) строится передаточная характеристика $U_n(U_{вх})$.

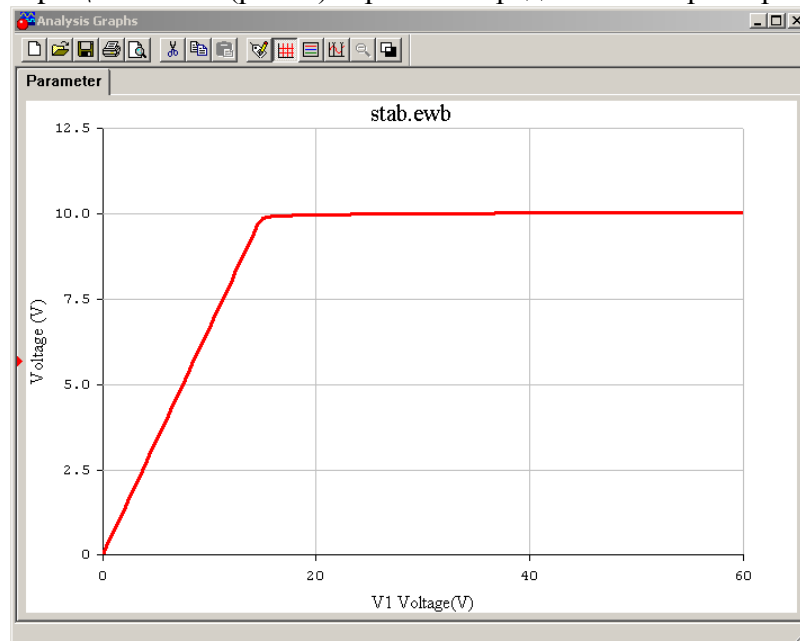


Рисунок 5 – Передаточная характеристика при изменении напряжения путем вариации параметров

При использовании указателей в окне Analysis Graphs\Parameter (рис. 6) можно по данным дисплейного окна вычислить коэффициент стабилизации напряжения по формуле

$$k_{ст} = \frac{dx/x}{dy/y},$$

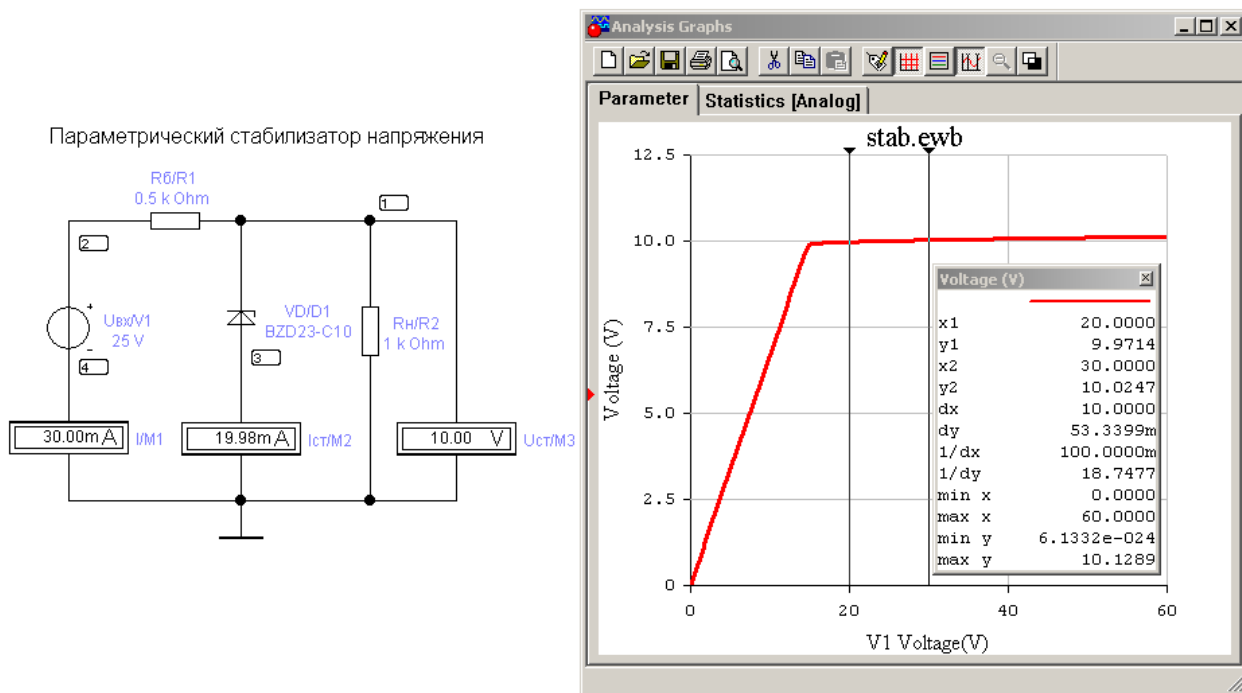


Рисунок 6 – Схема при анализе и передаточная характеристика при вариации параметров

Стабилизация напряжения возможна при токах стабилятора выше минимальной величины, записанной в паспортных данных и связанной с началом участка электрического пробоя, о чем свидетельствует характеристика $I_{ст}(U_{вх})$, построенная путем вариации параметров (рис. 7). Значения тока пропорциональны напряжению на амперметре в узле 3.

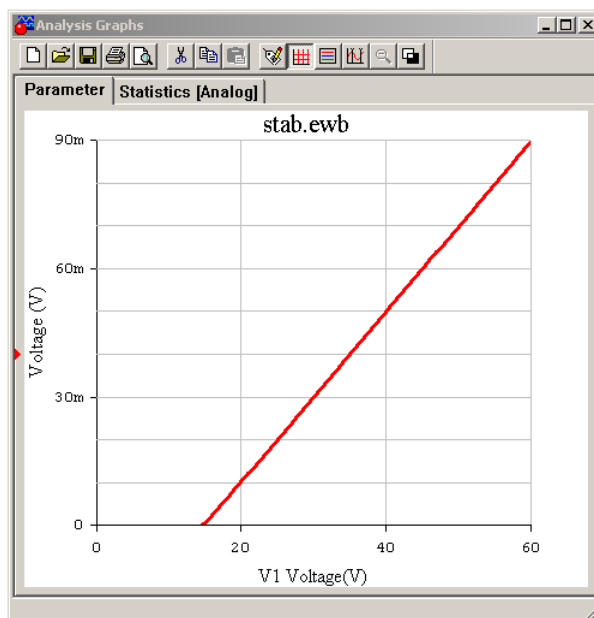


Рисунок 7 – Характеристика $I_{ст}(U_{вх})$

На рис. 8 и 9 показаны диалоговое окно и передаточная характеристика стабилизатора при вариации параметров сопротивления нагрузки R_n .

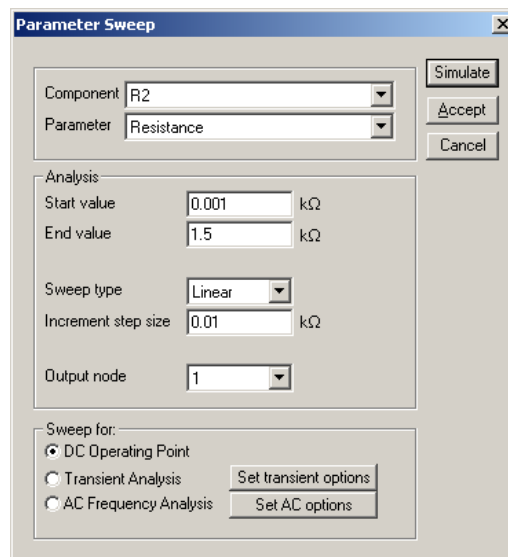


Рисунок 8 – Диалоговое окно при вариации параметра сопротивления нагрузки R_H

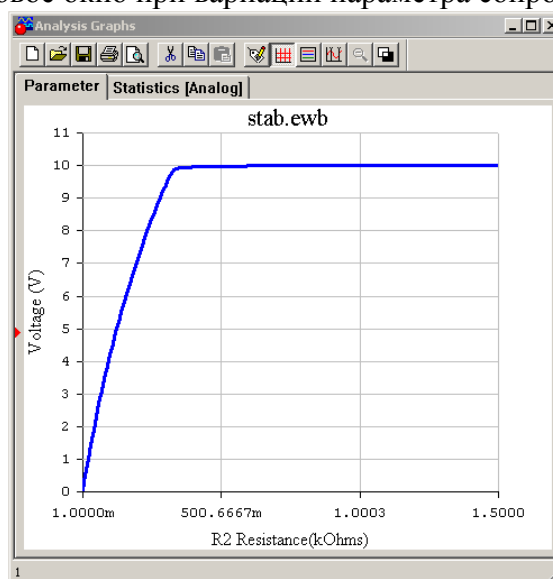


Рисунок 9 – Зависимость $U_{\text{ВЫХ}}(R_H)$

Подобные исследования с вариацией параметров можно проводить для всех схем электротехники и электроники [3]. Вариация параметров в электронной лаборатории прекрасно подходит для схем ограничителей, формирователей, импульсных схем и других устройств преобразовательной техники.

Литература

1. Бладыко Ю.В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016.– 190 с.
2. Бладыко Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории: Учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника». В 3 ч. Ч. 1. – Мн.: БНТУ, 2015.– 74 с.
3. Сборник задач по электротехнике и электронике. Учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов/ Ю.В. Бладыко, Т.Т. Розум, Ю.А. Куварзин, С.В. Домников, Г.В. Згаевская.– Мн.: Выш. шк., 2013.– 478 с.

УДК 621.396.663

Электрическое оружие

Матусевич В.В., Сидор А.А.

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

В настоящее время, в условиях гибридной войны по всему миру изобретаются новые виды оружия. Самым перспективным является электрическое оружие, так как оно бесшумное и не убивает противника, а только парализует его на определенное время.

Самым первым электрическим оружием был электрошокер. Электрошокеры изобрели давно, впервые они были запатентованы в XIX веке. В то время с их помощью охотились на китов. Прибор убивал разрядом животных с помощью электрогенератора с механической рукояткой. В XX веке американский физик и инженер Джек Кавер изобрёл новое оружие нелетального типа под названием «тазер».

«Тазер» – электрошоковое оружие нелетального действия. Он снижает к минимуму получение летального исхода. Известной модификацией «Тазера» является дистанционное электрошоковое оружие «Тазер М-26». Оно стреляет двумя электродами – зондами – на расстояние до 10 метров. Зонды присоединены к источнику высокого напряжения.

Также компания по производству «Тазеров» занимается выпуском электронных пуль под названием «Тазер икстреп». Их масса 14 граммов, скорость полёта 90 метров в секунду и они поражают цель на расстоянии до 30 метров. Такие пули используются в многозарядном помповом дробовике «Моссберг/Тазер Х12».

Однако пару лет назад в США журналисты опубликовали статью о летальных исходах после получения удара разрядом безобидных «Тазеров». После медицинского обследования было выявлено, что погибали люди, находившиеся в состоянии наркотического или алкогольного опьянения. После выстрела «Тазера» у них останавливалось сердце.

В последние годы важным направлением стала разработка систем радиоэлектронной борьбы. Кроме оружия, стреляющего электрическими зарядами, существуют СВЧ-пушки. СВЧ-пушка представляет собой установку, излучающую направленный микроволновый луч большого диаметра. Пучок волн, исходящий в зону поражения, создаёт на теле человека тепловое пятно высокой температуры, при этом, не создавая ожога.

СВЧ-оружие не является смертельным, так как волны проникают в кожу всего на 0,04 мм. Отсюда следует, что внутренности человека не получают вреда. Радиус поражения СВЧ-оружия – 1 километр. Может использоваться для разгона митингов и демонстраций, а также для обороны и нападения во время боевых действий. Кроме этого, СВЧ-пушки могут поражать технику противника направленным лучом высокой мощности.

Примером оружия из далёкого прошлого является пушка Гаусса, которая названа в честь ученого Карла Фридриха Гаусса. В цилиндрической обмотке течёт ток, в результате чего возникает магнитное поле. Это магнитное поле затягивает внутрь обмотки железный снаряд, из-за чего тот начинает разгоняться. К моменту подлета снаряда к обмотке индукция магнитного поля в ней была максимальной.

На вооружении США имеется лазерное оружие. Лазерное оружие, которое повреждало или приводило к потере зрения, запретили в 1995 году. По этой причине многие военные разработки были завершены, но у военных из США получилось дать жизнь проекту «The PHASR». Споры о его безопасности продолжаются и по сегодняшний день, но разработчики оружия уверяют, что воздействие лазерного луча слишком кратковременно, чтобы нанести серьезный вред жизни человека. Если оружие работает, то его технические характеристики подгоняют под нужные параметры и придумывают новое назначение.

Литература

1. www.sb.by Шок и трепет
2. www.zbroya.info Taser XREP
3. www.russian7.ru Оружие нелетального действия

УДК 621.576

Анализ параметров управления активного фильтра

Романович Н.М., Чучков А.В.

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

Предложена методика получения значений начальных фаз высших гармонических составляющих тока, протекающего через нелинейную электромагнитную нагрузку на основе анализа характерных точек в форме кривой тока.

Наиболее характерным примером искажения нелинейной нагрузкой питающего тока является работа трансформатора в режиме холостого хода.

На рисунке 1 представлена кривая тока, протекающего через нелинейную электромагнитную нагрузку.

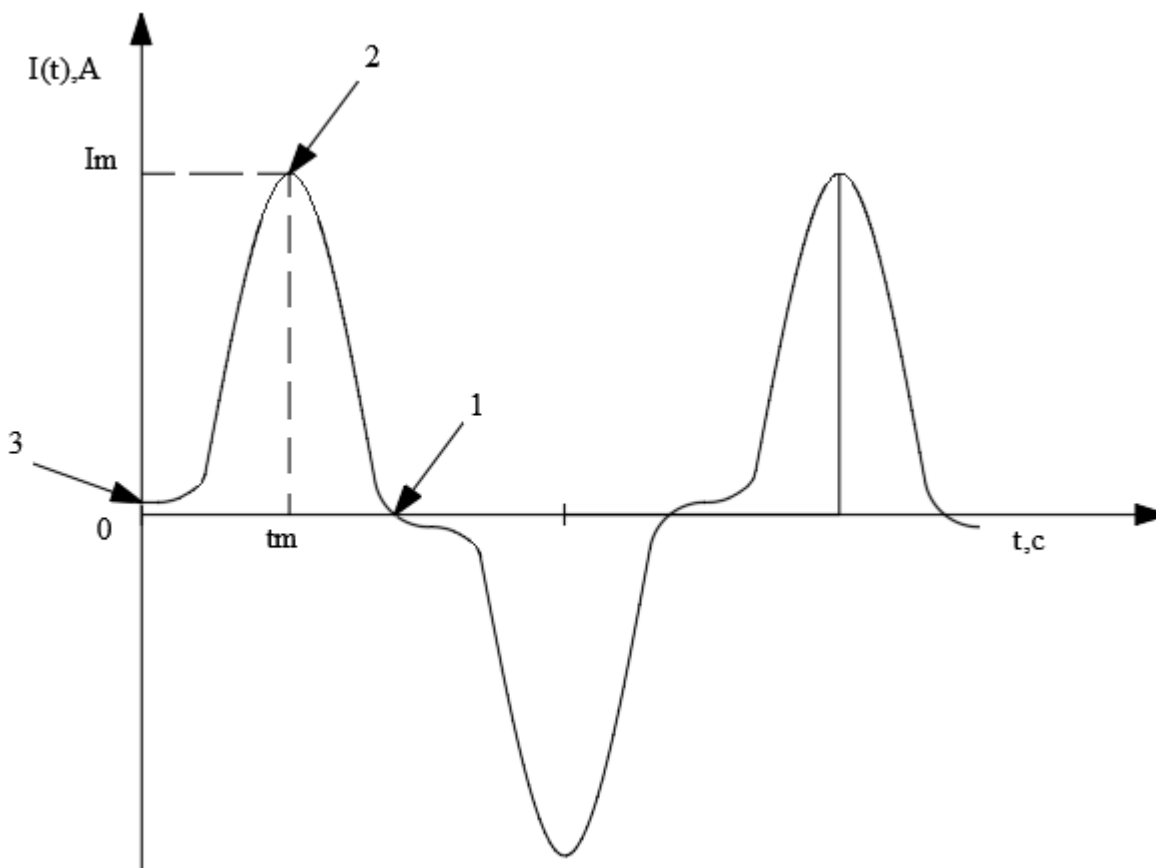


Рисунок 1 – Кривая тока, протекающего через трансформатор

Анализ кривой тока показывает, что в ее форме можно выделить несколько характерных точек:

точка 1 – значение кривой тока $r(t)$ в момент времени $t = t_0$;

точка 2 – значение I_m кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = t_m$;

точка 3 – значение I_0 кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = 0$.

Известно, что любая периодическая кривая может быть представлена рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(\omega t + \varphi_n) \quad (1)$$

где I_{nm} – амплитуды гармонических составляющих;
 φ_n – начальные фазы гармонических составляющих;
 ω – угловая частота.

В точке 1 значение кривой $i(t)$ в момент времени $t = t_0$ равно нулю:

$$i(t_0) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\omega t_0 + \varphi_n) = 0 \quad (2)$$

В точке 2 кривая тока $i(t)$ имеет максимум в момент времени $t = t_m$. Следовательно первая производная функции, описывающей кривую тока, в момент времени $t = t_m$ равно нулю:

$$\frac{di(t_m)}{dt} = 0;$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} nI_{nm} \cos(n\omega t_m + \varphi_n) = 0 \quad (3)$$

Точка 3 является точкой перегиба. Следовательно, вторая производная функции, описывающей кривую тока, в момент времени $t = 0$ равна нулю:

$$\frac{di^2(t_m)}{dt} = 0; \quad -(n\omega)^2 \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(\omega t + \varphi_n) = 0$$

Или

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^2 I_{nm} \sin(\varphi_n) = 0 \quad (4)$$

Выражения (2) – (4) представляют собой систему уравнений, связывающих временные параметры кривой тока с параметрами гармонических составляющих.

Преобразуем уравнение (2):

$$I_{m1} \sin(\omega t_0 + \varphi_1) + \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\omega t_0 + \varphi_n) = 0$$

$$1 + \sum_{n=3}^{\infty} \frac{I_{nm} \sin(n\omega t_0 + \varphi_n)}{I_{m1} \sin(\omega t_0 + \varphi_1)} = 0 \quad (5)$$

Аналогично преобразуем уравнения (3) и (4). Таким образом, преобразованная система тригонометрических уравнений имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 + \sum_{n=3}^{\infty} \frac{I_{nm} \sin(n\omega t_0 + \varphi_n)}{I_{m1} \sin(\omega t_0 + \varphi_1)} = 0; \\ 1 + \sum_{n=3}^{\infty} n \frac{I_{nm} \cos(n\omega t_m + \varphi_n)}{I_{m1} \cos(\omega t_m + \varphi_1)} = 0; \\ 1 + \sum_{n=3}^{\infty} n^2 \frac{I_{nm} \sin(\varphi_n)}{I_{m1} \sin(\varphi_1)} = 0; \end{array} \right. \quad (6)$$

Выражение (2) – (6) представляют собой систему уравнений связывающих временные параметры кривой тока с параметрами гармонических составляющих.

Введём в уравнения системы коэффициент гармоник K_r :

$$K_{rn} = \frac{I_{nm}}{I_{m1}}; \quad (7)$$

Система уравнений примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 + \sum_{n=3}^{\infty} K_{rn} \frac{\sin(n\omega t_0 + \varphi_n)}{\sin(\omega t_0 + \varphi_1)} = 0; \\ 1 + \sum_{n=3}^{\infty} n K_{rn} \frac{\cos(n\omega t_m + \varphi_n)}{\cos(\omega t_m + \varphi_1)} = 0; \\ 1 + \sum_{n=3}^{\infty} n^2 K_{rn} \frac{\sin(\varphi_n)}{\sin(\varphi_1)} = 0; \end{array} \right. \quad (8)$$

Получим выражение для вычисления значений начальных фаз высших гармоник тока.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\varphi_n) &= \frac{\frac{\sin(n\omega t_0)}{\sin(\omega t_0 + \varphi_1)} - n \frac{\cos(n\omega t_m)}{2 \cos(\omega t_m + \varphi_1)}}{n^2 \frac{1}{2 \sin(\varphi_1)} - n \frac{\sin(n\omega t_m)}{2 \cos(\omega t_m + \varphi_1)} - \frac{\cos(n\omega t_0)}{\sin(\omega t_0 + \varphi_1)}} \\ \operatorname{tg}(\varphi_n) &= \frac{\sin(\varphi_1) (2 \sin(n\omega t_0) \cos(\omega t_m + \varphi_1) - n \cos(n\omega t_m) \sin(\omega t_0 + \varphi_1))}{n^2 \cos(\omega t_m + \varphi_1) \sin(\omega t_0 + \varphi_1) - n \sin(\varphi_1) \sin(\omega t_0 + \varphi_1) - 2 \sin(\varphi_1) \cos(\omega t_m + \varphi_1)} \end{aligned}$$

Литература

1. Чумаков, С.А. Обеспечение качества электрической энергии в системах электроснабжения автономных объектов/ С.А. Чумаков, А.Н. Малашин, Ю.В. Суходолов // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. – 2015. – №2(47). – С. 151-161.
2. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий. / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. И доп. – М: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.: ил.

УДК 629.052.9

Электрофорная машина с бесколлекторным двигателем

Чиков А.В., Кузнецов П.В.

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

Генератор с бесколлекторным двигателем, он же индукционная электростатическая машина. В ней статический заряд образуется не с помощью трибоэлектричества, когда имеется трение, а через индуцированные заряды. У данного класса машин КПД немного ниже в сравнении с теми, где используется трение.

Описание машины

Машина состоит из двух дисков, которые выполнены из диэлектрика, таковыми являются эбонит, акрил. Данные диски свободно размещены на валу и могут вращаться вокруг горизонтальной оси. Сами диски располагаются вертикально. С помощью бесколлекторного двигателя, который в свою очередь подключен к источнику напряжения и создает вращение вала, оба диска приводятся в разнонаправленное вращение. Один диск вращается по часовой стрелки, а другой – против часовой стрелки. Это обеспечивается с помощью вращения вала, который в свою очередь разгоняется двигателем. За счет этого обеспечивается разнонаправленное вращение дисков, которое необходимо для индукции зарядов.

На наружной части дисков наклеены алюминиевые накладки, которые не соприкасаются с краями диска, а выполнены на определенном расстоянии от них. Накладки расположены радиально, в виде квадрата, без нижней оси, выходящей из центра диска. Оба диска имеют одинаковое количество и расположение накладок, кратное 7.

Полоски при вращении дисков соприкасаются со щётками, которые выполняют роль контакта, для дальнейшего переноса заряда по проводникам. При работе машины алюминиевые накладки в месте взаимодействия со щетками могут предельно изнашиваться и конструктивно этот износ должен быть максимально сведен к минимуму, а качество контакта к максимуму. Проводники служат для приема и накопления образованных зарядов с обоих дисков. Проводники и расположены по одну сторону диска и сочетают диаметрально противоположные накладки.

Таким образом, мы имеем два типа проводников. Одни для приема зарядов, а вторые для установления своего рода «земли» - линии нейтрального потенциала. Проводники расположены на одной геометрической диаметральной оси относительно дисков, а проводники 8 и 9 относительно друг друга повернуты на угол 90° .

Можно сказать, что между проводниками 8 и 9 проводники 6 и 7 находятся по центру и отклонены под углом 45° . Исходя из этого, мы видим, что машина изготовлена симметрично и достаточно просто.

Описание работы электрофорной машины

При включении двигателя, вал начинает вращение вокруг оси, вследствие этого, диски начинают двигаться в противоположных направлениях. Щетки, начинают контактировать с одними, затем с последующими алюминиевыми накладками. С каждым оборотом начинает накапливаться всё больший и больший заряд, что в дальнейшем обеспечивает увеличение потенциала на контактах 6 и 7. Для эффективного накопления используют конденсаторы обычной конфигурации.

Когда накопленный заряд достигает своего максимального значения для используемой конструкции машины, рост заряда сразу же прекращается и идет передача на аккумулятор, который заряжается от этой машины. Чем больше диаметр дисков и чем выше скорость вращения, тем больший заряд способна сформировать электрофорная машина.

Как происходит накопление данных зарядов?

Допустим, что первый круг имеет недостаточно свободных зарядов, что в данном случае означает недостаток свободных электронов в алюминиевых пластинах. При движении

второго диска его пластины будут поочередно сталкиваться со щетками на проводнике 8, и, в свою очередь, на них будет образован избыток свободных носителей зарядов.

Это происходит потому, что пластины с двух сторон, между которыми находится диэлектрик (материал дисков), представляют собой плоский конденсатор, но конденсатор, обкладки которого двигаются. Электрический заряд на таком конденсаторе индуцируется, или проще говоря – наводится.

А дальше происходит следующее. Пластины, второго диска, достигнув до щеток контакта, отдаст свои электроны в накопитель в виде конденсатор со стандартной конфигурацией. Именно конденсатор будет накапливать заряд. В последующем настанет очередь следующих за ними пластин и так далее. Похожий процесс происходит и на первом диске, так как он вращается, но в противоположном направлении. Можно сказать, что свободные носители как бы выкачиваются из другого конденсатора, тем самым образуя на ней недостаток электронов, а значит, приобретает заряд.

Чем чаще пластины обоих дисков соприкасаются со щетками на проводниках 6 и 7, тем большее количество зарядов накапливается на них. Конденсаторы, если они установлены, будут заряжаться всё больше и больше, до тех пор, пока не начнут противодействовать дальнейшему накоплению зарядов. Это значит, что есть предел накопления, который можно характеризовать также и разностью потенциалов (напряжением) между контактами.

УДК 621.3

Электромагнитное излучение и здоровье человека

Шиханцова Т.И., Никифорова Д.Р.

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

Электромагнитные поля невидимы, но окружают нас повсюду - дома, на учёбе, в транспорте. Источниками электромагнитного излучения являются электромагнитное поле Земли, космические источники радиоволн (Солнце и другие звёзды), процессы, происходящие в атмосфере Земли (молнии, колебания в ионосфере), человек. бытовые приборы, электротранспорт, промышленные объекты, например, спутниковые тарелки и линии электропередач, спутниковая и сотовая связь, радары. Электромагнитное поле состоит из двух компонентов: электрического и магнитного полей, расположенных под прямым углом друг к другу. Магнитное поле глубже проникает в человека, чем электрическое. Защититься от электрического поля гораздо проще, чем от магнитного поля. Площадь полей определяется мощностью источника.

Электромагнитное излучение опасно тем, что его человек не ощущает до момента проявления последствий. Неоспоримым является тот факт, что электромагнитные поля выше определенного уровня могут вызывать биологические эффекты. Слабые электромагнитные поля высокой частоты мощностью сотые и даже тысячные доли Ватт для человека опасны тем, что интенсивность таких полей совпадает с интенсивностью излучений организма человека при обычном функционировании всех систем и органов в его теле. В результате этого взаимодействия собственное поле человека искажается, что способствует развитию различных заболеваний, особенно в наиболее ослабленных местах организма.

В обычной квартире источниками ЭМИ являются бытовые электроприборы и проводка. Наиболее мощными источниками ЭМИ в квартире следует признать аэрогрили, холодильники с системой "No frost", СВЧ-печи, электроплиты. Реально создаваемое ЭМП, в зависимости от конкретной модели и режима работы, может сильно различаться среди оборудования одного типа. Значения магнитного поля тесно связаны с мощностью прибора – чем она выше, тем выше магнитное поле при его работе, но вреда от них не будет, так как электроприборы используются непродолжительное время и находятся на безопасном расстоянии от человека. Согласно нормам, предельно допустимый уровень магнитного поля составляет 100мкТл при ежедневном воздействии не более 8 часов. Эксперименты указывают на то, что воздействие полей тех уровней, которые присутствуют в окружающей среде или в нашем доме, не вызывает явных пагубных последствий. Но, если человек подвергается излучению длительное время, или электроприборы неисправны, могут наблюдаться нарушение внимания и памяти, возникают жалобы на плохой сон и повышенную утомляемость.

Таблица 1 – безопасное расстояние от электроприборов

Источник	Расстояние, на котором фиксируется величина больше 0,2 мкТл
Холодильник, оснащённый системой «No frost» (во время работы компрессора)	1,2 м от дверцы; 1,5 м от задней стенки
Холодильник обычный (во время работы компрессора)	0,1 м от дверцы и задней стенки
Утюг (в режиме нагрева)	0,23 м от ручки
Телевизор	1,1 м от экрана
Электрорадиатор	0,3 м
Торшер с двумя лампами по 78Вт	0,03 м
Аэрогриль	1,4 м
Фен	0,2 м
Электродуховка	0,4 м от передней стенки
Электробритва	0,3 м

Электрочайник	0,2 м
Wi-Fi-передатчик	0,4 м
Компьютер	0,5 м от экрана
СВЧ-печь	1,5 м

Для окружающих электромагнитное поле, создаваемое работающим мобильным телефоном, не представляет никакой опасности. Излучение может стать вредным, если разговаривать по телефону в движущемся автомобиле. При передвижении меняются станции мобильной связи, телефон начинает активно искать сигнал и излучение усиливается. Также телефон может стать вредным, когда идёт непосредственно набор номера вызываемого абонента, так как в это время телефон посылает максимальный электромагнитный импульс. Если приложить телефон к уху, не дождавшись ответа абонента, эти импульсы посылаются непосредственно в мозг. Также телефон представляет опасность, когда теряется сеть и телефон начинает активно искать ближайшую базовую станцию, чтобы подсоединиться к ней.

Электромагнитные поля, создающиеся линиями электропередач, гораздо опаснее ЭМП, создающихся бытовыми приборами, так как создаются поля низкой частоты. Наиболее чувствительны к электромагнитным полям нервная, эндокринная, сердечно-сосудистая и иммунная системы. Кратковременное облучение способно привести к негативной реакции только у гиперчувствительных людей или у больных некоторыми видами аллергии. Длительное воздействие электромагнитного поля промышленной частоты на человека вызывает повышенную утомляемость, приводит к снижению качества выполнения рабочих операций, болям в области сердца, изменению кровяного давления и пульса. Все эти симптомы характеризуют радиоволновую болезнь.

Активность естественного геомагнитного поля над поверхностью Земли изменяется в пределах 0,035-0,07 мТл. Естественное электрическое и магнитные поля здоровью человека не вредят. Но иногда напряжение этих полей меняется. Например, при излишней активности Солнца. Возмущения Солнца, или магнитные бури, вредны для людей, страдающих ишемической болезнью сердца. Нахождение в нулевом или гиппомагнитном электромагнитном поле также приносит вред здоровью. При нахождении в нём в течении часа у человека замедляется движение крови в капиллярных сосудах, органы получают меньше кислорода, ощущается сонливость. В городе существует множество точек, в котором ослабляется магнитное поле Земли. Прежде всего, это железобетонные конструкции, метро. В таких местах происходит экранирование поля. Результат этого быстрая утомляемость, слабый иммунитет, риск сердечно-сосудистых заболеваний. Вывод: изменение полей от нулевого до возмущённого – одинаково вредны для здоровья.

С развитием электроники человек научился извлекать пользу из электромагнитных полей. Мощные поля используются в научных и медицинских исследованиях, таких как магнитно-резонансная томограмма, с помощью которой, можно получить объёмные изображения мозга и других мягких тканей. При проведении обычных клинических исследований, пациенты и операторы оборудования могут подвергаться воздействию мощных магнитных полей в диапазоне 0,2-3 Тл, а для сканирования всего тела пациента, используется в медицинское оборудование с более сильными магнитными полями мощностью до 10 Тл. Без использования этих сильнейших магнитных полей миллионы человек так и не узнали бы свой точный диагноз.

Пользуясь здравым смыслом и простыми правилами, каждый может защитить себя от воздействия электромагнитного излучения.

Следует придерживаться некоторых рекомендаций:

- находится на безопасном расстоянии от источников ЭМП;
- ограничить время воздействия ЭМП;
- не находится возле мощных источников;
- по возможности выключать бытовые приборы из розетки;
- периодически обновлять домашнюю технику;

- избегать эффекта накапливания;
- не ставить кровать изголовьем к электроприборам;
- не подносить телефон к уху в режиме поиска;
- не класть телефон рядом с головой.

Литература

1. <https://gamma7.ru> Влияние электромагнитного излучения на человека.
2. <https://fbuz04.ru> Влияние электромагнитного излучения на здоровье человека.

УДК 621.3

Системы диагностики силового агрегата электромобиля

Лушинский Д.В., Кисляк Д.В.

Научные руководители – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В., ст. препод. ЗЕЛЕНКО В.В.

Электромобили становятся все более и более популярными в наше время. Сейчас человечеству доступно множество технологий, благодаря которым электромобили изменились в лучшую сторону. Они стали «умнее», в них установлены батареи, позволяющие преодолевать большие расстояния и прочие вещи, без которых мы уже не воспринимаем автомобиль.

Но, до того как электромобили окончательно вытеснят автомобили с ДВС, нам предстоит решить массу проблем, которые возникают в ходе их эксплуатации. Одна из них – это диагностика силового агрегата.

Думаю, каждому очевидно, что существуют определенные нормы, без соблюдения которых нарушается работы системы. Часто это приводит к поломке, но и тут не все так просто: поскольку электромобили ещё только начинают входить в нашу жизнь, ещё нет достаточного количества квалифицированных специалистов, а так же специализированного оборудования для определения причины неисправности. Как мы видим, тема очень актуальная для нашего времени, давайте разбираться!

На первых же шагах появляются первые трудности: сложная компоновка двигателя не позволяет определить неисправность при осмотре. На практике проверить техническое состояние двигателя можно по электрическим характеристикам. Возможными причинами неисправности могут являться: обрыв (т.е. повреждение провода), короткое замыкание (повреждение изоляции на витках входа и выхода), замыкание (повреждение изоляции соседних витков – межвитковое замыкание). При возникновении одной или нескольких из них они произведут размагничивающее действие на обмотку, в результате резко увеличится ток и произойдет перегрев электродвигателя.

Стоит заметить, что проверка на обрыв является самым простым способом диагностики. Суть этого метода заключается в простом измерении сопротивления провода. Оно проводится при помощи мультиметра. Если прибор показывает очень высокое сопротивление, значит, имеет место обрыв провода, с последующим образованием воздушного пространства.

Следующий метод диагностики – проверка на короткое замыкание. При возникновении замыкания срабатывает установленная в моторе система защиты, действие которой заключается в отключении питания. Весь процесс занимает доли секунды, но последствия могут быть плачевными. За этот промежуток времени может появиться дефект обмотки в виде нагара, образованного в ходе оплавления металла. Если провести измерение мультиметром, то полученные значения сопротивления обмотки примут значение, приближающееся к нулю, так как происходит исключение куска обмотки из-за замыкания.

Не менее значимым является – проверка обмоток электродвигателя с помощью омметра. Суть работы прибора заключается в измерении активного сопротивления. Работает при подключении к нему постоянного тока. Проверка этим способом вызывает некоторые трудности: при замыкании одного витка активное сопротивление почти не изменится и определить его при помощи омметра – сложно.

Метод измерения тока в каждой фазе: если двигатель полностью исправен, то на всех фазах ток потребления будет одинаковым. Когда происходит замыкание между витками, соотношение токов по фазам изменяется. Таким образом, измерив, токи под нагрузкой, можно определить техническое состояние электродвигателя.

Проверка обмоток электродвигателя переменным током. Так как не всегда можно учесть индуктивное сопротивление, при измерении сопротивления обмотки, поэтому применяется этот метод проверки. Для измерения используют амперметр, вольтметр и

понижающий трансформатор. Так же в схему включают резистор, либо реостат для ограничения тока.

Чтобы проверить обмотку электродвигателя, используется низкое напряжение, исследуется значение тока, которое должно быть не выше номинальных значений. Измеренное падение напряжения на обмотке делится на ток, в итоге получается полное сопротивление. Его значение сопоставляют со значениями на других обмотках.

Эта же схема позволяет определить вольтамперные характеристики обмоток. Для этого производится несколько измерений и строится график. Если больших различий нет, значит, система работает нормально. Большие изменения указывают на межвитковое замыкание.

Последний метод диагностики, который мы рассмотрели в этой работе – проверка обмоток электродвигателя при помощи шарика. Данный метод опирается на образовании электромагнитного поля с вращающимся эффектом. В случае если обмотки исправны к ним нужно подключить симметричное напряжение с 3-мя фазами, низкого значения. Для этих экспериментов нужны три понижающих трансформатора с одинаковыми данными. Их обязательно нужно подключить в отдельности на каждую фазу. Чтобы уменьшить нагрузки, весь опыт нужно провести за небольшой промежуток времени. Подают напряжение на обмотки статора, и вводят маленький стальной шарик в магнитное поле. При исправных обмотках шарик должен вращаться внутри магнитопровода. В противном же случае, если имеется замыкание между витками в любой из обмоток, шарик сразу остановится там, где есть замыкание. При проведении опыта нельзя допускать превышения тока больше номинального значения, иначе произойдет разрушение обмотки.

Литература

- 1 <https://szemp.ru> Сопротивление обмоток электродвигателя.

УДК 621.3

Теплогенератор Потапова как пример холодного ядерного синтеза

Буйницкий С.В., Курилик А.С.

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

Запасы органического топлива на Земле стремительно заканчиваются. С каждым годом увеличивается как население планеты, так и потребление им энергии. Мало того, что топливо недолговечно, вдобавок ко всему оно создаёт ещё одну глобальную проблему человечества – парниковый эффект, который, в свою очередь, ведёт к перегреву атмосферы Земли и климатической катастрофе. Эти и многие другие вытекающие проблемы заставляют человеческую цивилизацию искать альтернативу в производстве электричества.

В качестве замены уже существующему сырью выступило ядерное топливо. На данный момент успели возвести сотни электростанций по всему миру, несмотря на то, что ядерные электростанции опасны. А вдобавок к этому поднялся ещё один вопрос – что делать с отработанным топливом? На данный момент его оставляют в так называемых «могильниках», доверив эту «бомбу замедленного действия» будущим поколениям.

По оценкам учёных, залежей урана осталось примерно на 100 лет, если учитывать нынешние темпы роста энергопотребления в мире. Из этого можно сделать вывод, что уран лишь временная альтернатива в энергопроизводстве. Поэтому поиски более долговечного и безопасного производства энергии идут до настоящего времени. Одним из примеров альтернативного производства энергии можно назвать теплогенератор Потапова. Впервые воссоздан этот аппарат был в 90-х годах прошлого столетия. Полной и непротиворечивой теории, которая могла бы описать работу данного устройства всё ещё не существует, что и подогревает интерес к данной разработке.

Доступно объясняется процесс так: при прохождении газа по трубе он начинает раскручиваться и сжиматься у стенок трубы, вследствие чего происходит его нагрев. В осевой же зоне газ охлаждается. После чего газ выводится через одно отверстие в пристеночной области, а через другое отверстие уже в осевой, благодаря чему получается деление на два потока – холодный и тёплый. Первый, кто догадался вместо сжимаемого газа наполнить вихревую трубу несжимаемой жидкостью, был Ю.С. Потапов, находившийся в 80-х в Кишинёве. В ходе опыта он заметил, как вода делилась на те самые два потока, только не горячий и холодный, а горячий и тёплый (получившаяся вода была выше по температуре, чем исходная жидкость). Но удивительнее того было другое – выяснилось, что вырабатывает устройство больше энергии, чем потребляет.

В аппарате при помощи насоса создаётся давление от 4 до 6 атм. Под давлением вода подаётся в инжекционный патрубок, присоединенный к фланцу насоса. Жидкость заполняет полость улитки и начинается процесс вращения по изогнутому каналу для достижения эффекта кавитации. Кавитация – это процесс образования и разрушения пузырей вакуума в потоке жидкости, который сопровождается шумом и ударами, которые могут содержать разреженный пар. Следом за улиткой вода попадает в вихревую трубу, при чём при попадании туда жидкость уже набрала необходимую скорость и, достигла одноименный характер движения. Потапов установил, что длина трубы должна в разы превышать её ширину. Вода направляется к противоположному краю трубы, который является уже горячим. Весь свой путь жидкость проходит по винтообразной спирали, которая находится у стенок трубы. Вода будет в движении до того момента, пока не достигнет тормозного устройства, находящегося в конце основного корпуса, где часть горячей жидкости выводится, что позволяет выровнять поток. Тем временем, навстречу горячему потоку, идущему по внутренней полости втулки основного тормозного устройства, запускают поток холодной жидкости. Таким образом, получается, что два потока воды с разными температурами движутся друг над другом и имеют зону контакта. Времени этого контакта двух потоков через стенки втулки достаточно, чтобы нагреть холодную жидкость. В итоге уже тёплый поток воды направляется к выходу из устройства. Так же, благодаря процессу

кавитации, происходящему в жидкости на этапе прохождения ею тормозного устройства, воду можно дополнительно нагреть. И уже хорошо прогретая жидкость готова выйти из малого тормозного устройства по байпасу, после чего пройти по основному отводящему патрубку, соединяющему два конца основной цепи элементов теплового устройства. Вихревая труба, в свою очередь, соединена отверстием в дне. Следовательно, горячая жидкость заканчивает свое движение по вихревой трубе проходом в отверстие дна. После горячая жидкость попадает в основной отводящий патрубок, где смешивается с теплым потоком. На этом движение жидкостей по системе теплогенератора Потапова закончено. На выход из нагревателя вода поступает с верхней части отводного патрубка - горячая, а из нижней его части - теплая, в нем же она смешивается, готовая к использованию. Горячая вода может применяться либо в водопроводе для хозяйственных нужд, либо в качестве теплоносителя в системе отопления.

Предполагается, что схема работы и действия данного устройства основаны на процессе кавитации. При этом жидкость, которая оказывает постоянное давление на «пузырь», стремится перемещаться из области высокого давления в область низкого, чтобы сохранить свою форму. В итоге, он не выдерживает давления и резко сжимается или «лопается», при этом создавая энергию, которая образует волну. Энергия своеобразных «пузырей» имеет большое значение силы, которая может разрушить немалые металлические конструкции. Именно поэтому теплогенератор оснащён контуром, в котором образуются «пузырьки» очень малого размера, которые лопаются в толще воды. Они не обладают большой силой, но обеспечивают увеличение тепловой энергии до 80%. Всё это время, в контуре поддерживается ток с напряжением 220В.

Данное устройство не используется широкими массами и слишком мало изучено, с научной точки зрения, но в теории данное изобретение может применяться в качестве обогревателя жилых помещений.

В заключение можно отметить, что несложная и доступная для понимания конструкция теплогенератора Потапова вынуждала многих пренебрегать покупкой лицензии и делать попытки становления данного аппарата на производственный поток. Но попытки не заканчивались успехом, как минимум по двум причинам: во-первых, в устройстве имеется нюанс, не зная который, будет тяжело достичь желаемого результата; во-вторых, теплогенератор защищён патентом Потапова так, что любые попытки обойти его привели бы к провалу. Ситуацию можно сравнить разве что с патентом Зингера на «машину, использующую иглу с отверстием у острия». Проще приобрести лицензию, стоимость которой Потапов оценил в 15 тысяч у.е., в бонус к которой идут консультации самого изобретателя и рекомендации при налаживании производства устройства, в теории способных помочь при решении энергетической проблемы.

Литература

1. [www.http://energyua.com](http://energyua.com) Теплогенератор Потапова - работающий реактор холодного ядерного синтеза
2. [www.https://21ek.ru](https://21ek.ru) Теплогенераторы для водяного отопления своими руками. Теплогенераторы для водяного отопления

УДК 621.316

Активная мощность гармонических составляющих тока силового трансформатора

Тарарай А.О., Ермолинская Л.Э.

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

Потери электроэнергии в трансформаторах – один из видов технических потерь электроэнергии, обусловленных особенностями физических процессов, происходящих при передаче энергии.

Существуют два вида причин, из-за которых происходит рост потребления энергии оборудованием. На них влияют различные факторы. Их делят на магнитные и электрические.

Электрические потери. Снижение мощности может определяться в обмотках при их нагреве током. В сетях на такие затраты приходится 4-7% от общего количества потребляемой энергии. Они зависят от нескольких факторов. К ним относятся: электрическая нагрузка системы, конфигурация внутренних сетей, их длина и размер сечения, режим работы, средневзвешенный коэффициент мощности системы, расположение компенсационных устройств.

Потери мощности в трансформаторах являются величиной переменной. На нее влияет показатель квадрата тока в контурах.

Магнитные потери. Происходят главным образом в магнитопроводе трансформатора. Причина этих потерь — систематическое перемагничивание магнитопровода переменным магнитным полем. Это перемагничивание вызывает в магнитопроводе два вида магнитных потерь: потери от гистерезиса P_H , связанные с затратой энергии на уничтожение остаточного магнетизма в ферромагнитном материале магнитопровода, и потери от вихревых токов $P_{вт}$, наводимых переменным магнитным полем в пластинах магнитопровода.

Для количественной и качественной оценки этого явления ввели понятие потерь мощности. Изменение намагничивания сердечника (магнитной индукции) всегда отстает от соответствующих изменений магнитного потока (напряженности магнитного поля), создаваемого обмоткой.

Это отставание магнитной индукции от напряженности магнитного поля носит название гистерезиса. При каждом новом намагничивании сердечника для уничтожения его остаточного магнетизма приходится действовать на сердечник магнитным потоком противоположного направления.

По площади, которую занимает петля на графике, можно судить об электрической мощности, которая расходуется на процессы перемагничивания.

Измерения по площади больше относятся к графическим расчетам и не могут использоваться при анализе потерь в энергетической системе.

Данный вопрос об измерении потерь энергии по площади петли гистерезиса описан в [1].

Целью изобретения является повышение производительности и точности измерений.

Поставленная цель достигается тем, что образец намагничивают поочередно синусоидальным током и синусоидальным напряжением при одной и той же активной мощности, потребляемой цепью намагничивания, фиксируют площадь петель гистерезиса в обоих. Разность измеренных площадей петель гистерезиса дает в определенном масштабе потерю энергии от высших гармоник.

Однако применение указанного способа для измерения потерь от высших гармоник намагничивающего тока в электромагнитном устройстве с ферромагнитным сердечником большой мощности трудоемко и связано с большими капитальными затратами, т.к. для намагничивания сердечника необходимо иметь источник синусоидального тока, превосходящий по мощности в несколько раз мощность испытуемого электромагнитного устройства.

Более простой способ измерения потерь описан в [2].

Для упрощения измерений измеряют коэффициент гармоник намагничивающего тока, по величине произведения активной мощности на квадрат коэффициента гармоник судят о величине потерь от высших гармоник.

$$P_{в.г.} = P \cdot K_{г.}^2$$

Для достижения поставленной цели необходимо и достаточно измерить только коэффициент гармоник намагничивающего тока. Учитывая, что коэффициент гармоник определяется с помощью измерителей нелинейных искажений, то для коэффициента гармоник принимается следующая формулировка: коэффициент гармоник несинусоидальной периодической функции – есть отношение действующего значения высших гармоник к эффективному значению этой функции.

Вышеприведенному способу присущи следующие недостатки:

- Использование параметра, измеряемого измерителями нелинейных искажений как коэффициента гармоник, возможно только при незначительном искажении сигнала, когда $K_r < 1$, что ограничивает применение способа;
- При больших значениях K_r уравнение измерительного преобразования прототипа будет давать высокие погрешности, соизмеримые с самим измеряемым параметром;
- Высокая погрешность, обусловленная тем, что не учитываются фазовые соотношения высших гармонических составляющих тока.

Задачей способа, описанного в [3] является устранение вышеприведенных недостатков.

Поставленная задача достигается тем, что активную мощность высших гармонических составляющих тока, протекающего через нелинейную электромагнитную нагрузку, определяют с учетом соотношения амплитуд и начальных фаз гармонических составляющих тока без ограничений, связанных с особенностями измерений. Подают на упомянутую нагрузку питающее напряжение и определяют активную мощность P_1 на частоте первой гармонической составляющей упомянутого тока, коэффициент высшей составляющей тока:

$$K_{i(2n-1)} = \frac{I_{(2n-1)}}{I_1},$$

где $n=2,3,\dots$ - целое число;

$I_{(2n-1)}$ – действующее значение высшей гармоники тока;

I_1 – действующее значение первой гармонической составляющей тока.

И в соответствии с ГОСТ 32144-2013

$$K_{\psi(2n-1)} = \frac{|\psi_{(2n-1)}|}{|\psi_1|},$$

где $\psi_{(2n-1)}$ – начальная фаза высшей гармонической составляющей тока в радианах;

ψ_1 – начальная фаза первой гармонической составляющей тока в радианах.

Литература

1. Патент Союза ССР №580531/22.07.1977.
2. Способ измерения потерь энергии от высших гармоник намагничивающего тока//Патент Союза ССР №2081579. 1974./Суходолов В.П. [и др.].
3. Патент Союза ССР №691791/22.06.1979.
4. Способ измерения потерь энергии от высших гармоник намагничивающего тока//Патент Союза ССР №2172333. 1975./Дель Г.В., Осипов М.О., Суходолов В.П.
5. Патент РБ №19319/30.06.2014.

6. Способ определения активной мощности высших гармонических составляющих тока, протекающего через нелинейную электромагнитную нагрузку//Патент Беларуси №20121395. 2012./Суходолов Ю.В., Чумаков С.А., Крученок Л.П.

УДК 621.318.38

Электромагниты

Рудик П.С., Пименов В.В.

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

Открытие первого электромагнита связано с именем датского физика Эрстеда. В ходе опытов 1819-1820 годов, он обнаружил, что электрический ток, протекающий через проводник, влияет на магнитную стрелку, находящуюся вблизи проводника, причём с её удалением данное влияние ослабевало.

Это позволило в 1824 году создать первый электромагнит. Он представлял собой кусок железа, согнутый в форме подковы, обмотанный медной проволокой. Данная катушка весила около 200 грамм и была способна притягивать металлические предметы весом до 4 килограмм.

Принцип действия.

Ток, протекая сквозь проводник, создаёт вокруг себя магнитное поле. Если проводнику придать форму винтовой линии (соленоида), магнитные свойства усилятся. Таким образом, катушка с ферромагнитным сердечником (например, из железа) является простейшим электромагнитом.

При действии магнитного поля, в сердечнике, так называемые домены (отдельные области), обладающие малыми магнитными полями, принимают упорядоченное положение. Их магнитные поля складываются, в результате чего образуется одно мощное магнитное поле. Чем больше сила тока, тем сильнее магнитное поле. Но так происходит только до магнитного насыщения. Затем, увеличивая силу тока, магнитное поле будет увеличиваться, но незначительно.

Если подачу тока прекратить, то эти особые области снова примут беспорядочное положение, но часть из них всё же не поменяет направления. Эти домены, будут создавать малое магнитное поле. Происходящее в сердечнике явление объясняется магнитным гистерезисом.

Применение.

Электромагниты уже можно считать незаменимыми во многих сферах. Они применяются как просто для перемещения массивных объектов, обладающих магнитными свойствами, так и в качестве основы современных технологий, например, для поезда на магнитной подушке. Его особенность заключается в том, что состав буквально парит над дорожным полотном за счёт силы поля, создаваемой магнитом.

В последние годы в таких поездах конструкторы чаще всего используют следующие технологии: электромагнитный (EMS) и электродинамический (EDS) подвесы.

Полотно под железнодорожным составом сделано из стали и имеет форму буквы «Т». На нём и под днищем вагона располагаются электромагниты большой мощности. Величина зазора между магнитами не превышает 1.5 сантиметра. При увеличении зазора система повышает силу тока в несущих магнитах и приближает вагон, при уменьшении – понижает силу тока, и зазор увеличивается, образуя магнитную подушку. Движение поезда происходит из-за создаваемого обмотками статора бегущего магнитного поля. Переменная подача тока меняет полюса на магните примерно 3500 раз в секунду. Скорость хода состава зависит от регулировки силы тока и его частоты в системе.

На основе электромагнитов существуют разработки, способные в перспективе заменить существующую подвеску автомобиля. Данная технология не только гораздо безопаснее и стабильнее своих аналогов, но так же позволяет обеспечить большую плавность хода и увеличивает комфорт от вождения. Электромагнитная подвеска автомобиля представляет собой конструкцию, в основе которой лежит электродвигатель. Вся система управляется специальным контроллером, и, в зависимости от обстановки на дороге, он задаёт режим работы: возможна работа и в качестве упругого элемента, и в качестве элемента, гасящий вибрацию и колебания от неровностей на дорожном покрытии.

Литература

1. <https://electroandi.ru>
2. <https://hi-news.ru/>

УДК 629.052.9

Влияние электромобилей на окружающую среду

Богданов Ю.И.

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

Электромобили в последнее время становятся всё более популярными, и всё из-за активного развития технологий и экологичности этих машин.

Главное отличие в строении электромобилей от классических машин с ДВС – это электродвигатель, работающий на энергии заряжаемых аккумуляторов. Хотя, электромобили могут использовать энергию иных источников, к примеру, солнечных батарей, их конструкции в любом случае включают аккумуляторные батареи.

Идея сберечь экологию с помощью внедрения электромобилей охватывает весь мир, и это не могло не приковать взгляда, научного сообщества к вопросу: действительно ли электрокары сохраняют окружающую среду, или же это просто очередная легенда.

Очевидное преимущество электромобиля – отсутствие загрязняющих выхлопов и невысокая стоимость эксплуатации.

Выбросы парниковых газов отсутствуют в месте эксплуатации электромобилей. Это означает, что повсеместное внедрение электромобилей способно значительно улучшить экологическую ситуацию в крупных городах. В отличие от машин, трубы электростанций возвышаются над поверхностью, обеспечивая большую площадь рассеивания, что приводит к гораздо меньшему скоплению вредных веществ в городском воздухе.

Весомое достоинство электрокаров – это снижение или полное избавление в густонаселенных местах от вредных выхлопов, тем самым делая крупные города более комфортными для жизни.

Впрочем, было бы неправильно приписывать электромобилю позитивное влияние на природу. Даже если на первый взгляд электрический транспорт не производит никаких выхлопов в окружающую среду, он не является абсолютно безвредным. С возрастанием числа электромобилей увеличивается потребление энергии, которое производится в большинстве случаев не экологически чистым способом. Для того чтобы увеличить экологичность электрических машин, их нужно перевести на зарядку энергией, генерируемой «чистыми» электростанциями – объектами возобновляемой энергетики или АЭС.

Если учесть выбросы в атмосферу со стороны электростанций и других производств, связанных с созданием электрокаров. В среднем по Европе один электромобиль выбрасывает в атмосферу 90 грамм углекислого газа, а это более чем в 2 раза экологичнее обычных машин с ДВС. В Китае же, где около 70% электроэнергии вырабатывается на ТЭС, посредством сжигания угля или нефти, внедрение электромобилей бессмысленно. Для Беларуси, с введением в эксплуатацию БелАЭС, которая заработает на полную мощность в 2020 году, использование электрокаров станет целесообразнее. Энергосистема страны станет избыточной. Электрический транспорт может стать одним из эффективных потребителей электроэнергии, производимой БелАЭС и, одновременно, он станет более чистым транспортом.

Значительная опасность электрокаров для окружающей среды скрывается в последствиях создания и использования мощных аккумуляторных батарей. Если обратить внимание только на их производство, то нужное для этого количество энергии соответствует количеству бензина, на котором обычный автомобиль проехал бы около 70 тыс. км. Таким образом, предприятия данной отрасли выбрасывают в окружающую среду гораздо большее количество токсических отходов, чем обычные автомобильные заводы. Также определили, что при создании машин на электротяге в атмосферу выбрасывается в 2 раза больше парниковых газов, это связано с высоким энергопотреблением ввиду технологических причин. Уже на этапе производства электромобилей риски последствий для окружающей

среды в районах размещения заводов, таких как кислотные дожди и сокращение биоресурсов, намного выше, чем для обычных автостроительных предприятий.

Также есть проблема утилизации аккумуляторов. Данный процесс сложен и трудоёмок, очень дорог, иными словами, возможность нарушений технологий из-за масштабов производства электромобилей крайне высока. Даже при соблюдении всех норм, огромнейшие объёмы работ при утилизации чреваты рисками загрязнения окружающей среды. Для извлечения металлов из батарей требуется почти в 10 раз больше энергии, чем для их производства, что вызывает возрастание объёмов выбросов на ТЭС. Содержащих, кроме CO₂, оксид азота, соли натрия, соединения ванадия, мышьяк и другие далеко не полезные вещества. Также, угольные станции используют огромное количество воды, примерно равное объёму, который за такое же время удовлетворил бы потребности пяти миллиардов человек. Эти показатели могут возрасти в связи с увеличением мощностей ТЭС.

После 10 лет эксплуатации в электрокаре, аккумуляторные батареи способны еще столько же отработать в накопительной системе солнечной энергетики и лишь после быть полностью переработанными. Следует заметить, что составляющие аккумуляторных батарей подлежат практически полной переработке и утилизации, после которой остаётся незначительный объём не переработанного материала. Кроме того, в качестве конечного продукта, АКБ электромобилей абсолютно безопасны, не окисляются, не производят вредных и ядовитых испарений.

Стоит обратить внимание на то, что современные электрокары производятся с учетом того, чтобы в дальнейшем была возможна их полная утилизация, а не только отдельных комплектующих. Кроме того, много моделей уже выпускаются из вторсырья.

В ближайшем будущем электромобили будут еще более экологичными. Это случится из-за увеличения доли возобновляемых ресурсов в энергобалансе государств мира. Развитие “чистой” энергии уже встречается повсеместно – активно развиваются ветряная и солнечная энергетика, гидроэнергетика. Уменьшаются объёмы использования угля в производстве электроэнергии. Например, меньшее количество угля стал потреблять Китай, Великобритания планирует полностью отказаться от угля в производстве электричества к 2025 году. Кроме этого, постоянно происходит поиск новых решений в исполнении аккумуляторных средств и бурное развитие технологий, ведёт к усовершенствованию электромобилей, например, КПД силовой установки около 70%, а ДВС далеко до этих показателей, причём в электротехнике ещё предстоит много открытий и изобретений. Без сомнения, за этим видом транспорта будущее, которое уже среди нас.

Литература

1. www.ecoportal.ru: Экология и электротранспорт

УДК 621.317

Определение временных интервалов между характерными точками при определении гармонического состава искажённого тока потребителей

Рогацевич Е.А., Пармоник Н.С.

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

Различают два основных метода измерения периода и временных интервалов:

- осциллографический;
- электронно-счетный.

Измерение временных интервалов с помощью осциллографа производится по осциллограмме исследуемого напряжения с использованием линейной развертки. Из-за значительных погрешностей отсчета начала и конца интервала, а также из-за нелинейности развертки общая погрешность измерения временных интервалов составляет единицы процентов. Значительно меньшая погрешность свойственна специализированным измерителям временных интервалов со спиральной разверткой.

В настоящее время наиболее распространены электронно-счетные методы измерения периода и временного интервала. Основными, из которых являются:

- цифровой метод измерения интервалов времени;
- метод интерполяции;
- нониусный метод.

Погрешность цифрового метода можно уменьшить способом измерений с многократными наблюдениями. Однако при этом значительно увеличивается время измерений. В связи с этим разработаны методы, уменьшающие погрешность с существенно меньшим увеличением времени измерения. К их числу относится: метод интерполяции, нониусный метод.

Наиболее применяемым способ измерения временных интервалов основан на спектральном методе преобразования.

Определения изменения времени задержки между двумя периодическими последовательностями импульсов, при котором из исходных импульсных последовательностей формируют две последовательности коротких прямоугольных импульсов с одинаковыми периодом следования и длительностью τ , а также временем задержки между импульсными последовательностями t_{30} , разным времени задержки между исходными импульсными последовательностями, и объединяют в одну импульсную последовательность, в которой, увеличивая одновременно τ коротких импульсов до момента уравнивания с t_{30} ; образуют результирующую последовательность прямоугольных импульсов с периодом следования T , из которой последовательно выделяют спектральные составляющие и измеряют их амплитуды для нахождения спектральной составляющей, номер которой соответствует нулю амплитудного спектра n_0 , и определяют упомянутое изменение времени задержки Δt_3 при отклонении величины амплитуды этой спектральной составляющей $|A_{n_0}|$ от предварительно измеренной из выражения:

$$|A_{n_0}| = \frac{4 \cdot A}{\pi \cdot n_0} \left| \sin \left(\frac{n_0 \cdot \omega \Delta t_3}{2} \right) \right|,$$

где A - амплитуда прямоугольных импульсов результирующей последовательности;

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ - циклическая частота следования прямоугольных импульсов результирующей последовательности.

Этот способ не позволяет измерить малые изменения времени задержки между импульсными последовательностями из-за дискретности определения временных интервалов

и имеет большую погрешность при измерении времени задержки импульсных сигналов мощных источников из-за низкой стабильности их параметров.

Вышеприведенному способу присущи следующие недостатки:

- из-за усреднения и дискретного характера измерения невозможно контролировать текущее изменение временных интервалов;
- не позволяет измерить изменение времени задержки между двумя периодическими импульсными процессами;
- имеет большую погрешность при измерении времени задержки импульсных сигналов от мощных источников с низкой стабильностью формирования импульсной последовательности.

Амплитуда спектральной составляющей с определенным номером n_0 находится в области амплитудного спектра малочувствительной к изменениям амплитуды и длительности анализируемых импульсных последовательностей.

Литература

1. Мирский Г.Я. Радиоэлектронные измерения. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия»; 1975. 600с. С ил.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т. 3. Пер. с англ.-4-е изд. перераб. и доп.-М.: Мир, 1993.-367 с.

УДК 621.3

Влияние СВЧ на живые организмы

Коновалов Д.А.

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

Человека окружает мир, в котором информация является приоритетным значением. Превыше всего следует научиться правильно работать не только с ней, но и использовать всевозможные инструменты для этой непростой работы. Однако, мы не часто задумываемся о влиянии приборов, питающихся от сети или ЭДС, которые создают вокруг себя электромагнитные поля, либо являются источниками СВЧ.

Не однократно учёными проводились опыты с различными живыми организмами, рассмотрим на примере семян редиса и хлебопекарных дрожжей.

В исследовании берётся 4 равновесных жмени семян редиса. Присвоив каждой ёмкости порядковый номер, помещаем первую горсть семян в ёмкость No1, поставив его на подоконник в теплое освещенное место.

Вторая жменя семян, предварительно подвергшаяся облучению в СВЧ печи в течение 10 секунд, помещается в контейнер No2. Контейнер также помещается на подоконник в теплое освещенное место.

С третьей и четвертой жменей семян редиса осуществляем ты же процедуры. Разницей является только время обработки семян в СВЧ печи. Для третьей горстки – время обработки составило – 20 сек, для четвертой – 40 сек. В течение трёх дней за прорастанием семян проводилось наблюдение. Наблюдения, произведённые в эксперименте, занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Количество проросших семян

День	Основной образец	Образец 1	Образец 2	Образец 3
1	0	6	6	17
2	5	10	9	14
3	16	18	17	19

Вывод: СВЧ облучение семян редиса приводит к ускорению их роста. Высокая скорость прорастания семян редиса обнаруживается при их облучении волнами в течение 40 секунд.

На основе эксперимента, специалисты установили некоторую зависимость между различным приготовлением пищи, используя брокколи.

Экспериментально выявлено, что при варке брокколи в воде на протяжении 15 минут приводит к уменьшению в ней на 60% веществ, прозванных глюкозинолаты, которые в организме преобразуются в вещества, обладающие противораковым действием.

При жарке брокколи в ней остается только около одной трети полезных веществ (флавоноидов).

В брокколи, готовившейся в СВЧ печи, их остается только 2%, т.е. улетучивается почти 98%.

А если готовить еду на пару потеря будет составлять не более 12% флавоноидов.

Если рассматривать природу воздействия СВЧ на организм человека, то в научной литературе представлен солидный объём информации. Если формулировать простым языком, то радио и высокочастотные волны человек не ощущает вовсе.

Самыми подвергаемыми органами в человеческом организме являются именно те, которые не содержат кровеносных сосудов. При воздействии СВЧ-излучения на организм человека происходит частичное поглощение его энергии тканями тела. При действии электромагнитного поля высокой частоты в тканях возникают токи высокой частоты, которые сопровождаются тепловыми ощущениями, поначалу являющиеся приятным;

наблюдения показывают различный химический состав крови, росту щитовидной железы, катаракта глаз, а у отдельных лиц — перестройка в психической сфере (неустойчивые настроения, ипохондрические реакции) и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей). Ослаблением и ухудшением процессов нервной и эндокринной регуляции; изменением в обмене веществ, ослаблением синтетических процессов; снижением неспецифической резистентности (сопротивляемости), ослаблением иммунных процессов; снижением адаптации к факторам окружающей среды. Следствием вышеперечисленного могут быть различные болезни, в частности онкологических.

Из вышесказанного мы знаем, что наиболее подвержены органы, у которых высокое содержание воды, этими органами являются: кровь, тканевая жидкость, слизистая желудка, кишок, хрусталик глаза и др.

Литература

1. <https://sites.google.com>
2. <http://www.mstu.edu.ru>

УДК 621.3

Автономные источники энергии

Анищик О.Р., Стаскевич П.И.

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

В связи с техническим прогрессом появляются новые потребности для человечества. И поэтому сейчас, для многих отраслей жизни, необходимо использование электроэнергии вдали от электрической системы либо иметь переносной источник ЭДС. Самым ярким примером можно считать топливные генераторы и различные виды электрических аккумуляторов. Последние в наше время встречаются повсеместно: автомобили, мобильные телефоны, часы, бытовая техника и т.д. Именно об аккумуляторах будет идти речь в нашей работе.

Электрический аккумулятор – это источник ЭДС, принцип работы которого основан на обратимости внутренних химических процессов, что позволяет многократно использовать его через цикл заряда-разряда для накопления электроэнергии и обеспечения электропитания различных электротехнических устройств в разных отраслях.

Первая аккумуляторная батарея была создана в 1803 году И.В. Риттером и представляла собой столб из пятидесяти медных кругов, между которых было влажное сукно.

Принцип действия заключается в обратимости химической реакции, которая протекает в аккумуляторе. Что бы опять зарядить аккумулятор, необходимо пропустить через него электрический ток в направлении, которое является обратным направлению тока при разрядке.

Основными характеристиками аккумуляторов являются ёмкость, плотность энергии, саморазряд, температурный режим и тип.

Ёмкость – количество электричества равно 1 Кл при силе тока равной 1 А за промежуток времени 1 с . Плотность энергии есть количество энергии, деленное на единицу объёма или веса аккумулятора. Саморазряд – потеря заряда после полной зарядки аккумулятора при отсутствии нагрузки. Для разных типов аккумуляторов считается разная приемлемая величина саморазряда. Например, для никель-кадмиевых аккумуляторов допускают 10% саморазряда в 24 часа после зарядки. Однако величина саморазрядки увеличивается со временем и зависит от условий хранения и использования.

Аккумуляторы классифицируют по используемым материалам. Наиболее распространены сейчас свинцово-кислотные, литий-ионные, никель-кадмиевые и никелево-железные аккумуляторы. К примеру, свинцово-кислотные используются в различных транспортных средствах, таких как троллейбусы, автомобили, воздушные суда и так же в аварийном электроснабжении, источниках бесперебойного питания. В мобильных устройствах установлены литий-ионные аккумуляторы.

Рассмотрим литий-ионный аккумулятор. Состоит он из алюминиевого катода и медного анода. Между ними расположен пористый материал, пропитанный электролитом, который называется «сепаратор». Он предотвращает самопроизвольный переход ионов лития между электродами. Иногда на корпус устанавливают предохранительный клапан, который сбрасывает внутреннее давление в различных аварийных случаях. Различаются литий-ионные аккумуляторы по типу материала, из которого изготовлен анод. Заряд в аккумуляторе переносит положительно заряженным ионом лития, который имеет свойство встраиваться в кристаллическую решетку других материалов, образуя при этом химическую связь, например окислы металлов. В литий-ионные аккумуляторы встраивают контроллер заряда, который служит для защиты аккумулятора от превышения напряжения заряда. Еще контроллер может контролировать температуру в аккумуляторе и своевременно отключать его. Для последовательно соединенных банок литиевых аккумуляторов созданы специальные зарядные устройства, которые шунтуют полностью заряженную банку, и тогда ток будет течь мимо. Преимуществами данного типа аккумуляторов являются наибольшая

плотность энергии, наибольшее напряжение, по сравнению с другими видами аккумуляторов, низкий процент саморазряда, не имеет проблем с утилизацией, большое число циклов использования. Недостатки: взрывоопасность, особенно у дешевых аккумуляторов, на которых не установлен контроллер, малое время хранения, необходимость в сложной системе управления аккумуляторов и высокая стоимость.

Стоит рассказать и о перспективных разработках новых видов аккумуляторов.

Компания Samsung совместно с учеными из Массачусетского технологического института разработали твердотельные аккумуляторы, превосходящие по своим характеристикам современные литий-ионные. Их энергоёмкость выше обычных на 20-30 %. Так же существенным плюсом твердотельных аккумуляторов является то, что они выдерживают сотни тысяч циклов перезарядки. Так же они пожаробезопасны и не подвержены деградации со временем. На данный момент они являются самыми перспективными.

Графеновый аккумулятор Grabat разработала компания Graphenano, который может обеспечить запас хода электромобиля до 800 км. По словам разработчиков, графеновый аккумулятор заряжается в 33 раза быстрее аналоговых, что составляет всего несколько минут, а это одна из проблем современных автомобилей. Минимальный срок зарядки особенно важен для электромобилей. Такие аккумуляторы – одни из самых многообещающих.

Еще одной перспективной технологией в изготовлении аккумуляторов является создание трехмерных структур на основе аккумуляторов. К примеру, компания Prieto создала аккумулятор на основе пенометалла. К его преимуществам относятся: быстрая зарядка, он дешевле и меньше современных литий-ионных аккумуляторов, его плотность в 5 раз выше, а также у него большой ресурс и у него отсутствует легковоспламеняющийся электролит.

Для каждой области применения аккумуляторов, будь то автомобильные аккумуляторы или телефонные, существуют свои лучшие производители. К примеру, лучшими производителями свинцово-кислотных АКБ являются Varta, Multu, Exide. Если рассматривать исключительно СНГ производителей, то рейтинг расположится следующим образом: на первом месте Tyumen, на втором Akom, на третьем Aktex.

В связи с резким развитием электромобилей, в особенности с появлением Tesla, возникла потребность в аккумуляторах, следствием чего являются большие инвестиции в эту отрасль. В основном выпуск аккумуляторов на себя хотят взять азиатские компании: Panasonic, LG Chem, Samsung SDI и другие компании. Опасность инвестирования в литий-ионные аккумуляторы обуславливается тем, что до полной окупаемости вложенных средств может произойти научный переворот, обусловленный созданием нового типа аккумуляторов, который будет обгонять по характеристикам ныне существующих, а стоимость его будет ниже.

Сейчас аккумуляторы стали неотъемлемой частью нашей жизни, создаются новые виды, совершенствуются старые, увеличиваются инвестиции в область разработки и производства. Возможно, скоро электромобили смогут вытеснить простые автомобили с двигателями внутреннего сгорания, если удастся создать аккумуляторы с большой емкостью, быстрой зарядкой, высокой безопасностью эксплуатации и отсутствием вредного влияния на природу, что в последнее время стало очень обсуждаемой темой.

Литература

1. www.wikipedia.org Принцип работы аккумулятора
2. www.pocket-lint.com Аккумуляторы будущего

УДК 621.316

Измерение текущих значений коэффициентов нелинейных искажений

Киреев В.В., Андросюк И.В.

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

Приборы, измеряющие коэффициент гармоник, называют измерителями нелинейных искажений. А именно: ИНИ-11 и ИНИ-12. Процесс измерения заключается в следующем: входной сигнал, содержащий высшие гармоники, через входной блок (делитель) подается на селективный усилитель. В режиме калибровки сигнал, минуя фильтр, проходит на вольтметр среднеквадратического значения. Показания индикатора умножаются на 100 (точка 100%), далее сигнал проходит на вольтметр.

В режиме измерения КНИ (коэффициента нелинейных искажений) включается фильтр, выделяющий первую гармонику. Для этого частота первой гармоники измеряется с помощью встроенного ЭСЧ (электронно-счетного частотомера), и в соответствии с результатами измерения осуществляется настройка фильтра. На выходе фильтра вольтметр измеряет суммы всех гармоник без первой, определяя их вес по отношению к полному сигналу, который при калибровке был принят за 100%.

На современных промышленных предприятиях значительное распространение получили потребители, вольт-амперные характеристики которых нелинейные. Такие нагрузки являются нелинейными. К их числу относятся в первую очередь различного рода преобразователи, установки дуговой и контактной электросварки, электродуговые сталеплавильные (ЭДСП) и рудно-термические печи, газоразрядные лампы, трансформаторы.

Несинусоидальные режимы неблагоприятно сказываются на работе силового электрооборудования, систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи.

Для проверки нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения используется ГОСТ 32144 — 2013. Показателями качества, относящимися к гармоническим составляющим напряжения, являются:

- 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.

Для указанных показателей КЭ установлены нормы в источнике [1].

Степень нелинейных искажений оценивается коэффициентом гармоник [2]:

$$k_f = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

Широко распространенным методом измерения коэффициента нелинейных искажений является метод «подавления основной частоты». Он заключается в сравнении действующего значения полного напряжения искаженного сигнала с действующим значением напряжения всех высших гармоник, начиная со второй, имеющихся в искаженном сигнале. В этом случае фактически измеряется не коэффициент k_f , а величина k_{f1} определяемая формулой [2]:

$$k_{f1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}$$

Еще одним способом определения текущего значения коэффициента гармоник в электрическом сигнале сети переменного тока, при котором измеряют временные интервалы, один из которых t_p соответствует полупериоду анализируемого сигнала, а второй t_0 – временной интервал между моментом максимума анализируемого сигнала и моментом

перехода его через нулевое значение. Коэффициент гармоник K_r определяют в конце каждого полупериода анализируемого сигнала из выражения [3]:

$$K_r = \frac{1 - \left(\frac{t_0}{t_p}\right)}{\sqrt{2} \sin\left(\pi \frac{t_0}{t_p}\right)} \sqrt{\sum_{n=3}^m \frac{1 - \cos\left(2\pi n \frac{t_0}{t_p}\right)}{n^2 \left(1 - n^2 \left(\frac{t_0}{t_p}\right)^2\right)^2}},$$

где π – постоянная величина;

$n = 3, 5, 7, \dots$ - целые числа;

m – максимальное количество высших гармонических составляющих, достаточное для обеспечения измерений с заданной точностью.

Согласно с ГОСТом 32144 — 2013 определяют коэффициент гармонической составляющей сигнала.

Суть метода заключается в следующем. Опорный синусоидальный и анализируемый сигналы фильтруют от высокочастотных помех с помощью фильтров низкой частоты. В связи тем, что фильтры низкой частоты имеют одинаковые параметры, изменений временных соотношений между анализируемым и опорным сигналом не возникает.

Измеряют частоту f анализируемого сигнала, равную частоте опорного сигнала, с помощью измерителя частоты и подают в вычислительное устройство ее текущие значения.

Измеряют с помощью измерителя временных интервалов длительность временных интервалов t_0 , выделенных между моментами перехода через ноль из положительных в отрицательные значения опорного синусоидального сигнала и моментами перехода через ноль из положительных в отрицательные значения анализируемого сигнала.

Подают в вычислительное устройство текущие значения t_0 , которые будут соответствовать по времени моментам измерения частоты f . В связи с этим флуктуации частоты f и соответствующие им по времени флуктуации t_0 не вызовут искажений результатов анализа.

Вычислительное устройство производит расчет коэффициента гармонической составляющей в анализируемом сигнале по уравнению измерительного преобразования [4].

Способ обладает высоким быстродействием, т.к. происходит одновременное вычисление коэффициентов гармонических составляющих и не требуется использование выделения фильтрацией спектральных составляющих и преобразование анализируемого сигнала.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения// Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
2. Мирский, Г.Я. Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский. – 2-е изд. - Москва: Госэнергоиздата, 1963. – 528 с.
3. Патент РБ №19830/28.02.2016. Способ определения текущего значения коэффициента гармоник в электрическом сигнале сети переменного тока//Патент Беларуси № а 20130999. 2013./Суходолов Ю.В., Чумаков С.А., Крученок Л.П., Белоусов А. В.
4. Патент РБ №19875/28.02.2016. Способ определения относительного содержания спектральных составляющих в периодическом электрическом сигнале//Патент Беларуси № а 20130996. 2013./Суходолов Ю.В., Чумаков С.А., Крученок Л.П., Киш О.И.

УДК 621.3

МГД-генератор

Ласица В.В., Литош А.В.

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

В современном мире очень быстро растёт спрос электроэнергии. Но энергоресурсы нашей земли не являются безграничными и рано или поздно они закончатся. Поэтому в мире происходит постепенный переход на нетрадиционные источники электрической энергии. К таким источникам будет относиться МГД-генератор. О нем мы расскажем в нашей работе.

МГД-генератор – энергоустановка, где рабочая энергия тела, например, в виде газообразной среды или электропроводящей жидкой, находящегося в магнитном поле, а так же двигающегося в нем, переходит в электрическую энергию. В 1832 году Фарадей попытался получить электроэнергию с помощью жидкого проводника и магнитного поля, но ему этого не удалось. В 1851 году ученый У.Х. Волластон смог измерить ЭДС, индуцированными приливными волнами. Первые схемы, таких генераторов появились в первых годах двадцатого века, но из-за сложности конструкции и недостатка знаний эти проекты не были реализуемы. И только в 1959 году в США ввели в производство первые МГД-генераторы с мощностью 11,5 кВт. К концу 60-х годов мощность генераторов повысили до 32 МВт. В Советском Союзе такие установки появились в 1965 году.

МГД-генератор состоит из канала, по которому движется рабочее тело, например: плазма, жидкие металлы, электролиты. Также в состав генератора входят системы магнитов, создающих магнитное поле, и электроды, отводящие полученную энергию. Чаще всего в установке применяют электромагниты либо же постоянные магниты.

Газ – отличный проводник электрического тока, эта способность достигается при термической ионизации, которая вызывается температурой, свыше 9,5 тыс К. При таких высоких температурах установка не может работать достаточно долго, потому что материал не выдерживает их, поэтому для снижения ее 5 раз в заранее разогретый газ вводят всяческие присадки. Например, если не добавлять никаких присадок, то газ будет проводить ток даже хуже, чем вода, но стоит добавить несколько процентов щелочного металла, того же калия, как электропроводность увеличится в 30 раз.

Существует различие между МГД-генераторы по виду рабочего тела, используемого при получении электроэнергии. Тут лидируют генераторы, которые используют газ в качестве рабочего тела. В таких установках мы можем выбирать один из трёх режимов работы. Можем удерживать постоянной температуру и у нас уменьшается кинетическая энергия. Во втором режиме снижается и температура, и энергия. В третьем режиме постоянна температура, но температура уменьшается. В генераторах с жидким рабочим телом получение электроэнергии идет за счет изменения энергии либо потенциальной, либо кинетической.

Принцип работы такого генератора, как было сказано выше, действует на явлении электромагнитной индукции. Рабочее тело-плазма движется по каналу в направлении, перпендикулярном магнитному полю. В магнитном поле действует сила Лоренца, непосредственно влияющая на плазму. В плазме находятся заряды, которые под действием силы, отклоняются от траектории и направляются на электрод. Отрицательные заряды на положительный электрод, а положительные заряды на отрицательный электрод. После этого процесса возникает разность потенциалов. И последним этапом замыкается цепь и образуется электрический ток, который идет на нужды потребителя.

Важнейшим процессом является получение ионов в газе. Для этого сжигаем при температуре 3500 К топливо, но при этом добавляем соли щелочных металлов, потому что электропроводность при таких температурах низкая. На выходе имеем отработанный газ с температурой в 2200 К. При использовании его по обычной схеме, турбина вырабатывает ещё энергию, равную энергии генератора. КПД установки достигает 55-65 процентов с помощью процесса, протекающего по двум ступеням.

В 21 веке, в качестве рабочего тела в МГД-генераторах, применяют плазму. Изначально, ещё только при использовании первых генераторов, использовали электролиты. Если в генераторе возникнет очень сильное магнитное поле, то между электродами возникает поле Холла. Поле Холла – электрическое поле, образованное в результате из-за действия силы Лоренца соударений отрицательных и положительных частиц в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля.

Перечислим недостатки и преимущества МГД-генератора. Преимущества: отсутствие силы трения; большая мощность, при маленьких размерах; МГД генераторы являются переносными установками; у МГД-генератора высокий КПД, поэтому он выбрасывает меньше веществ в окружающую среду. Недостатки: электроды часто выходят из строя и изнашиваются, как и сама установка из-за высоких температур, достигаемых до 3000 К; необходимы мощные инверторы, так как генератор вырабатывает только постоянный ток; из-за больших температур, которые в процессе работы достигает установка, она требует дорогих материалов, способных выдерживать температуры в 3000 К.

МГД-генераторы применяют на ГЭС, которые берут энергоресурсы с мирового океана, морей, крупных рек. Такое широкое использование генераторов наблюдается в странах, имеющих выход к морю. Лидеры: США, Япония, Индия, Нидерланды. Также они используются на ТЭС, в качестве рабочего тела используется продукты сгорания топлива. Самым значительным недостатком генераторов является то, что из-за высоких температур быстро выходят из строя электроды. Это требует использования жаростойких дорогих металлов, поэтому стоимость генератора увеличивается.

Литература

1. Магнитогидродинамическое преобразование энергии. Физико-технические аспекты/И.И. Бейлис, В.А. Битюрин, И.А. Васильева, В.В. Кириллов, Г.М. Корягина, Г.А. Любимов, С.А. Медин, Г. Н. Морозов, А.Е. Шейндлин, Б.Я. Шумяцкий. М.: Наука, 1982. 368 с.
2. <https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tehnicheskoe-tvorchestvo/2016/03/20/modelirovanie-mgd-generatora>
3. https://studopedia.su/16_17638_zamena-yadernoy-energii.html

УДК 629.052.9

Возобновляемые источники в республике Беларусь

Бородич В.Д., Гаркуша М.С.

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

В нашей научной работе мы хотим рассмотреть, имеет ли возможность Беларусь обходиться без импорта энергии, а пользоваться возобновляемыми источниками энергии.

Давайте разберемся, что же такое возобновляемые источники энергии.

Энергия возобновляемая – такой вид энергии, который получают различными способами без использования невозполнимых источников. Основанием для использования такой энергии является то, что она извлекается из процессов, которые происходят постоянно в природе. Получают её из солнечного света, водных потоков, приливов, геотермальной теплоты, ветра, которые возобновляются естественным способом.

По статистике средняя потребляемая энергия в Беларуси в год составляет 37 миллиардов кВт/ч.

Из них около 34 миллиардов кВт/ч было произведено на ТЭЦ, ГЭС, ТЭС, ветроустановках и солнечных установках.

Эта энергия идет на нужды людей, производственных предприятий и на иные потребности Беларуси. Также часть этой энергии утрачивается в результате доставки от экспортера к потребителю (Беларуси).

Импорт электроэнергии составил около 4 миллиардов кВт/ч энергии.

Давайте рассмотрим такой вопрос:

Откуда же нам брать эту электроэнергию, чтобы мы не нуждались в её импорте?

Есть прекрасная возможность получить ее из возобновляемых источников энергии. В Беларуси такими источниками являются солнечная энергия, ветровая энергия и гидроэнергия.

Приблизительно мы можем рассчитать, сколько электроэнергии в год нам может дать каждая из этих видов возобновляемых источников электроэнергии.

Начнем с солнечной электроэнергии. В среднем в Беларуси 25-30 солнечных дней в год, с помощью которых и будут нагреваться наши батареи, которые впоследствии будут выделять энергию. По нашим расчетам производится около 760 тыс. кВт энергии в год. Этот расчет произведен на 10 солнечных батарей мощностью 300 Вт. А если мы поставим 100 солнечных батарей? Эта цифра значительно вырастет и достигнет отметки в 7,6 миллионов кВт/ч в год. Цена солнечных батарей мощностью 200-250 Вт будет равна от 400 до 600 рублей. Исходя из всего этого, можем сделать вывод, что это весьма выгодный вид возобновляемой электроэнергии. Но, к сожалению, в Беларуси очень мало солнечных дней и мы не сможем в полной мере использовать потенциал данного вида возобновляемой электроэнергии.

Теперь мы рассмотрим ветровые источники возобновляемой энергии.

Самыми лучшими местами для производства энергии ветра являются зоны, которые находятся неподалеку от берегов рек или морей. Турбины устанавливаются на расстоянии 10-13 километров от берега. Огромное преимущество состоит в том, что ветряные генераторы практически не потребляют ископаемое топливо. Энергия, полученная от ветрогенератора, мощность которого равна 1МВт, за 15 лет работы, сэкономит 25000 тонн углерода или 85000 баррелей нефти.

В год получается около 2 миллиардов кВт/ч энергии. Это очень перспективный вид получения электроэнергии. Но, к сожалению, нет возможности установить эти показатели, потому что ветряные установки очень дорогие и в Беларуси нет необходимых условий для полноценной работы ветряных установок. Также ветряные установки отрицательно влияют на природу. В год от ветряков погибает огромное количество птиц. В Европе, а именно в Швеции и Англии, с этой проблемой уже усиленно борются, так как с уменьшением числа птиц многие из них попадают в красную книгу, а некоторые виды и вовсе исчезают.

Рассмотрим третий вид возобновляемой электроэнергии – гидроэнергию.

В Беларуси огромный потенциал в сфере гидроэнергетики. Суммарная мощность составляет 100 МВт. Но, к сожалению, гидропотенциал используется только на 15%. Из-за этого в этой сфере у нас имеются определенные трудности и, в принципе, мы не можем в полной мере полагаться на гидроэнергетику.

Мы предполагаем, что это связано с тем, что они долго строятся и тоже довольно-таки дорогие. А еще, как известно, Беларусь считается голубой страной, с кристально чистыми озерами и реками. А гидроэлектростанции снижают скорость течения воды, из-за чего вода начинает быстрее загрязняться, нарушатся миграции рыб.

Исходя из проделанной работы, мы с уверенностью можем сказать, что Беларусь не сможет обеспечивать себя возобновляемыми источниками энергии. Но нужно помнить, что в Беларуси строится атомная электростанция. Количество вырабатываемой энергии в ней хватит, чтобы компенсировать недостаток необходимой энергии. А также мы сохраним нашу прекрасную природу, которую потом будет очень сложно вернуть, а сейчас мы можем ей наслаждаться.

УДК 378:001

Трансформатор тесла. Устройство и способы применения

Борисевич К.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Главной частью резонансного трансформатора, производящего высокое напряжение высокой частоты, является катушка Тесла.

Устройство и принцип работы:

Принцип работы этого устройства основан на явлении резонанса, при котором происходит резкое увеличение амплитуды стационарных колебаний системы за счет совпадения частоты с внешним возбуждением. Само же устройство состоит из двух основных блоков: колебательный контур и вторичная катушка (1000-2000 витков). Колебательный контур простейшей катушки Тесла состоит из конденсатора первичной катушки (4-10 витков) и разрядника (SGTC (Spark Gap Tesla Coil)). Первая фаза – это заряд конденсатора до напряжения пробоя разрядника. Вторая фаза – генерация высокочастотных колебаний в первичном контуре. При возникновении колебаний в первичном контуре они возбуждают ЭДС во вторичной катушке, правда, взаимодействие между ними гораздо слабее, чем в трансформаторах с ферромагнитным сердечником, так как сердечника тут нет. Заряжается конденсатор от внешнего источника напряжения, в данном случае - это повышающий низкочастотный трансформатор. Емкость конденсатора подбирается, исходя из характеристик первичной катушки, чтобы вместе они создавали резонансный контур с частотой резонанса, равной частоте резонанса вторичной катушки. Напряжение заряда конденсатора можно регулировать, изменяя расстояние между концами разрядника или же изменяя их форму. После того как конденсатор зарядился, возникает пробой в разряднике. Это замыкает цепь колебательного контура. После пробоя напряжение резко падает из-за потери энергии в разряднике и, частично, в первичной катушке, но из-за оставшихся ионов в воздухе цепь остается замкнутой, и колебания продолжают, создавая резонансные колебания в высоковольтном контуре. Это приводит к тому, что на терминале возникает высокое напряжение высокой частоты.

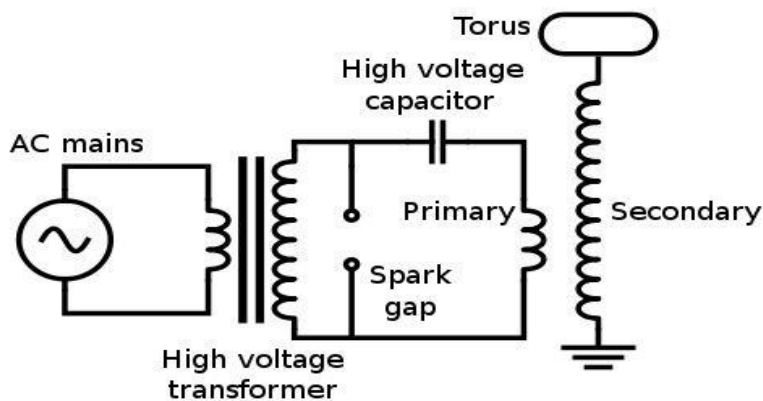


Рисунок 1 – Схема Spark Gap Tesla Coil

Данная схема не единственная и не самая эффективная, так как пробой на разряднике несет очень большие потери на тепло и образование нагара на концах разрядника. Это увеличивает его сопротивление, заставляя больше перегреваться. Следствием этого является достаточно быстрый износ его наконечников и неспособность передавать достаточную энергию для достижения высокого напряжения в высоковольтном контуре.

Другой вид катушки - это Solid State Tesla Coil (твердотельная) или SSTC. Она вместо искрового разрядника использует мощные полупроводниковые ключи. Достоинствами данного вида катушки состоит в том, что, во-первых, можно модулировать данное устройство любым сигналом, например, музыкой; во-вторых, к достоинству относится и

сравнительно низкое питающее напряжение, а также гораздо меньшие потери и практическое отсутствие шума в связи с тем, что нет искрового разрядника.

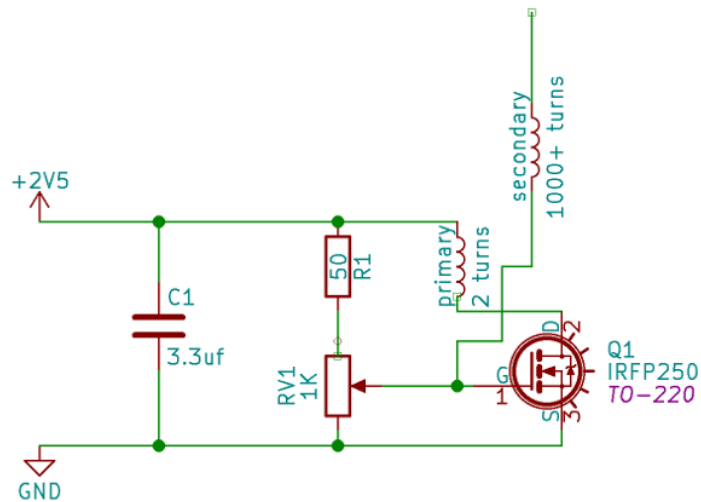


Рисунок 2 – Схема SolidStateTeslaCoil

Еще один вид катушек (Dual Resonantstate Tesla Coil, двойное резонансное состояние катушки) считается наиболее сложным по принципу работы и, следовательно, по рабочей схеме. В основу работы данной схемы положен принцип двойного резонанса, который получается в первом контуре; разряды у данной модификации катушек гораздо больше, чем у остальных. Накачка первого контура осуществляется за счет генератора на мощных полупроводниковых ключах (IGBT или MOSFET транзисторах).

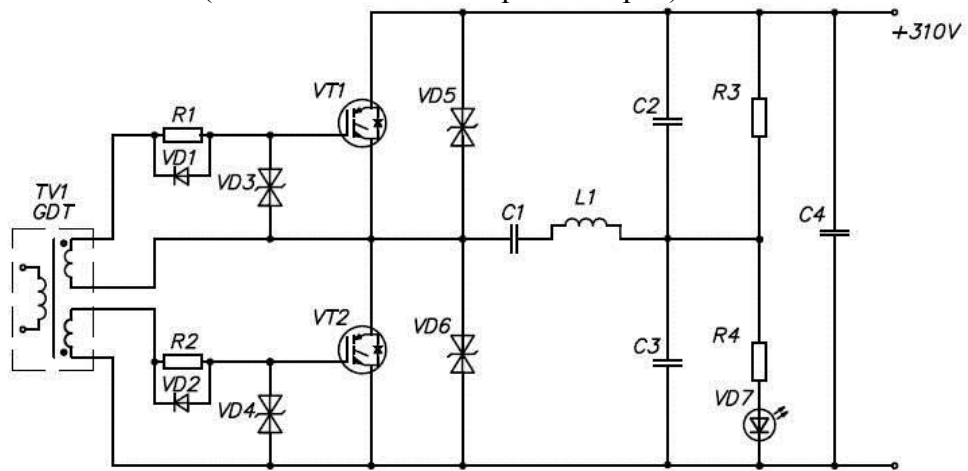


Рисунок 3 – Схема Dual Resonantstate Tesla Coil

При работе этих устройств в катушках Тесла наблюдаются следующие эффекты.

Стимеры. По сути, это светящиеся дорожки ионизированного газа. Если стимеры пробиваются в воздухе, то свечение происходит за счет кислорода, в неоне свечение красное.

Скин-эффект. Это явление, при котором наблюдается уменьшение амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения вглубь проводника. Вследствие этого высокочастотный ток, протекающий в проводящей среде, распределяется не равномерно, а в основном, на ее поверхности. Это происходит из-за того, что токи Фуко, возникающие в проводнике, направлены так, что ослабляют переменные токи, которые протекают ближе к центру, и усиливают токи, протекающие на поверхности.

Спарки – искровые разряды. Представляют собой пучки светящихся и быстро уходящих в землю каналов.

Коронный разряд – свечение ионизированного газа в электрическом поле высокого напряжения, создающееся вокруг поверхностей с большим радиусом кривизны и с большой разностью потенциалов.

В повседневной жизни данное устройство используется в целях показательных выступлений. Но многие говорят, что его можно использовать для передачи энергии на большие расстояния, хотя по конструкции оно такого не обеспечивает, так как слишком много энергии уходит просто в никуда. И КПД данного устройства составляет около 2%. Сам Никола Тесла хотел использовать данное устройство для передачи энергии на большие расстояния беспроводным путем, устанавливая огромные конструкции, питающие целые города. Однако учитывая тот факт, что при длительном воздействии токов высокой частоты и напряжения могут образовываться хронические заболевания, как и отравление, газами, выделяющимися при работе катушки, все это ограничивает применение катушек в повседневной жизни. Работают с ними в клетках Фарадея или же в эквипотенциальных защитных костюмах. Катушки также нашли свое применение в медицине: обрабатывая больных маломощными токами высокой частоты, при этом они оказывали оздоровительное воздействие на человека. Токи высокой мощности оказывают на здоровье человека негативное влияние. Катушки Тесла применялись и в военной целях, для вывода электронных устройств в помещениях, при этом подавался мощный импульс за короткий промежуток времени.

Сегодня существует достаточно много проектов, в которых присутствовали идеи Николы Тесла, и они остаются актуальными, и по сей день. Многие из них положили начало развития современного информационного общества. Заложенным им фундаментом пользуются современные ученые и будут пользоваться в дальнейшем, так как по поводу многих его идей до сих пор ведутся споры.

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Трансформатор_Теслы
2. <http://bsvi.ru/kak-rabotaet-transformator-tesla-na-palcah-chast-1/>
3. <https://domelectrik.ru/baza/samodelki/katushka-tesla>

УДК 378:001

Ячейка Мейера

Борисевич К.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Ячейка Мейера – устройство разлагающее воду на ее составные элементы: водород и кислород (газ Брауна).

Данное устройство затрачивает гораздо меньше энергии, чем при электролизе, в котором протекающий ток измеряется в амперах: в нем речь идет о миллиамперах. По сравнению с бытовыми электролизерами, затраты которых измеряются в десятках кВт, для получения 40 л газа, устройство выдает 40 л/мин при затрате 40 Вт энергии. Кроме этого, при электролизе воды требуется добавить в нее электролит для увеличения проводимости и повышения эффективности; ячейка выгодно отличается огромной производительностью и без добавления электролита. При ее работе было замечено, что она практически не нагревается после нескольких часов выработки газа.

Принцип работы ячейки заключается в том, что она работает при высоком потенциале и малом токе. Конструкция ее такова: электроды сделаны в виде параллельных элементов из нержавеющей стали, образующие либо плоскую, либо концентрическую конструкцию. Количество газа, выдающее установкой, обратно пропорционально расстоянию между электродами; в патенте это расстояние предлагается сделать 1,5 мм. Отличие ячейки от других установок заключается в том, что в ней используется внешняя индуктивность, создающая колебательный контур в паре с электродами для того, чтобы создать резонансную схему. Она возбуждается мощным импульсным генератором. Высокая частота импульсов производит ступенчато поднимающийся потенциал на электродах ячейки до тех пор, пока не достигается точка, где молекула воды распадается и возникает кратковременный импульс тока. Схема измерения тока питания выявляет этот скачок и запирает источник импульсов на несколько циклов, позволяя воде восстановиться.

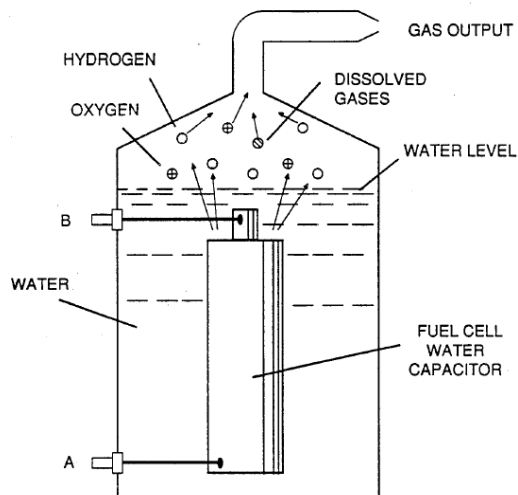


Рисунок 1 – Принципиальная схема ячейки Мейера

Не считая обильного выделения кислорода и водорода и минимального нагревания ячейки, сообщается, что вода внутри ячейки исчезает быстро, переходя в ее составные части в виде аэрозоли из огромного количества крошечных пузырьков, покрывающих поверхность ячейки.

Мейер заявил, что у него работает конвертер водородно-кислородной смеси в течение последних 4 лет. Он также заявил, что фотонное стимулирование пространства реактора светом лазера посредством оптоволокна увеличивает производство газа.

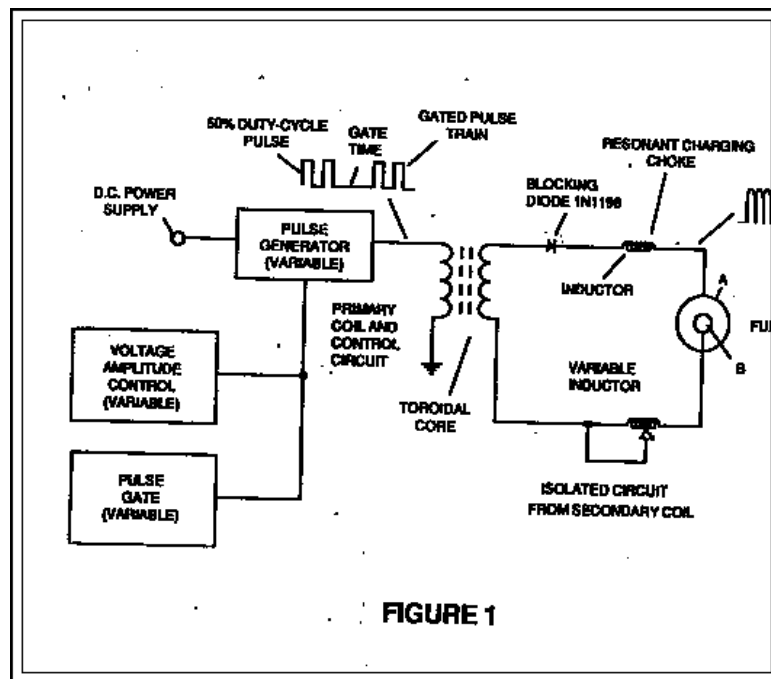


Рисунок 2 – Электрическая схема ячейки Мейера

Стенли Мейер сделал автомобиль, работающий с помощью данной установки, отмечая то, что для корректной его работы надо очень хорошо отрегулировать зажигание. Ко всему прочему он оформил патент на свое устройство, где указал все основные моменты и тонкости в работе данного устройства, а также методах его применения в повседневной жизни.

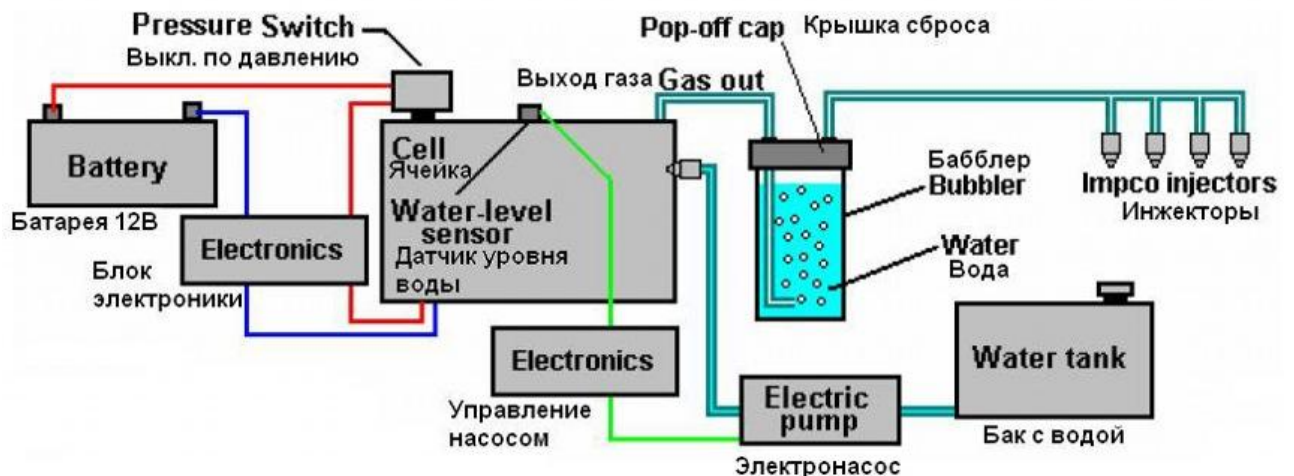


Рисунок 3 – Схема подключения ячейки Мейера к системе питания ДВС

Можно использовать ячейку Майера и в повседневной жизни дома. В качестве примера приведем схему установки для отопления и приготовления пищи:

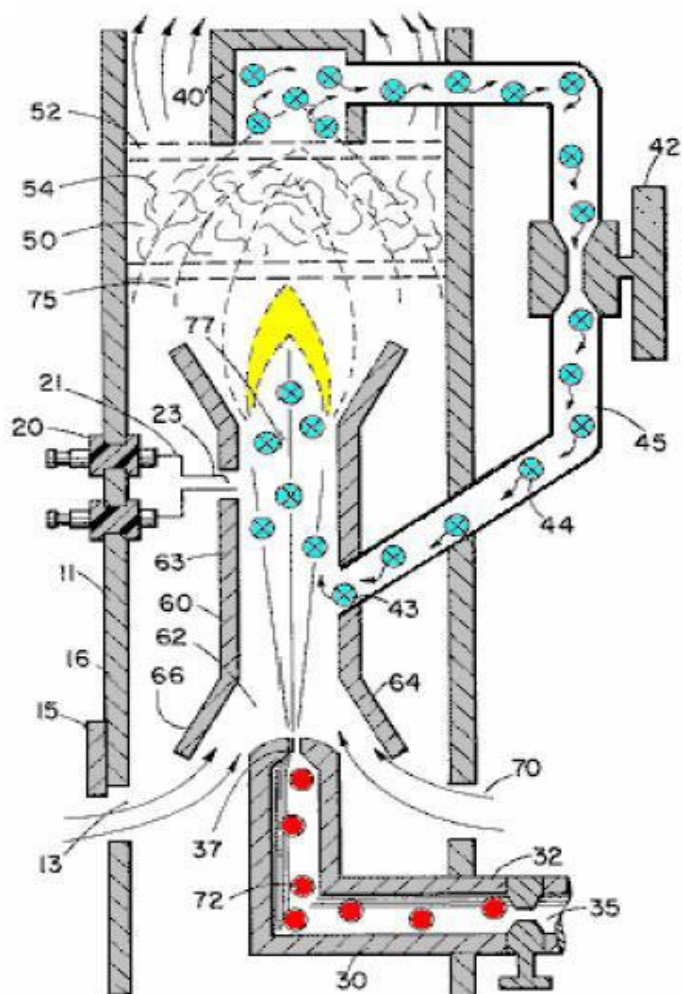


Рисунок 4 – Схема подачи водорода для отопления и установок приготовления пищи

Так как водород горит при очень высокой температуре, способной плавить любой металл, то в этом случае возникает проблема с подбором материалов, а, следовательно, и себестоимости такого устройства, но используя данную схему проблема вполне осуществима.

Газ 72 попадает в горелку через вентиль 35. Горящий газ поднимается по вертикальной трубе 63 и затягивает за собой наружный воздух через отверстия 70 и 13, которые имеют скользящую крышку для контроля подачи. В чашке 40 собирается некоторое количество сгоревшего газа и возвращается назад через трубу 45 и смешивается с горящими газами в колонке горения. Регулировка подачи сгоревшего газа – вентиль 42. Большое количество сгоревшего газа (водяного пара) подается назад, что понижает температуру горения. Электрическое зажигание 20 упрощает розжиг.

Данное изобретение позволит человечеству еще не одну тысячу лет не думать об каких-либо других видах альтернативного топлива, но, к сожалению, на данный момент существует много проблем, связанных с мировой экономической системой.

Литература

1. <https://econet.ru/articles/86660-vodyanaya-toplivnaya-yacheyka-meyera>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=LQVtYkWvzdo>
3. <http://midgard-edem.org/?p=2194>

УДК 621.311

Статические компенсаторы реактивной мощности в энергосистемах

Матвеев Е.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент МОРОЗ Р.Р.

К статическим компенсаторам относится обширный класс устройств, способных воздействовать на баланс реактивной мощности в электрической сети. Определение “статические” они получили в отличие от “динамических” (вращающихся), к которым относятся синхронные двигатели – основные источники реактивной мощности в электрических системах. Статические компенсаторы, регулируя напряжение и реактивную мощность, воздействуют на установившиеся и переходные режимы электрических систем, обеспечивают снижение потерь и повышение качества электроэнергии. Быстродействие и многофункциональность статических компенсаторов, удобство их эксплуатации позволили им заменить во многих случаях синхронные компенсаторы, существенно улучшив характеристики режимов работы электрических систем.

Разработка статических компенсаторов реактивной мощности может вестись лишь на базе устройств, способных осуществлять обмен энергии электрических и магнитных полей в элементах электрической цепи. Таким образом, основными элементами статического компенсатора являются индуктивности и ёмкости. Вспомним некоторые соотношения для сети с источником переменного напряжения $u=U_m \sin \omega t$, вызывающего в цепи ток $i=I_m \sin(\omega t - \varphi)$, сдвинутый по фазе относительно напряжения на угол φ .

Тогда мгновенная мощность будет равна:

$$p=u \cdot i=U_m \cdot I_m \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

Таким образом, происходит колебание мгновенной мощности с двойной частотой вокруг среднего значения, называемого активной мощностью, которое определяется выражением:

$$P=1/2 U_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi =U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

В течение одной части полупериода приёмник принимает энергию от источника, в течение другой части отдаёт её обратно источнику. Мощность, которой обмениваются источник и приёмник: $Q=U \cdot I \cdot \sin \varphi$, называется реактивной мощностью.

Активная и реактивная мощности связаны соотношением, определяющим понятие полной мощности при нагрузке, не искажающей синусоидальную форму питающего напряжения:

$$S=\sqrt{P^2 + Q^2}$$

При нагрузке, искажающей форму питающего напряжения в сети, реактивная мощность представляется как сумма реактивных мощностей при нагрузке, не искажающей синусоидальную форму питающего напряжения и отдельных гармоник несинусоидального напряжения, и вводится понятие “мощность искажения” T . Полная мощность в этом случае представляется в виде суммы мощностей P_1, Q_1, T_1 . Модуль полной мощности в этом случае равен:

$$S = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + \sum_{k=1}^n T_k^2}$$

Мощность искажения определяется по формуле:

$$T = U \sqrt{\sum_{k=1}^n I_k^2}$$

где: I_k - действующие значения токов отдельных гармоник.

Введение понятия полной мощности, реактивной мощности и “мощности искажения” являются условными, применяемыми для выполнения вычислительных операций. При просмотре процессов в электрической цепи на осциллографе величины S , Q и T непосредственно не наблюдаются.

УДК 621.311

Статические компенсаторы и параметрические стабилизаторы

Горнак А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент МОРОЗ Р.Р.

Статические компенсаторы – устройства, предназначенные для компенсации реактивной мощности в электрических цепях. При классификации статических компенсаторов в основу могут быть положены два основных элемента: индуктивный реактор и батарея конденсаторов. Изменение величины подключаемой к сети реактивной мощности компенсаторов может осуществляться плавно, плавно и ступенчато, ступенчато. По принципу действия все устройства управляемой поперечной компенсации (устройства поперечной компенсации реактивной мощности - устройства, подключаемые в электрическую цепь параллельно её элементам) разделяются на управляемые статические компенсаторы и параметрические стабилизаторы напряжения.

Различают следующие основные типы управляемых статических компенсаторов:

1. Ступенчато регулируемые коммутационной аппаратурой батареи конденсаторов.
2. Шунтирующие реакторы, снабжённые коммутационной аппаратурой.
3. Управляемые реакторы.
4. Статические тиристорные компенсаторы с реакторами.
5. Управляемые тиристорами батареи конденсаторов.
6. Компенсаторы реактивной мощности с искусственной коммутацией.

На основании указанных типов статических компенсаторов на практике создаются схемы комбинированных устройств, наиболее эффективно и экономично решающие задачи управления режимами электрической системы.

Основной функцией статического компенсатора является регулирование напряжения в точке его подключения к системе. С этой целью статический компенсатор должен выдавать или поглощать реактивную мощность так, чтобы обеспечить постоянство модуля напряжения в точке его подключения. Совокупная вольт – амперная характеристика двух элементов (конденсаторов и реакторов) для данного рабочего диапазона и будет являться внешней характеристикой указанного типа статического компенсатора.

Остановимся на принципах регулирования напряжения параметрическими стабилизаторами. Принципиальное отличие между управляемыми компенсаторами и параметрическими стабилизаторами состоит в том, что изменение реактивной мощности последних связано только с изменением напряжения на его зажимах, без использования специальной системы управления. Основным элементом параметрического стабилизатора является насыщающийся реактор (НР), т.е. реактор с нелинейной вольт-амперной характеристикой, обусловленной насыщением его магнитной системы. Насыщающийся реактор сам по себе реагирует на изменение напряжения на его зажимах практически без запаздывания. Принципиальной особенностью всякого параметрического стабилизатора является линейность по напряжению – наклон внешней регулировочной характеристики устройства.

Линейность насыщающего реактора корректируется конденсатором БК с дополнительными элементами для исключения возможного резонанса в цепи с последовательно соединёнными индуктивностью и ёмкостью. К достоинствам параметрического стабилизатора напряжения можно отнести его трёхкратную перегрузочную способность в режиме потребления реактивной мощности, что используется для ограничения перенапряжений на линиях электропередач.

Наибольшее распространение получили схемы управляемых статических компенсаторов, содержащие в составе своего оборудования автоматические регулирующие устройства, которые и определяют в зависимости от выбранного параметра (или нескольких параметров) и закона регулирования, изменение мощности управляемого статического компенсатора. Это делает его многофункциональным при регулировании режимов

электрических систем (стабилизация напряжения в точке подключения, обеспечение статической и динамической устойчивости электропередач).

УДК 621.3.061

Высоковольтные вакуумные выключатели

Опиок А.А., Кислянков В.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Высоковольтные выключатели с вакуумной дугогасительной средой - современные коммутационные устройства электрических сетей. Благодаря качественному отличию от устаревших автоматических выключателей, вакуумную аппаратуру устанавливают на вновь возводимых подстанциях, и для замены коммутационного оборудования на уже существующих объектах.

Преимущества вакуумных устройств обеспечивается значительно более эффективным принципом гашения дуги, что повышает устойчивость энергосистемы при аварийных режимах и позволяет значительно сократить затраты на обслуживание.

Вакуумные высоковольтные выключатели предназначены для совершения коммутационных операций в электроснабжающих сетях. Конструктивно вакуумный выключатель состоит из трех отдельных полюсов (по одному на каждую фазу) их устанавливают на одном приводе посредством опорного изолятора, выполненного из текстолита или фарфора. У каждого полюса имеются два вывода для подключения ошиновки.



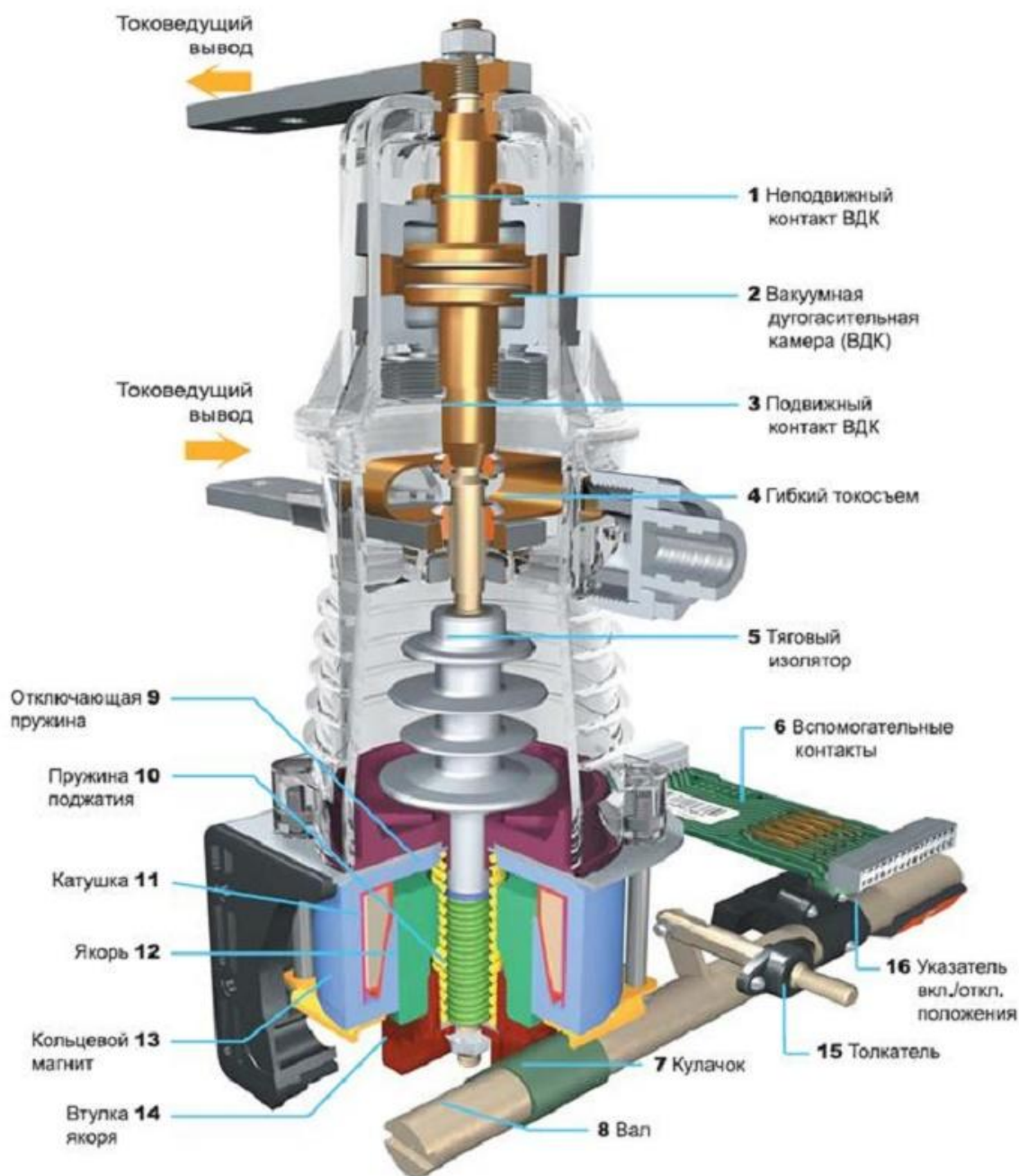
Рисунок 1 – Общий вид вакуумного автоматического выключателя

Устройство вакуумного выключателя

Из рисунка 2 видно, что внутри устройство состоит из двух контактов, подведенных под соответствующие потенциалы полюсов. Один из них выполняется подвижным, второй стационарным, как и в других типах выключателей. Силовые контакты вакуумного выключателя располагаются внутри герметичной камеры. В состав материала камеры включаются специальные металлические сплавы и керамические добавки, чтобы обеспечить способность сохранять вакуум в течении длительного периода.

Современные технологии позволяют сохранять вакуум внутри емкости, и при динамических нагрузках, которые ей приходится претерпевать во время коммутаций. Для постоянного поддержания состояния сильно разреженной газовой среды, внутри вакуумной камеры, устройство комплектуется сильфонным компонентом. Делает не возможным

проникновение воздуха или другого газа внутрь вакуумной камеры при перемещении подвижного контакта.



Полюс выключателя в отключенном положении

Рисунок 2 – Устройство высоковольтного вакуумного выключателя

Критерии выбора

При выборе конкретной модели необходимо учитывать следующие параметры:

- Климатическое исполнение;
- Электродинамическая стойкость, при возникновении токов короткого замыкания;
- Термическая стойкость;
- Напряжение электроустановки, что влияет на тип изоляции.

Производители и распространенные модели

Наиболее известными производителями вакуумных выключателей являются компании: «Таврида электрик», ОАО «Самарский трансформатор», «ПО ЭЛКО», «НПП Контакт», «РЗВА» и др.. Из зарубежных: Siemens, ABB, HEAG.

К преимуществам данного вида коммутационных аппаратов следует отнести:

1. отличаются малыми габаритами и возможностью быстрой замены, особенно в выкатных ячейках;
2. не производят такого большого шума при переключениях;
3. отлично выполняют свои функции не зависимо от положения камер в пространстве;
4. полностью экологичны и безопасны для здоровья в отличии от элегазовых выключателей;
5. отличаются высокой надежностью.

К недостаткам вакуумных выключателей относят:

1. неспособность выдерживать большие токи короткого замыкания;
2. возникновение перенапряжения при отсечении малых индуктивных токов;
3. малый коммутационный ресурс отключения аварийных токов.

Сфера применения

Модели вакуумных выключателей, выпущенных в СССР, обеспечивали отключение, сравнительно небольших нагрузок из-за конструктивного изъяна вакуумной камеры и технических характеристик контактов, а современные модели превосходят их по термоустойчивой и прочностным характеристикам. Это дает возможность установки таких коммутационных устройств, практически во всех отраслях промышленности.

Сегодня вакуумные выключатели используются в таких сферах:

- в распределительных электроустановках электрических станций и подстанций;
- в металлургии для питания печных трансформаторов, снабжающих сталеплавильное оборудование;
- в нефтегазовой и химической промышленности на пунктах перекачки, переключающих пунктах и трансформаторных подстанциях;
- для работы первичных и вторичных цепей тяговых подстанций на железнодорожном транспорте, осуществляет питание вспомогательного оборудования и не тяговых потребителей;
- на горнодобывающих предприятиях для питания комбайнов, экскаваторов и других видов тяжелой техники.

В любой, из вышеперечисленных отраслей народного хозяйствования, вакуумные выключатели повсеместно вытесняют устаревшие масляные и воздушные модели.

Литература

1. Высоковольтные вакуумные выключатели распределительных устройств: учебное пособие / К.А. Набатов, В.В. Афонин. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 210. – 96 с. – 75 экз.
2. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологий и эксплуатации электрических станций и сетей / Под ред. А.Н. Назарычева – М.: «Инфра-инженерия», 2006. – 928 с.

УДК 621.3.001

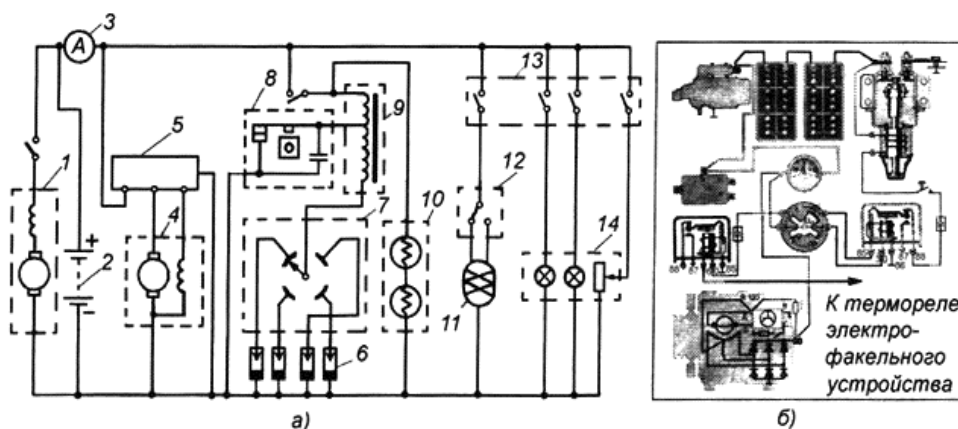
Перспективы развития электрооборудования автомобиля

Куземко М.М.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

В настоящее время практически испробована концепция автомобилей с повышенным до 42 В бортовым напряжением. Существует два основных накопителя энергии: аккумуляторные батареи с напряжением 36 и 12 В, и молекулярный емкостный накопитель на напряжении 42 В. Кроме того, в составе должны быть DC/DC-преобразователи напряжения, система предохранителей и развязывающих диодов в силовых сетях, стартер-генератор, электронный модуль управления и регулирования, а также ряд датчиков, обеспечивающих функционирование стартеров и генераторного режимов и системы «стоп-старт». Применение двухуровневой системы обусловлено резким возрастанием числа и мощности бортовых потребителей электроэнергии (электрические исполнительные устройства в системах управления двигателем, активной подвеской т.п.).

Система электроснабжения. Основная тенденция развития этой системы – повышение срока службы генератора до 300 тыс. км пробега или до 7500 мото-часов работы без обслуживания за счет довольно многочисленных конструктивных и технологических мероприятий. Например: закрытие подшипников и щеточно-коллекторных узлов; твердотельный регулятор напряжения с адаптивным алгоритмом регулирования и встроенным стабилизатором защиты; большой запас по тепловому режиму за счет запаса мощности; более интенсивное охлаждение внутренней полости встроенными вентиляторами; сдвоенные и строенные обмотки статора; оптимизация размеров магнитной системы и обмоток статора при увеличении тока возбуждения; использование в выпрямителе диодов со стабилизаторным эффектом, а также антишумовых конструктивных элементов (немагнитные кольца, форма полюсных наконечников и т.д.); новые материалы для контактных колец, щеток, каркаса обмотки возбуждения, изоляционных покрытий; привод поликлиновым ремнем и двухлапное крепление; увеличенное передаточное отношение и другие [1].



Система электроснабжения автомобиля: *а* – электрическая принципиальная схема; *б* – схема соединений; 1 – стартер; 2 – аккумуляторная батарея; 3 – амперметр; 4 – генератор; 5 – регулятор; 6 – свечи зажигания; 7 – распределитель; 8 – прерыватель; 9 – катушка зажигания; 10 – контрольно-измерительные приборы; 11 – головные фары; 12 – переключатель света фар; 13 – центральный переключатель света головных фар; 14 – приборы освещения и световой сигнализации

Рисунок 1 – Система электроснабжения автомобиля

Система электропуска. Перспективы стартера не отличаются от генераторов. Нынешний стартер — это стартер со встроенным редуктором, имеющий (до мощности 2 кВт) возбуждение от постоянных магнитов высоких энергий, а, следовательно, массу, на 40 ... 50% меньшую, чем стартеры классического исполнения. В связи с широким

распространением молекулярных емкостей накопителей энергии, встроенных в аккумуляторную батарею, появился класс высоковольтных (до 120 В) стартеров. Обыденными становятся двухобмоточные реле, системы электронной блокировки стартеров. В итоге масса стартеров, в зависимости от мощности, варьируется в диапазоне, ранее считавшимся недостижимым (4 ... 16,5 кг) [2].

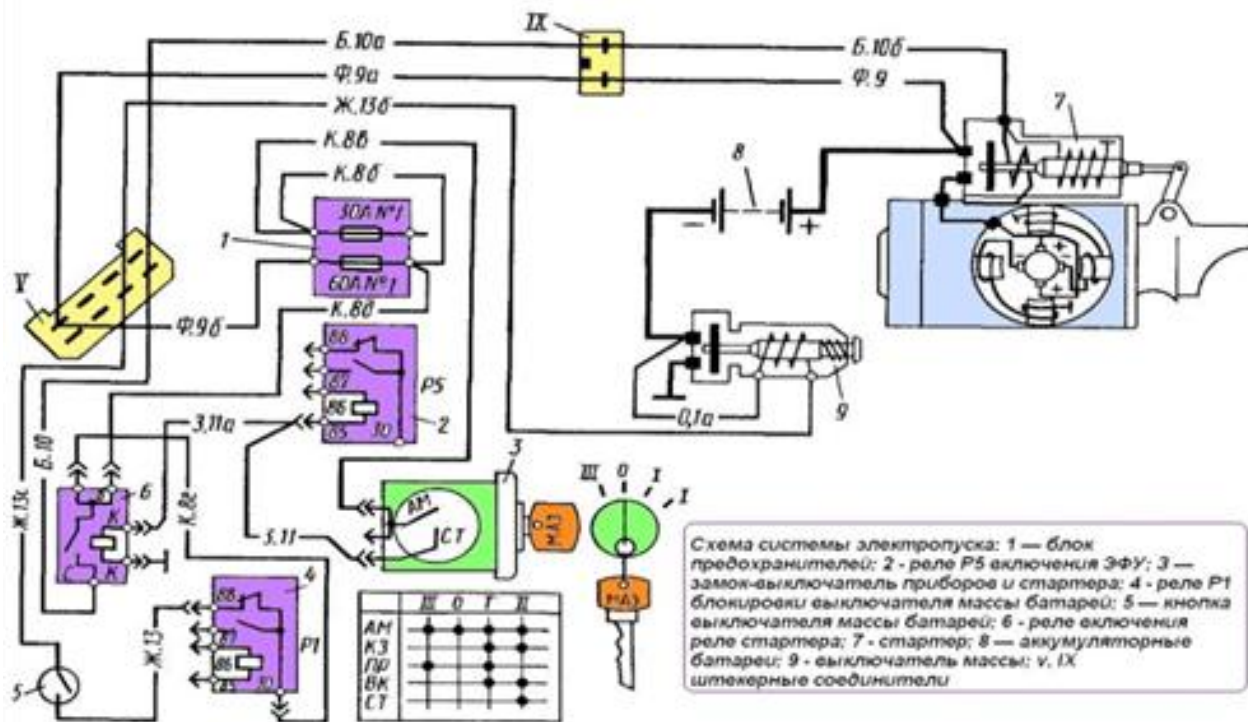


Рисунок 1 – Схема системы электропуска

Система зажигания. Относится к числу систем, в последние годы подвергшихся наиболее радикальным изменениям. Она стала полностью компьютеризированной и не только заменила собой центробежный вакуумный автоматы опережения зажигания и высоковольтный распределитель, но и регулирует углы опережения зажигания по детонации, оптимизирует их по условиям работы двигателя и движения автомобиля. Появились системы с катушками зажигания, встроенными в высоковольтный свечной наконечник и одновременно служащими датчиками детонации. Конструкции систем, технологии их изготовления находятся на острие технического прогресса [3].



Рисунок 3 – Система зажигания автомобиля

Электропривод. Его основу в настоящее время составляет система механизмов магнитных соединений, обладающих высокой энергией, представленная прогрессивными методами намотки (в том числе намотки плоских якорей). Прогрессивные решения конструкции редукторных приводов, электроника управления, защита электропривода с помощью малогабаритных термобиметаллических предохранителей позволили создать не только приводы силовые (например, для регулирования положения сидений водителя и пассажиров), но и малогабаритные приводы управления зеркалами заднего вида, дроссельной заслонки, рейкой ТНВД и др. [3].

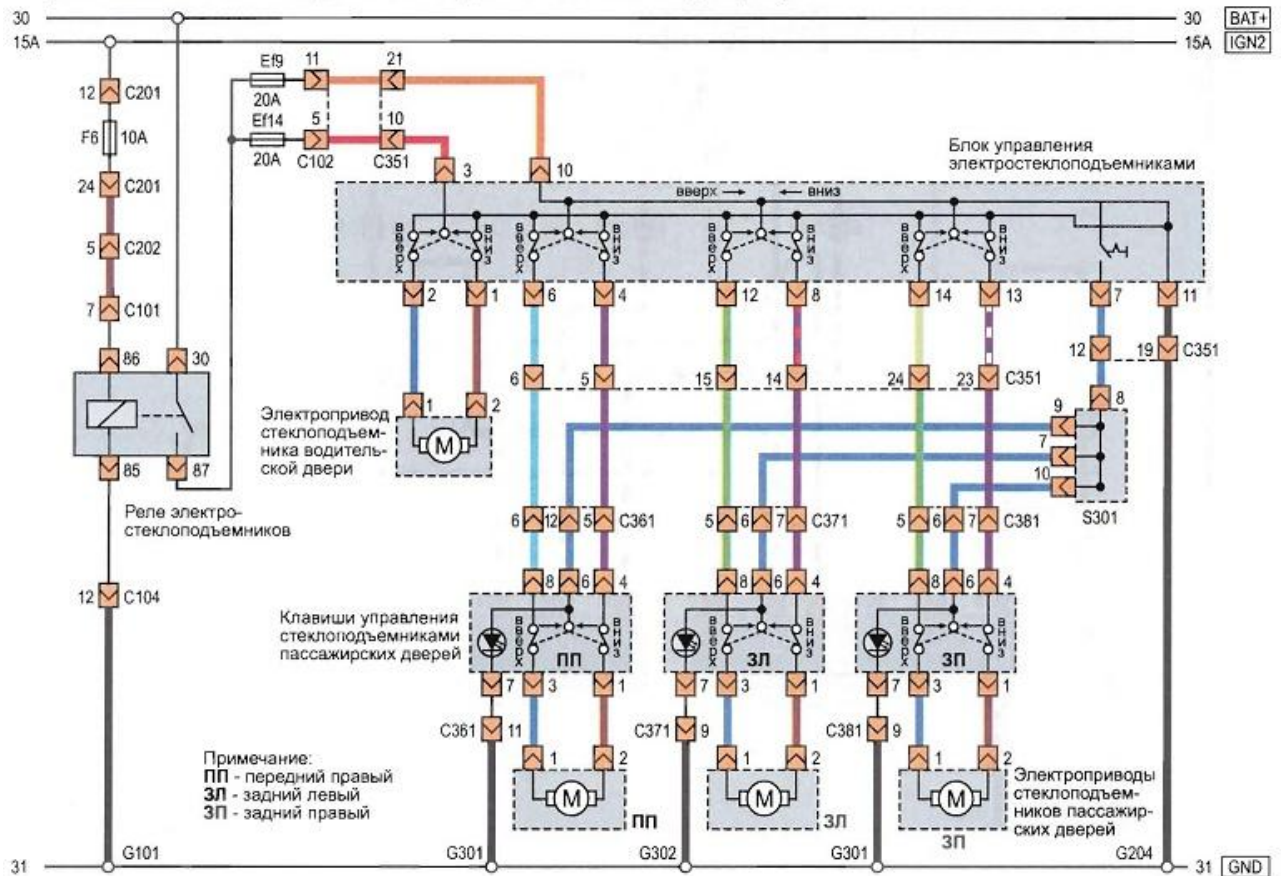


Рисунок 4 – Схема блока управления электростеклоподъемника автомобиля

Светотехника. Новые конструкции светотехнического оборудования автомобильной техники – это: головные фары со свободной поверхностью отражателя, выполненные из пластмасс; фары проекторного типа, в том числе с протяжным оптоволоконном; фары и фонари с газоразрядными источниками света нового поколения, обеспечивающими в 2 раза более яркий световой поток; системы автоматического регулирования светового потока в зависимости от нагрузки автомобиля; многофункциональные фонари с новыми оптическими схемами, источниками света и светодиодами. При их использовании, благодаря цифровой обработке, появляется возможность в тумане видеть на дисплее объекты ближнего и дальнего плана [4].



Рисунок 5 – Элементы светотехники автомобиля

Электропроводка. Широкое применение получили плоские пучки проводов и разъемные соединители, изготавливаемые по безлюдной технологии, которые более надежны в эксплуатации.

Реле, прерыватели, переключатели и выключатели (устройства коммутации) совершенствуются в направлении увеличения их функциональных возможностей (коммутация нескольких цепей) и уменьшения габаритных размеров. Осваиваются и принципиально новые направления. Это сенсорные выключатели и переключатели с подсветкой знака.

Информационные и диагностические системы. Для информационных систем по-прежнему характерны логотрические приборы, но уже с поворотом стрелки на 360 градусов и управление с помощью специализированной микросхемы, что, с точки зрения передачи аналоговой информации, сделало их конкурентоспособными по отношению к электронным комбинациям приборной панели. Появился и новый класс таких систем, как навигационные, которые связаны со спутниками, дорожными радиомаяками и позволяют водителю ориентироваться в сложных городских условиях [4].

Что касается бортовых (встроенных) диагностических систем, то они развиваются в направлении не только повышения уровня программного обеспечения, но и применения в качестве индикаторов светодиодов, жидкокристаллических экранов и люминесцентных панелей.

Схема подключения датчика температуры охлаждающей жидкости

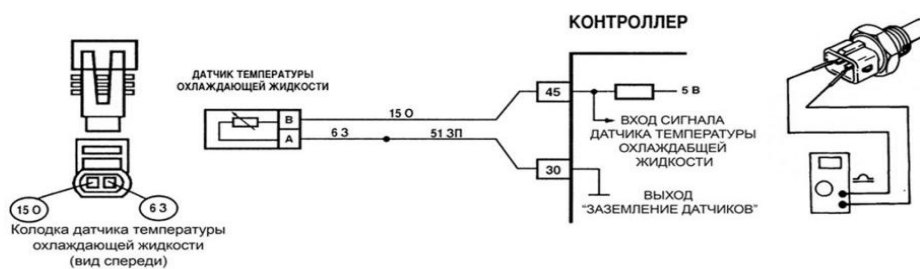


Рисунок 6 – Схема подключения датчика температуры охлаждающей жидкости

Система активной и пассивной безопасности. К ним относят антиблокировочные, противобуксовочные системы, системы курсовой устойчивости, подушки безопасности и системы управления подвеской. Развитие конструкций этих систем идет по пути создания долговечных исполнительных устройств, обладающих достаточным быстродействием и небольшим запаздыванием, что обеспечивает комфортные условия для людей в процессе изменения положения автомобиля; организации хорошей связи между системами управления подвеской и двигателем [5].

Заключение

После исследования концепции автомобиля с повышенным до 42 В бортовым напряжением, появилась проблема с исполнением накопителей энергии. Продолжаются поиски третьего, альтернативного накопителя энергии, который сможет работать также как аккумуляторные батареи и молекулярные емкостные накопители. Кроме того, продолжается разработка DC/DC-преобразователей напряжения нового поколения с повышенным КПД, система предохранителей и развязывающих диодов в силовых сетях, стартер-генератор, электронный модуль управления и регулирования различных механизмов, а также ряд датчиков, обеспечивающих функционирование стартерного и генераторного режимов работы. Особое место занимают электрические автомобили, проблемой которых занимается все большее количество ученых [3,5].

Перспективой становится разработка универсального электрического автомобиля, который может стать в перспективе полной заменой двигателям внутреннего сгорания [5].



Рисунок 7 – Составляющие систем безопасности автомобиля

Литература

1. Акимов, С.В. Электрооборудование автомобилей: учебник для вузов / С.В. Акимов. – М.: ЗАО КЖИ "За рулем", 2007. – 384 с.
2. Банников С.П. Электрооборудование автомобилей / С.П. Банников. – М.: Транспорт 2002. – 264 с.

3. Соснин, Д.А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматике современных легковых автомобилей / Д. А. Сосников. – М.: СОЛОН-Р, 2005. – 272 с.
4. Туревский, И.С. Электрооборудование автомобилей: учебное пособие / И.С. Туревский. – М.: Форум, инфра-М, 2003. – 368 с.
5. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// wikipedia.org](http://wikipedia.org). – Дата доступа: 11.10.2018.

УДК 621.3

Алюминий-ионные аккумуляторы

Хоронеко В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Алюминий-ионные аккумуляторы были изобретены примерно 35 лет назад. На них были возложены большие надежды из-за высокой безопасности и экологичности. Но было несколько серьезных проблем, которые не позволяли наладить производство, например, недолговечность из-за маленького количества циклов перезарядки.

Разработчики утверждают, что их работа вполне может стать достаточно безопасной альтернативой литий-ионным аккумуляторам, которые повсеместно используются сегодня, так же не нужно забывать про батарейки из щелочи, которые вредят здоровью. Важным недостатком литий-ионных аккумуляторов является то, что они порой возгораются. Умно поступили авиакомпании United и Delta, они запретили массовые поставки литиевых-ионных батарей на свои самолеты.

Профессор Хонгжи Дай заявляет, что его новая батарея ни в коем случае не воспламенится, даже если просверлить её, что они и сделали в своем эксперименте. Коллеги Дайя говорят про данные батареи, как “сверхбыстро перезаряжаемые алюминий-ионные аккумуляторы.” Алюминий достаточно давно рассматривался как материал для аккумуляторов из-за своих физических способностей, например, высокая емкость хранения, низкая воспламеняемость, достаточная дешевизна. На протяжении нескольких десятилетий многие люди пытались сделать коммерчески возможную алюминий-ионную батарею. Ученым необходимо было преодолеть много препятствий, такие как: быстрая потеря мощности (в промежутке от 25% до 90% через 100 циклов), недостаточное время жизни (менее 90 циклов) и др.

Сейчас же ученые показали аккумуляторную батарею, в основе которой алюминий. Металлический анод из алюминия в паре с катодом из графитовой пены, использовался в этой батарее. До этой связки было представлено много других материалов для катода, но решение катода было в пользу графита.

Ученые под руководством Хонгжи Дайя, выявили различные типы графитового материала, они показывают достаточно высокую производительность.

К плюсам графена можно отнести:

1. Легкость и прочность в отличие от других материалов.
2. Хороший проводник электричества.
3. Может предотвращать коррозию металлов.

К недостаткам же отнесем трудоёмкость работы, а именно, сложно создать объемные материалы. Не так давно исследователи из MIT (Массачусетский технологический институт) “присвоили” новый вид графену: теперь он похож на губку, 3D-версию графена. Плотность данного материала невелика, но прочность гораздо выше.

В данном исследовании группа Дайя записала видеоролик, где они показывают, что если просверлить алюминиевый аккумулятор, то он продолжит работать еще долгое время, не воспламеняясь, тогда как батареи из лития непредсказуемы. Но безопасность, это не единственное, чего команда из Стэнфорда добились в этой работе.

Первое, это быстрая зарядка. Владельцы телефонов в курсе, что зарядка литиевого аккумулятора может занять несколько часов. Группа Хонгжи Дайя сообщает о небывалом времени зарядки, а именно, в течение одной минуты с прототипом из алюминия. Но если выбрать режим быстрой зарядки, то телефон зарядится за 1,2 секунды. Помимо этого, аккумулятор работает в достаточно широком спектре температур: от -35 до +125 градусов Цельсия.

Нельзя не упомянуть достаточно большую долговечность аккумулятора. Обычно, батареи, созданные в других лабораториях, прекращали свою деятельность, примерно, после 110 циклов зарядки. Алюминий-ионная батарея из лаборатории Стэнфорда смогла

проработать более 7600 циклов зарядки. Исследователи утверждают, что это первый случай, когда, “сверхбыстро” заряжающаяся батарея, осталась стабильной в течение 1200 циклов. В сравнение можно привести литиевую батарею, которая держится примерно 1000 циклов.

Еще одним достоинством данных батарей – гибкость. Из-за этого, есть большой потенциал для использования в сгибающихся устройствах.

Дополнительно, нужно сказать о потенциале алюминиевых батарей в переносных электронных устройствах. Они могут использоваться для хранения возобновляемой энергии. Для сетей необходима аккумуляторная батарея с длительным жизненным циклом, который сможет хранить и высвобождать энергию.

По неофициальным данным, алюминий-ионная батарея может выдержать десятки тысяч зарядок.

Алюминиевая батарея предлагает достаточно дешевую и экологически чистую альтернативу, нежели батареи из щелочи.

Элементы типа 2A и 3A имеющие напряжение 1,5В получили достаточно большое распространение. Но алюминий-ионная аккумуляторная батарея испускает примерно два вольта электричества.

На данный момент, плотность хранения алюминий-ионных батарей составляет, примерно, 35-45 Вт*час/кг, когда у литий-ионных плотность хранения составляет 120-200 Вт*час/кг.

Если улучшить катодный материал, то на выходе это приведет к увеличению напряжения и плотности энергии. В любом случае, данная батарея имеет достаточное количество плюсов: дешевые вещества, высокая безопасность, сверхбыстрая зарядка, гибкость и длительный срок службы.

Несмотря на все это, алюминий-ионные батареи на сегодняшний день не могут конкурировать с достаточно распространенными литий-ионными собратьями.

1. Существует проблема компактности, т.е. нет разумного соотношения количества хранимой энергии и габаритов аккумуляторной батареи.

2. Потенциальная стоимость данной батареи будет слишком высока, в сравнении с литий-ионной батареей.

Литература

1. <https://news.stanford.edu/2015/04/06/aluminum-ion-battery-033115/>
2. <https://www.vesti.ru/doc.html?id=2975298>
3. <https://www.vesti.ru/doc.html?id=2842010&cid=2161>

УДК 620.9

Геотермальная энергетика

Кривицкая К.А. Яцкевич Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Геотермальная энергия – это энергия, которую получают из недр Земли. Ею можно достичь при помощи скважины, геотермический градиент в которой увеличивается на 1°C при углублении на каждые 36 метров. Это тепло поступает на поверхность в виде пара или горячей воды.

Наша планета имеет $42 \cdot 10^{12}$ Вт тепла, из которых 2% находится в коре и 98% – в ядре и мантии. Также известно, что геотермальная энергия земной коры содержит количество энергии, которое в 500 раз больше всех мировых запасов нефти и газа.

Выделяют 2 способа использования геотермальной энергии:

1) Прямое использование тепла. Этот способ чаще всего используют в высоких широтах на границах тектонических плит. Водопровод в таких случаях монтируется именно в глубинные скважины.

2) Производство электроэнергии. Этот способ очень схож с первым, но для того что бы произвести электроэнергию необходимы температуры, значение которых превышает 150°C .

Так же геотермальную энергию можно разделить на петротермальную и гидротермальную:

- для первого типа характерно использование в качестве источника горячие горные породы. Для этого необходимо пробурить две скважины, одна из которых наполняется водой, после чего произойдет процесс парения.

- для второго – использование подземных вод. В 99% случаев используется тепло пород, и в 1% геотермальная энергия извлекается из подземных вод.

Существует 4 основных типа ресурсов геотермальной энергии:

1. тепло поверхности земли;
2. энергия пара, горячей и теплой воды находящиеся на поверхности земли;
3. теплота, которая находится глубоко под поверхностью земли;
4. энергия магмы и теплота, накапливаемая под вулканами.

Однако при применении геотермальной энергии стоит учитывать ее достоинства и недостатки:

Преимуществом геотермальной энергетике является то, что она:

- возобновляемая и почти неиссякаемая;
 - не зависит от природных условий и времени года;
 - универсальная, т.е. с ее помощью можно обеспечить тепло- и водоснабжение, а также электричество;
 - данный источник энергии не загрязняет окружающую среду;
 - станции занимают незначительную площадь.
- Но не стоит забывать о недостатках, а именно о том, что:
- она не является абсолютно безвредной из-за выбросов вредных веществ, так как там могут содержаться вредные примеси, а именно сероводород, радон и др.;
 - при использовании воды с глубоких горизонтов возникает вопрос ее утилизации после использования — из-за химического состава такую воду нужно сливать обратно в недра земли или в океан;
 - постройка станции обходится очень дорого.

Геотермальная электростанция — это вид электростанций, которые вырабатывают электрическую энергию непосредственно из тепловой энергии подземных источников.

На сегодняшний день существует 3 схемы производства электроэнергии с использованием гидротермальных ресурсов: прямая с использованием сухого пара, непрямая с использованием водяного пара и смешанная схема производства (бинарный цикл). Тип преобразования зависит от состояния среды (пар или вода) и ее температуры.

Также отметим, что природное тепло Земли используют для теплоснабжения. Температура воды, которая достигает 50-600С, является подходящей для отопления и горячего водоснабжения домов.

Технический процесс получения тепла следующий: необходимо всего лишь пробурить скважину, откуда будет получена вода, которую очищают от газов, и затем с помощью насосов направляют в котельную. Там будет поддерживаться температурный график, после чего вода попадет в теплотрассу.

Главное отличие таких станций от ТЭЦ в том, что отпала необходимость в использовании топливных котлоагрегатов. Тем самым значительно снижается себестоимость тепловой энергии. В зимний период потребители получают тепло и горячее водоснабжение, а в летний – только ГВС.

А теперь мы расскажем о развитии Геотермальной Энергетики некоторых стран.

Исландия является одной из лидирующих стран по использованию геотермальных ресурсов из-за того, что остров расположен в зоне активного вулканизма.

Суммарная мощность энергоблоков Исландии имеет значение в районе 600 МВт, а это порядка 30% от всей вырабатываемой электроэнергии в стране. Самыми мощными станциями являются: станция Hellisheidi, мощность которой составляет 300 МВт, станция Nesjavellir мощностью 120 МВт и станция Reykjanes мощностью 100 МВт.

Стандартная ГеоЭС имеет множество скважин. Так, самая крупная геотермальная станция в Исландии – Хедлискейди – содержит 50 скважин. Она расположена вблизи вулкана Хенгидль. Так же отметим, что для отопления помещений используют горячие подземные источники.

12 августа 2016 года на полуострове Рейкьянес начали бурение сверхглубокой геотермальной скважины.

Предполагается, что ее глубина составит 5 км. На такой глубине подземные воды находятся в состоянии флюида, т.е. сверхкритической жидкости, температура которой варьируется от 400 до 1000⁰С. Планируется, что она сможет выдать мощность в 50 МВт. Проект хотят закончить в 2019 году.

В настоящее время Исландия – один из лидеров в производстве энергии на душу населения. Использование геотермальной энергетики позволило сэкономить более \$7 млрд. Стоит отметить и то, что исландские специалисты участвуют в разработке и строительстве крупнейших геотермальных станций в мире.

Однако Исландия не является крупнейшей страной по производству энергии из геотермальных источников. Лидирующее место занимает США.

Стандартные американские ГеоЭС обычно имеют мощность от 10 до 100 МВт и применяют традиционные циркуляционные технологии на базе использования сухого пара. Распространение также получили технологии прямого действия, которые используют температуры выше 1800 ⁰С в сочетании с высоким давлением, а также бинарные технологии.

США обладают самыми значительными ресурсами геотермальной энергии в мире. Суммарная мощность геотермальных станций составляет 3,4 ГВт.

Самыми крупными станциями являются: группа станций The Geysers, которая расположена в Калифорнии. В состав группы входит 22 станции мощностью 1517 МВт. В штате Калифорния станция Imperial Valley Geothermal Area мощностью 570 МВт. В штате Невада станция Navy 1 Geothermal Area мощностью 235 МВт.

В Беларуси также существует использование геотермальных ресурсов, но в меньших масштабах. В нашей стране действует почти 100 геотермальных установок. Значение их суммарной тепловой мощности достигает уже почти 5,5 МВт.

Самой мощной геотермальной станцией является тепличный комплекс «Берестье» Брестского района. Ее мощность составляет 1 МВт. Основным назначением станции является обогрев 1,5-2 га теплиц хозяйства. Также стоит отметить, что это помогло предприятию сэкономить до 10% потребляемого природного газа.

Еще одним примером использования геотермальных источников в нашей стране является геотермальное отопление пограничного перехода на Украину (Новая Рудня), Ельский район Гомельской области. Тепловая мощность 273 кВт.

В некоторых регионах Беларуси температура воды в недрах земли может достигать 80⁰С и еще выше. Однако возникает следующая проблема – с увеличением глубины залегания увеличивается концентрация солености рассолов, а это, в свою очередь, сильно затрудняет добычу и использование воды. Так что куда выгоднее использовать энергию воды, полученную из скважин меньшей глубины, с низкой минерализацией и, следовательно, более низкой температурой.

Анализ экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывает, что величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долларов США в расчете на 1 Гкал.

Развитие белорусской геотермальной энергетики имеет для страны очень хорошие перспективы. Подобная энергия – практически неиссякаемый источник и поэтому ожидаемый эффект от ее использования может быть колоссальным.

Литература

1. Баева А.Г., Москвичёва В.Н. Геотермальная энергия: проблемы, ресурсы, использование: изд. М.: СО АН СССР, Институт теплофизики, 1979. —350 с.
2. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии: учебно-методическое пособие /М.М. Олешкевич.- Минск: БНТУ, 2016-205 с.

УДК 621.3

Квантовый компьютер

Петрулевич А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Впервые, идея о квантовых вычислениях была заявлена Юрием Маниным в 1980, а теоретическая модель квантового компьютера — Ричардом Фейнманом в 1981. Технологическая реализация такого компьютера была описана Полом Бениоффом в 1982. В 1989 была разработана концепция квантовых логических вентилях Дэвидом Дойчем. Однако, резкий скачок в исследовании и разработке квантовых компьютеров вызвала статья Питера Шора 1997 года. В ней описывается алгоритм, позволяющий разложить натуральное число N на простые множители за полиномиальное от $\log(N)$ время, факторизация или нахождения дискретного логарифма. Поскольку алгоритмы обычных компьютеров имеют экспоненциальную зависимость, то, например, временные затраты современного суперкомпьютера, выполняющего более 10^{15} операций в секунду, на разложение числа с 500 знаками на простые множители возрастают до 5 миллиардов лет. Квантовый компьютер, выполняющий 10^6 операций в секунду, решил бы аналогичную задачу за 18 секунд. Так как алгоритм факторизации используется в криптоанализе, а именно в расшифровке данных, то возможность применения данной технологии в военной, экономической и других сферах предполагает огромные перспективы развития.

Квантовый компьютер — это вычислительное устройство, которое использует квантово-механические явления для передачи и обработки данных. В обычных компьютерах, работающих на основе транзисторов и кремниевых чипов, для обработки информации применяется бинарный код. Бит, как известно, имеет два возможных значения — 0 и 1, и может находиться только в одном из них. Что же затрагивает область квантового компьютера, то его работа организуется с помощью принципа суперпозиции, а вместо битов используются квантовые биты, именуемые q -битами или кубитами. У q -бита также имеется два основных состояния: ноль и единица. Однако, благодаря суперпозиции, q -бит может принимать значения, полученные путем их комбинирования, и находиться во всех этих состояниях одновременно, например, 72% нуля и 28% единицы. В алгоритмах для квантовых компьютеров большую роль играет интерференция, а именно помехи деструктивно интерферируют, а сигналы — конструктивно. Для вычисления состояний q -битов используются обозначения Дирака, а для удобства представления, q -бит изображается с помощью сферы Блоха, в которой любое преобразование волновой функции можно представить, как простое перемещение точки по поверхности сферы.

К квантовому компьютеру предъявляется ряд требований:

- Масштабируемость физической системы: возможность увеличения количества q -битов до необходимой величины, которая будет достаточна для сложных вычислений;
- Инициализация системы: изначально система должна находиться в точном, известном и простом состоянии;
- Долговечность: время выполнения операций на всех вентилях должно быть больше времени перехода системы в декогерентное состояние;
- Реализация необходимого набора операций (вентилей): вентиль Адамара, вентиль фазового сдвига, вентиль CNOT и вентиль $\pi/8$;
- Возможность определения конечного состояния отдельного q -бита;
- Корректность передачи q -битов между конечными точками;
- Преобразование данных, хранящихся в виде стационарных q -битов в сетевые.

Крупнейшими компаниями, участвующими в разработке квантовых компьютеров, являются: D-Wave, Google, IBM, Intel и др.

Например, квантовые компьютеры компании D-Wave являются узконаправленными, но самыми мощными. В частности, квантовый компьютер D-Wave 2000Q содержит 2048 q -битов, 5600 сцепок, 128000 Джозефсоновских переходов. Процессор построен из тонких,

расположенных в форме решетки, ниобиевых (Nb) петель, которая составляет 1 q-бит. Температура, при помощи рефрижератора растворения, в верхней части установки достигает 50К и понижается в сторону квантового процессора до 15мК, что холоднее межзвездного пространства в 180 раз. Магнитная индукция достигает области меньше 1 нТл, что меньше магнитного поля Земли в 50000 раз.

Языки программирования, работающие на виртуальной машине: Q#, LIQUi, QCL, Quipper и др.

Платформы, позволяющие использовать и изучать квантовые компьютеры: IBM Quantum Experience, Quantum Computing Playground, Qbsolv и др.

Ведутся разработки по передаче q-битов через оптоволокно, облучая молибден (Mo) в кристаллах карбида кремния (SiC), \bar{e} переходил на более высокий энергетический уровень. Затем происходила релаксация \bar{e} , и он возвращался на прежний уровень, испуская фотон. Далее создавалась суперпозиция атомов при воздействии двух резонансных оптических полей. В результате удалось создать q-бит, в котором сохранялась суперпозиция в течение длительного промежутка времени, и он испускал фотон длина волны которого равна 1100 нм.

Применение квантовых компьютеров многогранно:

Машинное обучение: разработка искусственного интеллекта, обнаружение статистических аномалий, запоминание схем и изображений, обучение нейронных сетей, классификация неструктурированных данных и др.

Финансовое моделирование: обнаружение дестабилизации рынка, развитие торговой стратегии, оптимизация ценообразования активов и др.

Безопасность: распределение ресурсов и нахождение оптимальных путей, обнаружение компьютерных вирусов, криптография и криптоанализ, и др.

Медицина: выявление подделок, молекулярное моделирование и др.

Хотя, квантовая революция только начинается, предполагается, что при огромном вкладе в развитие данной отрасли науки, квантовые компьютеры помогут раскрыть тайны микромира и построить фундамент для новых исследований.

УДК 621.3

Наведённое напряжение

Кодолич А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Причины возникновения. Наведенное напряжение возникает на выведенной в ремонт и обесточенной воздушной линии электропередач (ВЛ), из-за воздействия электромагнитного поля, которое находится недалеко от электроустановки, которая находится в работе или другой ВЛ, которая находится под напряжением. Таким образом, ВЛ, которая идет в параллели линии, которая отключена подводит потенциал со стороны, который имеет значительную опасность для рабочих, которые проводят работы. Наведенное напряжение зависит от длины заданного, на котором ВЛ идут параллельно, тока нагрузки и величины рабочего напряжения, от погодных условий окружающей среды. Потенциал, который содержится в ВЛ, имеет два вида воздействия – электромагнитное и электростатическое.

Электромагнитная часть наблюдается при влиянии магнитного, которое появляется при протекании тока по ВЛ, находящейся в ближайшей доступности. Характеристика этой части – при заземлении ВЛ в нескольких местах одновременно, линия не изменяет значение величины. Месторасположение точки нулевого потенциала изменяется при использовании заземления.

Электростатическое воздействие, можно избежать, если заземлить линии в его конце и на месте, где производятся работы. Уменьшить значение напряжения можно, если установить заземление минимум в одной точке на ВЛ. При протекании по проводнику переменного тока наблюдается электромагнитное поле, его интенсивность будет уменьшаться с удалением от проводника. С изменением величины а также направления тока, будут изменяться пульсации поля. Если в поле попадает проводник с ОС, то в нем будет происходить образование наведенного напряжения.

Величина наведенного напряжения, опасного для человека

Допустим, если на ВЛ, в которой не протекает электрический ток имеется наведенное напряжение и его число меньше или равно 25 В, то ремонт будет выполняться при помощи стандартных средств защиты. Если величина этого напряжения увеличивается, то необходимо прибегнуть к специальным средствам защиты и следует выполнить мероприятия, которые частично оберегут от действия наведенного потенциала. Меры по безопасности: разземление вначале и разземление в конце линии, разрез провода, установка заземления на участках ВЛ.

Факторы, определяющие величину рабочего напряжения

Имеется всего три фактора. Первое - значение рабочего тока. Чем больше значение тока, который протекает по действующему проводнику, тем, сильнее электромагнитное поле вокруг него. Значит, будет больше и величина наведенного напряжения в нерабочем проводнике. Следующее.

Расстояние между рабочим проводником и нерабочим: между запитанными линиями и отключёнными линиями электропередачи. Аналогично и с расстоянием между этими проводниками. Чем ближе нерабочий проводник расположен к рабочему, тем он больше попадает в более сильное электромагнитное поле рабочего проводника. Соответственно, в нерабочем проводнике возникает и более высокое наведенное напряжение. И наоборот. По мере того, насколько далеко нерабочий проводник от обратного, ослабевает электромагнитное поле и, следовательно - уменьшается значение наведенного напряжения в нерабочем проводнике.

Значение длины параллельного следования рабочего и нерабочего проводников. Чем больше расстояние параллельного или попутного следования какой - либо запитанной воздушной линии с отключенной воздушной линией, тем более сильное она испытывает влияние электромагнитного поля запитанной линии. И соответственно, будет выше и значение наведенного напряжения в отключённой линии.

Наведенное напряжение действует на человека, как и рабочее напряжение. Так, протекание тока от наведённого напряжения через жизненно важные органы либо парализует их (при малой величине тока), либо разрушает (при более значительных токах).

Опасность явления

Если наведенное напряжение воздействует на человека, защита не и пострадавший находится под воздействием этого опасного фактора до его освобождения. Наведенное напряжение можно считать более опасным и коварным в отличие от рабочего в силу того, что на него никак не реагирует защитная аппаратура. Например, при попадании под него ремонтного персонала, работник будет находиться под опасным воздействием до момента освобождения от его влияния.

Способы устранения наводимых напряжений

Рабочие выполняют свою задачу по отдельной бригаде на линии, если они работают под действием наведенного напряжения.

Далее — разделение линии на множество обособленных частей-участков, не имеющих между собой связь, а затем поочередно их восстанавливать. Способ представляет собой большие капиталовложения.

Альтернатива — работа под напряжением, тогда сразу несколько бригад могут работать на одной линии.

Разработка расчётных комплексов для определения точек заземления, что обеспечит безопасность бригады

Если контакт будет случайно потерян, то точка нулевого потенциала тут же сместится в другое место, а рабочее место окажется под наведенным напряжением, и люди подвергнутся риску. По этой причине лучше всего делать для надёжности два защитных заземления.

Литература

1. <http://electricalschool.info/main/electrobezopasnost/1820-navedennoe-napryazhenie-i-mery-zashhity.html>
2. <https://samelectrik.ru/chto-takoe-navedennoe-napryazhenie.html>
3. <http://foraenergy.ru/navedennoe-napryazhenie-i-mery-zashhity/>

УДК 621.3

Пьезоэлектрический эффект

Эркабаева Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

В 1880 году Джексон и Пьер Кюри открыли пьезоэлектрический эффект. Они увидели, что часть кристаллов, при механическом влиянии на них, отличаются появлением электрической поляризации, к тому же ее степень пропорциональна значению воздействия. Немного позже, Кюри открыл инверсионный пьезоэлектрический эффект – деформирование материалов, при внесении их в электрическое поле. Эти эффекты имеют еще название прямых и обратных пьезоэлектрических эффектов. Пьезоэлектрики – диэлектрики, обладающие пьезоэлектрическим эффектом.

Внешнее механическое воздействие, приложенное в определенных направлениях на пьезоэлектрический элемент, создают в нем как механические напряжения и деформации, так и электрическую поляризацию. Из этого и следует возникновение на поверхностях связанных электрических зарядов противоположных знаков. Это явление назвали прямым пьезоэффектом. Пьезоэлектрический эффект обратим.

Если воздействовать на пьезоэлектрик (кристалл) электрическим полем такого же направления, то в нем образуются механические напряжения и деформации. Но при перемене направления электрического поля на противоположное, изменится и направление напряжения и деформации соответственно. Это явление получило название обратного пьезоэффекта.

Пьезоэлектрический эффект (пьезоэффект) может наблюдаться в анизотропных диэлектриках, по большей части в кристаллах элементов, обладающих довольно низкой симметрией. Пьезоэффектом также обладают кристаллы, которые не имеют центра симметрии, но имеют полярные направления (оси). Пьезоэлектрическим эффектом также могут обладать поликристаллические диэлектрики с ориентированной структурой (керамические материалы и полимеры).

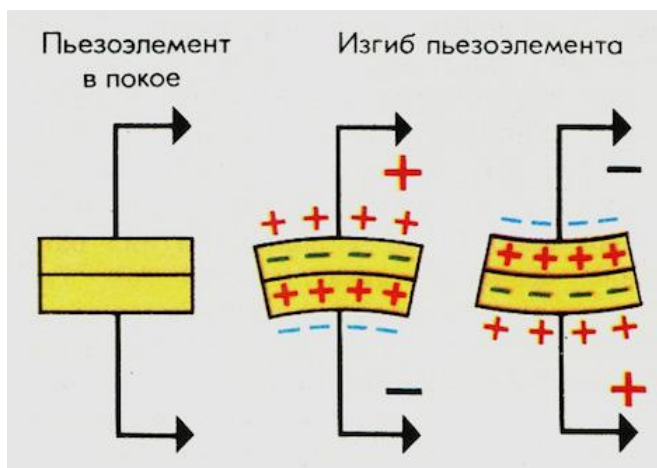


Рисунок 1 – Пьезоэлектрический эффект

Пьезоэлектрические материалы применяют в широких областях, таких как: промышленность, медицина, бытовые электрические приборы, системы контроля связи, системы производства полупроводников и различных других областях.

Приборы, где уже сегодня применяют пьезоэлектрические материалы – швейные машины, помпы, датчики, моторы для автофокусировки камер, лазерные принтеры и другие. Не смотря на это, применение данных материалов с каждым днем увеличивается. Применение пьезоэлектрического элемента чаще всего сводят к четырем категориям: генераторы, сенсоры, силовые приводы и преобразователи.

В генераторах, пьезоэлектрики способны генерировать напряжение, достаточное для образования искры между электродами. Таким образом, они могут использоваться как электроды для разжигания топлива (для газовых плит, сварочного оборудования). Электрическая энергия, генерируемая пьезоэлектрическими элементами, может накапливаться.

В преобразователях, пьезоэлектрические материалы используются как для генерирования ультразвукового сигнала из электрической энергии, так и для конвертирования проходящего механического колебания в электрические. Пьезоэлектрические приборы создаются для измерения скорости потока, расстояний и уровня жидкости.

В силовых приводах, пьезоэлектрики образуют электрический сигнал в контролируемое физическое смещение, четко устанавливая точность механических инструментов, линз и зеркал.

В сенсорах, пьезоэлектрические материалы преобразуют в электрический сигнал физические характеристики (давление, ускорение, вибрации).

Исходя из этого, пьезокерамика, при помощи своих уникальных особенностей, находит все более обширное применение в различных областях. Пытаясь обособить современные требования покупателей, производители пьезокерамики и компонентов на ее базе, проводят исследования и конструкторские работы для улучшения параметров. Разрабатывают новые типы, на что выделяются значительные финансовые средства. Что бы удешевить продукцию, разрабатывают новые технологии, которые позволяют автоматизировать алгоритм производства и уменьшают энергопотребление. Считают, что только крупнейшие компании-производители пьезокерамики, оборудованы современными технологиями, смогут в достаточной степени удовлетворить условиям мирового рынка.

Литература

1. “Электротехнические материалы” Ю.В. Корицкий, Москва, 1968г.

УДК 621.31

Комплектные распределительные устройства элегазовые

Ковцова М.Е.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ), компактны, имеют высокую надежность и готовность, поэтому стали применяться в современных системах электроснабжения.

КРУЭ очень удобны, особенно при эксплуатации в местах сконцентрированных мощности, например, в больших городах и промышленных центрах, имеют малый уровень шумов при невысоких фактических затратах.

Уже накоплен положительный опыт эксплуатации и производства КРУЭ, постоянно улучшаются их конструкции. На ОАО «ЭМЗ» подготовлена к серийному производству высоковольтная элегазовая ячейка типа ЯГК-110 с шагом 1,5 метра. Ячейка типа ЯГК-110 – прототип современных элегазовых распределительных устройств.

Главные преимущества ячеек ЯГК-110 это:

- компактная компоновка позволяет полностью смонтировать ячейку на общей раме, удобно для стыковать с соседними ячейками и перевозить ее на место монтажа в собранном виде на автомашинах;
- поставка полностью смонтированных, отрегулированных и испытанных на заводе ячеек сокращает сроки монтажа на месте установки;
- установленные разрывные мембраны ликвидируют аварийный рост давления внутри корпусов с элегазом, это повышает безопасность эксплуатации;
- малые размеры не требуют большой площади здания КРУЭ;
- установка и монтаж оборудования значительно упрощены;
- возможно использование узлов при обновлении существующих ПС;
- повышение безопасности и удобства обслуживания;
- улучшение электроснабжения потребителей за счет применения блоков с повышенными параметрами;
- уменьшение затрат заказчика на комплектование, входной контроль, транспортировку и хранение оборудования;

КРУЭ для разных схем заполнения - это комплекс блоков (ячеек, отдельных модулей и изделий, для подсоединения воздушных и кабельных линий).

Ячейки и модули - это отдельные элементы в герметичной металлической оболочке цилиндрической или шаровой формы, заполненной элегазом. Оболочки элементов соединяются фланцами и патрубками, контактами и уплотнениями.

Функции ячеек КРУЭ - линейные, шиносоединительные, трансформаторов напряжения и секционные, с одной или двумя системами сборных шин.

Ячейки, отдельные модули и элементы позволяют компоновать КРУЭ по различным электрическим схемам. Ячейки состоят из трех полюсов, шкафов и сборных шин. В шкафах размещены аппараты сигнализации, блокировки, дистанционного управления, контроля давления элегаза и подачи его в ячейку, питания приводов сжатым воздухом.

Ячейки с номинальным напряжением 110-220 кВ имеют трехполюсное или пополюсное управление, а ячейки на 500 кВ - только пополюсное. Полюс ячейки - это набор элементов, обеспечивающих функционирование распределительного устройства.

Различные элементы ячеек по конструкции, для эксплуатации, монтажа, ремонта могут быть объединены в отсеки, а для транспортировки – в транспортные блоки. Ячейки или их транспортные блоки перевозят заполненными либо элегазом, либо азотом при незначительном избыточном давлении.

Полюс ячейки состоит из: коммутационных аппаратов – выключатели, разъединители, заземлители; измерительных аппаратов – трансформаторы тока и напряжения; соединительных элементов – сборные шины, вводы кабельные (вводы “масло-элегаз”),

вводы проходные (вводы “воздух-элегаз”), токопроводы элегазовые и др.

КРУЭ снабжены вспомогательным оборудованием и приспособлениями для нормального обслуживания: - аппаратурой опорожнения, сушки, сжижения, регенерации и заполнения элегазом; - аппаратурой обнаружения мест утечки элегаза; - высоковольтными вводами “элегаз-воздух” для высоковольтных испытаний. Также установлены технологические и электрические блокировки выключателей, разъединителей и заземлителей. Перечень электрических блокировок определяется проектировщиком.

Разработаны КРУЭ-110 кВ в модульном и мобильном исполнении. Вся подстанция выполняется одним модулем, или несколькими модулями. Модуль с ячейками - это металлоконструкция из стали с теплоизоляцией, для поддержания температуры воздуха внутри +20°C при температуре наружного воздуха от + 45°C до – 60°C. В модуле есть освещение, автоматический обогрев или охлаждение, принудительная вентиляция, охранная и пожарная сигнализация.

Малогабаритные модульные ячейки КРУЭ-110 сокращают эксплуатационные затраты на работы и персонал, не требуют капитальных затрат на изготовление фундаментов, быстро вводят подстанции в эксплуатацию, при авариях оперативно восстанавливают энергоснабжение. Такие ячейки можно использовать в отдаленных районах Севера и Сибири, болотистой местности. Ячейки с такими габаритами можно перевозить автомобилями или по железным дорогам.

Разработан вариант мобильной высоковольтной подстанции на базе ЯГК110 кВ в термостатированной оболочке, установленной на железнодорожной платформе.

Эксплуатация элегазовых подстанций показывает их высокую надежность, поэтому они находят все большее применение. Уже освоено производство оборудования для элегазовых подстанций с номинальным напряжением 110 и 220 кВ. Разрабатывается аппаратура на напряжения 330 — 500 кВ переменного тока и на напряжения 1150 — 1500 кВ постоянного тока. КРУЭ обычно располагают в закрытых наземных помещениях. Также их можно располагать в подземных помещениях, например, на гидроэлектростанциях — это значительно снижает общие капиталовложения и повышает надежность энергоснабжения.

Для уменьшения размеров помещений, выделяемых под выводы от гидрогенераторов к трансформаторам, при высоком генераторном напряжении выводы, которые раньше выполнялись в виде шин, теперь также выполняются в виде элегазовых токопроводов. Это значительно уменьшает размеры помещений и облегчает эксплуатацию оборудования.

УДК 621.31

Роботы в энергетике

Дячек О.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

В этом докладе рассмотрена роботизированная техника, которая упрощает человеку жизнь и экономит его время, а также служит для снижения затрат на диагностирование и обслуживание энергетических объектов. Использование техники необходимо там, где человеческая жизнь находится под угрозой, например: для обслуживания атомных электрических станций или высоковольтных линий электропередач, расположенных высоко над землей.

Предприятие Kansai Denryoku предложило фирме HiBot разработать машину для диагностики и обслуживания ЛЭП. Компания HiBot в 2011 году предоставила в эксплуатацию робота Exliner, который подвешивается снизу к электролинии, а оператор с экрана компьютера осуществляет внешний осмотр.



Рисунок 1 – Машина для диагностики и обслуживания ЛЭП

Во время движения робот использует лазерные датчики и выявляет коррозию на линиях электропередач. Сведения о местоположении с GPS-датчиков передаются оператору на компьютер. Видеокамеры, расположенные на борту робота имеют высокое разрешение и позволяют детально рассмотреть различные механические повреждения, будь то оплавленный провод или трещина на нем.

После прохода роботом вдоль всей линии, оператор уже точно будет знать, где и какая неисправность обнаружена, сообщит ремонтникам, что необходимо исправить и отремонтировать.

Одновременно можно осмотреть четыре параллельных провода. Т.к. у робота подвижный центр тяжести он сам может преодолевать разные препятствия, просто перенося

колеса через них. Если робот не может преодолеть препятствие самостоятельно, то его переносят вручную.

Канадские учёные-инженеры из института Hydro-Quebec Research Institute в 1998 году задумались о создании более сложного робота и спустя 11 лет они смогли разработать и представить робота LineScout, за которого в 2009 году получили премию от Электротехнического Института Эдисона.

Решение о создании LineScout было спровоцировано сильной снежной бурей, прошедшей в 1998 году в Америке. Провода одной из значимых линий электропередач были оборваны под грузом намерзшего на них льда. Обрыв проводов привёл к перерывам в поставке электричества, оставив людей без электричества на несколько дней. Перед учёными была поставлена цель – создать робот, который бы катился по проводам и чистил снег. В результате десятилетней работы учёных робот LineScout смог не только перемещаться по проводам, но также смог решать другие задачи: закручивать болты и гайки, снимать с проводов инородные предметы. Робота оснастили камерами, GPS-навигацией, инфракрасными датчиками для оценивания температуры проводов. Также робота испытали на ЛЭП с током 2000А и напряжением 735кВ. Управление роботом осуществляется оператором с помощью специального джойстика.

Для возведения солнечных электрических станций лучше всего подходят залитые солнечным светом пустыни. Но как решить проблему песка, ведь солнечные панели, засыпанные песком после песчаных бурь, оказываются на 60% менее эффективными. Если бы панели мыли водой вручную, то это потребовало бы огромных трудовых затрат, причем довольно частых, к тому же температура воздуха в пустыне достигает 50°C. На помощь снова приходит роботизированная техника.

Для решения проблемы, в Саудовской Аравии был создан робот NOMADD (NO-WaterMechanicalAutomatedDustingDevice - «Безводный механический автоматизированный прибор для удаления пыли»). Достаточно установить по одному прибору на каждый ряд солнечных панелей, и они будут в течении дня очищать их без воды с помощью специально предназначенных щеток.



Рисунок 2 – Безводный механический автоматизированный прибор для удаления пыли

Солнечные батареи будут чистыми, а следовательно, их энергетическая эффективность возрастет. Прибор может очистить от 182 до 274 метров панелей — это огромный объем

работ, неподъемный по меркам ручного обслуживания. Окупаемость такой системы примерно три года, а также самим роботам не требуется частое обслуживание.

В 1999 году начала активно развиваться тема об использовании мобильных роботов для диагностики и обслуживания объектов атомной энергетики. Энергетическая компания Orano-SA, специализирующаяся на обслуживании атомных реакторов, первая начала использовать технологию для проверки реакторов изнутри.

Робот Susi, находясь под водой, провёл осмотр и исследовал ультразвуком элементы первого контура одного из реакторов США. В результате исследования реактор оказался работоспособным и было принято решение о продлении его срока службы. Впервые в Европе робот появился в Германии, на данный момент его широко используют во всей Европе.

УДК 621.31

Теплосчетчик «Sensonic II»

Токарев Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Функциональный список теплосчетчика «Sensonic II» включает в себя измерения количества тепловой энергии, объема и параметров теплоносителя в квартирах, офисах, коттеджах и небольших производственных помещениях.

Теплосчетчик фиксирует объем теплоносителя, температуру в подающем и обратном трубопроводах и вычисляет количество тепловой энергии.

Конструкция теплосчетчика включает: датчик потока, тепловычислитель, комплект из двух термопреобразователей сопротивления (КТС).

Принцип действия датчика потока основан на преобразовании вращения крыльчатки в импульсы путем немагнитного индуктивного сканирования. Частота импульсов пропорциональна расходу теплоносителя. Датчик потока – плоские электропроводящие секторы, отделенные изолирующими участками – закреплен в верхней части крыльчатки. Детектор – катушка индуктивности – отделен от крыльчатки герметизирующей перегородкой. Вращение крыльчатки приводит к появлению в зоне чувствительности катушки попеременно электропроводящего и изолирующего сектора.

Изменение добротности катушки позволяет генерировать импульсы расхода.

Терморегулятор позволяет регулировать требуемую температуру в комнате (но не температуру радиатора (теплоносителя)).

В датчике потока использован принцип работ многоструйного счетчика воды. Измерительная капсула включает в себя обойму с радиальными наклонными каналами, направляющими воду на лопасти крыльчатки.

Тепловычислитель осуществляет измерение, накопление, хранение и индикацию информации измерительного, справочного и служебного характера.

Важно, что теплосчетчик имеет энергонезависимую память и обеспечивает сохранность данных при отключении питания.

Счетчик осуществляет самопроверку, при котором могут быть определены возможные посторонние вмешательства или сообщения о неисправностях.

Питание теплосчетчика осуществляется от встроенной литиевой батареи 3 В.

Так же возможно считывание данных теплосчетчика на расстоянии. Для этого заводом-изготовителем предусмотрена версия теплосчетчика, со встроенным M-bus-модулем (считывание по проводной линии). А если же необходимо дистанционное считывание данных со стандартной версии теплосчетчика, то нужно дополнительно установить радиомодуль (считывание по радиоканалу).

При использовании теплосчетчика «Sensonic II» жильцами квартир наблюдается постепенное снижение потребления тепла и, как следствие, снижение оплаты потребителем. По результатам расчета в счет-квитанции оплат за квартиры вводятся результаты – доплата и возврат. Чтобы наглядно разобраться рассмотрим пример: Пусть, для простоты анализа, в условном доме 2 квартиры.

Статистика показывает: жильцы, которым приходится доплачивать в конце месяца, начинают рациональнее использовать тепло, путем перекрытия терморегулятора (либо понижения режима) в определенные моменты (терморегулятор находится под потоком холодного воздуха (открыто окно), жильцы не находятся в помещении длительное время и т.д.). Т.е. рациональное использование тепла позволяет грамотная эксплуатация терморегуляторов, установленных на отопительных приборах.

Так в Польше дома, начавшие использовать теплосчетчики «Sensonic II», за короткий период времени снизили потребление тепла на 40%.

	Общедомовая сумма оплаты за отопление за месяц период (условных денежных единиц), 1000 у.д.ед.	
Средняя сумма оплаты за месяц отопления	500 у.д.уд.	
№ квартиры	1ая квартира	2ая квартира
Режим терморегулятора	4	3
Индивидуальная сумма оплаты за месяц отопления*	600 у.д.уд.	400 у.д.уд.
Сумма доплаты(-)/возврата(+)	-100 у.д.уд.	100 у.д.уд.

* Индивидуальная сумма оплаты за месяц отопления высчитывается по данным теплосчетчика.

Таким образом, экономия тепла зависит не только от суммы возврата, полученной потребителем, но и от суммы произведенной предоплаты. Ведь если все потребители рационально расходуют поставляемое тепло, то уже в отопительном сезоне происходит уменьшение потребления, отражаемого групповым прибором учета и распределяемого пропорционально площади квартир.

УДК 621.3

Энергия в космических аппаратах

Мелешков Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Для того, чтобы отправиться в космос на достаточно длительное время, которое может составлять от нескольких десятков до нескольких сотен лет, человечеству будет нужно использовать более современные и эффективные источники энергии.

Система питания – важная часть для каждого аппарата, отправляющегося в космос. Она должна предоставлять аппарату, находящемуся на большом расстоянии от Земли, достаточную надежность и безотказно работать даже в самых сложных условиях.

Сегодня все космические аппараты с каждым днем совершенствуются и требуют больше и больше электроэнергии.

Среднестатистический смартфон на сегодня едва может продержаться сутки на одном заряде, а космические зонды, такие как «Вояджер», хоть и были запущены почти 40 лет назад, все также бороздят космические просторы и исправно выполняют поставленные задачи.

Во время разработки и проектирования телефона, естественно, не подразумевается работа в условиях, схожих с теми, в которых работают космические аппараты.

Зарядить аккумуляторы в межзвездном пространстве достаточно проблематично, поэтому необходимо, чтобы аппарат либо имел на борту аккумуляторы большой емкости, либо мог сам генерировать электроэнергию на борту.

По своей массе энергосистема занимает около 30%. Она должна обеспечивать решение следующих задач: выработка, хранение и распределение электроэнергии.

Все эти части системы жизненно важны для работы аппарата. Данные части обязаны иметь небольшой вес, долгий цикл эксплуатации и высокую "энергоплотность" – это означает то, что необходимо вырабатывать большое количество энергии при незначительном занимаемом пространстве. В добавок ко всему, они должны быть высоконадежными, ведь при возникновении неисправности отправить человека, который устранит эту поломку, будет очень непростой задачей.

Энергосистемы используются в очень требовательных условиях - они обязаны поддерживать работоспособность в следующих ситуациях: отсутствии гравитации, вакууме, воздействии радиации, экстремальных температур и многого другого.

Аппараты, которые следуют в центр Солнечной системы, полностью обеспечены электричеством за счет солнечных панелей. Они на вид, практически ничем не отличаются от стандартных аппаратов, которые устанавливаются на крышах домов, однако являются куда более эффективными аппаратами. На планетарной орбите фотоэлектрические панели менее эффективны: они вырабатывают меньше энергии, так как время от времени оказываются отгороженными от Солнца самой планетой.

Атомное решение

Такая система может быть построена на основе никель-водородных аккумуляторов, которые выдерживают более 50 тысяч циклов зарядки и работают более 15 лет.

Что касается атомной системы, то она базируется на основе никель-водородных аккумуляторов. Эти аккумуляторы способны выдерживать более 50 тысяч циклов заряда и работать около 15 лет.

Самые простые батарейки не способны функционировать в космическом вакууме, так как у них отсутствует герметичность. Так же при удалении от солнца падает уровень радиации, обеспечивающий необходимым излучением солнечные панели, тем самым снижая производительность энергосистемы, основанной на фотоэлементах. Поэтому, если космический аппарат удаляется от солнца на расстояние, соответствующее орбите Юпитера, то на нем уже будут использоваться атомные системы обеспечения электроэнергией.

Самая распространенная из них - это радиоизотопный термоэлектрический генератор (РИТЭГ).

В таких источниках питания отсутствуют подвижные части. Эти генераторы производят энергию за счет использования энергии, образующийся при распаде радиоактивных ядер, примером может служить ядро плутония. Использовать их возможно в течение 30 лет.

Если использование РИТЭГ невозможно, а фотоэлектрические панели не представляются возможными для эксплуатации из-за большого расстояния от солнца, то в таком случае применяются топливные ячейки.

Водородно-кислородные топливные ячейки использовались в американских космических программах. Их особенность заключается в том, что перезарядить их не представляется возможным, однако выделение энергии очень велико, а побочным продуктом является вода, используемая экипажем.

Электродвигатели, работают из-за электрического выброса топлива, обладающего высокой скоростью, но присутствуют и те, которые используют для разгона магнитные поля пролетающих планет. Большинство земных энергетических систем не способны работать в космосе. Из-за этого каждая схема перед началом эксплуатации в космосе проходит серию серьезных испытаний.

Принцип работы электродвигателя основан на электрическом выбросе топлива с высокой скоростью, однако существуют и такие, которые ускоряют аппарат используя электродинамические взаимодействия с магнитными полями пролетающих планет. Как известно, большинство из земных энергосистем не способны работать в космосе, поэтому все новые системы проходят серию тщательных проверок и испытаний в самых тяжелых условиях: облучение радиацией, подвергают экстремальным перепадам температур и многое другое, с чем можно столкнуться в космосе.

Есть возможность того, что в будущих полетах будут применяться улучшенные радиоизотопные генераторы Стирлинга. Их работа схожа с РИТЭГ, однако является гораздо эффективнее. Так же, их габариты можно значительно уменьшить.

Конструируются также современные солнечные батареи, которые могли бы эффективно генерировать энергию в условиях плохой освещенности и низких температур - это позволит увеличить расстояние, на которое смогут улететь космические аппараты.

Кроме того, существующие на сегодняшний день термоядерные реакторы занимают огромную площадь, сравнимую с самолетным ангаром, и в таком виде их эксплуатация в космосе на данный момент невозможна.

Для полетов, занимающих продолжительное время, будут применяться атомно-электрические двигатели, но в обозримом будущем такая технология не представляется возможной.

"Эта технология пока недостаточно отработанная. Мы должны быть абсолютно уверены в ее безопасности, прежде чем запускать такой аппарат в космос", - объясняют специалисты НАСА.

При успешном завершении испытаний подобные энергосистемы будут способны позволить космическим аппаратам работать гораздо дольше и преодолевать внушительные расстояния в космическом масштабе, чем это возможно на сегодняшний день, однако сейчас такие системы находятся лишь в стадии разработки.

Литература

1. https://www.bbc.com/russian/science/2016/02/160217_vert_fut_what_will_power_to_morrows_spacecraft
2. <http://litresp.ru/chitat/ru/Б/bubnov-igorj-nikolaevich/obitaemie-kosmicheskie-stancii/5>
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиоизотопный_термоэлектрический_генератор

УДК 004.891.3

Дистанционная биометрическая система распознавания лиц *Face ID*

Габерник П.Н., Коломиец Е.И.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Вначале любой тип дистанционной биометрической системы распознавания (далее ДБСР) использовался только правоохранительными органами, для которых безопасность была превыше всего. На сегодняшний день считывание анатомических характеристик для распознавания личности стало неотъемлемой функцией во множестве потребительских гаджетах.

Биометрическая идентификация основана на распознавании личности по:

- ДНК;
- радужной оболочке глаза;
- ладони;
- голосу;
- отпечатку пальца;
- лицу.

Распознавание личности по лицу превосходит другие методы, поэтому оно вызывает особый интерес.

Прототипом технологии распознавания лиц еще в XIX веке являлись «портреты по описанию», а немного позже – фотографии. В 1965 году для правительства США была разработана полуавтоматическая система распознавания лиц.

С того времени в качестве основного биометрического идентификатора (далее БИ) специализированные службы предпочитают более надежную и проверенную технологию, такую как снятие отпечатков пальцев.

На то время технологии не могли позволить какое-либо взаимодействие с чертами лица человека, так как особых систем распознавания (ультра точные лазеры, мощные процессоры и тому подобные устройства) еще не были изобретены.

Многочисленные ведомства вновь возвращаются к идентификации личности человека с помощью сканирования лица. Ажиотаж на данную технологию в специализированных учреждениях возникает в начале 2000-х годов. В недавнем времени технология распознавания лица начала использоваться и в потребительских устройствах.

Внедрение по областям**• Розничная торговля**

VOCORD FaceControl – интеллектуальная видео-аналитика, применяемая в торговых сетях для повышения продаж и создания маркетинговых стратегий, основанных на данных, получаемых от систем распознавания лиц, например статистики посещаемости покупателей.

• Банковский сектор

Главными задачами данной области являются:

1) Безопасность финансовых процессов, необходимых для подтверждения личности во время совершения банковских операций.

2) улучшение бизнес-процессов, повышение безопасности и качества обслуживания. ДБСР лиц (*VOCORD FaceControl*) объединяется с *CRM*-системой банка, в которой хранится информация обо всех клиентах, обращавшихся в банк когда-либо. В будущем, при посещении клиентом любого отделения банка, система распознавания определяет и предоставляет информацию сотруднику.

• Идентификация и учет рабочего времени сотрудников

Видеонаблюдение с БИ личности позволяет отслеживать и контролировать сотрудников, управлять доступом в места, куда можно незаконно проникнуть с использованием чужого пропуска.

• Внедрение *FaceID* в современные гаджеты

Face ID – сканер объёмно-пространственной формы лица человека, разработанный компанией *Apple* и представленный 12 сентября 2017 года. Данный сканер установлен в смартфонах *iPhone X*, *XS/XS Max*, *XR* и более новых версиях [2].

Для начала работы с технологией *Face ID* необходимо создать пароль, который будет вводиться для разблокировки устройства при перезагрузке смартфона, после длительного неиспользования устройства (48 часов), или после длительного неупотребления пароля (156 часов) и не разблокировки экрана последние 4 часа [3].

Зашифрованная биометрическая информация хранится на самом устройстве внутри процессора *A11 Bionic*. Данная информация представляет собой математический образ.

Принцип работы дистанционной биометрической системы распознавания лиц

Система распознавания состоит из специализированных камер, программного обеспечения и архива.

Когда человек попадает в поле зрения камеры, она фокусируется на его лице и делает несколько снимков, из которых выбирается один – с лучшим ракурсом для распознавания лица.

FaceID в iPhoneX

Главной аппаратной разработкой сверхточной и быстрой технологии сканирования лица является система камер *TrueDepth*. Данная система состоит из:

- **Проектора точек.** Проецирует на лицо пользователя более 30 000 невидимых инфракрасных точек, по которым создается математическая модель его лица.
- **Инфракрасной камеры.** Считывает точечную структуру лица и создает изображение в инфракрасном спектре, помещая эти данные в модуль процессора *A11 Bionic*.
- **Инфракрасного излучателя.** Пускает невидимый пучок инфракрасного света на лицо, позволяя выполнять точное сканирование лица, даже в полной темноте [4].

При каждом распознавании производится сканирование лица, строится карта, затем – ее математическое представление. После чего математическая модель сравнивается с архивными данными. На все эти действия затрачиваются доли секунды.

Плюсы и минусы дистанционной биометрической системы распознавания лиц

Основные преимущества ДБСР. Во-первых, это **надежность и безопасность**. Поэтому применение БИ вместе с другими средствами блокировки увеличивает процент сохранности системы.

Во-вторых, это **удобство**, заключающееся в отсутствии дополнительного аппаратного носителя идентификатора, доставляющего неудобства.

В-третьих, это **экономия времени** за счет сокращения времени, затрачиваемого на различные операции, такие как ввод графического ключа, пароля и тому подобного.

Основным подавляющим фактором широкого применения БИ является **неустойчивость распознавания**. Распознавание лица по БИ не особо надежно. В основном это связано с тем, что биометрия имеет дело с динамическими характеристиками.

Также к отрицательным качествам БИ можно отнести **некоторые проблемы с обслуживанием**. Можно встретить системы с малой надежностью, работающие не во всех условиях и режимах эксплуатации, с возможностью массового выхода из строя [5].

Разработчики активно работают над улучшением системы распознавания лиц, совершенствуя свой продукт, повышая его функциональность и устраняя недостатки.

Таким образом, доля ДБСР в общем объеме мирового рынка, согласно расчетам аналитической компании *MarketsandMarkets*, составит \$6,8 млрд к 2021 году.

Литература

1. Петров, И. Пора узнать. Как работает распознавание лиц на самом деле? / [Электронный ресурс]. – И. Петров - Iphones.ru, 2018. Режим доступа: <https://www.iphones.ru/iNotes/780259>

2. Векилов, Т. Распознавание лиц: одна технология, много применений/ [Электронный ресурс]. – Т. Векилов – MSKIT.ru, 2016. – Режим доступа: <http://www.mskit.ru/projects/p197585/>
3. FaceID/ [Электронный ресурс]. – Википедия, 2018. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Face_ID
4. Джорнел, К. Всё о Face ID/ [Электронный ресурс]. – К. Джорнел – ЯндексДзен, 2018. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/kjornal/vse-o-face-id-5af00d9655876b07fb257573>
5. Кондратьев, Д. Плюсы и минусы использования биометрии/ [Электронный ресурс]. – Д. Кондратьев – Cnews, 2006. – Режим доступа: http://www.cnews.ru/reviews/free/techsec2006/articles/plus_biometry.shtml

УДК 621.396.66

Устройства для защиты аккумуляторов от повреждения в портативных устройствах

Шибeko A.C., Швед П.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

С портативной батареей можно своевременно обеспечить питанием электронные устройства в различных ситуациях, когда подключить их к внешним источникам питания невозможно. Располагая специальные драйвера в блоках аккумуляторов для конкретного устройства, производители решают сразу две важные задачи. С одной стороны, это исключает вероятность эксплуатации аккумулятора в опасных режимах, приводящих к его повреждению, а с другой – продлевает количество возможных циклов заряд-разряд аккумулятора.

Типы аккумуляторов

Сегодня наиболее широко применяются аккумуляторы следующих электрохимических систем: герметичные свинцово-кислотные (SLA), никель-кадмиевые (NiCd), никель-металлгидридные (NiMH) и литий-ионные (Li-ion) для зарядки мобильных устройств, ноутбуков. С течением времени в области мобильных телефонов и ноутбуков начали проявлять себя литиевые полимерные батареи (Li-Pol). Сейчас ведутся разработки и берутся на вооружение новые открытия в области топливных элементов и других перспективных технологий производства аккумуляторов.

Различные аккумуляторные батареи (Таблица 1) характеризуются определенными параметрами.

Таблица 1 – Параметры часто используемых аккумуляторов

Наименование параметра	Тип электрохимической системы				
	SLA	NiCd	NiMH	Li-ion	Li-Polimer
Плотность энергии (Втч/кг)	30	40-60	60-80	100	150-200
Число рабочих циклов заряда / разряда (уменьшение емкости до 80 %)	<u>200-500</u>	<u>1500</u>	<u>500</u>	<u>500-1000</u>	<u>100-150</u>
Внутреннее сопротивление при напряжении 3,6 В (миллиОм)	Нет данных	100-200	150-250	150-250	Нет данных
Минимальное время заряда, часов	8-16	1,5	2-4	3-4	8-15
Устойчивость к перезаряду	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая	Нет данных
Саморазряд за месяц	5%	20%3	<u>30%</u>	<u>10%</u>	Нет данных
Напряжение на элемент, вольт	2,0	<u>1,25</u>	<u>1,25</u>	3,6	<u>2,7</u>
Ток нагрузки	0,2 С	>2 С	(0,5-1,0) С	<1 С	0,2 С
<u>Диапазон рабочих температур, градусов Цельсия</u>	-20...60	-40...60	-20...60	-20...60	Нет данных
Периодичность обслуживания, дней	90-180	30	60-90	Не требуется	Нет данных
<u>Стоимость одного цикла, USD</u>	0,1	0,04	0,14	0,1-0,2	0,6

Устройства защиты аккумуляторов

Среди всех типов батарей одну из лучших защит имеют *Li-ion*-аккумуляторные батареи, с выходным напряжением около 3,6 В. Схема защиты данных батарей имеет ключи, на двух полевых транзисторах, включенных последовательно в цепи минусового вывода и специальную микросхему для управления ими. При зарядке аккумуляторной батареи до напряжения 4,2 В, закрывается первый транзистор. При этом процесс зарядки прекращается. Имеется защита и от глубокого разряда, которая следит за напряжением на аккумуляторной батарее и разрывает цепь нагрузки с помощью второго транзистора, если напряжение на выходе уменьшается до 2,75В. Диоды, стоящие параллельно выводам транзисторов сток-исток, включены встречно для обеспечения работоспособности аккумулятора при закрытии одного из ключей.

Защита в самом обычном цилиндрическом аккумуляторе типоразмера 18650 имеет предохранитель от короткого замыкания, а также защиту от перезаряда свыше 4,2 В и разряда ниже 2,75 В (рис. 1). Защита представляет собой небольшую печатную плату внутри корпуса батареи.

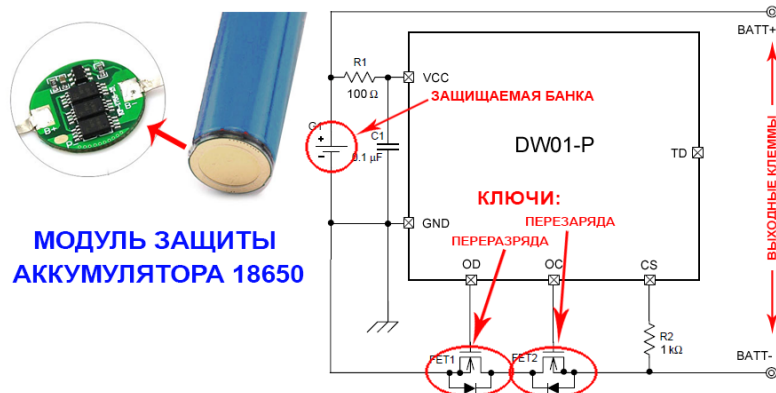


Рисунок 1 – Модуль защиты аккумулятора типа 18650

Самый простой пример использования таких схем – светодиодные фонарики.

В сотовых телефонах используются плоские аккумуляторные батареи. У них также используется подобная защита (рис. 2).

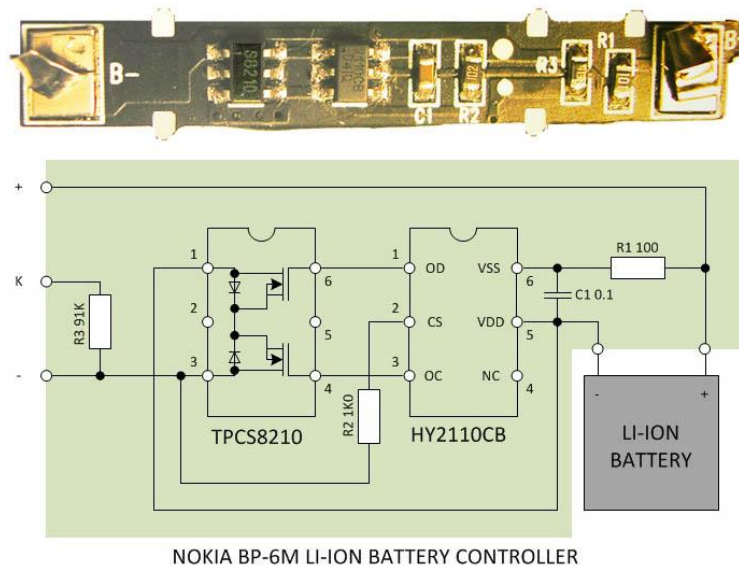


Рисунок 2 – Модуль защиты аккумулятора для телефонов NOKIA

Платы защиты не могут ограничивать ток заряда или разряда. Эти платы предназначены только для экстренного отключения аккумулятора при возникновении аварийных ситуаций.

Литература

1. [Электронный ресурс]: <http://forum.fonarevka.ru/showthread.php?t=1740> Типы аккумуляторов.
2. [Электронный ресурс]: <http://electro-shema.ru/chertezhi/zashita-li-ion-ot-g..> Устройства защиты Li-ion аккумуляторов батарей.

УДК 621.396.6

Беспроводная передача электроэнергии посредством электромагнитной индукции

Ярмош М.С., Казейка К.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Сегодняшние мобильные устройства невозможно представить без набора беспроводных интерфейсов. Благодаря им мы можем подключиться без проводов к наушникам, колонкам, компьютерам, локальным сетям дома, в офисе и т.д. Однако, пока нельзя назвать мобильные устройства полностью беспроводными, так как часто используем кабель для различных целей. Например, большинство нынешних устройств заряжаются посредством кабеля от сети. А если учитывать всю «начинку» современного гаджета (многоядерные процессоры, большие дисплеи высокого разрешения) – заряжать его приходится ежедневно. Производители решили данную проблему с помощью метода внедрения технологий, способных передавать энергию без кабеля. Принцип работы подобных систем уже давно известен, да и примеров их успешного применения в различных устройствах можно найти немало.

Работа по беспроводной передаче электроэнергии может работать на принципе электромагнитной индукции [1]. На первую катушку (передатчик) поступает переменный ток, который создает переменное электромагнитное поле. При попадании проводника в данное поле возникает ЭДС (электродвижущая сила). Наведенная ЭДС создает на второй катушке (приемник) электрический ток.

Чтобы достичь максимального результата производительности нужно чтобы катушка передатчика и приемника находились в непосредственной близости друг от друга на расстоянии нескольких миллиметров. Это связано с тем, что магнитное поле при увеличении расстояния между передатчиком и приемником ослабевает, в связи с чем индуктивная связь становится менее эффективной. Однако расстояние можно немного увеличить, если использовать работу системы в режиме резонанса напряжений (работу на одной частоте передатчика и приемника).

Таким образом, передача электроэнергии может осуществляться в двух режимах: индуктивном и резонансном.

Для индуктивного режима характерна сильно связанная система передатчик-приемник. При этом режиме передатчик и приемник должны находиться на небольшом расстоянии друг от друга. При этом режиме достигается максимальная эффективность передачи.

Согласно *A4WP*-спецификациям, в зависимости от мощности передатчика и приемники разделяются на классы и категории (см. табл. 1). А в зависимости от уровня потребляемой приемниками мощности передатчику каждого класса соответствуют приемники определенной категории. Частота тока возбуждения передающей катушки – 6,78 МГц [2].

Таблица 1 – Некоторые характеристики спецификаций *A4WP*

Передатчик		Приемник		
П.п.	Мощность передатчика, Вт	П.п.	Мощность приемника, Вт	Назначение
Класс 1	—	Категория 1	—	—
Класс 2	10	Категория 2	3,5	Моб. телефон
Класс 3	16	Категория 3	6,5	Смартфон
Класс 4	24	Категория 4	—	—
Класс 5	—	Категория 5	—	—

Если расстояние между катушками приемника и передатчика велико, то передача производится в резонансном режиме. При таком режиме передатчик и приемник работают на одной частоте. В спецификациях *WPC 1.1* оговаривается, что резонансная частота может быть выбрана в диапазоне 100...205 кГц, в спецификациях *PMA* – 277...357 кГц.

Эти устройства обладают как преимуществами, так и недостатками.

Преимущества:

- Главным преимуществом является избавление от проводов.
- Широкий спектр применения.

Недостатки:

- Малая эффективность на сегодняшний день.
- Повышенная стоимость производства.

Упрощенная схема беспроводного зарядного устройства представлена на рис. 1.

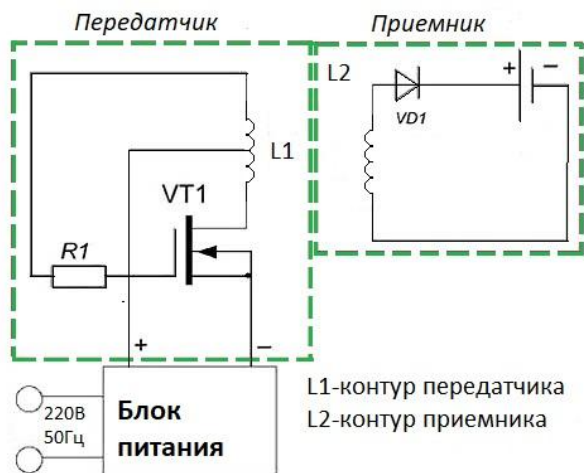


Рисунок 1 – Схема беспроводного зарядного устройства

Применение беспроводной передачи и электроэнергии:

- беспроводная бытовая техника;
- медицина (кардиостимуляторы).

Литература

1. Беспроводная передача электричества. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводная_передача_электричества#Микроволновое_излучение.html]- Дата доступа: [28.09.2018]
2. Беспроводное зарядное устройство на телефон. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [<http://planshetniyrc.ru/besprovodnaya-zaryadka-telefonov.html>]- Дата доступа: [03.10.2018]

УДК 621.317.61

Принцип работы сканера отпечатка пальца в мобильных устройствах

Кириленко К.А. Дубина А.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Разнообразные сканеры отпечатков пальцев разделяются на несколько видов, в зависимости от принципа работы.

Оптические сканеры

Оптические сканеры – работают на применении оптических методов контроля. Контроль можно осуществить следующими методами:

Метод оптического отражения

В данном методе источник света сканирует палец под определенным углом. Отраженный свет от пальца попадает на камеру. Датчик изображения, выполненный по КМОП или ПЗС технологиям, захватывает световую картинку и подает на блоки сохранения с оригиналом или сравнения с оригиналом. Здесь получается эффект полного внутреннего отражения.

Недостатки метода:

- неэффективная защита от моделей пальца;
- чувствительность к загрязнению.

Оптический метод на просвет

Данный метод основан на фиксации и сравнении световых потоков, проходящих через палец от внешнего источника, множеством волоконно-оптических миниатюрных фотодатчиков, с помощью блока обработки сигналов.

Этот метод имеет гораздо больше преимуществ:

- высокая надежность считывания;
- сопротивление обману.

К недостаткам можно отнести – сложный алгоритм работы.

Оптические бесконтактные сканеры

В них не нужно прикасаться пальцем к поверхности сканирующего устройства. Требуется только приложить палец к отверстию в сканере. При этом он сканируется несколькими источниками света с разных сторон. Отраженные картинки фиксируются через линзу КМОП-камерой. После обработки сигнала получается образ отпечатка пальца.

Полупроводниковые сканеры

При прикосновении к полупроводниковой матрице выпуклостями на узоре пальца она меняет свои свойства. После обработки сигналов с матрицы можно получить изображение поверхности пальца.

Емкостные сканеры

Их очень часто используют. Емкостная матрица при прикосновении пальца, изменяет свои свойства, т.е. меняется емкость отдельных конденсаторов, в зависимости от выпуклостей папиллярного узора. Полученная информация обрабатывается и преобразуется в изображение отпечатка пальца.

Преимуществами его популярности являются:

- низкая цена;
- высокая надежность;

Недостатки:

- низкая защита.

Радиочастотные сканеры

Радиочастотные сканеры обрабатывают отраженные от папиллярного рисунка сигналы с помощью матрицы миниатюрных антенн, которые генерируют радиочастотный модуль. Величина ЭДС, индуцированная в каждой миниатюрной антенне, зависит от наличия или отсутствия гребня папиллярного рисунка вблизи него. Таким образом, полученная матрица напряжения преобразуется в цифровое изображение отпечатка пальца.

Преимущества:

- поскольку анализируются физиологические свойства кожи, вероятность обмана этого сканера равна нулю.

Недостатки:

- нестабильная работа с плохим контактом пальца.

Сканеры давления

Датчики давления содержат матрицу чувствительных к давлению пьезоэлектрических элементов. Когда на сканирующую поверхность наносят палец, выступы папиллярного рисунка оказывают давление на подмножество элементов матрицы. Таким образом, совокупность напряжений, полученных из пьезоэлектрических элементов, преобразуется в изображение отпечатка пальца.

Термосканеры

В таких устройствах датчики, состоящие из пирозлектрических элементов, используются для регистрации разности температур и преобразования его в напряжение.

Когда палец наносится на сканер, температурная карта поверхности пальца строится на основе температуры выступов папиллярного рисунка, касающейся пирозлектрических элементов, и температуры воздуха в полостях, которая затем преобразуется в цифровой образ.

Этот метод имеет много преимуществ:

- высокая устойчивость к электростатическому разряду;
- постоянная работа в широком температурном диапазоне;
- эффективная защита от манекенов.

Недостатки этого метода включают в себя тот факт, что изображение быстро исчезает. Когда вы вставляете свой палец в первый раз, разница температур значительна и уровень сигнала высокий. Менее одной десятой секунды, и изображение исчезает, когда палец и датчик вступают в температурный баланс.

Ультразвуковой метод

Ультразвуковые сканеры сканируют поверхность пальца ультразвуковыми волнами. Расстояния между источником волн и выступом гребня и углублениями папиллярного рисунка измеряются отраженным от них эхо-сигналом.

Качество полученного изображения во много раз лучше, чем качество в любом другом представленном методе.

Сейчас уже разработан усовершенствованный ультразвуковой 3D-датчик сканера, комплектуемый блоком приемо-передатчика ультразвуковых волн, который позволяет собрать значительно больше индивидуальной информации. Генерируемые передатчиком и отраженные от поверхности пальца волны регистрируются приемником сигнала, формирующим детализированное трехмерное изображение отпечатка. Уровень чувствительности и разрешающая способность приемника сигнала позволяют не только считать папиллярный узор, но и зафиксировать дополнительную ключевую полезную информацию, такую, как глубина канавок и высота локально выступающих фрагментов кожного рельефа и даже специфическое расположение потовых пор кожи.

Литература

1. Идентификация по отпечаткам пальцев. Часть 1. 2004г. // BRE URL:<http://www.bre.ru/security/20994.html> (Дата обращения: 20.04.2018)
2. Идентификация по отпечаткам пальцев. Часть 2 2004г. // BRE. URL: <http://www.bre.ru/security/20994.html> (Дата обращения: 20.04.2018)

УДК 621.317.61

Киберкостюм – нательный нейроинтерфейс

Протасевич Т.М., Чуйкова М.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Каждый из нас хотя бы раз мечтал о суперкостюме, который позволил бы человеку превзойти свои возможности. Благодаря книгам и фильмам в нашем воображении этот костюм выглядит как очень большая куча железа или представляется как тяжелый экзоскелет. Благодаря развивающимся технологиям и такой отрасли науки, как кибермионика, теперь такой костюм можно увидеть вживую. В реальной жизни он довольно удобная одежда, называемая *CyberCostume* или же киберкостюм. Если в экзоскелете на руку вынесены техногенные "кости и суставы", то в киберкостюмах есть нервы, рецепторы и даже «мозг»: спинной и головной.

Каждый из элементов костюма имеет свое функциональное назначение. Киберкостюм состоит из перчаток на руках, длина которых начинается от второй фаланги до плеча, боди и чулок – в женской версии или футболки и брюк – в мужской версии. Полоски бирюзы также являются техническим элементом – в них укладывается проводка. Подсветку обеспечивает оптоволоконный кабель, который служит для передачи информации в центральный модуль, расположенный на груди. Костюм связывается с компьютером через *Bluetooth* или *USB*-кабель, он также поддерживает питание и позволяет обмениваться данными с *VR*-игрой.

Первоначальный смысл создания киберкостюма состоял в том, чтобы помочь восстановить мышечную потерю функций в случае повреждения нервной системы. Например, для таких заболеваний, как: инсульт, перелом позвоночника и рассечение нервов. Киберкостюм играет роль нейропротезирования, который создает и передает сигналы, соответствующие нервным импульсам к мышцам и рецепторам. Таким образом, со временем он восстанавливает мобильность парализованных людей. Когда киберкостюм взаимодействует с экзоскелетами на начальных этапах, можно усилить движение, которое человек хочет сделать, чтобы он мог ходить даже до того момента, когда нервы и мышцы полностью восстановились.

Вы можете использовать не только весь костюм, но и отдельные его части. Например, перчатка используется в медицине, чтобы помочь людям, пострадавшим от инсульта. Функция перчатки в этом случае заключается в восстановлении пациента электростимуляцией. В настоящее время современные реабилитационные устройства являются слишком громоздкими установками, а также дороги для домашнего лечения, и перчатка может быть идеальным решением этой проблемы. Электрическая стимуляция – это первый этап реабилитации, когда конечность практически не двигается. Действие перчаток основано на передаче сигнала от мышц к мозгу, активируя те нейронные сети, которые работали, когда рука еще не была повреждена. Когда появляется минимальное движение, которое можно рассмотреть с помощью миографа (устройства для графического представления движения мышц), используется перчатка. После этого пациент начинает укреплять и наращивать новые сети, чтобы заменить поврежденные.

CyberSuits – носимый нейронный интерфейс, который способен читать и воспроизводить движения и ощущения. Принцип действия: копирует нервную систему человека, считывает и воспроизводит импульсы, которые при взаимодействии со скелетными мышцами принимаются или подаются в мозг. Способность развивать двигательные навыки становится вполне реальной через 21 день с помощью кибермионических устройств. Сегодня, в Центре кибермедийных исследований, каждый может посетить гитарный курс, используя систему *CyberMitts* и набор ударных в *CyberSuit*.

Используя мышечную стимуляцию в этой технологии, можно «отразить» человеческие движения. Например, создавая волну вашей руки, вы можете видеть и чувствовать это более выраженным в виртуальной реальности. Чтобы привыкнуть к использованию костюма, пользователю требуется не более 20 минут, а также очень мало усилий. В результате,

оказывается, что оставаясь на месте, вы можете полностью почувствовать какое-либо действие. Условие погружения в виртуальную реальность создается путем воздействия на нервы, рецепторы кожи и мышцы через электроды, прикрепленные к костюму. На электродах информация, посылаемая головным мозгом из сенсорно-моторной коры, передается способности организма двигаться с места на место. Костюм становится похожим на внешнюю нервную систему человека.

Применение киберкостюма:

- *CyberFitness*

Позволяет человеку выполнять свою повседневную деятельность, оставаясь в хорошей форме. Способствует снижению веса. Увеличение мышечной массы обеспечивается за счет комплексной нейронной стимуляции.

- *CyberSens*

Из-за того, что костюм читает сигналы от нервов и восстанавливает недостающие нервные импульсы, возникает эффект прикосновения объекта. Это позволяет вам более точно манипулировать им, ощущать их температуру, текстуру, вес, объем и форму.

- *CyberDEEP*

Позволяет полностью погрузиться в виртуальную реальность, перемещаясь в виртуальном мире, не двигаясь в реальной жизни благодаря полному соединению всех систем сенсорных органов.

- *CyberReset*

В случае повреждения нервной системы и костно-мышечной системы костюм способствует восстановлению путем ускорения регенерации тканей.

- *CyberSkills*

Получение любого моторного навыка всего за 21 день. Это позволяет вам научиться любому уровню мастерства игры на музыкальных инструментах, овладеть танцем, достигать профессиональных спортивных достижений. Приобретение таких физиологических привычек осуществляется за счет повторного повторения правильных движений, которые читаются у профессионалов.

Самое замечательное в том, что киберкостюм существует сейчас, он был сделан в России, и на наших глазах мир будет постепенно меняться в лучшую сторону.

Литература

1. Сухаревская, А. Косплей для науки: нейроинтерфейс для медицины и виртуальных игр/ [Электронный ресурс]. - А. Сухаревская - РБК, 2017.- Режим доступа: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/05/58f6270b9a79472027983cc8>

УДК 621.341.572

Устройство и разновидности частотных преобразователей для питания асинхронных двигателей

Ковалёв Д.В., Силкин Н.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором находит самое широкое применение для привода различных машин и механизмов. Есть у него и недостатки. В первую очередь это невозможность простой плавной регулировки скорости вращения ротора и очень большой пусковой ток (в 5-7 раз превышающий номинальный). При использовании механических устройств регулирования, указанные недостатки приводят к большим энергетическим потерям и к ударным механическим нагрузкам. Срок службы оборудования при этом сокращается.

В результате разработки мощных высоковольтных силовых комбинированных транзисторов с изолированным затвором появилась возможность изготавливать частотные преобразователи с широтно-импульсным управлением (ЧП с ШИМ).

Их применение для питания АД позволяет снизить пусковые токи в 4-5 раз. При этом обеспечивается плавный пуск асинхронного двигателя и осуществляется управление приводом по заданной формуле соотношения напряжение/частота.

Применяя ЧП с ШИМ можно получить экономию по потребляемой энергии до 50%. Появляется возможность управления работой оборудования по заданному алгоритму с дистанционного блока управления.

Устройство ЧП с ШИМ представляет собой инвертор с двойным преобразованием напряжения. Вначале сетевое напряжение 220 В или 380 В поступает на сетевой фильтр с ограничителем входного тока при включении питания на варисторах, потом выпрямляется входным диодным мостом, затем сглаживается и фильтруется с помощью индуктивностей и конденсаторов. Это все происходит на первом этапе преобразования. На втором этапе из постоянного напряжения, с помощью микросхем управления и выходных мостовых *IGBT* ключей на комбинированных транзисторах, формируется ШИМ последовательность определенной частоты и скважности. На выходе частотного преобразователя выдаются пакеты прямоугольных импульсов, но за счет индуктивности обмоток статора асинхронного двигателя, они интегрируются и превращаются, наконец, в напряжение близкое к синусоиде.

Силовая часть схемы, как правило, реализуется на *IGBT* транзисторах, шунтированных диодами, в целях их защиты от бросков напряжения обратной полярности при выключении транзисторов, работающих с индуктивной нагрузкой (рис. 1).

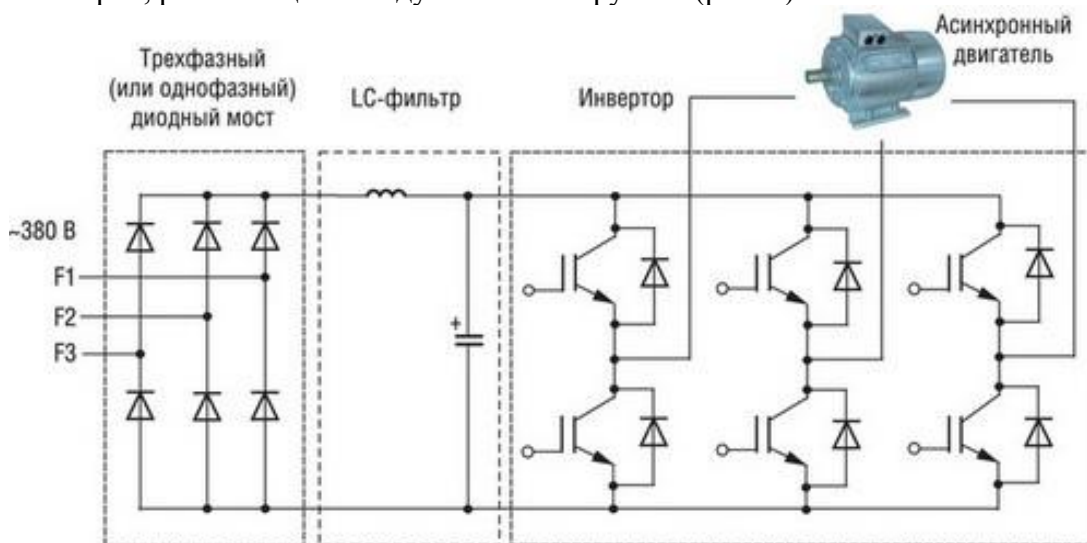


Рисунок 1 – Схема силовой части частотного преобразователя

Цифровое управление силовым преобразователем осуществляется с помощью микропроцессорных аппаратных средств и соответствующим поставленным задачам программным обеспечением.

На рис. 2 изображен вид одного из возможных устройств ЧП с ШИМ.



Рисунок 2 – Силовой частотный преобразователь

В промышленном оборудовании применяются два основных вида частотных преобразователей:

- фирменные преобразователи для конкретных типов оборудования;
- универсальные преобразователи частоты предназначены для многоцелевого управления работой АД в задаваемых пользователем режимах.

Установку и контроль режимов работы частотного преобразователя можно производить с помощью пульта управления, оснащённого экраном для индикации введенной информации. В простом варианте скалярного регулирования частоты можно воспользоваться набором простых логических функций, имеющихся в заводских установках контроллера.

Для осуществления более сложных режимов управления с использованием сигналов с датчиков обратных связей необходимо разработать структуру САУ и алгоритм, который следует запрограммировать с помощью подключаемого внешнего компьютера.

Как известно, сопротивление обмоток АД имеет в основном индуктивный характер, который с увеличением частоты питания АД увеличивается, а с уменьшением – уменьшается, и соответственно меняются токи через них при изменении выходной частоты ЧП с ШИМ. Через некоторое время в обмотках АД может возникнуть короткое замыкание между витками, что приведет к резкому увеличению потребляемого тока, т.е. к аварийной ситуации. Все это должно контролироваться блоком ЧП с ШИМ. В любом случае сам блок ЧП с ШИМ, при этом, не должен повредиться, а лишь изменить свои выходные параметры сигнала или отключиться при аварийной ситуации, просигнализовав оператору об этом.

Разновидности частотных преобразователей

1. Частотный преобразователь ACS350 – АВВ.
2. Sinamics G110 (0.12-3 кВт) – для стандартных применений.
3. Sinamics G120 (0.37-9 кВт) – для применения с высокими требованиями к динамике.
4. Sinamics G1200 (0.75-7.7 кВт) – для применения с высокими требованиями к динамике.
5. MICROMASTER 420 – для насосов и вентиляторов (от 0.12 до 11 кВт.).
6. Частотные преобразователи компании «Веспер».

При использовании блоков ЧП с ШИМ коэффициента нагрузки доходит до значения 0.98, при этом АД свою мощность тратит в основном на совершения полезной работы. Причем он сохраняется при разных режимах работы АД.

Без блока ЧП с ШИМ при малых нагрузках АД имеет коэффициент нагрузки всего 0.3-0.4, что приводит к снижению КПД и соответственно к увеличению потерь расходуемой энергии в механических или электрических, например, в АД с фазным ротором, тормозящих устройствах.

Литература

1. <http://electricalschool.info/econom/721-chastotnyjj-preobrazovatel-dlja.html>

УДК 621.317.441

Принципы работы металлоискателей

Данилюк С.А, Гуринчук А.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Металлический детектор (металлоискатель) – устройство, которое обнаруживает металлические объекты в окружающей среде. Когда мы облучаем объект радиоволнами, мы можем найти его, принимая вторичный сигнал. Так работают все металлоискатели. Когда мы включаем металлоискатель, переменный ток проходит в поисковой катушке и создает вокруг неё электромагнитное поле, переходящее в окружающую среду. При столкновении с металлом вихревые токи появляются на поверхности поля, создавая собственное электромагнитное поле, которое ослабляет поле катушки. Электрическая схема устройства обнаруживает ослабление поля и сигнализирует об этом. На поверхности металлов наводятся вихревые токи. В то же время у каждого металла есть своя электропроводность и диэлектрическая проницаемость. Некоторые устройства могут определить, какой металл под катушкой: черный или цветной [1]. Металлические детекторы бывают различных видов:

- Металлические детекторы с принципом «прием-прием»

Принцип работы этого типа металлоискателя очень прост и основан на приеме и передаче электромагнитного излучения. Две катушки являются основной конструкцией этого типа устройства, где передающая катушка излучает волну, а приемная принимает чистый или искаженный сигнал.

Передающая катушка излучает электромагнитные волны, свободно проходящие через нейтральную среду. Когда электромагнитная волна обнаруживает объект, сделанный из металла на своем пути, он отражается от него, и устройство улавливает эту волну. Сигнал предупреждения информирует нас об обнаружении металла.

Важным моментом является положение катушек, в которых магнитное поле излучающей катушки в отсутствие посторонних металлических предметов вызывает нулевой сигнал в принимающей катушке (или в системе приемных катушек). Таким образом, необходимо предотвратить прямое воздействие излучающей катушки на приемник.

- Металлодетекторы индукционного типа

Принцип работы металлоискателя индукционного типа аналогичен металлодетектору с устройством типа «прием-передача». Основное различие заключается в наличии только одной катушки в механизме, одновременно отправляющей и принимающей сигнал. Отличительной особенностью этих металлодетекторов является чувствительность к минерализации почвы. Такой металлоискатель должен быть отрегулирован перед использованием, под конкретный тип почвы, поскольку высокое содержание соли создает помехи, на которые реагирует детектор [2].

- Импульсные металл детекторы

Импульсные металл детекторы нечувствительны к солености почвы. В основе их конструкции также есть катушка, на которую поступает импульсный сигнал. Он излучается на исследуемое пространство. При этом вихревые токи появляются на поверхности попадающего металлического объекта. Устройство фиксирует эти токи. В любом случае такая особенность детектора ослабляет возможность дискриминации, что может быть существенным недостатком для обнаружения только одного типа металла.

- Металлический детектор на биениях

Принцип работы металлоискателя на биениях частот, исходящих от двух генераторов. Первый генератор имеет постоянную частоту, а вторая система содержит датчик, который является индуктором. Частота генераторов в приборе одинакова, если металлические предметы находятся не вблизи металлоискателя. В противном случае происходит изменение частоты одного из генераторов, и мы фиксируем появление разностной частоты [3].

- Металлический детектор с электронным измерителем частоты

Характерная особенность этого типа металлоискателя основана на восприятии частоты измерительного генератора электронным частотомером, когда сам датчик все еще находится далеко от цели. Результирующее значение записывается регистром. Позже, во время облучения объектов, электронный частотомер непрерывно измеряет частоту принимающего генератора. Исходная частота вычитается из полученной частоты, и результат вычитания отображается на экране дисплея.

- Радары

Этот металлоискатель устроен следующим образом. Передающая и принимающая катушки его не создают плоский трансформатор, а дистанционно размещаются в пространстве и помещаются перпендикулярно друг другу. Передающая катушка излучает, и принимающая катушка принимает сигнал, отраженный от поверхности металла. Этот метод отличается от других нечувствительностью к мелким объектам и отсутствием распознавания металлов [4].

- Магнитометры

Наличие некоторой магнитной неоднородности (аномалии), которая может быть вызвана железным объектом, может быть обнаружено изменением показаний магнитометра для заданной области модуля или направления вектора магнитной индукции поля Земли. Существенным преимуществом является то, что магнитометры имеют больший диапазон поиска предметов из железа. Например, магнитометр может найти автомобиль, расположенный на расстоянии 10 метров от человека. Но есть и существенный недостаток - магнитометр не может обнаружить объекты из цветных металлов. Кроме того, магнитометр может также реагировать на естественные магнитные аномалии. Например, отложения минералов.

Литература

1. Металлодетекторы-металлоискатели. Виды и работа. Применение/[Электронный ресурс]. – Электросам.ру. – Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/metallodetektory-metalloiskateli/>
2. Принцип работы металлоискателя и многое другое для новичков/[Электронный ресурс]. – Перстни. – Режим доступа: <https://perstni.com/magazine/metalloiskateli/printsip-raboti-metalloiskatelya.html>
3. Принцип работы металлоискателя/[Электронный ресурс]. – Металлоискатели. – Режим доступа: <https://libk.ru/articles/metalloiskateli/printsip-raboty-metalloiskatelya.php>
4. Принцип действия металлоискателей/[Электронный ресурс]. – Проект русская монета. – Режим доступа: <https://russkaya-moneta.ru/index.php?topic=7049.0>

УДК 621.31

Виды электрошокеров

Дедкова Т.С., Шнип Д.И.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Прежде всего, электрошокер – это оружие, которое используется, в основном, для самообороны. При применении электрошокера защищающимся, нападающий получает высоковольтный разряд током. Этим самым защищающийся нейтрализует его. Если мы изучим работу устройства, то узнаем, что на выходных контактах его напряжение достигает нескольких сотен тысяч вольт (до 70000 В). Это провоцирует пробой воздуха и образование искрового разряда между контактными электродами. В электрошокере присутствует ограниченный ток, бояться за жизнь человека (нападающего) не нужно, опасности для него нет при кратковременном воздействии.

Если рассмотреть электрошокер детально, то мы увидим, что между электродами есть пустое место. Одна или две пары электродов использованы в разных видах прибора. Эти пары отличаются количеством промежутков между ними. Если в электрошокере 2 пары электродов, то 1-ая является рабочей, 2-ая – контрольная пара.

При нажатии на кнопку на электрошокере, когда мы хотим использовать его, мы можем видеть между контрольной парой синюю молнию, и рабочая пара может предоставить некоторую энергию электричества нападающему.

Пример схемы электрошокера с питанием от батареи изображен на рис. 1.

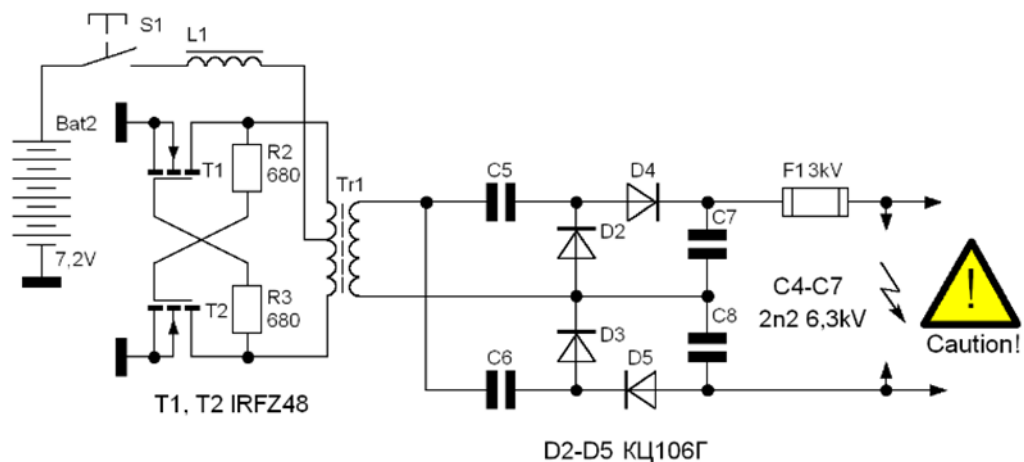


Рисунок 1 – Схема батарейного электрошокера

Чаще всего батарейки меняются один раз в год, срок службы которых зависит от производителя и марки, одной пары примерно хватает на 20 трехсекундных применений. Хотя, конечно, количество применений зависит от номинальной емкости батареи.

Также электрошокаеры делят в зависимости от напряжения и мощности на несколько типов воздействия:

1. Парализаторы. Такие устройства имеют мощность 2-3 Вт и напряжением 70-90 кВ. Это наиболее эффективный вид шока для того, чтобы обездвигнуть человека.
2. Дезориентаторы. Это защитное средство изготавливается мощностью до 2 Вт напряжением 45-70 кВ. Они являются универсальным видом шока. Дезориентаторы могут нейтрализовать нападающего, если есть контакт с кожей или легкой одеждой. Такие модели шока имеют меньшую массу и размеры, в отличие от парализаторов.
3. Электрошокаеры-дубинки чаще всего относят не к оборонительным средствам, а к оружию силовых структур.

В целом это устройство является оружием, принцип действия которого основан на прямом воздействии электрического разряда на живую цель.

УДК 543.42

Принцип работы устройств, для проведения спектрального анализа веществ

Науменко А.М., Мигуцкая Н.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Современная наука и техника во многих областях не могут обойтись без знания химического состава веществ. Качественно проходящие технологические процессы в самых различных отраслях промышленности народного хозяйства требуют точного знания химического состава начального сырья, промежуточных и готовых продуктов.

Оптимизация производства и внедрение новых технологий требует развития и улучшения методов, обеспечивающих довольно высокую скорость и точность проведения анализа. Также его отдельные операции должны быть по возможности автоматизированы. Химические методы анализа не всегда соответствуют выдвинутым требованиям. Поэтому физические и физико-химические методы определения состава вещества широко применяются за счет ряда ценных свойств. Среди этих методов одно из главных мест, справедливо занимает спектральный анализ. Он дает возможность различать вещества с очень близкими химическими свойствами.

В основе спектрального анализа лежит изучение строения света, излучаемого или поглощаемого анализируемым веществом. Методы спектрального анализа делятся на эмиссионные (эмиссия – испускание) и абсорбционные (абсорбция – поглощение).

Благодаря возможностям спектрального анализа, используя одну и ту же принципиальную схему и те же устройства, анализировать различные вещества.

На рисунке изображена принципиальная схема простейшего устройства для спектрального анализа:

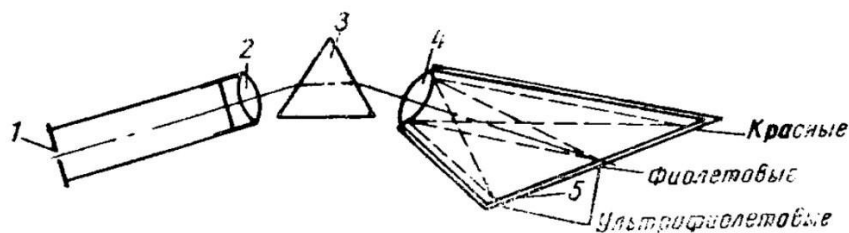


Схема спектрального прибора (спектрографа):

1—щель; 2—объектив коллиматора; 3—призма; 4—фокусирующая линза (объектив фотокамеры); 5—фотографическая пластинка.

Важность спектрального анализа была по достоинству оценена еще в начале 19 века. Хотя темные линии спектра были замечены еще раньше, но первое серьезное исследование было проведено только в 1814 году Йозефом Фраунгофером. Именно в его честь данный эффект был назван "Фраунгоферовы линии". Фраунгофер установил стабильность положения линий, составил их таблицу и каждой из 574 найденных линий присвоил буквенно-цифровой код. Изучением этого явления также занимались Густав Кирхгоф и Роберт Вильгельм Бунзен. И после серии экспериментов в 1859 году они пришли к выводу, что каждый химический элемент имеет свой неповторимый линейчатый спектр, по которому можно легко определить химический состав тела. Однако природа каждой линии и их связь с химическими элементами выяснялись постепенно. Так благодаря спектральному анализу Кирхгофом и Бунзеном были открыты такие химические элементы как цезий (1860) и рубидий (1861).

Для анализа необходимо выбрать излучение всех элементов, входящих в состав химического соединения. Это выполняется при помощи спектральных устройств (спектрографов), в которых лучи света с различными длинами волн отделяются в пространстве друг от друга. Излучение источника света, распространенное на длинах волн, называют спектром.

Спектрограф – спектральный прибор, в котором приёмник излучения одновременно регистрирует весь возможный спектр. Приёмниками излучения могут быть фотоматериалы, многоэлементные фотоприёмники (ПЗС-матрицы или линейки), электронно-оптические преобразователи. Спектральные аппараты устроены таким образом, что световые колебания каждой длины волны, попадающие в прибор, образуют одну линию. Сколько различных волн присутствовало в излучении источника света, столько линий получается в спектральном аппарате.

Аппараты для спектрального анализа очень разнообразны. Они состоят из: оптических приборов, используемых для получения, изучения и наблюдения спектров; электрических приборов для питания источников света. Помимо специальных приборов также используется оборудование общего характера, например, печи для сплавления проб, прессы для прессования брикетов из порошковых проб, машинки для заточки металлических и угольных электродов.

Современные спектральные приборы или спектрографы принято подразделять на 2 группы:

1. Приборы для визуального спектрального анализа.
2. Приборы для фотографического спектрального анализа.

При качественном анализе необходимо определить, излучению какого элемента та или иная линия в спектре проанализированной пробы принадлежит. С этой целью необходимо найти длину волны линии по её положению в спектре, и затем определить ее принадлежность к тому или иному элементу при помощи таблиц. Для рассмотрения увеличенного изображения спектра на фотопластинке и определении длины волны используются микроскопы, проекторы спектрограммы и другие дополнительные инструменты.

Интенсивность линий спектра растет с увеличением концентрации элемента в пробе. Поэтому для выполнения количественного анализа необходимо найти интенсивность одной линии спектра определенного элемента. Интенсивность линии измерена или на ее темном участке, на фотографии спектра, или сразу по силе светового потока, который выходит из спектрального устройства. Величина почернения линий на спектрограмме определяется на микрофотометре.

Связь между интенсивностью линии в спектре и концентрацией элемента в проанализированной пробе установлена посредством эталонов – образцов, заранее проанализированным и с точно известным химическим составом.

Алгоритм выполнения спектрального анализа:

1. Получение спектра проанализированной пробы.
2. Определение длины волны линий спектра или полос.
3. Установление их принадлежности посредством таблиц или атласов к определенным элементам или соединениям, т.е. нахождение качественной структуры пробы.
4. Измерение интенсивности линий спектра, принадлежащих определенным элементам или соединениям, позволяет находить их концентрацию в проанализированной пробе, на предварительно построенных с помощью эталонов градуировочным графикам, т.е. по количественной структуре теста.

Эти стадии последовательно изучаются, независимо друг от друга, и затем рассматривают их взаимосвязь.

Литература

1. <http://studopedia.ru/2xd9bc.html> [Электронный ресурс] – Дата доступа: 15.10.2018.
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Спектрограф> [Электронный ресурс] – Дата доступа: 15.10.2018
3. <https://studfiles.net/preview/4255172/page:3/> [Электронный ресурс] – Дата доступа: 15.10.2018

УДК 621.31

Электромагнитные волны и их влияние на человека

Алексеева О.С., Стриголович И.И.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

От длины волны электромагнитные излучения делятся на: рентгеновское, радио, цветное и гамма излучение.

Так как в современном мире источники ЭМП окружают нас повсюду: на производстве, в быту (каждый день мы пользуемся мобильными телефонами, телевидением и радиовещанием), все больше стоит уделять внимания контролю уровней ЭМП. Этим занимаются инспекции электросвязи и органы санитарного надзора, а так же служба охраны труда на предприятиях. Для различных радиочастотных диапазонов предельно допустимый уровень ЭМП неодинаков.

Воздействие электромагнитного поля

Приходя домой, каждый человек имеет дело с электромагнитным полем. Неважно, что вы делаете: включаете микроволновку, электроплиту, компьютер; слушаете музыку или говорите по телефону – электромагнитное поле воздействует на нас, несмотря на то, что мы этого не замечаем

По результатам исследований, которые были начаты в 80-х годах финнами, шведами, датчанами и американцами оказалось, что здоровье людей проживающих вблизи ЛЭП (линии электропередач) значительно хуже, чем без них. В местах действия СВЧ волн был обнаружен высокий уровень заболеваемости раком. Часто встречалась лейкемия у детей, которые подвергались долговременному облучению. К сожалению, чтобы испытать на себе воздействие электромагнитного поля не обязательно жить под мачтами ЛЭП или взаимодействовать с электрогенератором. Ведь вся техника, что нас окружает помимо тепла и света и других удобств неизбежно награждает нас электромагнитным полем (небольшое от индукционной плиты и уже значительное от СВЧ-печи).

Несмотря на то, что в современном мире ни один человек не представляет свою жизнь без смартфонов, никто не задумывается о том, как влияет на нас электромагнитное излучение, исходящее от него. Сотовый телефон безопаснее носить в сумке или держать на столе, чем в кармане брюк, рубашки и другой одежды. Электромагнитное излучение поглощается и пагубно влияет не только на ткани головного мозга, но и на все функции (зрительную, слуховую, вестибулярную). Так же учеными доказано, что излучение влияет на всю нервную систему. Мы думаем, что многим людям довелось испытать на себе неприятные ощущение в руке (покалывание, судорога) при пользовании беспроводной компьютерной мышкой. Это и есть действие электромагнитных высокочастотных волн. Особенно опасно это воздействие для детей. Успокаивает лишь то, что один такой прибор не страшен, воздействие уже не опасно на расстоянии более чем 1,5-2 метра. Но современная кухня выглядит примерно так: холодильник, над которым висит телевизор, с электроннолучевой трубкой, рядом индукционная электроплита с вытяжкой, микроволновая печь. Таким образом, она, оказывается, перенасыщена электромагнитными полями, от которых трудно укрыться. Как показали исследования, многофункциональный датчик, измеряющий электромагнитные поля, в таком месте просто зашкаливает. И если для здорового человека это не так пагубно, то, например, для пожилых людей, детей и беременных женщин это воздействие может привести к серьезным последствиям. Полностью ограничить действие всех приборов в наше время невозможно, но следует хотя бы ограничить время взаимодействия с опасной техникой (например, включив туже СВЧ-печь, следует немедленно отойти на безопасное расстояние).

Пагубнее всего это воздействие оказывается ночью. Ведь, как известно, именно во время сна шишковидной железой головного мозга вырабатывается гормон мелатонин, недостаток которого провоцирует образование рака груди у женщин.

Наибольшую опасность для человека представляет влияние электромагнитного излучения частотой 40-70 ГГц, что обусловлено соизмеримостью длины электромагнитных волн с размерами клеток человека. К сожалению, зафиксированы случаи скрытого заболевания, которое не дает о себе знать в обычных условиях, но при близком контакте с электромагнитным полем заболевание проявляется в виде тяжелых припадков.

Мы думаем, что из выше сказанного все сделают вывод о вреде некоторых электромагнитных волн, особенно в СВЧ-диапазоне и большой мощности, и постараются ограничивать их воздействие.

УДК 621.3

Безлопастные турбины как более безопасный способ преобразования энергии ветра

Лагойко А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Bladeless turbine (безлопастные турбины) используют энергию ветра от феномена завихренности под названием Vortex Shedding. По сути, эта технология состоит из цилиндра, зафиксированного вертикально с эластичной штангой. Цилиндр осциллирует энергию ветра, впоследствии этого производит электричество через систему альтернатора. Другими словами, это ветряная турбина, которая на самом деле не является турбиной.

Механизм турбины сконструирован таким образом, чтобы преобразовывать энергию при низких скоростях ветра, а также быстро подстраиваться под изменение направления ветра и к турбулентным воздушным потокам, наблюдаемым в городских средах. Но из-за того, что поток идет сверху вниз, турбины должны быть далеко установлены друг от друга. Это не влияет на сами турбины, но это вызывает ряд ограничений (рис. 1).

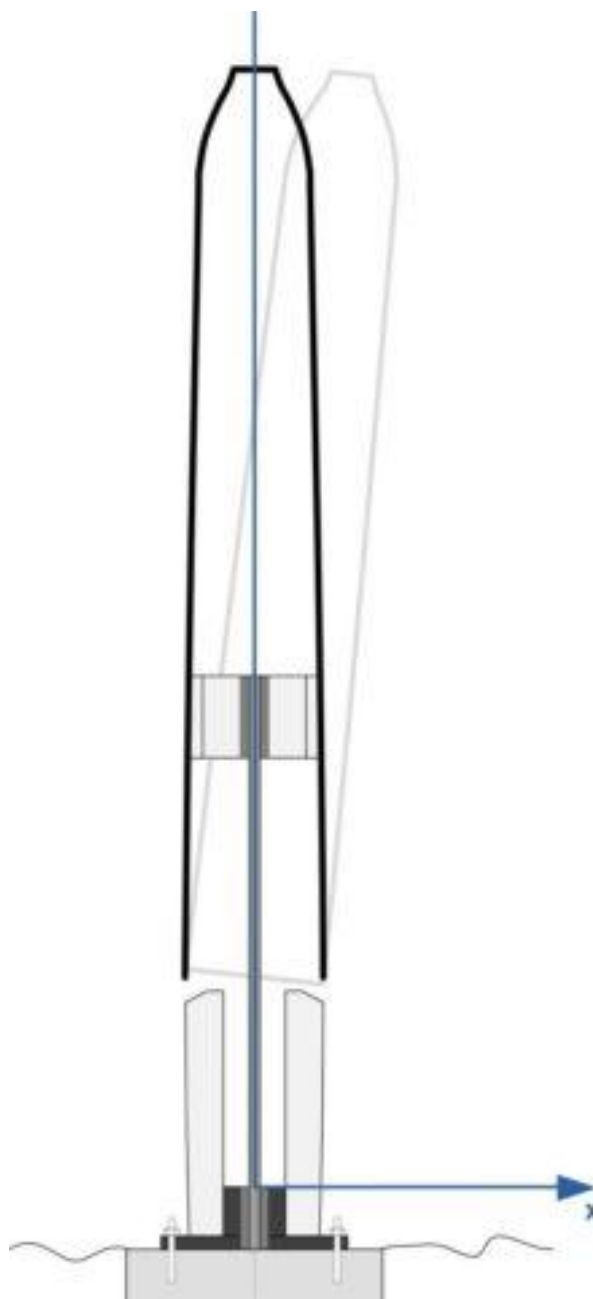
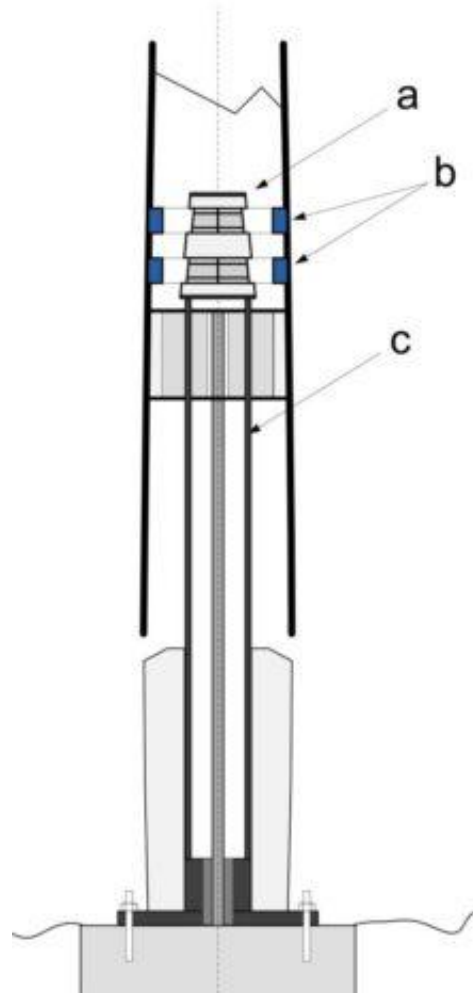


Рисунок 1 – Структура турбины

Естественно, такая конструкция ветрогенератора совершенно отличается от традиционной турбины. Вместо обычной башни и лопастей, это устройство имеет только мачту из легких материалов над основанием (рис. 2).



А - фиксированная часть статора, Б – мобильный генератор,
С – подвижная часть статора

Рисунок 2 – Внутреннее строение безлопастной турбины

Это уменьшает использование сырья, позволяет уменьшить затраты на обслуживание и исключает потребность в регулярной диагностике турбины. Вдобавок это позволит дать более быструю рентабельность установки, что делает данную технологию высоко конкурентоспособной не только по сравнению с поколениями альтернативной или возобновляемой энергии, но даже по сравнению с традиционными технологиями.

Принцип действия безлопастной турбины, как было уже сказано, основан на эффекте Vortex Shedding. Он был впервые описан и математически формализован Теодором фон Карманом, гением авиации, в 1911 году. Это влияние было показано с помощью ветра на предмете, погруженном в воду при ламинарном течении (рис. 3).

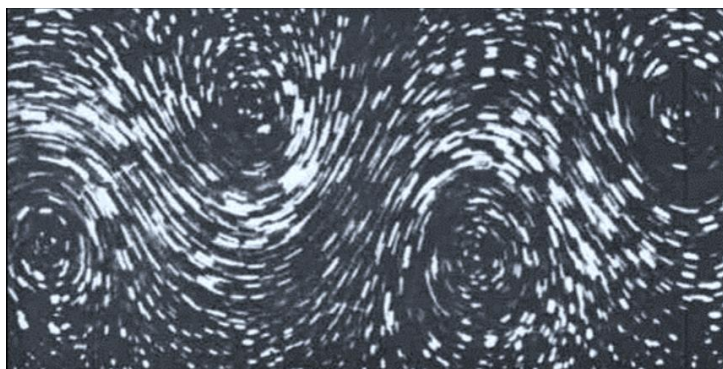


Рисунок 3 – Вихри Кармана

В основе этого эффекта лежит принцип того, что, когда ветер проходит через твердое тело, поток модифицируется и генерирует циклическую картину вихрей. Как только частота этих сил достаточно близка к структурной частоте тела, тело начинает колебаться и вступает в резонанс с ветром. Это называется Vortex Induced Vibration (VIV) (рис. 4).

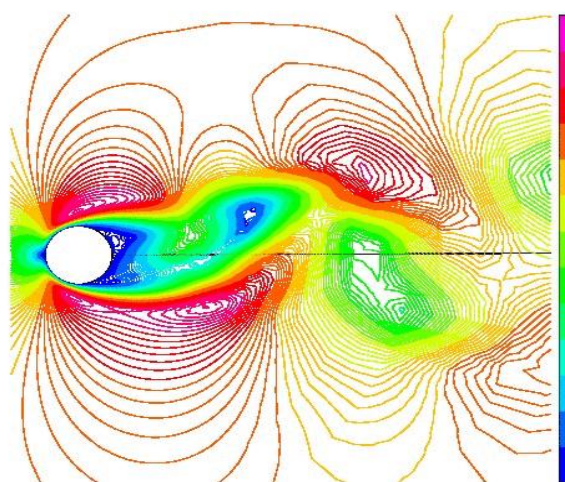


Рисунок 4 – Преобразование энергии

Идея, лежащая в основе этого эффекта, заключается в том, что для производства энергии могут использоваться те же самые силы, что и в обыкновенной турбине. Когда на безлопастные турбины воздействует сильный поток ветра, то они начинают резонировать, следовательно, осциллируются, поэтому bladeless турбина может сдерживать энергию от этого движения как регулярный генератор.

В настоящее время турбина поднимает вверх на 30% больше ветра, чем рабочая зона обычной трехлопастной ветряной турбины идентичной высоты. В результате, можем сказать, что энергия ветра безлопастной турбины имеет более низкую эффективность, чем ветряные турбины горизонтальной оси. С другой стороны, более малая рабочая область позволяет установить большее количество безлопастных турбин на меньшей площади.

Расчетная мощность вихревой турбины (2,75 м) составляет 100 Вт

Также такие турбины являются хорошей альтернативой традиционных турбин и с экологической точки зрения. Общий вес турбин составляет менее 13 кг. Они могут быть установлены около дома или над крышей. Инженеры также ожидают, что технология безлопастных турбин будет совершенно бесшумна.

Их простой дизайн и легкий вес позволяют очень эффективно использовать сырье. Им не нужен никакой сложный процесс производства, они легки в обслуживании, а также турбины не требуют смазочных материалов, что приводит к уменьшению отходов.

Вдобавок воздействие безопасной ветряной турбины на популяцию птиц, как ожидается, будет гораздо меньше, хотя небольшие ветряные турбины обычно не создают существенных проблем для местной дикой природы (рис. 5).



Рисунок 5 – Испытания безопасных турбин

В заключении хотелось бы сказать, что вихревые ветрогенераторы более схожи по своим характеристикам и экономической эффективности с солнечными батареями, чем с обычными ветряными турбинами.

Они имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными турбинами, такие как:

1. Низкие эксплуатационные расходы, минимальные затраты на сырье и маленький вес.
2. Безвредны для природы.
3. Автономный режим работы.
4. Быстрая реакция на изменения ветра.
5. Вихревые устройства всегда ориентированы на ветер благодаря круглому сечению мачты.
6. Им не требуются перерывы в работе.
7. Установленная плотность мощности.
8. Эффективны при различной скорости ветра, в том числе и при относительно невысокой скорости.
9. Уровень шума при работе ниже, по сравнению с традиционными турбинами.

Литература

1. Bladeless Wind Turbines May Offer More Form than Function [Электронный ресурс]/ MIT Technology Review. – Режим доступа: <https://www.technologyreview.com/s/537721/bladeless-wind-turbines-may-offer-more-form-than-function>. – Дата доступа: 27.09.2018
2. Bladeless Wind Energy [Электронный ресурс]/ Vortex Bladeless. – Режим доступа: <https://vortexbladeless.com>. – Дата доступа: 27.09.2018

УДК 621.3

Перепады напряжения. Методы защиты от перепадов напряжения

Борбуш А.Л., Вацилов С.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Перепады напряжения – частая проблема, с которой сталкиваются жители всего мира при пользовании электроприборами. Под данным понятием имеют в виду кратковременные или импульсные изменения значения питающего напряжения в обе стороны (уменьшение и повышение). Перепады напряжения могут иметь разную частоту, амплитуду, продолжительность. Это зависит от причины возникновения скачка. Перепады напряжения случаются регулярно. Скачки 5-10% считаются незначительными, но их нельзя допускать при работе с приборами, где важна точность получаемых измерений. Это, как правило, медицинское и лабораторное оборудование. Вследствие незначительных скачков напряжения управляющие микросхемы и микропроцессоры могут, к примеру, переключаться в другой режим и выдавать различные сбои. Перепады 10-25%, как правило, уже существенны. Они очень пагубно влияют на технику и сокращают их срок жизни в 2-3 раза (это одна из основных причин, почему производители оборудования дают 2-3 года гарантии). Ещё более высокие скачки напряжения могут привести к выходу из строя как отдельных частей электрооборудования, например, блоков питания, осветительных электроприборов, сенсорных панелей, так и к полному выходу из строя электрооборудования, вплоть до возникновения аварийных ситуаций и пожаров.

Почему же происходят перепады напряжения? Каждое генерирующее устройство имеет ограничение по мощности нагрузки, и при увеличении тока напряжение падает, а при уменьшении тока – напряжение резко возрастает. К причинам техногенного характера можно отнести износ линий электросети, изношенность трансформаторных подстанций, наращивание дополнительных мощностей потребления на линейном уровне, рост электронагрузки, в результате увеличения электроприборов в квартирах. Одной из самых частых причин аварий – это “обрыв нуля”, который вызывает “перекос” фазных напряжений.

Наилучшим способом защиты от перепадов напряжения является реконструкция системы электроснабжения. Но практически это не осуществимо. Однако на сегодняшний момент есть другие методы защиты от скачков напряжения:

- осуществление питания бытовых электроприборов в сети после стабилизатора напряжения;
- применение сетевых фильтров с варисторами;
- использование реле напряжения для бытовых электроприборов;
- установка бесперебойных источников питания.

Рассмотрим немного подробнее такой метод защиты как применение сетевых фильтров с варисторами. Это достаточно популярный способ защиты от скачков напряжения в однофазных сетях 220В, который, как правило, используется в квартирах. Данный фильтр содержит варистор и предохранитель, сгорающий при перепаде напряжения. При этом не повреждается электропроводка, а также бытовая техника и электроника. Существенным минусом данного приспособления является то, что при понижении напряжения данный прибор никак не спасает, т.к. не срабатывает.

Таким образом, можно сказать, что в настоящее время перепады напряжения есть и их активно пытаются устранить, придумывая различные способы и методы борьбы с ними. В некоторых случаях скачки напряжения опасны не только для электрических приборов, но и для человеческой жизни.

Литература

1. Гамазин, С.И. Справочник по энергосбережению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий. / С.И. Гамазин, Б.И. Кудрин, С.А. Цырук, - М.: Издательский дом МЭИ, 2010, - 216 с.

2. Официальный сайт компании «Ноотехника». Режим доступа: [https://www.noo.com.by/bloki-ekosvet.html]. Дата доступа: [15.10.18]

УДК 621.3

Хлопковые выключатели

Стома Д.М., Калий В.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Хлопковые (акустические) выключатели часто используются для включения и выключения света в любое время суток при входе и выходе людей из помещения. Такие устройства ощутимо экономят электрическую энергию. Их установка предполагается в подъездах, редко используемых помещениях, где трудно найти простой выключатель. Но, не стоит устанавливать данный прибор в тех местах, где постоянно присутствуют люди (жилые и производственные помещения), так как возможно самопроизвольное включение/отключение освещения от громких звуков.

Полезны они и для маленьких детей, если стандартные выключатели установлены в обычном для нас месте, а не на нижней трети стены, как это принято в Европейских странах. Незамысловатым хлопком в ладоши ребёнок достаточно легко включит или выключит свет в комнате.

Популярное название прибора «хлопковый», вероятнее всего, случайно или выбрано для упрощения понимания того, как работает прибор в быту. Однако прибор может реагировать и на другие звонкие и громкие звуки. Например, свист, стук, топот и подобное. Однако звук должен быть выше, чем пороговое значение.

Технические характеристики

- устройство питается от аккумулятора или иного источника с напряжением 9 вольт;
- максимальная суммарная мощность приборов, подключенных к устройству, составляет 200 Вт;
- регулирование звукового сигнала возможно в пределах 35–145 децибел;
- рабочие температуры находятся в пределах от минус 20 градусов до плюс 40 градусов.

Для нашей работы была выбрана одна из сложных схем, на транзисторах, изображенная на рис. 1.

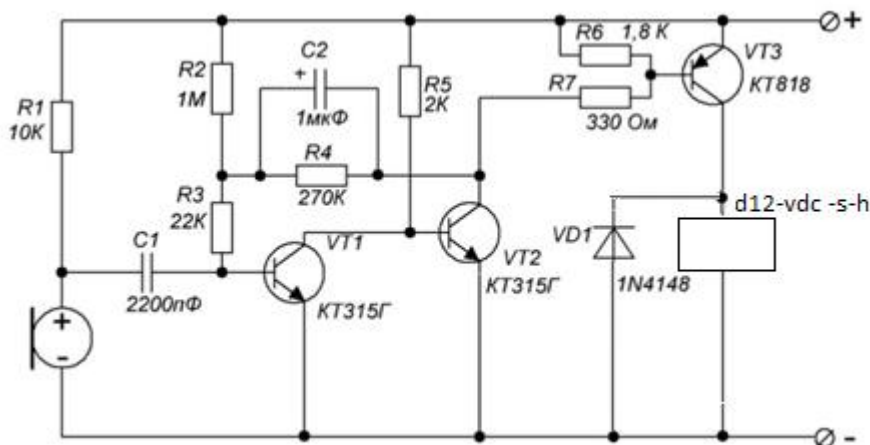


Рисунок 1 – Схема хлопкового выключателя

В сети нагрузки предусматривается использование:

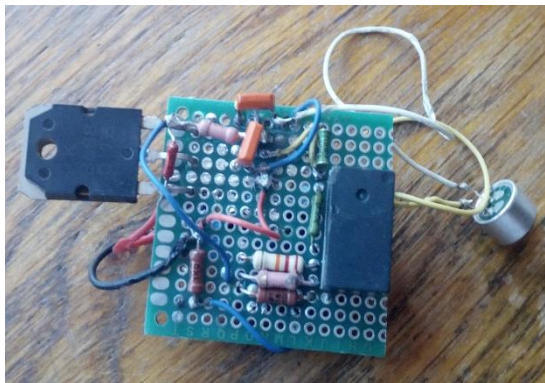
- галогенные лампы (лампы накаливания);
- люминесцентные или энергосберегающие лампы;
- светильники и лампы светодиодные.

Для реализации упомянутой выше схемы понадобятся:

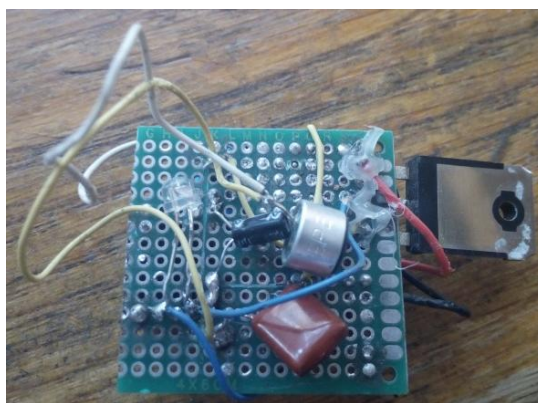
- резисторы;
- конденсаторы;
- транзисторы;

- диод;
- реле;
- электретный микрофон.

На рисунках 2а) и 2б) изображен макет реализованной конструкции хлопкового выключателя.



а)



б)

а) – вид спереди, б) – вид сзади

Рисунок 2 – Собранная на практике схема хлопкового выключателя

После сборки и введения прибора в эксплуатацию необходимо провести проверку в реальных условиях. Под проверкой понимается имитирование бытовых шумов и снятие ответных реакций с работающей системы. Обычными для дома шумами являются следующие: шум пылесоса; работа дрели; стук тарелок; звук от работы с молотком; телефонные звонки, громкие разговоры, плач детей и пр.

Следует попеременно создавать перечисленные выше шумовые эффекты и проверять, на какие будет реагировать устройство. Реакции, которые получаются нежелательными возможно устранить, настроив чувствительность микрофона.

Литература

1. Официальный сайт компании «Ноотехника». Режим доступа: [<https://www.noo.com.by/bloki-ekosvet.html>]. Дата доступа: [15.10.18]
2. Заметки электрика: всё об электрике. Режим доступа: [<http://zametkielectrika.ru/category/elektroprovodka/rozetki-i-vyglyuchateli/>]. Дата доступа: [17.10.18]
3. Научно-популярный блог Science Debate. Режим доступа: [<http://www.sciencedebate.com/sheet-like-quantum-battery.html>]. Дата доступа: [20.10.18]
4. Техзнаток. Режим доступа: [<https://tehznatok.com/kakpodklyuchit/vyiklyuchatel-sveta-po-hlopku.html>]. Дата доступа: [17.10.18]

УДК 621.3

Квантовые цифровые батареи

Станкевич П.С., Коваль Д.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

На сегодняшний день существует альтернатива современным аккумуляторам – квантовые цифровые батареи. Рассмотрим их принцип действия и попытки внедрения их в сегодняшнюю энергетику.

Данная батарея по внешнему виду значительно отличается от традиционных батарей. Она представляет собой слой пленки, состоящий из оксидов металлов, таких как титан, цинк, олово. На внешний слой пленки нанесён изолятор (рис. 1).

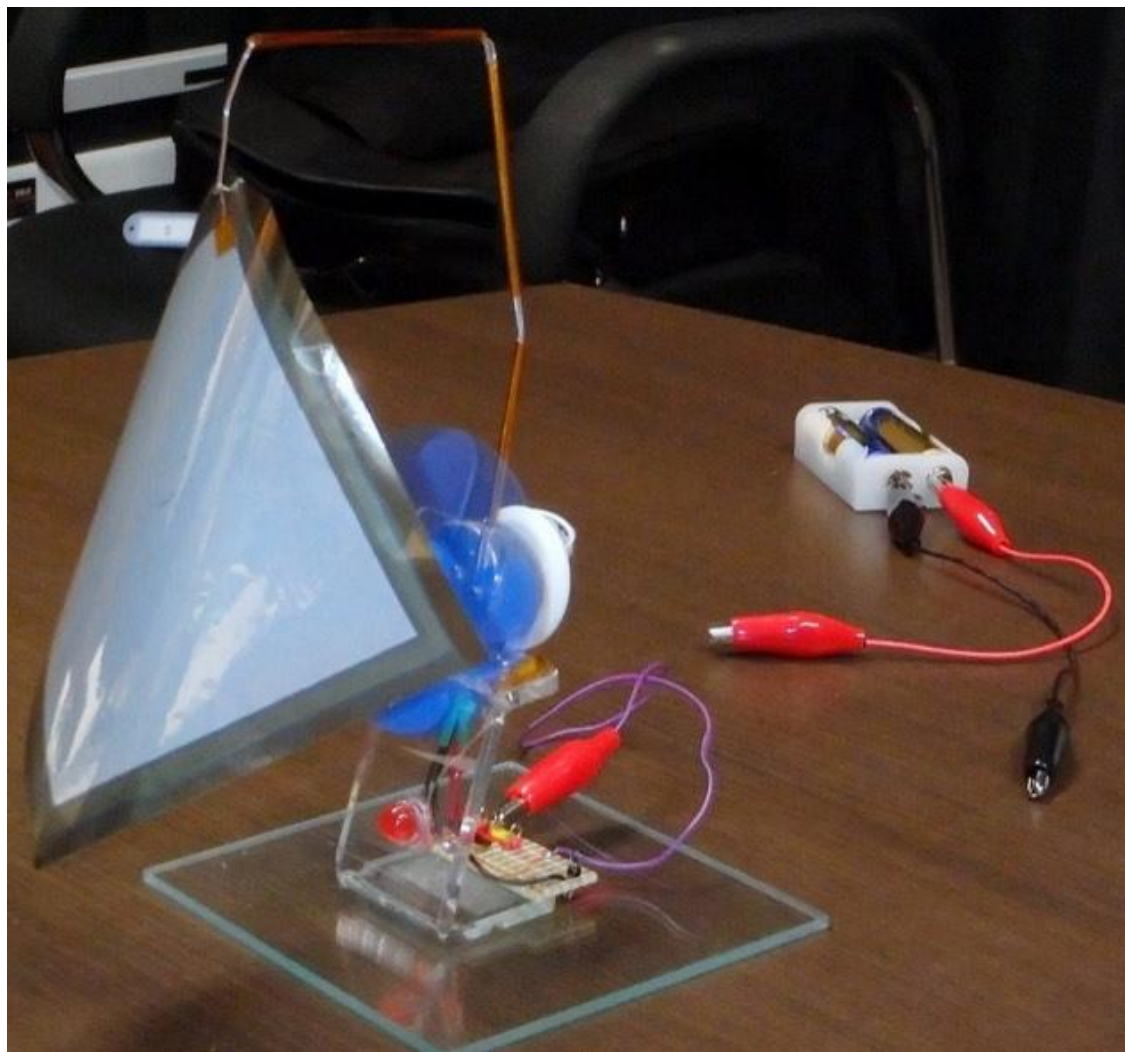


Рисунок 1 – Квантовая батарея

Слой квантовой батареи содержит электроны в некой области полупроводника, но способ хранения данных электронов вовсе не похож на ионный способ. Зарядить пленку можно от практически всех источников электричества, даже от пальчиковых батарей. При производстве данный слой пленки облучают ультрафиолетом. После того, как батарея зарядится, электроны занимают свободные энергетические уровни и располагаются там, пока батарея не разрядится.

Данные батареи, как прогнозируется, должны иметь более высокую емкость, чем аккумуляторы, которые производятся в наши дни.

Сама идея заключается в том, что когда функционируют какие-то два объекта одновременно, то их суммарная производительность должна увеличиться в два раза. То есть

если одна батарея работает день, то две будут работать два дня; если работают пять – пять дней. Соответственно и заряжаться они будут быстрее, например если одна заряжается за два часа, то сотни или тысячи батарей зарядятся буквально за пару секунд. Таким образом, время зарядки окажется обратно пропорционально количеству батарей (1):

$$t \sim \frac{1}{N}, \quad (1)$$

где t – время зарядки;

N – количество батарей.

Эта идея предполагает использование очень большого количества конденсаторов, которое может достигать миллиарда. Данные накопители энергии будут микро- и даже наноразмеров. Простейшие конденсаторы состоят из электродов, которые разделены изолирующим слоем воздуха или материала. Если приложить к ним напряжение, то можно создать электрическое поле тем самым позволить заряду накопиться на обкладке. Но когда заряд достигает определённой величины, возникают так называемые "искры" между обкладками, а при некотором уровне напряжённости поля возможен электрический пробой, и весь заряд теряется.

В планах у ученых создание конденсаторов, у которых расстояние между электродами составляет примерно 11 нм. Это способствует тому, что квантовый эффект будет сдерживать увеличение концентрации свободных носителей заряда. Итоговая мощность может значительно превышать любую из технологий, которые используются на сегодняшний день.

В производстве цифровых квантовых батарей будут использовать такие материалы, как:

- кремний;
- вольфрам;
- железо.

Эти материалы безопасные и дешёвые.

Использование данных батарей возможно только в диапазоне температур от -20°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Также важным параметром является жизненный цикл. Предположительно это около 90 тысяч циклов заряд-разряд.

Можно сделать вывод что, преимуществами квантовых батарей являются:

- 1) быстрая отдача и накапливание энергии;
- 2) в их состав не входят химические элементы, которые приводят к возгоранию и следующему за ним взрыву данных батарей;
- 3) обладают значительно большей емкостью батареи, которая обеспечит работу любого смартфона в течение недели.

Литература

1. Научно-популярный блог Science Debate. Режим доступа: [<http://www.sciencedebate2008.com/sheet-like-quantum-battery.html>]. Дата доступа: [20.10.18].
2. Ежедневная лента новостей. Режим доступа: [<http://novostey.com/science/news190420.html>]. Дата доступа: [20.10.18].
3. Официальный сайт компании «Ноотехника». Режим доступа: [<https://www.noo.com.by/bloki-ekosvet.html>]. Дата доступа: [15.10.18]
4. Заметки электрика: всё об электрике. Режим доступа: [<http://zametkielectrika.ru/category/elektroprovodka/rozetki-i-vyklyuchateli/>]. Дата доступа: [17.10.18]
5. Гамазин С.И. Справочник по энергосбережению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий. / С.И. Гамазин, Б.И. Кудрин, С.А. Цырук, - М.: Издательский дом МЭИ, 2010, - 216 с.

УДК 621.3

Беспроводное зарядное устройство

Малюжанец Ж.А., Стрик Е.Б.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Много лет назад никто и не мог подумать, что общаться можно с помощью гаджетов и о существовании таких средств общения как телефон никто не знал. Но в современное время появление гаджетов подталкивает науку для создания новейших аксессуаров и технологии беспроводной передачи электрической энергии, что связано с огромным количеством потребителей, желающих получать энергию без проводов. Один из таких аксессуаров является беспроводная зарядка.

Беспроводная зарядка существует с конца 19 века, когда Никола Тесла продемонстрировал трансформатор, названный в честь самого ученого, или как её ещё называют магниторезонансная связь - способность передавать электричество по воздуху, создавая магнитное поле между двумя цепями.

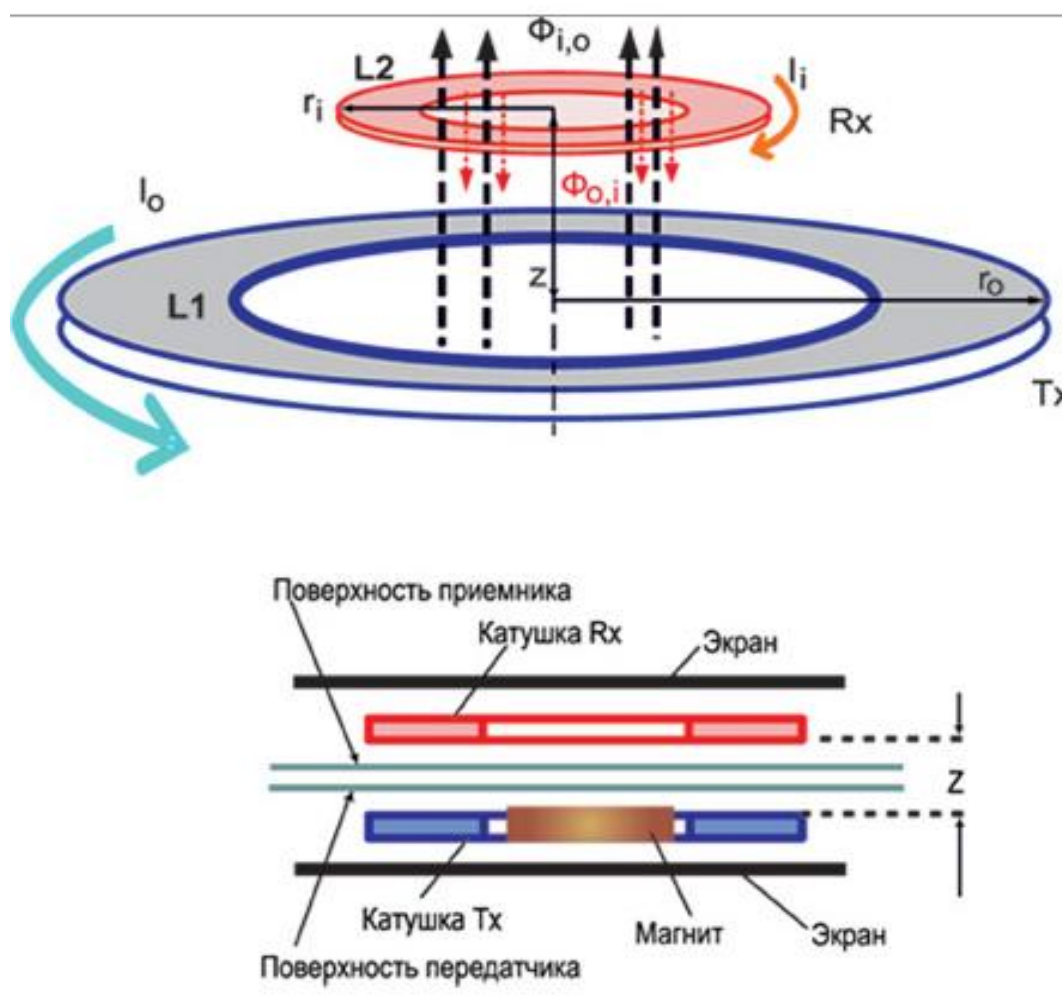


Рисунок 1 – Принцип действия беспроводных зарядных устройств

Основные методы беспроводной передачи электроэнергии: метод электромагнитной индукции, метод магниторезонансной индукции, метод электростатической индукции.

1. Метод электромагнитной индукции

Здесь используется электромагнитное поле. Благодаря явлению взаимной индукции, на первичные обмотки создается ток, который наведен на вторичную обмотку. Для того, что взаимодействие проходило эффективно, требуется близкое расположение обмоток, или иначе большая часть энергии поля тратится впустую. По описанию видно, что это

трансформатор. Действительно, так как обмотки не связаны между собой, поэтому электричество передается беспроводным способом (рис. 2).

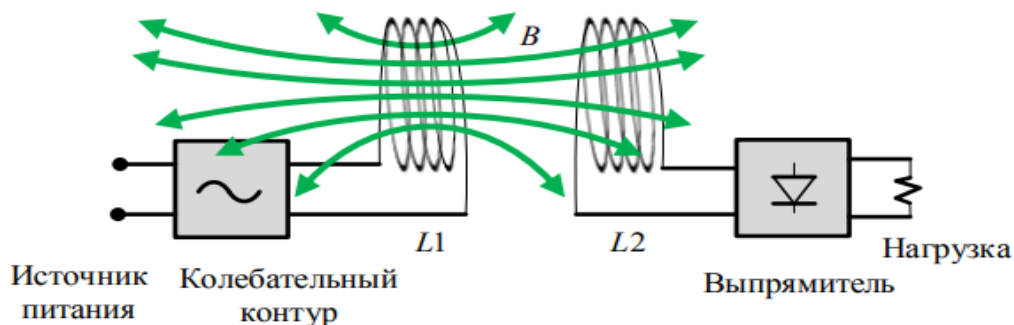


Рисунок 2 – Схема передачи энергии методом магнитной индукции

2. Метод магниторезонансной индукции

При использовании резонанса увеличивается дальность передачи энергии. Данный метод имеет одинаковую частоту, и поэтому амплитуды электромагнитных волн увеличиваются. В отличие от метода электромагнитной индукции, это приводит к эффективной передаче энергии (рис. 3).

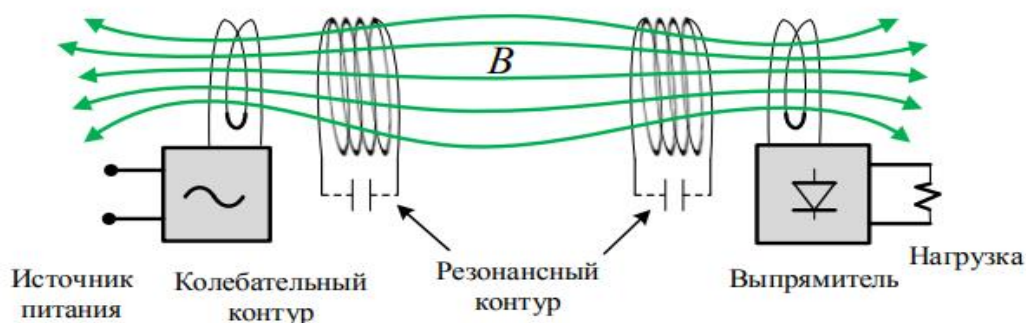


Рисунок 3 – Схема передачи энергии методом магниторезонансной индукции

3. Метод электростатической индукции

Метод основан на передаче небольшого количества энергии через диэлектрик. Емкость между двумя электродами и источником образует разность потенциалов. Впервые это явление продемонстрировал Тесла, передавая энергию переменного электрического поля, для беспроводного питания ламп накаливания (рис. 4).

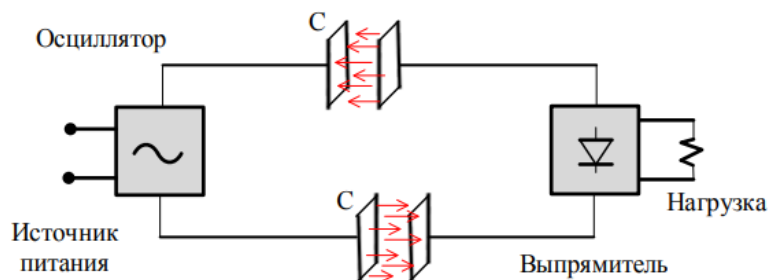


Рисунок 4 – Схема передачи энергии методом электростатической индукции

Разумеется, беспроводная зарядка не является действительно беспроводной, так как само беспроводное зарядное устройство должно быть подключено к сети и периодически подзаряжаться.

В конце, хотелось бы сказать о достоинствах и недостатках беспроводных зарядных устройств.

Достоинства:

- 1) отсутствие проводов, которые подключаются к гаджету;
- 2) возможность использовать несколько источников в здании.

К недостаткам можно отнести:

- 1) большее время зарядки, чем от блока питания;
- 2) большая стоимость материалов для установки.

Литература

1. Технология беспроводной зарядки. [Электронный ресурс] // Режим доступа: [<http://www.russianelectronics.ru>]. Дата доступа: [22.10.2018]
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Т. 2: Теория поля. – М.: Наука, 2001. – 533 с.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Алгоритм функционирования модели интеллектуальной нейронной сети

Астошонок В. С.

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

Мировые разработки в области искусственного интеллекта в электроэнергетике

Астошонок В. С., Пузиновский В. Д.

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

Охлаждение генераторов жидким гелием

Новик С. И.

Научный руководитель – ПОТАЧИЦ Я. В.

Установка междуфазных распорок как один из методов повышения электродинамической устойчивости гибких проводников

Федосевич Э. А.

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

Датчики сигналов частичных разрядов

Дрозд П. И., Баран Ю. Г.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Геоинформационная система определения места повреждения кабельных линий

Войтович А. В.

Научный руководитель – РОМАНОВИЧ С. М.

Алгоритмы измерения параметров в цифровых защитах

Жиркова К. Ю.

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

Методы оценки влажности изоляции

Волов Р. А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Кибербезопасность как обязательный элемент обеспечения функциональной надёжности в электроэнергетике

Плешко Д. Ю.

Научный руководитель – САПОЖНИКОВА А. Г.

Сопоставление результатов расчета переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К. И.

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

Геоинформационная система определения места повреждения воздушных линий

Войтович А. В.

Научный руководитель – РОМАНОВИЧ С. М.

Особенности работы РЗА в сетях с резистивно заземленной нейтралью

Лазаревич И. А.

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

Современные методы определения состояния трансформаторов в эксплуатации

Чернюк Д. В.

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

Системы автоматического контроля и сбора информации (SCADA)

Позняк Д. А.

Научный руководитель – АНДРУКЕВИЧ А. П.

Влияние продолжительности короткого замыкания на параметры электродинамической стойкости шинного пролета ОРУ 110 кВ с проводом 2×АС-500/64 без учета спусков к электрическим аппаратам

Баран А. Г., Васильева А. А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И., к.т.н., доцент
ПОНОМАРЕНКО Е. Г.

Установки мониторинга частичных разрядов трансформаторов

Позняк Д. О.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Элегазовые токопроводы

Михайлюк А. А.

Научный руководитель – ТЕТЕРИНА Л. В.

Промышленные сети в условиях возросших киберугроз

Плешко Д. Ю.

Научный руководитель – САПОЖНИКОВА А. Г.

Развитие ветроэнергетики в условиях Республики Беларусь

Курьянович С. Д.

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

Измерение напряжения с использованием делителей

Вашков В. В., Саковец П. Д., Зубрицкий Н. В.
Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Практические методы расчёта переходных процессов

Кудёлка В. В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЛЮК С. М.

Показатели качества изоляции

Ломец Ю. А.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Поверочные установки и их применение в энергетике

Грицкевич Д. В.
Научный руководитель – БАРАН А. Г.

Электродинамическая стойкость токоведущих конструкций с гибкими проводниками

Федосевич Э. А.
Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И.

Резистивно-заземленная нейтраль электрических сетей

Караник А. А.
Научный руководитель – к.т.н., доцент ГУБАНОВИЧ А. Г.

Методы контроля состояния изоляции

Ломец Ю. А.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Цифровая дифференциальная защита трансформатора

Брикун Г. А.
Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К. И.

Анализ электродинамической стойкости гибкой ошиновки с расщепленными проводами

Мазуров А. Ю.
Научный Руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И.

Внутренние короткие замыкания в силовых трансформаторах

Ломец Ю. А., Журкевич В. В.
Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Геоинформационные технологии

Сугаков А. Ю., Войтович А. В.
Научный руководитель – РОМАНОВИЧ С. М.

Установки мониторинга частичных разрядов кабельных систем

Никонович М. Ю.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Оптические трансформаторы тока

Алехнович А. С., Алехнович Д. С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

Анализ электродинамической стойкости гибких шин напряжения 110 кВ на крупных электростанциях Белоруссии

Буценко М. А.

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

Источники оперативного тока высоковольтных подстанций

Гулида В. Д.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А. Ю.

Цифровая дифференциальная защита трансформатора

Магер Н. С.

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

Программные комплексы для механического и электродинамического расчёта гибких проводников

Плешко Д. Ю., Федосевич Э.А.

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

Особенности современных типовых конструкций распределительных устройств в электрических станциях и подстанциях

Буравкин Д. О.

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

Методы синтеза цифровых частотных фильтров

Жиркова К. Ю.

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

Электромагнитная совместимость в электроэнергетике

Михалевич Н. А.

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

Анализ влияния междуфазных распорок на параметры электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств 330 кВ

Баран А. Г., Васильева А. А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И., к.т.н., доцент
ПОНОМАРЕНКО Е. Г.

Производство и выдача электрической энергии на ветряных электростанциях

Побегуц А. Д.

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

Математические модели однофазных трансформаторов

Позняк Д. А.

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

УДК 621.311

Алгоритм функционирования модели интеллектуальной нейронной сети

Астошонок В. С.

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

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой простейшие математические модели мозга. Математическая модель нейрона представляет собой суммирующий пороговый элемент. Входные сигналы искусственного нейрона умножаются на веса связей, суммируются и сравниваются с порогом. Пороговые суммирующие элементы объединяются в сеть.

Приведём алгоритм модели ИНС на рисунке 1.

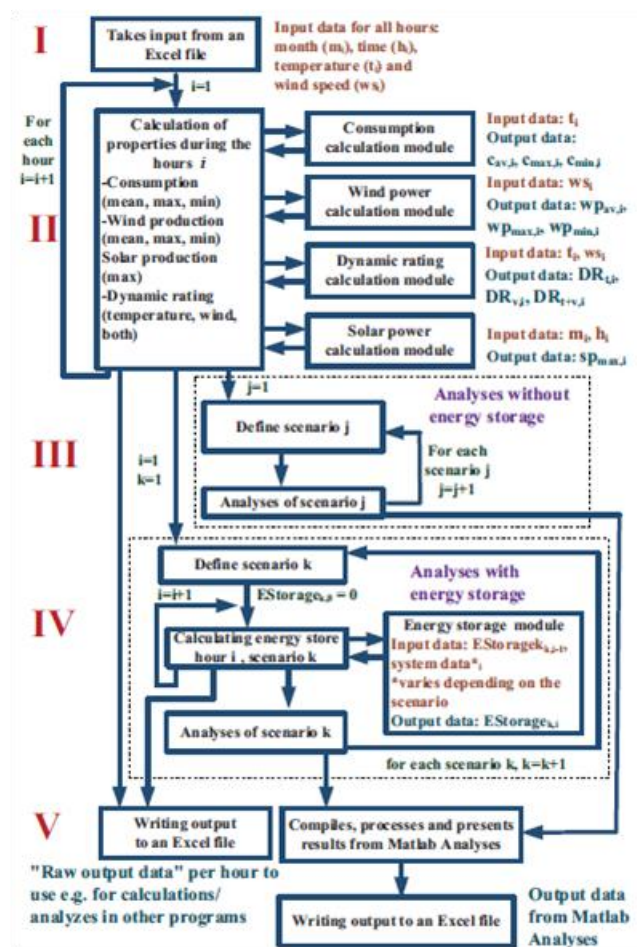


Рисунок 1 – Алгоритм функционирования модели

В первой части рисунка программа моделирования MatLab получает входные данные из файла Excel. В течение каждого часа вводятся следующие данные: месяц (1–12), время (1–24), температура [°] и скорость ветра [$m \cdot s^{-1}$]. Предела для количества записей нет.

Во второй части алгоритма происходят почасовые расчёты. Рассчитываются различные состояния погоды за каждый час, которые отправляются на входы в модули. Затем происходит расчёт параметров и на выходе получают результаты.

На третьем этапе выполняются аналитические действия с использованием большого количества исходных результатов, которые были получены на втором этапе. Определяются характеристики системы, производятся различного рода анализ результатов.

На четвёртом этапе производятся расчёты накопления энергии: как и на третьем этапе, определяются свойства системы, а также используются результаты второго этапа. Кроме того, используется модуль для хранения энергии.

Затем программа записывает полученные результаты в Excel.

В качестве входных данных используются метеорологические условия. Преимущества качественных метеорологических данных будут еще больше увеличиваться из-за возобновляемых источников энергии и концепций интеллектуальной сети. Существует тенденция к свободным и открытым публичным данным. В рамках ЕС Директива 2003/98/ЕС призывает к тому, чтобы общественная информация была бесплатной для повторного использования в максимально возможной степени.

Преимущество использования Smart Grid Gotland в качестве примера состоит в том, что это изолированная система питания с подходящим размером. Уже есть серьезные проблемы для возобновляемой распределенной генерации. Величина мощности ветра достигла верхнего предела, который можно использовать с новейшими технологиями и инфраструктурой.

Готланд соединен с материком через связь HVDC. И связь VSC (HVDC Light) также была построена для передачи большого количества энергии ветра из Губорга в район вокруг Висбю. В 2011 году общая установленная мощность ветроэнергетики составляла 170 МВт, а с нынешней технологией и инфраструктурой мощность энергосистемы должна составлять 195 МВт. В 2011 году производство электроэнергии составило 340 ГВт·ч, что составляет 38 % от потребления электроэнергии в Готланде. Тем не менее, производство энергии ветра и потребление электроэнергии неравномерно распределяются в течение года, что приводит к увеличению импортных и экспортных пиков.

На некоторые решения Smart Grid напрямую влияют параметры погоды. В то же время требования к мощности компонентов часто косвенно зависят от погоды. Поэтому полезно исследовать зависимость от использования энергосистемы. Отопление и кондиционирование воздуха являются примерами поведения человека, которые зависят от температуры наружного воздуха и влияют на потребление электроэнергии; в Швеции он даёт отрицательную корреляцию между температурой и потреблением. Примером может служить зависимость между производством энергии ветра и его скоростью, параметром погоды, который также влияет на динамическую мощность воздушных линий.

На рисунке 2 показано среднее значение потребления электроэнергии, энергии ветра и чистого импорта в зависимости от температуры.

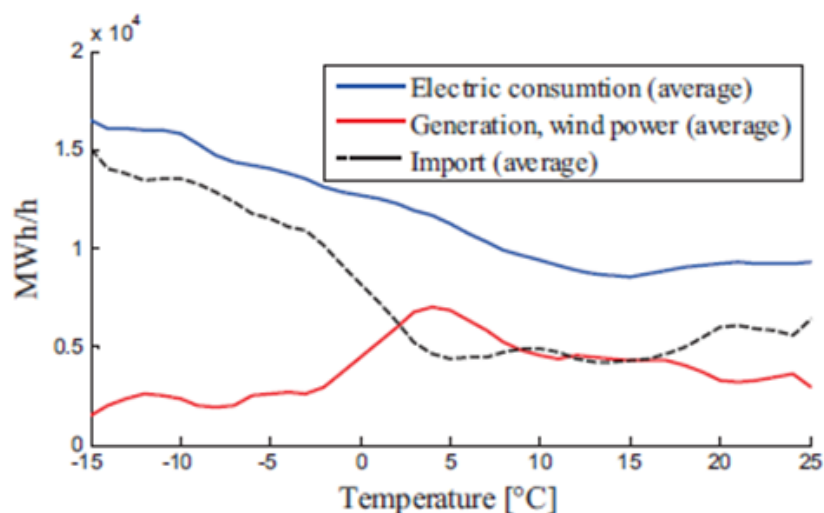


Рисунок 2 – Зависимость разных видов энергии от температуры

Зависимость выработки энергии ветра от температуры объясняется высоким давлением с малой скоростью ветра. Такая погода наблюдается при очень низкой температуре, либо при очень высокой. Более высокие скорости ветра в среднем наблюдаются весной и осенью.

Зависимость потребления электроэнергии от температуры сравнительно низкая и в среднем диапазоне температур она почти линейна.

Была разработана, обусловленная сильной корреляцией, модель для расчета, в зависимости от температуры, средних, максимальных и минимальных значений потребления электроэнергии. Когда дело доходит до потребления электроэнергии, маловероятно, что оно достигнет более 80 % от пикового значения при температуре свыше 0 °С, а летом она редко достигает больше 60 %.

На рисунке 3 представлена зависимость среднего расхода электроэнергии, производства и импорта энергии ветра от скорости ветра.

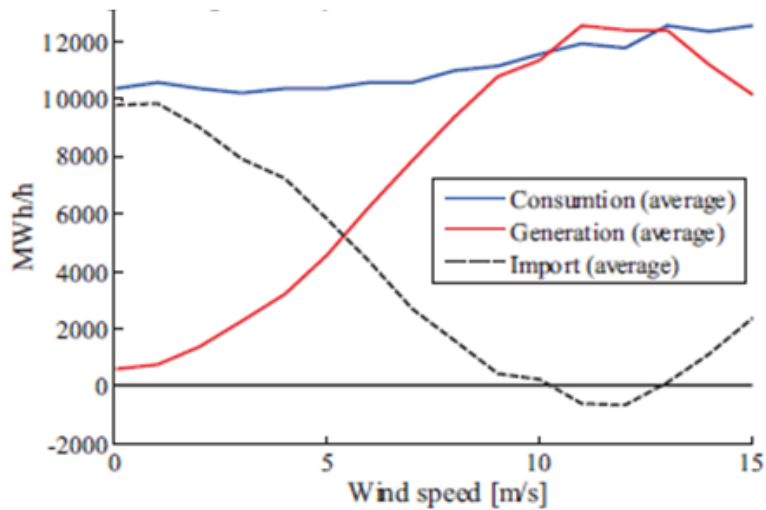


Рисунок 3 – Зависимость разных видов энергии от скорости ветра

Учёными разработана модель для расчета средних, максимальных и минимальных значений выработки энергии ветра в зависимости от скорости ветра. Разница между возможными экстремальными значениями выработки ветровой энергии высока по всем скоростям ветра. Это делает производство этого вида энергии менее предсказуемым, чем, например, потребление электроэнергии.

В таблице 1 приведены результаты анализа динамической оценки, где был исследован потенциал использования преимуществ идентифицированных корреляций погоды.

Таблица 1 – Передаваемая мощность динамической оценки

Параметры	Статический рейтинг – 100 %, максимум от параметров		
	расход, [%]	ветровая энергия, [%]	солнечная энергия, [%]
Температура	134,4	101,9	103,2
Скорость ветра	100,0	219,2	100,0
И то и другое	134,4	224,1	112,3

100 % соответствует лимиту передачи с классическим статическим рейтингом, т. е. постоянно имеет постоянный рейтинг, основанный на худшем случае.

Литература

1. Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Борисов, В. В. Круглов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2002. – 383 с.

2. Kumba, S. Artificial Intelligence for Energy Efficiency and Renewable Energy [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.techemergence.com/artificial-intelligence-for-energy-efficiency-and-renewable-energy>. – Date of access : 13.12.2017.
3. Travi, G. J. Implementation and evaluation of commonly used risk analysis methods applied to a regional power distribution system / J. G. Travi, C. J. Wallnerstrdm, P. Hilber. – Stockholm : CIRED, 2013. – 212 p.

УДК 621.311

Мировые разработки в области искусственного интеллекта в электроэнергетике

Астошонок В. С., Пузиновский В. Д.

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

Сектор возобновляемых источников энергии – это растущая экономическая сила и эффективная стратегия по улучшению экологической устойчивости. Искусственный интеллект находится на стадии интеграции, охватывающей основные подразделения данной отрасли, а также расширяет возможности анализа данных.

Переменный характер погоды создаёт определённые проблемы, которые могут привести к тому, что поставщики будут полагаться на традиционные источники энергии для удовлетворения потребностей потребителей. Таким образом, платформы прогнозирования энергии, ориентированные на ИИ, могут обещать предоставить поставщикам энергии данные, необходимые для реагирования на колебания, которые могут негативно повлиять на операции и соответствующим образом спланировать.

2015 год стал знаменательным годом для возобновляемых источников энергии, о чем свидетельствуют обязательства Группы G7 и G20 – организации, в которые входят все значимые страны мира – по ускорению внедрения и повышению общей эффективности использования энергии. Однако преодоление препятствий на пути широкого и ускоренного осуществления потребует постоянных доказательств выгод, особенно на экономической и политической аренах.

Платформы, которые могут точно определить экономию затрат и энергоэффективность для потребителей и компаний, окажутся ценными в ближайшей перспективе.

Основанная в Лондоне в 2010 году и приобретенная компанией Google в 2014 году, компания AI DeepMind Technologies Ltd. сократила объем энергии, необходимый для охлаждения центров обработки данных Google, на 40 %.

DeepMind сообщила об этих результатах в июле 2016 года, однако компания утверждает, что она начала применять машинное обучение за два года до повышения эффективности использования энергии. В частности, для управления системой нейронных сетей использовался набор сценариев и параметров центра обработки данных. Нейронная сеть «узнала», как функционировал центр обработки данных, и начала определять возможности для оптимизации.

Google утверждает, что данные были извлечены из тысяч датчиков, расположенных в центрах обработки данных. Собранная информация включала в себя температуру и потребление энергии. Эффективность использования энергии определяется как отношение «общего использования энергии здания к использованию искусственного интеллекта» и используется для обучения нейронных сетей. Модель PUE (power usage effectiveness) помогает обеспечить эффективность, поэтому, когда система нейронных сетей дает рекомендации, они не превышают рабочих ограничений [1].

На рисунке 1 показан средний день, когда модель была протестирована с использованием живых данных.

Так же этот рисунок указывает, когда были включены и выключены рекомендации по компьютерному обучению.

В центрах обработки данных Google размещены серверы, которые используют лучшие приложения Google, включая Gmail и Youtube, которые оценивают более миллиарда пользователей, что составляет примерно одну треть всех пользователей Интернета. По оценкам специалистов в 2016 году общие расходы компании достигли 10,9 млрд. долларов США, по сравнению с 9,9 млрд. долларов США в 2015 году.

В целях просвещения потребителей и облегчения доступа к технологиям использования возобновляемых источников энергии, PowerScout использует искусственный

интеллект для моделирования потенциальной экономии затрат на коммунальные услуги с использованием отраслевых данных.

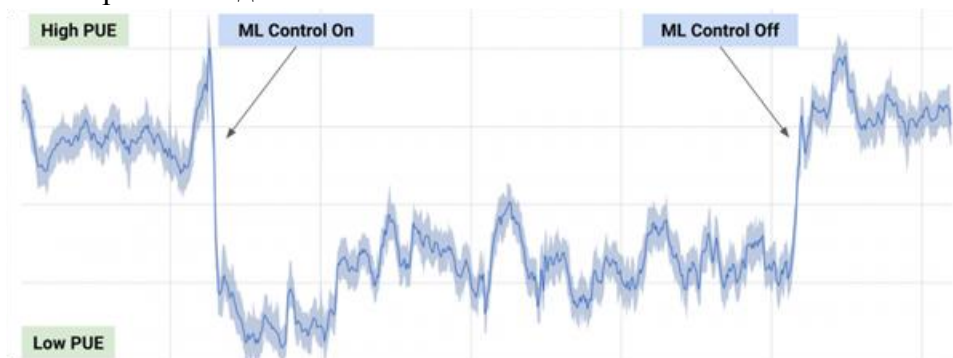


Рисунок 1 – Использование оперативных данных для обучения сетей

Компания использует аналитику данных для определения «проектов интеллектуального улучшения дома» на основе уникальных функций и использования энергии в доме клиента.

По сути, искусственный интеллект выступает в качестве советника на рынке, предоставляя рекомендации, помогающие клиентам принимать обоснованные решения относительно закупок технологий использования возобновляемых источников энергии для своих домов.

Команда разработчиков утверждает, что платформа коллективно контролирует установку солнечной энергии, примерно эквивалентную мощности 250 тыс. домов по состоянию на март 2017 года [1].

Vergo – домашний помощник, созданный лондонской компанией Green Running Ltd. Система, как сообщается, использует свою технологию для оказания помощи клиентам в управлении энергопотреблением в своих домах.

Vergo предоставляет данные об энергопотреблении на бытовую технику и анализирует затраты энергии на постоянной основе. Сообщается, что пользователи могут видеть информацию о том, как каждый прибор в их доме использует энергию, контролирует и регулирует свои энергетические затраты до того, как счета будут погашены.

Когда бытовой прибор включен, алгоритмы, управляющие помощником искусственного интеллекта, распознают шаблоны и могут автоматизировать текущие затраты энергии, которые генерирует элемент. У Vergo есть несколько функций безопасности, которые предоставляют уведомления, когда устройства остаются в течение продолжительных периодов времени, а также советы по сокращению выбросов углекислого газа в домашних хозяйствах. Приложение доступно для планшетов, ноутбуков и смартфонов.

Литература

1. Kumba, S. Artificial Intelligence for Energy Efficiency and Renewable Energy [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.techemergence.com/artificial-intelligence-for-energy-efficiency-and-renewable-energy>. – Date of access : 13.12.2017.

УДК 621.3

Охлаждение генераторов жидким гелием

Новик С. И.

Научный руководитель – ПОТАЧИЦ Я. В.

При работе генераторов происходит нагревание частей генератора, в результате чего наблюдается постепенный износ и старение изоляции. Поэтому необходим отвод тепла и охлаждение генераторов. Длительно допустимая температура частей генератора зависит от класса нагревостойкости изоляции. Например, для класса нагревостойкости изоляции «В» допустимая температура обмотки статора должна быть 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 такой 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.

Были созданы опытные криогенные турбогенераторы мощностью в несколько тысяч кВт. В ближайшие годы будет построен промышленный криогенный агрегат на 300 тыс. кВт, 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.
3. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа : 21.11.2018.

УДК 621.3

Установка междуфазных распорок как один из методов повышения электродинамической устойчивости гибких проводников

Федосевич Э. А.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Рассмотрим также ещё один пример выполнения междуфазной распорки для воздушных ЛЭП, схема которой приведена на рисунке 1.

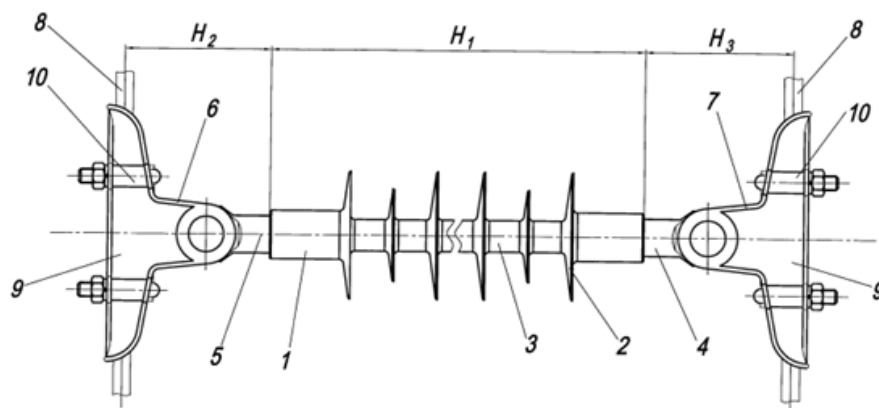


Рисунок 1 – Междуфазная дистанционная распорка воздушных ЛЭП напряжением 35–1150 кВ

Распорка состоит из изоляционного модуля (1), например, в виде стеклопластикового или композитного стержня или стеклопластиковой или композитной трубы. Модуль (1) с обеих сторон заканчивается, например, металлическими оконцевателями (4, 5), которыми крепится шарнирно в одной или нескольких плоскостях к присоединительным узлам крепления (6, 7) к проводам 8 воздушной линии электропередачи. Присоединительные узлы крепления (6, 7) имеют элементы, позволяющие регулировать их длину. Для обеспечения оптимальных электрических высоковольтных характеристик распорки отношение значений строительных длин длинного изоляционного модуля и присоединительных узлов может быть выбрано из определенного соотношения. Данная междуфазная распорка обеспечивает высокую эксплуатационную надежность, конструкционную и технологическую простоту производства.

Известна междуфазовая дистанционная распорка для фиксации проводов воздушной линии электропередачи, содержащая изолирующую тягу с оконцевателями на ее концах для закрепления проводов, выполненную составной из, по меньшей мере, двух элементов, соединенных между собой, при этом оконцеватели выполнены с продольными каналами, на внутренней поверхности одной из сторон которых выполнены шипы, а вторая сторона выполнена со сквозным отверстием со скосом и наклонным выступом.

Данная распорка предназначена для монтажа на линиях, находящихся под напряжением, что обусловило существенное усложнение конструктивного выполнения ее изолирующей тяги с оконцевателями. Распорки, монтируемые, как правило, на воздушных линиях электропередачи, не находящихся под напряжением, гораздо проще по конструкции и технологический процесс их изготовления существенно менее затратен и сложен.

Известна также внутрифазная изолирующая распорка, содержащая корпус, соединенный с шишечными зажимами для крепления составляющих расщепленного провода, каждый из которых снабжен опорной и нажимной плашками; при этом корпус выполнен в виде осевого стержня из диэлектрического материала и имеет трекингозащитные ребра, а плашечные зажимы жестко закреплены на корпусе, причем нажимная и опорные плашки соединяются при помощи болтового соединения.

В этой известной распорке не обеспечено оптимальное соотношение между значениями строительных длин узлов крепления к проводам воздушной линии к значениям строительных длин изоляционного корпуса, что чрезвычайно важно для достижения высоких электрических характеристик междуфазных дистанционных распорок, особенно, если они монтируются на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого и ультравысокого напряжений (свыше 330 кВ).

Данная междуфазная дистанционная распорка для ЛЭП напряжением 35–1150 кВ характеризуется простотой конструктивного исполнения, небольшими затратами при изготовлении, легкостью монтажа, надежностью в ходе эксплуатации, а также высокими электрическими (высоковольтными) характеристиками в широком диапазоне напряжений воздушных линий электропередачи (от высоких значений до ультравысоких). Вышеуказанный положительный технический результат был достигнут за счет новой совокупности существенных конструктивных признаков предложенной междуфазной дистанционной распорки воздушных линий напряжением 35–1150 кВ, представленной в нижеследующей формуле изобретения: «междуфазная дистанционная распорка воздушных линий электропередачи напряжением 35–1150 кВ, состоящая из длинного изоляционного модуля, представляющего собой стеклопластиковый или композитный стержень или стеклопластиковую или композитную трубу, и имеющего по наружной поверхности защитное покрытие из кремнийорганической гладкой резины или кремнийорганической резины с ребрами различной формы или чередующимися в различных последовательностях расположения участков гладких и ребристых, при этом вышеупомянутый длинный изоляционный модуль выполнен на своих концах, по меньшей мере, с двумя металлическими оконцевателями, глухо или шарнирно в одной или нескольких плоскостях закрепленными к присоединительным узлам крепления проводов воздушной линии, имеющим не регулируемые по длине или позволяющими регулировать их длину элементы, причем отношение значений строительных длин H_1 длинного изоляционного модуля к половине значений суммы строительных длин H_2 и H_3 присоединительных узлов крепления модуля к проводам воздушной линии $H_3/1/2(H_1 + H_2)$ выбирается в пределах 5–150; присоединительные узлы крепления длинного изоляционного модуля подсоединяются к расщепленным проводам воздушной линии электропередачи; присоединительные узлы крепления к проводам воздушной линии выполнены в виде плашек с крепежом; присоединительные узлы крепления к проводам воздушной линии выполнены в виде лодочек с крепежом».

Данная междуфазная дистанционная распорка для воздушных линий электропередачи напряжением 35–1150 кВ состоит из длинного изоляционного модуля 1. Модуль 1 – это может быть, например, стеклопластиковый или композитный стержень или стеклопластиковая или композитная труба, выполняемые с наружной поверхности с защитным покрытием из кремнийорганической гладкой резины или кремнийорганической резины с ребрами 2 различной формы или чередующимися в различных последовательностях расположения гладких и ребристых участков 3, 2.

Модуль 1 с обеих сторон заканчивается металлическими оконцевателями 4, 5, которыми крепится глухо или шарнирно в одной или нескольких плоскостях к присоединительным узлам крепления 6, 7 к проводам 8 воздушной линии электропередачи. Присоединительные узлы крепления 6, 7 могут иметь элементы постоянной (нерегулируемой) длины или эти элементы могут регулироваться по своей строительной длине. Для обеспечения оптимальных электрических высоковольтных характеристик распорки отношение значений строительных длин H_1 длинного изоляционного модуля 1 к половине значений суммы строительных длин H_2 и H_3 присоединительных узлов 6, 7 крепления модуля к проводам линии $H_3/1/2(H_1 + H_2)$ выбирается в пределах 5–150.

Присоединительные узлы крепления 6, 7 длинного изоляционного модуля 1 могут также подсоединяться непосредственно к расщепленным проводам воздушной линии электропередачи.

Присоединительные узлы крепления 6, 7 к проводам 8 воздушной линии выполняются в виде плашек с крепежом или в виде лодочек 9 с крепежом 10.

Монтируется заявляемая распорка стандартным широко распространенным способом с помощью телескопических вышек или со специальных тележек, передвигающихся по проводам воздушных линий электропередачи. Например, провода 8 вкладываются в желоба лодочек 9 и оконцеватели 4, 5 изоляционного модуля 1 крепятся посредством специального крепежа 10 к подвескам лодочек 9 с проводами 8 воздушной линии электропередачи.

Предлагаемая междуфазная дистанционная распорка воздушных линий электропередачи напряжением 35–1150 кВ отличается эксплуатационной надежностью, конструкционной и технологической простотой, низкой себестоимостью и высокими электрическими высоковольтными характеристиками; в ЗАО «МЗВА» налажено серийное производство таких распорок.

Литература

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

УДК 621.3

Датчики сигналов частичных разрядов

Дрозд П. И., Баран Ю. Г.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Серьезные дефекты изоляции обычно обнаруживаются на стадии приемо-сдаточных высоковольтных испытаний и испытаний на месте монтажа. Если оборудование прошло эти испытания, то необнаруженные (или не проявившиеся) при их проведении дефекты изоляции (которые практически всегда имеются), не приводят к полному пробоя изоляции в нормальных рабочих условиях. Однако, при дальнейшей эксплуатации оборудования, эти дефекты развиваются и растут. Их рост обусловлен появлением сравнительно небольших электрических разрядов в зоне повышенной напряженности поля вблизи дефекта, которые называют частичными разрядами (ЧР). Под действием ЧР начинается разрушение изоляции, размер дефектной области и интенсивность разрядов увеличиваются. По мере развития дефекта энерговыделение в его зоне растёт, и разрушение изоляции ускоряется за счет термических процессов. Увеличение дефектной области приводит к росту напряженности поля в оставшейся части изоляционного промежутка, и, когда дефектная зона достигает достаточно больших размеров, становится возможным сквозной пробой изоляции. Как правило, при отсутствии экстремальных воздействий (типа перенапряжений), процесс развития дефекта от зародышевой стадии до полного пробоя длится от нескольких месяцев до нескольких лет.

Таким образом, появление частичных разрядов свидетельствует о наличии дефекта изоляции, причем ЧР достигают обнаружимого уровня уже на самой ранней стадии развития дефекта. Измерение ЧР может проводиться в процессе нормальной работы оборудования без вывода его из эксплуатации и, при наличии устройств присоединения, даже без его кратковременного отключения.

Возникновение электрического разряда вызывает сигналы трех типов: электрического, электромагнитного и акустического. Первые два типа сигналов различаются несколько условно, т. к. электрический сигнал всегда сопровождается электромагнитным, и различие между ними скорее относится к методам регистрации – электрический сигнал измеряется в проводах, а электромагнитный сигнал регистрируется с помощью антенны.

Соответственно для регистрации ЧР можно использовать электрические (подключаемые к входным или выходным шинам оборудования или шинам его заземления через конденсатор связи или трансформатор тока), электромагнитные (радиоприемники с антенной наружной или внутренней установки) и акустические (внутренние или наружные) датчики.

Электрические датчики.

Наиболее чувствительными к сигналам ЧР являются электрические датчики, подключенные к высоковольтной шине контролируемого оборудования через конденсатор связи. Однако конденсатор связи имеет большие габариты и вес и практически не может использоваться при полевых работах. Поэтому электрические датчики обычно подключаются к ПИНам или измерительным выводам высоковольтных вводов (емкость которых используется как конденсатор связи) или к высокочастотным трансформаторам тока, надетым на провода заземления элементов высоковольтного оборудования имеющих емкостную связь с высоковольтной шиной.

Акустические датчики.

Обычно электрические датчики способны дать лишь очень грубую локализацию источника сигналов ЧР, основанную только на сравнении интенсивностей сигналов в различных точках оборудования, например, с точностью до объекта, ввода и т. д.

Локализация источника путем анализа временных задержек электрических сигналов требует весьма дорогостоящего оборудования и дает результаты только в распределенных системах с коаксиальной структурой, таких как элегазовые КРУ. Поэтому для локализации дефекта обычно используют акустические датчики, которые имеют значительно меньшую чувствительность, но, благодаря сравнительно низкой скорости распространения акустических сигналов (время прохождения звуковой волны значительно больше, чем длительность электрического импульса), позволяют провести довольно точную локализацию источника сигналов внутри объекта. При этом измеряется задержка момента прихода акустического импульса относительно электрического сигнала в нескольких точках оборудования и, на основании этого, вычисляется ориентировочное положение источника с учетом конструкции конкретного объекта. Акустические датчики практически не подвержены внешним помехам на силовом оборудовании подстанций (естественно, исключая двигатели и генераторы, контроль этого оборудования – отдельная тема).

Электромагнитные датчики.

Электромагнитные датчики регистрируют электромагнитные сигналы ЧР с помощью антенны. Этот метод является одним из самых первых и наиболее удобных методов регистрации ЧР, т. к. обеспечивает дистанционные измерения без подключения к объекту. Однако, в силу исторических причин, в них использовался сравнительно низкочастотный диапазон волн (до нескольких десятков мегагерц), который практически не позволял применять их в полевых условиях из-за высокого уровня электромагнитных помех, и невозможности создания малогабаритных узконаправленных антенн. В последние годы, в связи с переходом в диапазон частот от нескольких сотен мегагерц до нескольких гигагерц, они снова находят широкое применение. В этом диапазоне частот уровень помех значительно ниже и можно использовать антенны с высокой степенью направленности обеспечивающие локализацию источника сигналов с точностью до нескольких десятков сантиметров. Эти датчики наиболее чувствительны к дефектам в наружных частях оборудования (таких как вводы и изоляторы), сигналы от дефектов, расположенных внутри металлического бака сильно ослабляются.

Литература

1. Электрические сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://leg.co.ua/stati/podstancii/izmerenie-chastichnyh-razryadov-pri-kontrole-izolyacii-oborudovaniya.html>. – Дата доступа : 22.11.2018.
2. Системы мониторинга кабельных и воздушных линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dimrus.com/manuals/adm9.pdf>. – Дата доступа : 22.11.2018.
3. Системы мониторинга электрических машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://electronpribor.ru/files/products/mdr3uhf.pdf>. – Дата доступа : 22.11.2018.

УДК 621.316

**Геоинформационная система
определения места повреждения кабельных линий**

Войтович А. В.

Научный руководитель – РОМАНОВИЧ С. М.

Геоинформационная система определения места повреждения (ОМП) кабельных линий (КЛ) предназначена для оперативного определения участка распределительной сети 6–35 кВ, на котором произошло короткое или однофазное замыкание на землю (ОЗЗ).

Система предназначена для работы в распределительной сети с односторонним питанием. Ее структура приведена на рисунке 1. В состав системы входят (рисунок 2): индикаторы повреждения кабельных линий (ИПКЛ), выносные панели индикации, трансмиттеры и программный продукт топографического ОМП.

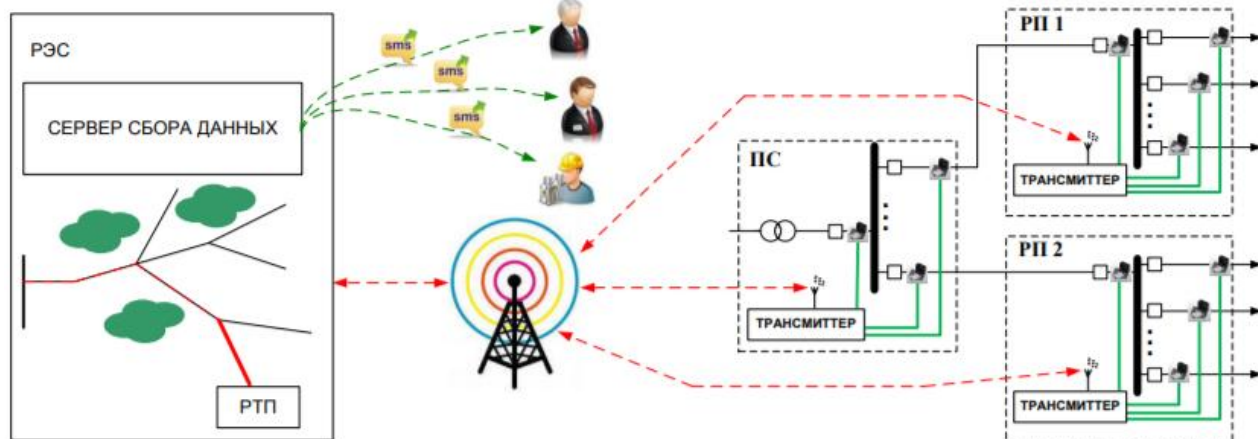
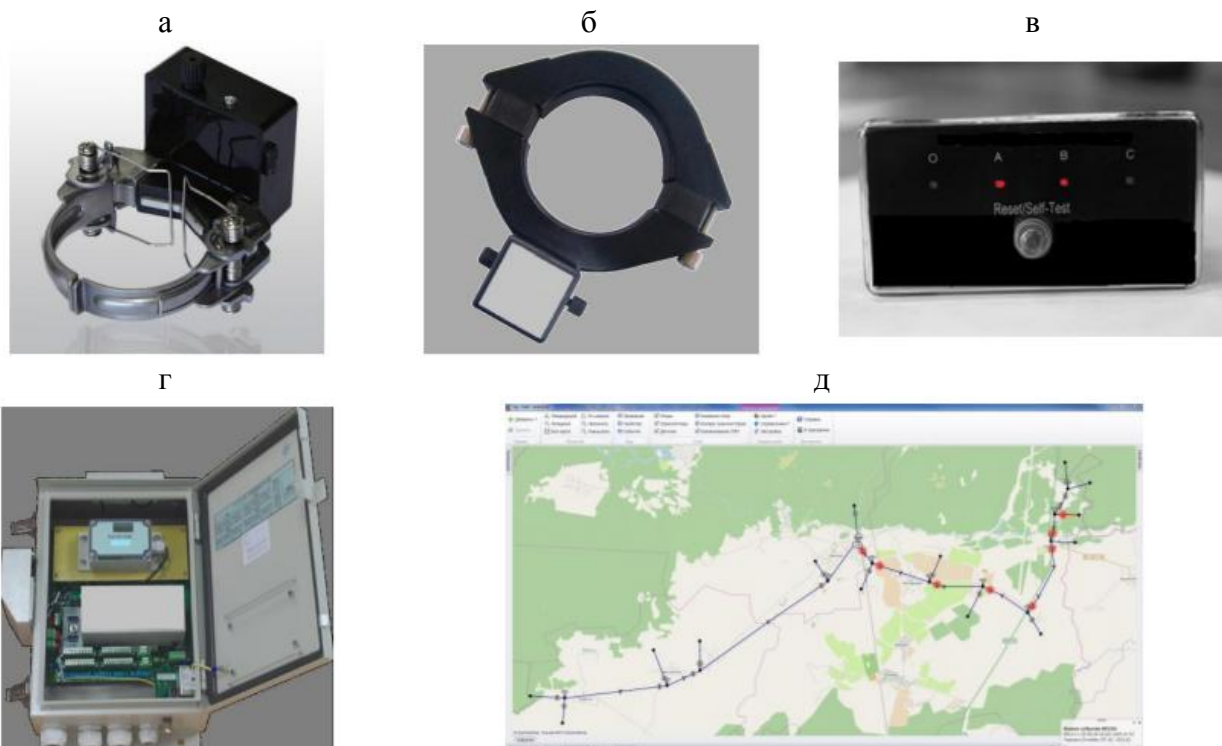


Рисунок 1 – Структура системы ОМП КЛ 6–35 кВ



а – ИПКЛ для детектирования КЗ; б – ИПКЛ для детектирования ОЗЗ; в – выносная панель индикации; г – трансмиттер; д – программное обеспечение топографического ОМП

Рисунок 2 – Элементы системы ОМП КЛ 6–35 кВ

Таблица 1 – Технические характеристики системы ОМП кабельной линии

	Описание	Параметр
Эксплуатация	Диапазон рабочих температур	от –35 до +70 °С
Параметры КЛ	Линейное напряжение	не более 35 кВ
	Режим работы линии	тупиковая / радиальная
	Минимальный нагрузочный ток	4 А
	Диаметр кабеля одножильного / трехжильного	8–65 мм / 100 мм
ИПКЛ для детектирования КЗ	Минимальный наброс тока при КЗ	120 А
	Максимально допустимый ток	35 кА / 4 с
	Индикация	1 светодиод
	Возврат	по времени / вручную / по току
	Время возврата	6 ч, 12 ч
	Общее время индикации	более 1000 ч
	Масса	0.7 кг
ИПКЛ для детектирования ОЗЗ	Порог срабатывания по току при металлический ОЗЗ	от 5 до 100 А
	Индикация	1 светодиод
	Возврат	по времени
	Время возврата	3 ч, 6 ч, 12 ч
Панель индикации	Индикация	4 светодиода
	Общее время индикации	более 1000 ч
	Возврат	по времени / вручную / по току
	Масса	0.32 кг
Трансмиттер	Размеры (д × ш × в)	436 × 260 × 135 мм
	Масса	8,0 кг
	GSM-модем	E-GSM
	Питание	~220 В

Для детектирования КЗ и ОЗЗ имеются различные типы индикаторов. ИПКЛ для распознавания КЗ (рисунок 2а) устанавливаются в ячейку КРУ на ПС/РП/РТП на кабельные муфты в трех фазах, а для детектирования ОЗЗ (рисунок 2б) непосредственно на кабель. Монтаж индикаторов может вестись без снятия напряжения при помощи установочного комплекта. Сигнал о срабатывании ИПКЛ передается по оптоволокну на выносную панель индикации (рисунок 2в), монтируемую на щите релейного отсека ячейки КРУ.

Для ретрансляции данных о срабатывании ИПКЛ на верхний уровень системы (диспетчерские пункты) используются трансмиттеры (рисунок 2г), которые монтируются в ЗРУ, КРУН в любом удобном для этого месте. Питание трансмиттеров осуществляется от сети переменного оперативного тока объекта напряжением 220 В. Один трансмиттер может получать информацию от 6 выносных панелей индикации. Получив информацию о факте срабатывания ИПКЛ, трансмиттер ретранслирует данные о повреждении в головной центр по GSM-каналу. Программа топографического ОМП (рисунок 2д) обрабатывает поступающую информацию, отображает поврежденный участок на карте и осуществляет

оперативное оповещение персонала посредством SMS и E-mail рассылки. По принципу действия ИПКЛ не срабатывает при набросах токов нагрузки, бросках тока намагничивания, внешних КЗ. В режиме КЗ на контролируемом участке фиксируется наброс тока более чем на 120 А с его последующим спадом до нуля (отключение повреждения). В свою очередь при внешнем КЗ происходит отключение поврежденного участка смежным выключателем, а по линии сохраняется протекание тока нагрузки, и по этой причине ИПКЛ не срабатывает.

Литература

1. Геоинформационная система ОМП ВЛ и КЛ 6–35 кВ (ГИС ОМП) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://relematika.ru/produkty/6-35_kv/geoinformatsionnaya_sistema_omp_vl_i_kl_6_35_kv_gis_omp/. – Дата доступа : 05.05.2018.

УДК 621.3

Алгоритмы измерения параметров в цифровых защитах

Жиркова К. Ю.

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

В релейной защите в последнее время произошли качественные изменения, вызванные широким использованием цифровой (микропроцессорной) техники. Указанное обусловлено, в первую очередь, существенными преимуществами релейной защиты на микропроцессорной основе по сравнению с электромеханической и электронной релейной защитой. Эти преимущества заключаются в следующем:

- повышении аппаратной надежности, уменьшении массы и габаритов устройств, благодаря существенному уменьшению числа используемых блоков и соединений;
- существенном повышении удобства обслуживания и возможности сокращения обслуживающего персонала;
- расширении и улучшении качества защитных функций (чувствительности, селективности, статической и динамической устойчивости функционирования);
- возможности непосредственной регистрации процессов и событий и анализа возникших в энергосистеме повреждений;
- принципиально новых возможностях управления защитой и передачи от нее информации на географически удаленные уровни управления;
- технологичности производства.

Принципы построения и алгоритмы, используемые в цифровой релейной защите, во многом отличаются от применяемых в электромеханических и электронных релейных защитах, ввиду существенно различающихся технической основы и способов обработки информации. Новые возможности цифровой обработки сигналов и обмена информацией позволяют реализовать целый ряд защитных функций, которые невозможно было осуществить ранее.

Дифференциальная защита является защитой с абсолютной селективностью и, тем самым, реагирует только на повреждения, возникающие в защищаемой зоне. Защищаемая зона определяется расположением измерительных трансформаторов тока. Таким образом, согласование данной защиты с другими смежными защитами производить не требуется, что позволяет защите действовать без выдержки времени. Исходя из этого, дифференциальную защиту можно применять в качестве основной быстродействующей защиты для всех важных элементов системы.

Под дифференциальными защитами с непосредственным сравнением токов понимаются защиты объектов (например, коротких линий, трансформаторов, генераторов, двигателей, реакторов), выполняемой на основе дифференциальной схемы соединения выходов трансформаторов тока на отдельных концах объекта. На рисунке 1 пояснен принцип дифференциальной защиты отдельных элементов объектов энергосистемы, основанный на измерении дифференциального тока в измерительном элементе D.

Принцип работы дифференциальной защиты достаточно прост, поскольку в его основе лежит сравнение токов. Однако, для того, чтобы исключить излишние срабатывания защиты необходимо выполнить правильный выбор измерительных трансформаторов тока. Но дифференциальная защита также должна устойчиво функционировать и при насыщении измерительных трансформаторов тока с целью снижения затрат на последние. Тем самым, определение возможной степени насыщения трансформаторов тока и обеспечение достаточного торможения при возникающих погрешностях также являются важными задачами, которые необходимо решить при реализации данного принципа защиты.

В современных цифровых устройствах защиты согласование и обработка измеряемых величин производится в цифровом виде. Тем самым, достигаются преимущества по сравнению с системами аналогового измерения. Цифровые фильтры и интеллектуальные

алгоритмы обеспечивают высокую точность измерений и гибкость задания параметров. Применение адаптивных алгоритмов измерения позволяет сократить времена срабатывания при внутренних повреждениях, исключить излишние срабатывания при внешних коротких замыканиях при насыщении измерительных трансформаторов тока, а также исключить ложные срабатывания при включении объекта под напряжение (например, при бросках тока намагничивания).

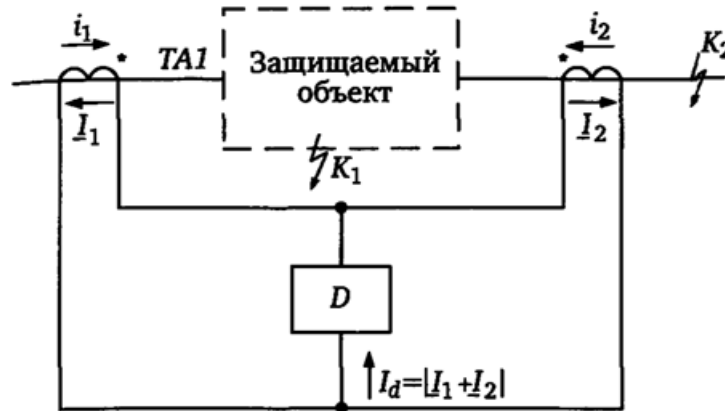


Рисунок 1 – Принцип действия дифференциальной защиты объекта с двумя группами трансформаторов тока

В данной работе были изучены основные алгоритмы измерения параметров в цифровых дифференциальных защитах. К ним относятся:

- алгоритм, основанный на сравнении мгновенных величин токов и напряжений;
- алгоритм вычисления средних и действующих значений сигналов;
- алгоритм, основанный на сравнении комплексных амплитуд измеряемых величин, для реализации которого широко используется математический аппарат дискретного преобразования Фурье.

Практически все реально существующие физические явления и процессы описываются аналоговыми сигналами. Аналоговый сигнал непрерывно изменяется во времени и может принимать любые значения в некотором диапазоне, определяемом природой физической величины. Дискретный (цифровой) сигнал может принимать лишь конечное множество значений и определен лишь для конкретных моментов времени.

Процесс перехода от аналогового сигнала к дискретному называется дискретизацией или квантованием сигнала, а устройства, выполняющие эту операцию, называются аналого-цифровыми преобразователями (АЦП). На рисунке 2 показан процесс цифровой обработки сигналов с применением АЦП.

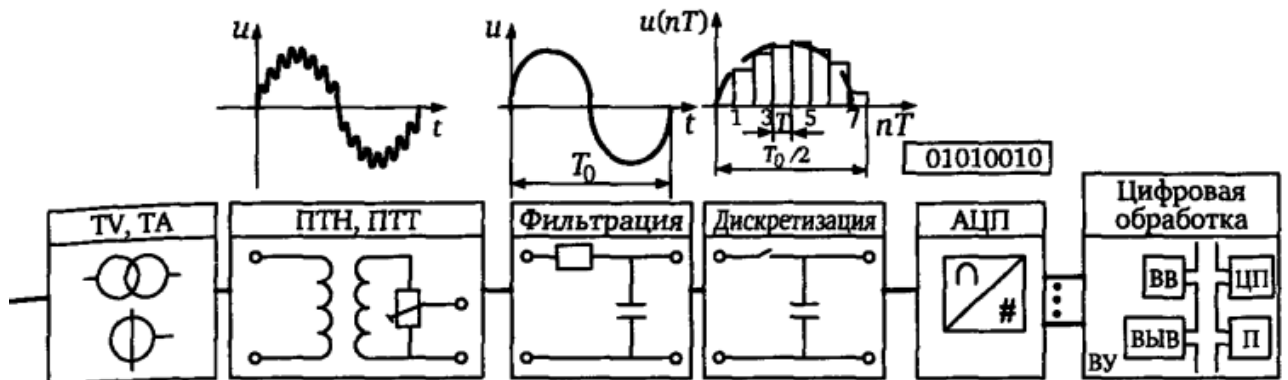


Рисунок 2 – Цифровая обработка сигналов

УДК 621.3

Методы оценки влажности изоляции

Волов Р. А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Увлажненность изоляции определяют для выяснения необходимости сушки гигроскопической изоляции электрических машин и трансформаторов. Методы определения степени увлажненности изоляции основываются на физических процессах, которые происходят в изоляции при приложении к ней напряжения.

Рассмотрим основные методы контроля влажности изоляции.

Метод определения увлажнения изоляции через коэффициент абсорбции.

Степень увлажнения изоляции характеризуется коэффициентом абсорбции $K_{\text{абс}}$. Если к диэлектрику приложить постоянное напряжение, то через изоляцию будет протекать ток $I = I_{\text{од}} + I_{\text{абс}} + I_{\text{п}}$. Появление тока абсорбции вызвано явлением дипольной поляризации, изменением диэлектрической проницаемости вещества. При постоянном напряжении он возникает только в начале действия напряжения и при изменениях напряжения, а при переменном он течет постоянно.

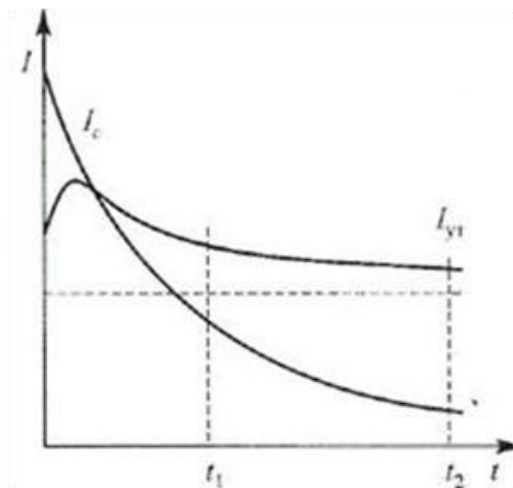


Рисунок 1 – Зависимость составляющих токов через изоляцию в функции времени

Первое измерение тока следует производить в самом начале процесса в момент времени t_1 (рисунок 1), т. к. быстро затухающие составляющие разрядного тока в основном характеризуют состояние изоляции в наиболее ослабленных местах, но не ранее окончания разряда геометрической емкости. Также через некоторое время делается замер в момент времени t_2 .

$$K_{\text{абс}} = \frac{I_{t_2}}{I_{t_1}}.$$

Изоляция считается сухой, если коэффициент абсорбции больше 1,3.

Метод контроля «емкость-частота».

Этот метод основан на том, что при изменении частоты действующего напряжения емкость сухой (неувлажненной) изоляции почти не изменяется, а в увлажненной изоляции процессы поляризации протекают достаточно быстро. Чем больше влажность изоляции, тем

больше относительная диэлектрическая проницаемость ($\epsilon_{\text{отн}} = 81$). Как известно из физики, емкость вещества определяется выражением:

$$C = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}.$$

Таким образом следует, что чем выше диэлектрическая проницаемость изоляции тем большая будет емкость данной изоляции. Для сухой изоляции емкость при частоте 2 Гц и 50 Гц приблизительно одинакова. Для увлажненной изоляции достаточно резко проявляется перепад емкости при частоте 2 Гц и 50 Гц.

Влажность изоляции в данном методе оценивается частотным коэффициентом, который определяется выражением:

$$K_f = \frac{C_{f1}}{C_{f2}},$$

где C_{f1} – емкость при меньшей частоте; C_{f2} – емкость при большей частоте.

Изоляция считается сухой, если частотный коэффициент меньше или равен 1,3.

Метод «емкость-температура» (зависимость емкости изоляции от температуры).

Этот метод основан на том, что с ростом температуры объемная проводимость изоляционных материалов увеличивается примерно по экспоненте. Соответственно возрастают диэлектрические потери и величина тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$. При нагреве проводимость растет тем сильнее, чем больше увлажнена изоляция (т. к. при этом увеличивается растворимость и степень диссоциации различных примесей во влаге). Поэтому если изоляция имеет увлажненный слой, то с ростом температуры различие в проводимостях слоев увеличивается и изоляция становится еще более неоднородной. Также увеличивается емкость абсорбции $C_{\text{абс}}$, а постоянная времени T снижается, т. к. сопротивление утечки слоев уменьшается. В результате увеличивается и эквивалентная емкость всей изоляции. Проще говоря, с ростом температуры проводимость увлажненного слоя увеличивается сильнее, чем неувлажненного. Большая часть приложенного напряжения приходится на неувлажненный слой и емкость изоляции возрастает.

Оценить степень увлажненности изоляции можно по зависимости емкости изоляции от температуры. Опытным путем установлено, что увеличение емкости на 30–49 % при повышении температуры от 20 до 70 °С является признаком недопустимо сильного увлажнения изоляции.

Влажность изоляции в данном методе оценивается температурным коэффициентом, который определяется выражением:

$$K_t = \frac{C_{70}}{C_{20}},$$

где C_{70} – емкость испытуемого материала при температуре 70 °С; C_{20} – емкость испытуемого материала при температуре 20 °С.

Изоляция считается сухой, если температурный коэффициент больше или равен 1,3.

Метод «емкость-время».

Этот метод основан на раздельном измерении геометрической емкости $C_{\bar{A}}$ и абсорбционной емкости $C_{\text{абс}}$.

Влажность изоляции в данном методе оценивается коэффициентом отношения емкостей, который определяется выражением:

$$K_t = \frac{C_{\text{абс}}}{C_{\bar{A}}}.$$

Коэффициент отношения емкостей K_t увеличивается с увеличением увлажнения изоляции.

Литература

1. Веников, В. А. Электрические системы / В. А. Веников. – М. : Высш. школа, 1971. – 215 с.
2. Холодный, С. Д. Методы испытания и диагностики кабелей и проводов / С. Д. Холодный. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 200 с.
3. Казарновский Д. М. Испытание электроизоляционных материалов и изделий / Д. М. Казарновский. – Л. : Энергия, 1980. – 216 с.
4. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины / А. В. Иванов-Смоленский. – М. : Энергия, 1980. – 928 с.

УДК 621.3

Кибербезопасность как обязательный элемент обеспечения функциональной надёжности в электроэнергетике

Плешко Д. Ю.

Научный руководитель – САПОЖНИКОВА А. Г.

Энергетика является сама по себе критической инфраструктурой с одной стороны, а с другой стороны любая другая инфраструктура имеющая статус критической в той или иной мере, сегодня, зависит от нее напрямую. Например, электротранспортная, социальная инфраструктура, вода, газ, теплоснабжение и многое другое. Уровень надежности работы всех перечисленных инфраструктур напрямую зависит от уровня надежности работы электроэнергетической компании.

Понятие «надежности» в электроэнергетике всегда было на первом месте. Это отражалось во всех документах, проектах и технических решениях. Каждый новый шаг на пути технического прогресса переосмыслился с точки зрения сохранения (повышения) уровня надежности и только после этого находил применение в отраслевых стандартах и типовых проектных решениях. Она же послужила причиной появления первых интеллектуальных устройств и автоматизированных систем управления на объектах энергетики. Но затем количество таких устройств и систем начало резко расти, постепенно заменяя собой все вторичное оборудование.

Автоматизированные системы диспетчерского и технологического управления, цифровые терминалы защит, противоаварийная автоматика стали неотъемлемой частью любого современного предприятия. Корпорации, используя возможности современного оборудования, стремятся вынести управляющий контур на уровень центров диспетчеризации, контролирующие организации собирать информацию, в реальном времени, с возможно большего количества технологических объектов напрямую. В результате возникает сложная распределенная система информационных потоков. В ряде случаев данные потоки становятся доступны в бизнес-сегментах сетей, имеющих доступ к Интернету, а иногда даже в публичных сетях.

С точки зрения персонала, ответственного за эксплуатацию технологического объекта, все в порядке, им необходимо выполнять свои функции по поддержанию надежности производственных процессов, извещать ответственных лиц по электронной почте о соответствующих событиях в технологическом контуре управления, предоставлять информацию внешним контролирующим компаниям, взаимодействовать с внутренним и внешним ремонтным персоналом и т. д.

С точки зрения ИТ-служб тоже все в порядке, инфраструктура работает, данные предоставляются в установленные сроки, пользователи обеспечены всей необходимой им информацией. С другой стороны, специалисты по информационной безопасности, рассказывают о трагических и не очень происшествиях, которые повлекли за собой или создали угрозу техногенных аварий и финансовых потерь, как прямых, так и косвенных. Так насколько реальны те угрозы, рассказами о которых наводнен Интернет и другие СМИ? Снимаются фильмы, проводятся семинары, конференции, в видео-сервисе «Youtube» подробно рассказывают, как вскрыть тот или иной технологический протокол или контроллер. Но это тоже еще не все.

К проблемам может привести даже не злонамеренная атака или воздействие, а просто «человеческий» фактор, когда из-за недостатка квалификации или сложности интерфейса оператор вводит некорректный параметр или меняет текущую конфигурацию.

Эффективность, удобство, безопасность сегодня, к сожалению, чаще всего реализованы только два из трех перечисленных свойств, а это снижает надежность технологического процесса в целом. Проблема возникла не вчера и была обусловлена предысторией развития архитектуры автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Исторически промышленные сети строились на специализированных протоколах обособленно от остального информационного пространства. Проникновение в эту область IP-устройств, незаметно привело к тому, что обособленность исчезла, а принципы построения и архитектура не изменились.

Информатизация общества и технологий, в том числе и в энергетике, идет такими быстрыми темпами, что времени на подготовку и анализ всех изменений и потенциальных угроз просто не остается. Сам по себе технологический процесс претерпел минимальные изменения, современные средства позволяют увеличить динамику и скорость реакции, учесть дополнительные влияющие факторы, повысить КПД. С другой стороны, возросла вероятность появления ошибок, как прямых, так и косвенных в работе устройств и как следствие рост вероятности не технологических отказов.

Прямая ошибка – это ошибка в алгоритме работы устройства, в части его базовой функциональности. Такие ошибки должны выявляться еще на уровне заводских испытаний оборудования, но усложнение программных алгоритмов приводит к тому, что в процессе испытаний ошибка может себя не проявлять, а в рамках эксплуатации в реальных условиях – отработать.

Причиной такой ошибки может быть неточность при разработке устройства, при его настройке или в результате внешнего воздействия на устройство уже в процессе эксплуатации. Косвенная ошибка – это ошибка, возникающая не в самом устройстве управления, а на внешних устройствах, что приводит к искажению, поступающей информации (например, измерительной). В результате логика устройства управления будет работать как положено, но самому техпроцессу может быть нанесен непоправимый вред. Не технологическими отказами принято считать отказы (аварии), произошедшие из-за ошибок в работе интеллектуальных устройств и программного обеспечения.

Бытует распространенное мнение, ну раз это так опасно, вернемся к электромеханическим защитам и на этом остановимся. Все это напоминает, как десять лет назад все были уверены, что если сеть, в которой работает АСУ ТП изолировать от внешнего мира, то это решит все проблемы и информационной безопасностью можно не заниматься. Сейчас, пришло понимание, что интеллектуальное устройство уязвимо вне зависимости от того находится оно в изолированной сети или нет.

Новые технологии и сервисы (возобновляемая энергетика, электромобили, мощные накопители и т. д.) требуют от энергетиков нового качества услуг, обеспечить их, используя морально устаревшие технологии управления невозможно, так же, как и остановить прогресс. Остается тщательно прорабатывать концепцию обеспечения технического процесса в новых условиях, строить новое дерево отказов, учитывающее особенности работы программного обеспечения, закладывать элементы информационной безопасности уже на стадии проектирования. Вносить изменения в требования по эксплуатации, менять процедуры метрологического контроля. То есть в ближайшем будущем изменения должны коснуться всех процессов, связанных с эксплуатацией, контролем и управлением технологическими процессами в энергетике.

Подходы при решении задачи повышения надежности критической информационной инфраструктуры для существующих, и вновь строящихся (проектируемых) технологических объектов существенно различаются. Внести изменения в действующую архитектуру автоматизированных систем управления технологическими процессами, практически невозможно. Поэтому здесь широкое применение находят неинвазивные решения, которые гарантированно не могут повлиять или исказить существующие информационные потоки. Для строящихся (проектируемых) объектов, в свою очередь, безопасность критической информационной инфраструктуры должна гарантироваться на уровне проектных решений и обеспечивать требуемый уровень надежности объекта в целом.

Чтобы дойти до цели, необходимо сделать первый шаг. Таким шагом могло бы стать, если брать в качестве примера Российскую Федерацию, внесение изменений в

Постановление Правительства от 28 октября 2009 г. № 846 «Об утверждении Правил расследования причин аварий в электроэнергетике». В этом постановлении приведена процедура организации расследования аварий. Вопросы информационной безопасности, как одной из вероятных причин аварии не рассматриваются, и соответствующие эксперты не привлекаются. Таким образом, если реальной причиной аварии стала ошибка в работе средств вычислительной техники, объективно установить это практически невозможно. Выход предлагается простой, данное Постановление уже пережило множество редакций, однако достаточно внести изменения в ряд пунктов, и ситуация коренным образом меняется.

Если при расследовании аварий надо будет привлекать в комиссию экспертов по безопасности критических информационных инфраструктур, то они должны быть подготовлены и знакомы с работой оборудования и систем на производственных объектах. Раз состояние информационных систем, наравне с прочими эксплуатационными характеристиками станет влиять на результаты проводимого расследования, то появится необходимость в специальных эксплуатационных регламентах, предусматривающих мониторинг (в автоматизированном или ручном режиме) оборудования и систем.

Проведение периодических испытаний и контрольных проверок, как самого оборудования, так и каналов передачи данных, включая каналобразующую аппаратуру. Реализация подобных мер, повлечет за собой необходимость повышения квалификации эксплуатационного персонала и как следствие повысит культуру эксплуатации производственных объектов в целом.

Уже сегодня многие Российские корпорации и холдинги требуют включать в технические задания и проектную документацию на системы технологического управления производственными процессами разделы по информационной безопасности. Но, к сожалению, формальные требования не приводят к решению проблем, так как обычно они не учитывают специфику конкретного производственного процесса.

Системный подход к вопросам безопасности критически важных информационных инфраструктур требует учитывать эти вопросы уже на стадии формирования требований к архитектуре АСУ ТП, выбора технических средств и методов реализации процессов управления. Частная модель угроз для каждой системы в составе критически важных информационных инфраструктур должна учитывать вероятности функциональных отказов и их влияние на уровень надежности технологических процессов в целом.

Архитектура телекоммуникационной системы, обеспечивающей работу критической информационной инфраструктуры должна предоставлять необходимые информационные каналы для АСУ ТП, РЗА и систем мониторинга, при этом гарантировать невозможность использования данной логической телекоммуникационной инфраструктуры для других целей, как в санкционированном, так и в несанкционированном режимах. Измерительные датчики должны хранить первичную информацию, определенный период времени и обеспечивать возможность трассировки алгоритмов формирования косвенных измерений.

Для технологических процессов определенного уровня стоит предусматривать независимый мониторинг работоспособности самих интеллектуальных устройств и сети передачи данных., что позволит выявлять на ранних стадиях попытки несанкционированных подключений, не предусмотренные проектом, контролировать взаимодействие контроллеров по IP-сети, как между собой, так и с внешними адресатами, определять ошибки как на самих контроллерах, или так и их работу не в соответствии с утвержденной нормативно-технической документацией.

Это далеко не полный перечень мер, которые могут быть направлены на повышение предсказуемости работы информационных систем и программно-аппаратных комплексов в критических информационных инфраструктурах. Их грамотное сочетание и применение позволит гарантировать не только сохранение надежности технологического процесса на прежнем уровне, но и в ряде случаев позволит его значительно повысить.

Актуальность задачи систематизации работы по обеспечению безопасности критически важных информационных инфраструктур уже ни у кого не вызывает вопросов. Необходимо начать планомерное построение реальной модели угроз и выработку комплекса мер (методических, организационных, технологических и информационных) по защите критически важных объектов от умышленных и непредумышленных кибератак.

Такая работа в первую очередь будет интересна самим технологам, так как позволит навести порядок с действующими решениями, выявить слабые места, и обосновать развитие современных систем управления. Руководители смогут более эффективно использовать инструменты управления рисками компаний.

Государство решит социальную задачу, в части улучшения качества оказываемых услуг населению и задачу повышения энергобезопасности страны в целом.

Литература

1. Шаньгин, В. Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях / В. Ф. Шаньгин. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 592 с.
2. Добротун Е. Б. Построение модели угроз безопасности информации в автоматизированной системе управления критически важными объектами на основе сценариев действия нарушителя / Е. Б. Добротун. – М. : Инсайд, 2016. – 42 с.

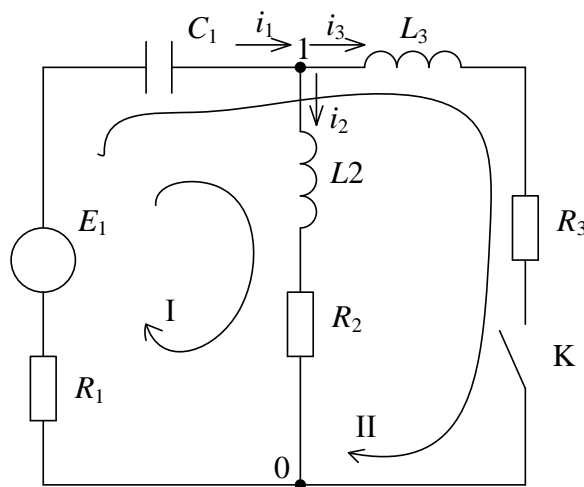
УДК 621.3

Сопоставление результатов расчета переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К. И.

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

Поставлена задача построить и реализовать численным методом модель переходного режима, который возникает после замыкания ключа К в схеме, представленной на рисунке 1. Построить осциллограмму токов и напряжений схемы в переходном режиме. Выполнить расчет доаварийного и послеаварийного режимов для расчета начальных условий и проверки результатов моделирования переходного режима.



Исходные данные:

- $C_1 = 50 \text{ мкФ};$
- $L_2 = 0.4 \text{ Гн};$
- $L_3 = 0.4 \text{ Гн};$
- $R_1 = 20 \text{ Ом};$
- $R_2 = 30 \text{ Ом};$
- $R_3 = 50 \text{ Ом};$
- $E_1 = E_M \sin(\omega t + \varphi);$
- $E_M = 140 \text{ В};$
- $\omega = 314 \text{ рад/с};$
- $\varphi = 80^\circ.$

Рисунок 1 – Расчетная схема переходного процесса

Смоделируем расчетную схему (рисунок 1) в MatLab Simulink и получим динамическую модель, представленную на рисунке 2.

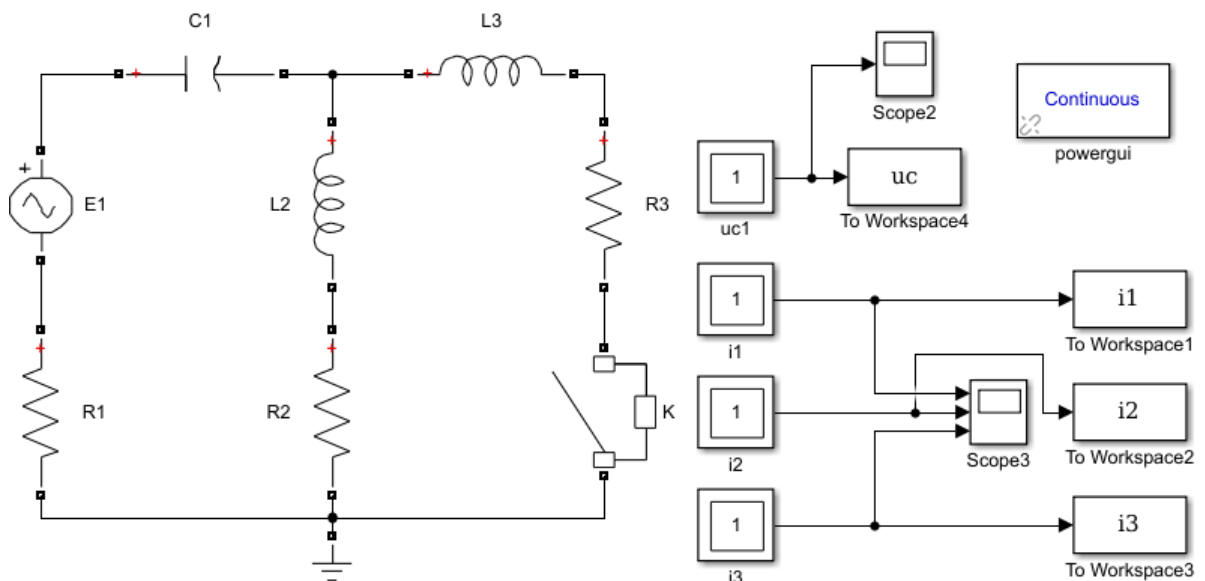


Рисунок 2 – Модель исследуемой схемы в Simulink

Переходный процесс возникает в схеме после замыкания ключа К. После замыкания ключа К в схеме, получается три ветви, два линейно независимых узла и два линейно независимых контура. Первый контур проходит через ветви 1 и 2, а другой – через ветви 2 и 3 в направлении хода часовой стрелки. Запишем систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа для схемы после замыкания ключа. Так как уравнения Кирхгофа записываются относительно неизвестных токов в ветвях схемы, то количество уравнений соответствует числу ветвей схемы и равно трем. По первому закону Кирхгофа запишем одно уравнение, а по второму – два

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_3 &= 0, \\ U_{C1} + I_2 R_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt} + I_1 R_1 &= E_1, \\ U_{C1} + I_3 R_3 + L_3 \frac{dI_3}{dt} + I_1 R_1 &= E_1. \end{aligned}$$

В качестве переменных состояний должны быть выбраны токи I_2 , I_3 и напряжение U_{C1} , потому что после замыкания ключа К в схеме имеется три реактивных элемента. Значит, система должна содержать 3 дифференциальных уравнения для переменных I_2 , I_3 и U_{C1} . Чтобы система стала замкнутой, дополним ее еще одним уравнением:

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_3 &= 0, \\ U_{C1} + I_2 R_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt} + I_1 R_1 &= E_1, \\ U_{C1} + I_3 R_3 + L_3 \frac{dI_3}{dt} + I_1 R_1 &= E_1, \\ I_1 &= C_1 \frac{dU_{C1}}{dt}. \end{aligned}$$

Приведем уравнения системы к форме Каши:

$$\begin{aligned} \frac{dI_2}{dt} &= \frac{E_1 - U_{C1} - I_2 R_2 - (I_2 + I_3) R_1}{L_2}, \\ \frac{dI_3}{dt} &= \frac{E_1 - U_{C1} - I_3 R_3 - (I_2 + I_3) R_1}{L_3}, \\ \frac{dU_{C1}}{dt} &= \frac{I_2 + I_3}{C_1}. \end{aligned}$$

Для определения начальных условий рассмотрим доаварийный режим. Согласно законам коммутации ток в катушке индуктивности и напряжение на конденсаторе не могут изменяться скачком. В доаварийном режиме ветвь 3 отключена, поэтому начальным значением тока I_3 будет ноль. Ток I_2 в доаварийном режиме будет равен току I_1 . Для определения I_1 составим уравнение по первому закону Кирхгофа для полной цепи, а напряжение на конденсаторе найдем как произведение тока I_1 и емкостного сопротивления конденсатора C_1 .

$$\begin{aligned} E_1 &= I_1 \left[j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_1} \right) + R_1 + R_2 \right], \\ I_1 &= \frac{E_1}{j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_1} \right) + R_1 + R_2} = 1,539 + 0,849j = 1,758 e^{j28,884^\circ} \text{ А}, \\ U_{C1} &= I_1 \frac{j}{\omega C_1} = 54,05 - 97,977j = 111,897 e^{-j61,116^\circ} \text{ В}. \end{aligned}$$

При исследовании схемы в MatLab, используя блок Powergui, получим значения токов и напряжений в докоммутиционный период (рисунке 3).

```
STATES:
      1: 'I1 L2' =          1.76 A    28.89 °
      2: 'I1 L3' =          0.00 A    105.45 °
      3: 'Uc C1' =        111.89 V    -61.10 °

MEASUREMENTS:
      1: 'I I1' =          1.76 A    28.90 °
      2: 'I I3' =          0.00 A    105.45 °
      3: 'I I2' =          1.76 A    28.89 °

SOURCES:
      1: 'U E1' =        140.00 V    80.00 °
```

Рисунок 3 – Значения токов и напряжений в докоммутиционный период в MatLab

Согласно положений Теоретических основ электротехники, мгновенным значением векторной величины принято считать проекцию тока на кажущуюся комплексную плоскость в заданный момент времени. Поэтому в качестве начальных значений необходимо взять значения реактивных составляющих векторов I_2 и U_{C1} для момента времени $t = 0$.

Зная начальные условия, можно приступить к решению системы дифференциальных уравнений. Для решения системы дифференциальных уравнений воспользуемся компьютерной программой DIFEIL, в которой реализован численный метод Эйлера (лабораторная работа «Методы решения обычных дифференциальных уравнений» дисциплины Математические задачи энергетики). Предварительно необходимо выполнить адаптацию компьютерной программы для расчета решаемой системы, которая заключается в следующем:

- написать новую подпрограмму PRAV для вычисления правых частей системы;
- включить в программу PRAV формулы для расчета нужных токов и напряжений.

Ниже приведен откорректированный код подпрограммы PRAV:

```
Subroutine PRAV(x, y, f)
Dimension y(*), f(*)
f(1)=140.*sin(314.*x+1.369)/0.4-y(3)/0.4-(y(1)
*+y(2))*20./0.4-y(1)*30./0.4
f(2)=140.*sin(314.*x+1.369)/0.4-y(3)/0.4-(y(1)
*+y(2))*20./0.4-y(2)*50./0.4
f(3)=(y(1)+y(2))/0.00005
Return
End
```

Файл исходных данных имеет вид:

```
3 20 0. 0.1 0.00001
0.849 0. -97.977
```

После проведения расчетов с помощью Fortran-программы, проведем расчет переходного процесса в MatLab Simulink, воспользовавшись в качестве расчетного наиболее распространенный методом ode45. Результаты моделирования выведем в файл для дальнейшего сопоставления способов расчета в MathCAD.

Так же в MathCAD произведем расчет дифференциальных уравнений и соотнесем выведенные значения токов на индуктивностях и напряжения на конденсаторе и временем после начала переходного процесса на соответствующих осциллограммах (рисунок 4–6).

После прекращения переходного режима в электрической схеме устанавливается установившийся послеаварийный режим. Это можно использовать для проверки правильности числового решения дифференциальных уравнений. Для этого необходимо рассчитать одним из методов установившийся послеаварийный режим и сравнить полученные комплексные значения параметров с мгновенными значениями соответствующих параметров, которые получены в результате решения дифференциальных уравнений.

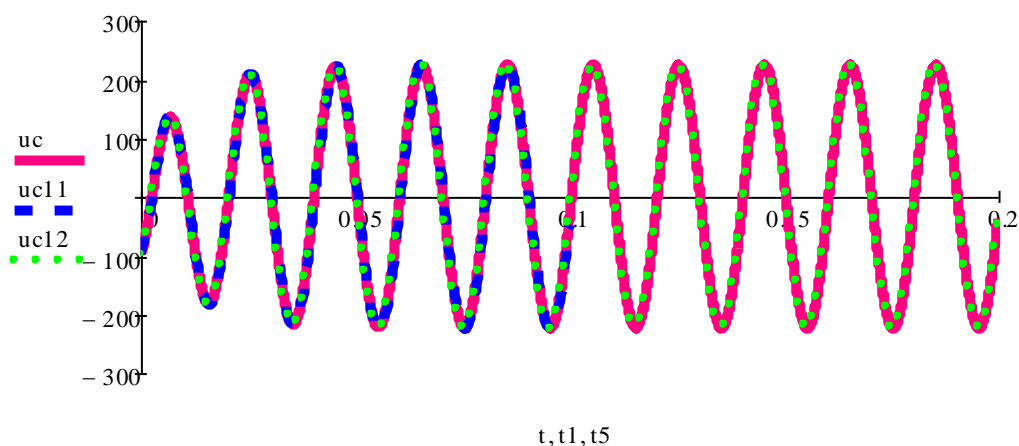


Рисунок 4 – Осциллограмма мгновенных значений напряжения на конденсаторе C_1 в послеаварийном режиме

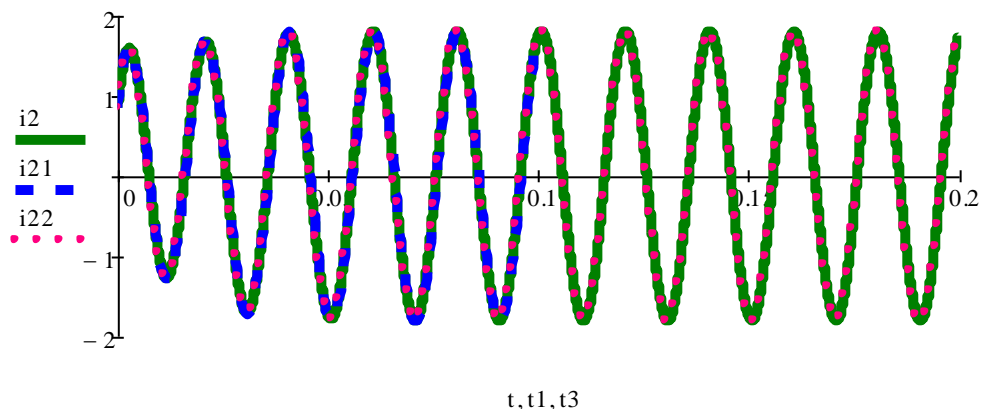


Рисунок 5 – Зависимость мгновенных значений тока на индуктивности L_2 в послеаварийном режиме

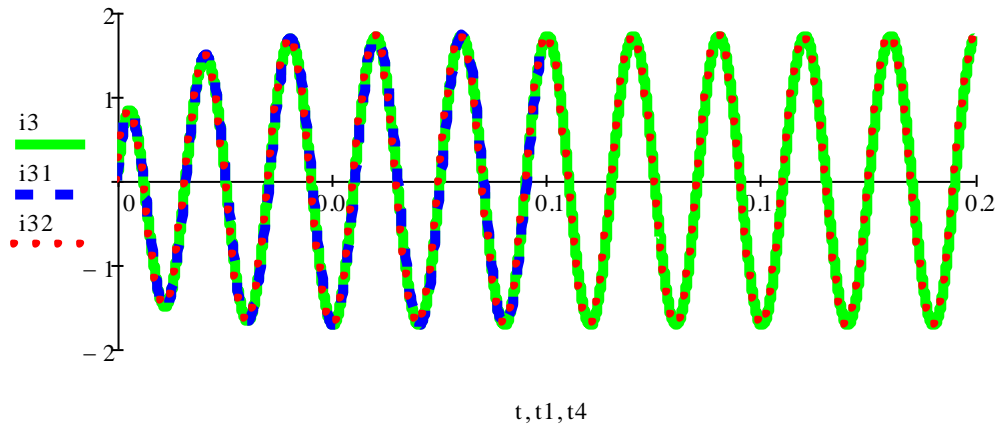


Рисунок 6 – Зависимость мгновенных значений тока на индуктивности L_3 в послеаварийном режиме

Воспользуемся методом узловых потенциалов. В послеаварийном режиме в схеме будет 2 узла, поэтому составляем одно уравнение

$$\left(\frac{1}{R_1 - j \frac{1}{\omega C_1}} + \frac{1}{R_2 + j\omega L_2} + \frac{1}{R_3 + j\omega L_3} \right) U_1 = \frac{E_1}{R_1 - j \frac{1}{\omega C_1}}.$$

Решением данного уравнения является $U_1 = -207,556 + 104,816j$.

Определим токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_1}{R_1 - j \frac{1}{\omega C_1}} = 0,569 + 3,463j = 3,51e^{j80,673^\circ} \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{U_1}{R_2 + j\omega L_2} = 0,416 + 1,751j = 1,8e^{j76,633^\circ} \text{ A},$$

$$I_3 = \frac{U_1}{R_3 + j\omega L_3} = 0,153 + 1,712j = 1,719e^{j84,903^\circ} \text{ A}.$$

Напряжение на конденсаторе составит:

$$U_{C1} = I_1 \frac{j}{\omega C_1} = 220,49 - 36,211j = 223,444e^{-j9,327^\circ} \text{ В}.$$

При исследовании схемы в MatLab, используя блок Powergui, получим значения токов и напряжений в послекоммутационный период (рисунок 7).

STATES:

1:	'I1 L2'	=	1.80 A	76.63 °
2:	'I1 L3'	=	1.72 A	84.90 °
3:	'Uc C1'	=	223.43 V	-9.33 °

MEASUREMENTS:

1:	'U uc'	=	223.43 V	-9.33 °
2:	'I I1'	=	3.51 A	80.67 °
3:	'I I3'	=	1.72 A	84.90 °
4:	'I I2'	=	1.80 A	76.63 °

Рисунок 7 – Значения токов и напряжений в послекоммутационный период в MatLab

Сопоставление расчетных осциллограмм переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink, демонстрирует высокую степень совпадения результатов, выполненных различными способами моделирования.

УДК 621.316

Геоинформационная система определения места повреждения воздушных линий

Войтович А. В.

Научный руководитель – РОМАНОВИЧ С. М.

Геоинформационная система определения места повреждения (ОМП) воздушных линий (ВЛ) предназначена для оперативного определения участка распределительной сети 6–35 кВ, на котором произошло короткое или однофазное замыкание на землю (ОЗЗ). Система предназначена для работы в распределительной сети с односторонним питанием.

В состав входят системы (рисунок 1):

- индикаторы повреждения воздушных линий (ИПВЛ) с радиоканалом;
- трансмиттеры;
- устройство шунтирования замыкания (УШЗ);
- программный продукт топографического ОМП.



а – индикатор повреждения воздушной линии; б – трансмиттер;
в – программный продукт топографического ОМП
Рисунок 1 – Элементы геоинформационная системы ОМП

ИПВЛ устанавливаются через определенное расстояние непосредственно на провода ВЛ на развилках, вдоль протяженных или на границах труднодоступных участков в трех фазах. Монтаж ИПВЛ может вестись без снятия напряжения ВЛ при помощи установочного комплекта. В свою очередь трансмиттеры монтируются на опору вблизи индикаторов. Питание трансмиттеров осуществляется от солнечной батареи. При своем срабатывании ИПВЛ связываются с трансмиттером по радиоканалу на открытой для использования частоте и передают информацию о факте своего срабатывания и виде повреждения. Трансмиттер ретранслирует информацию о повреждении в головной центр по GSM-каналу. Программа топографического ОМП обрабатывает поступающую информацию, отображает поврежденный участок на карте с привязкой к карте местности и осуществляет оперативное оповещение персонала посредством SMS и E-mail рассылки.

По принципу действия ИПВЛ не срабатывает при набросах токов нагрузки, бросках тока намагничивания, внешних КЗ. ИПВЛ различает КЗ и ОЗЗ. В режиме КЗ на контролируемом участке фиксируется наброс тока более чем на 120 А с его последующим спадом до нуля (отключение повреждения). В свою очередь при внешнем КЗ происходит отключение поврежденного участка смежным выключателем, а по линии сохраняется протекание тока нагрузки, и по этой причине ИПВЛ не срабатывает.

Устройство шунтирования замыкания (рисунок 2) обеспечивает работу ИПВЛ в режиме ОЗЗ. УШЗ устанавливается на шинах подстанции. При возникновении ОЗЗ (по факту появления напряжения нулевой последовательности) УШЗ кратковременно подключает

резистор, тем самым увеличивая ток в поврежденной фазе на 30–40 А, что приводит к срабатыванию ИПВЛ.

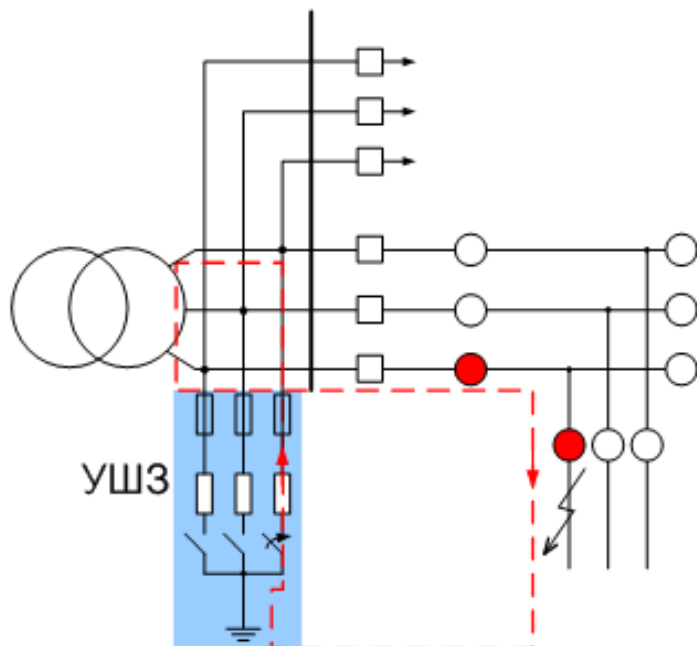


Рисунок 2 – Принцип действия устройства шунтирования замыкания

Таблица 1 – Технические характеристики системы ОМП воздушной линии

	Описание	Параметр
Эксплуатация	Диапазон рабочих температур	от -45°C до $+70^{\circ}\text{C}$
Параметры ВЛ	Линейное напряжение	не более 35 кВ
	Режим работы линии	Тупиковая / Радиальная
	Минимальный нагрузочный ток	0 А / 2 А – голый / изолированный провод
	Диаметр провода	6–32 мм
ИПВЛ	Минимальный наброс тока при КЗ/ОЗЗ	120 А / 25 А
	Максимально допустимый ток	40 кА / 4 с
	Индикация	3 мигающих светодиода, блинкер
	Время возврата	6 ч, 12 ч
	Видимость индикации	300 м днем / 500 м ночью
	Масса	< 0,5 кг
	Механический ресурс блинкера	4000
	Частота радиосигнала	434 МГц
Трансмиттер	Расстояние радиопередачи	до 20 м
	Масса	4,5 кг
	Длительность светового дня	> 4,5 часа
	GSM-модем	E-GSM
	АКБ, Ресурс без подзарядки	12 В / 2,5 Ач, 15 дней

Литература

1. Геоинформационная система ОМП ВЛ и КЛ 6–35 кВ (ГИС ОМП) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://relematika.ru/produkty/6-35_kv/geoinformatsionnaya_sistema_omp_vl_i_kl_6_35_kv_gis_omp/. – Дата доступа : 05.05.2018.

УДК 621.3

Особенности работы РЗА в сетях с резистивно заземленной нейтралью

Лазаревич И. А.

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

Наиболее частым видом повреждений в сетях 6–35 кВ являются однофазные замыкания на землю – ОЗЗ. Они нередко приводят к крупным авариям, сопровождающимся значительными ущербами. Замыкание фазы на землю в сетях такого напряжения могут привести к следующим неприятным последствиям:

- в сети появляются перенапряжения порядка 2,4–3,5 от фазного;
- возможны явления феррорезонанса;
- пробой изоляции статорной обмотки двигателей.

Если ОЗЗ длительно не отключается, существенно повышается вероятность возникновения пожаров. Характер процессов, протекающих в сети при ОЗЗ, в большой степени зависит от режима заземления нейтрали.

При ОЗЗ в сетях с заземленной через резистор нейтралью во всех присоединениях протекают собственные емкостные токи, а в поврежденном присоединении, кроме того, протекает активный ток, создаваемый резистором. Это принципиальное отличие позволяет решить две важные задачи:

- селективно определить поврежденное присоединение и незамедлительно принять меры по устранению повреждения;
- существенно ограничить уровень дуговых перенапряжений при ОЗЗ и исключить феррорезонансные процессы.

Введение резистивного заземления нейтрали сети снижает уровень перенапряжений и даёт хорошие предпосылки для построения эффективной релейной защиты от ОЗЗ. Эффективная защита от ОЗЗ позволяет снизить опасное влияние на аппаратуру воздействий, которые возникают при ОЗЗ. Это, в свою очередь, повышает надёжность работы аппаратуры и позволяет продлить срок их эксплуатации. Повышается также безопасность для людей и животных, которые могут оказаться в зоне падения провода воздушной ЛЭП.

В настоящее время применяются следующие основные разновидности защит от ОЗЗ:

- защиты, измеряющие напряжение нулевой последовательности;
- ненаправленные защиты, регистрирующие составляющую промышленной частоты тока нулевой последовательности;
- направленные защиты, реагирующие на составляющие промышленной частоты тока и напряжения нулевой последовательности;
- защиты, фиксирующие «наложенный» ток с частотой, отличной от промышленной;
- защиты, реагирующие на высокочастотные составляющие в токе нулевой последовательности, возникающие естественным путём;
- защиты, реагирующие на составляющие тока и напряжения нулевой последовательности в переходном процессе ОЗЗ.

С определёнными ограничениями перечисленные защиты могут применяться также и при резистивном заземлении нейтрали, однако, при этом имеется ряд особенностей, которые необходимо учитывать.

Защиты, измеряющие напряжение нулевой последовательности могут действовать на отключение линии с ОЗЗ в том случае, если от сборных шин подстанции отходит только одна линия.

В некоторых случаях необходимую эффективность можно обеспечить с помощью ненаправленных токовых защит нулевой последовательности. В первую очередь это относится к резистивно-заземлённым сетям и установкам с малыми ёмкостными токами. Если, например, речь идёт о защите кабельной сети собственных нужд электростанции, в которой установлен заземляющий резистор, а в месте ОЗЗ протекает активный ток резистора

порядка 35–40 А и ёмкостные токи отдельных присоединений не превышают нескольких ампер. Второй подобный случай – это внутрицеховые сети на предприятиях, где установлен дугогасящий реактор, но имеется большое количество присоединений с малым ёмкостным током. Устанавливают резистор с током 10–15 ампер и на большинстве присоединений устанавливают токовую защиту нулевой последовательности.

Гораздо более широкая область применения по сравнению с ненаправленными токовыми защитами у направленных токовых защит, реагирующих на основные гармонические составляющие токов и напряжения нулевой последовательности. Эти защиты отстроены от собственных ёмкостных токов защищаемых присоединений по направлению, поэтому их токи срабатывания обычно принимают более низкими, чем у ненаправленных токовых защит. Отдельным и очень важным вопросом, который требует особого внимания, является выбор уставок и проверки чувствительности таких защит.

Существенные сложности возникают в защите от ОЗЗ воздушных линий электропередачи. При обрыве провода такой ЛЭП в месте ОЗЗ иногда возникают переходные сопротивления порядка нескольких кОм. Напряжения и токи нулевой последовательности при этом сильно уменьшаются. Значения этих небалансов ограничивают минимальные ток и напряжение срабатывания защиты. Соответственно невозможно выполнить направленную токовую защиту от ОЗЗ, которая правильно работала бы во всех без исключения случаях. Выходом из создавшегося положения может служить комбинация защит, работающих на разных принципах. Например, совместно используют направленную токовую защиту нулевой последовательности и защиту, реагирующую на ток обратной последовательности.

Литература

1. Вайштейн, Р. А. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях / Р. А. Вайштейн, С. И. Головкин, В. С. Григорьев и др. // Электрические станции. – 1998. – № 7. – С. 26–30.
2. Шуин, В. А. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ / В. А. Шуин, А. В. Гусенков. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 104 с.
3. Дударев, Л. Е. Комплексная защита от замыканий на землю / Л. Е. Дударев, В. В. Зубков // Электрические станции. – 1981. – № 7. – С. 59–61.

УДК 621.3

Современные методы определения состояния трансформаторов в эксплуатации

Чернюк Д. В.

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

В работе рассмотрены пять методов определения состояния трансформаторов в эксплуатации, а именно: метод частотной зависимости $\text{tg}\delta$; метод частотного анализа (МЧА); хроматографический анализ трансформаторного масла; тепловизионное обследование; вибродиагностика.

Основными задачами метода измерения частотной зависимости $\text{tg}\delta$ являются измерение влажности целлюлозы и проводимости масла. Один из решающих факторов ухудшения изоляции в эксплуатации – увлажнение. Главным источником увлажнения является атмосферная влага, проникающая под действием градиента давления, особенно через ослабленные уплотнения. Старение целлюлозной изоляции также может образовать значительное количество влаги, особенно если изоляция работает при повышенной температуре и значительно изношена.

Метод частотного анализа (FRA – Frequency Response Analysis) является наиболее чувствительным методом диагностики механического состояния обмоток трансформаторов. Принцип метода частотного анализа заключается в том, что от специального генератора на ввод обмотки (или в нейтраль) подается зондирующий сигнал (импульсный или синусоидальный), а с вводов других обмоток регистрируются отклики - реакции обмоток на воздействие зондирующего сигнала.

Отклики обмоток анализируются путем:

- 1) различия между откликами отдельных фаз трансформатора;
- 2) различия между откликами трансформаторов аналогичной конструкции;
- 3) изменения резонансов, полюсов (для данного метода необходимо предыдущее измерение).

Двухканальный АЦП записывает по каналу 1 сигнал, подаваемый на ввод обмотки, по каналу 2 – реакцию обмотки на приложенное воздействие. Далее рассчитывается передаточная функция как отношение спектров входного и выходного сигналов. Степень отличия передаточных функций, рассчитанных до и после воздействия на трансформатор электродинамических сил короткого замыкания или других механических воздействий, производится с помощью разных средств анализа.

В последнее десятилетие для диагностики состояния трансформатора получил широкое распространение и показал удовлетворительные результаты хроматографический анализ растворенных в масле газов. От электротехнического персонала и электромонтеров требуется правильно отобрать пробу масла и доставить ее в лабораторию, а после выполнения анализа – правильно истолковать его результаты и принять решение о дальнейшей эксплуатации трансформатора.

Существует два наиболее распространенных способа выделения газов из масла.

В первом случае отбор пробы масла производится в стеклянные шприцы объемом 5 или 10 мл. Применяется в случае выделения растворенных в масле газов с помощью вакуума.

Во втором случае для повышения точности результатов отбор пробы масла производится в маслоотборник. Однако при этом требуемый объем масла составляет несколько литров, что усложняет отбор и транспортировку пробы.

В настоящее время с помощью хроматографического анализа можно определить две группы повреждений силовых трансформаторов:

- 1) дефекты твердой изоляции: перегревы и ускоренное старение твердой электрической изоляции; частичные разряды в бумажно-масляной изоляции;

2) перегревы металла и частичные разряды в масле: дефекты токоведущих частей; дефекты контактных соединений; дефекты магнитопровода; дефекты конструктивных частей, в том числе с образованием короткозамкнутых контуров.

С помощью тепловизионной техники в силовых трансформаторах можно выявить ряд дефектов. После настройки постоянного температурного режима записи тепловизора ведётся покадровая регистрация термоизображений, начиная с верхней части крайней фазы (например, «А») по направлению к фазе «С», с наложением кадров друг на друга около 10 % размера.

Достигнув поверхности бака фазы «С», объектив сканера опускается ниже, и далее покадровая съёмка продолжается в противоположном направлении, и таким образом процесс съёмки ведётся, пока не будет записана вся поверхность, включая расположенные под его днищем маслонасосы, маслопроводы и другие узлы. Термографической съёмке подвергается вся доступная для этого поверхность бака по периметру.

Далее осуществляется склеивание результатов съёмки в единый развернутый «тепловой» план. Участки плана с повышенными температурами нагрева сопоставляются с технической документацией на трансформатор, которая характеризует конструктивное расположение отводов обмоток, катушек, зон циркуляции масла, магнитопровода и его элементов и т. п. При этом фиксируется работа систем охлаждения, оценивается зона циркуляции масла, создаваемая каждой из них. Следует обращать внимание на образование аномальных тепловых зон на поверхности бака трансформатора из-за смещения потоков масла.

С физической точки зрения вибрация на поверхности бака мощного трансформатора качественно и количественно хорошо коррелируется с состоянием прессовки обмотки и магнитопровода. Изменение степени прессовки в процессе эксплуатации приводит к изменению общей вибрационной картины, усилению вибрации, изменению ее частоты, появлению модулированных колебаний.

На практике достаточно часто техническое состояние активной части трансформатора контролируется следующими вибрационными характеристиками: виброускорение, виброскорость и виброперемещение. Для количественного описания вибросигналов наиболее широко используются виброперемещение и виброскорость.

Для измерения вибрации используется переносной вибронализатор в режиме измерения виброускорений, виброскоростей или среднеквадратичных значений виброперемещений.

При обследовании датчик последовательно устанавливается в каждом секторе, и снимаются показания прибора.

Результаты, полученные при вибрационном обследовании трансформатора, сравниваются между собой, а также с результатами предыдущих измерений. Для реакторов также производится сравнение с предельно допустимыми значениями.

Литература

1. Современные методы оценки технического состояния и прогнозирования ресурса высоковольтного трансформатора / М. Г. Баширов [и др.] ; Филиал ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Салават, 2016. – 4 с.
2. Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации» [Электронный ресурс] / Обзор современных способов диагностирования силовых трансформаторов и автотрансформаторов. – 2018. – Режим доступа : <http://web.snauka.ru/issues/2012/09/16794>. – Дата доступа : 22.11.2018.
3. Энергетика [Электронный ресурс] / Современные методы диагностики силовых трансформаторов. – 2018. – Режим доступа : <http://forca.ru/stati/podstancii/sovremennye-metody-diagnostiki-silovyh-transformatorov.html>. – Дата доступа : 22.11.2018.

УДК 621.3.022

Системы автоматического контроля и сбора информации (SCADA)

Позняк Д. А.

Научный руководитель – АНДРУКЕВИЧ А. П.

SCADA – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

Основными пользователями SCADA-решений во все времена были распределённые компании и предприятия, занимающиеся:

- водоснабжением и водоочисткой;
- сбором производственных и ливневых сточных вод;
- регулированием паводков и дренажем;
- ирригацией;
- энергоснабжением;
- добычей и транспортировкой нефти;
- транспортировкой природного газа;
- крупные промышленные предприятия, имеющие удалённые станции.

Основными стимулами развития SCADA-систем и роста их популярности:

– желание операторов иметь более полный и качественный контроль над распределёнными процессами;

- стремление руководства сокращать и регулировать расходы.

Непрерывную во времени картину развития АСУТП можно разделить на три этапа, обусловленные появлением качественно новых научных идей и технических средств:

– первый этап отражает внедрение систем автоматического регулирования (САР). Объектами управления на этом этапе являются отдельные параметры, установки, агрегаты; решение задач стабилизации, программного управления, слежения переходит от человека к САР. У человека появляются функции расчета задания и параметры настройки регуляторов.

– второй этап – автоматизация технологических процессов. Объектом управления становится рассредоточенная в пространстве система; с помощью систем автоматического управления (САУ) реализуются все более сложные законы управления, решаются задачи оптимального и адаптивного управления, проводится идентификация объекта и состояний системы. Характерной особенностью этого этапа является внедрение систем телемеханики в управление технологическими процессами. Человек все больше отдаляется от объекта управления, между объектом и диспетчером выстраивается целый ряд измерительных систем, исполнительных механизмов, средств телемеханики, мнемосхем и других средств отображения информации (СОИ).

– третий этап – автоматизированные системы управления технологическими процессами – характеризуется внедрением в управление технологическими процессами вычислительной техники. Вначале – применение микропроцессоров, использование на отдельных фазах управления вычислительных систем; затем активное развитие человеко-машинных систем управления, инженерной психологии, методов и моделей исследования операций и, наконец, диспетчерское управление на основе использования автоматических информационных систем сбора данных и современных вычислительных комплексов.

Большое значение при внедрении современных систем диспетчерского управления имеет решение следующих задач:

- выбора SCADA-системы (исходя из требований и особенностей технологического процесса);
- кадрового сопровождения.

Выбор SCADA-системы представляет собой достаточно трудную задачу, аналогичную принятию решений в условиях многокритериальности, усложненную невозможностью количественной оценки ряда критериев из-за недостатка информации.

Подготовка специалистов по разработке и эксплуатации систем управления на базе программного обеспечения SCADA осуществляется на специализированных курсах различных фирм, курсах повышения квалификации. В настоящее время в учебные планы ряда технических университетов начали вводиться дисциплины, связанные с изучением SCADA-систем.

Как правило, обобщенная схема реализации проектов автоматизированных систем контроля и управления (СКУ) для большого спектра областей применения двухуровневые.

Нижний уровень – уровень объекта (контроллерный) – включает различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным программируемым логическим контроллерам (PLC), которые могут выполнять следующие функции:

- сбор и обработка информации о параметрах технологического процесса;
- управление электроприводами и другими исполнительными механизмами;
- решение задач автоматического логического управления и др.

В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, интеллектуальные или коммуникационные контроллеры) реализуют различные функции. Некоторые из них перечислены ниже:

- сбор данных с локальных контроллеров;
- обработка данных, включая масштабирование;
- поддержание единого времени в системе;
- синхронизация работы подсистем;
- организация архивов по выбранным параметрам;
- обмен информацией между локальными контроллерами и верхним уровнем;
- работа в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем;
- резервирование каналов передачи данных и др.

Верхний уровень – диспетчерский пункт (ДП) – включает, прежде всего, одну или несколько станций управления, представляющих собой автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера/оператора. Здесь же может быть размещен сервер базы данных, рабочие места (компьютеры) для специалистов и т. д.

Спектр функциональных возможностей определен самой ролью SCADA в системах управления и реализован практически во всех пакетах:

- автоматизированная разработка, дающая возможность создания ПО системы автоматизации без реального программирования;
- средства исполнения прикладных программ;
- сбор первичной информации от устройств нижнего уровня;
- обработка первичной информации;
- регистрация алармов и исторических данных;
- хранение информации с возможностью ее пост-обработки;
- визуализация информации в виде мнемосхем, графиков и т. п.;
- возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как «единое целое».

Приступая к разработке специализированного прикладного программного обеспечения (ППО) для создания системы контроля и управления, системный интегратор или конечный пользователь обычно выбирает один из следующих путей:

- программирование с использованием «традиционных» средств (традиционные языки программирования, стандартные средства отладки и пр.);

– использование существующих, готовых – COTS (Commercial Of The Shelf) – инструментальных проблемно-ориентированных средств.

Затем следует «определиться» с инструментальными средствами разработки ППО. Программные продукты класса SCADA широко представлены на мировом рынке. Наиболее популярные из них приведены ниже:

- InTouch (Wonderware) – США;
- Citect (CI Technology) – Австралия;
- FIX (Intellution) – США;
- Genesis (Iconics Co) – США;
- Factory Link (United States Data Co) – США;
- RealFlex (BJ Software Systems) – США;
- Sitex (Jade Software) – Великобритания;
- TraceMode (AdAstrA) – Россия;
- Simplicity (GE Fanuc) – США;
- САРГОН (НВТ-Автоматика) – Россия.

Ниже приводится примерный перечень критериев оценки SCADA-систем, которые в первую очередь должны интересовать пользователя. Этот перечень не является авторским и давно уже обсуждается в специальной периодической прессе. В нем можно выделить три большие группы показателей:

- технические характеристики;
- стоимостные характеристики;
- эксплуатационные характеристики.

УДК 621.316

**Влияние продолжительности короткого замыкания
на параметры электродинамической стойкости шинного пролета ОРУ 110 кВ
с проводом 2×АС-500/64 без учета спусков к электрическим аппаратам**

Баран А. Г., Васильева А. А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И.,
к.т.н., доцент ПОНОМАРЕНКО Е. Г.

Провода распределительных устройств (РУ) электростанций из-за их гибкой конструкции могут принимать форму, заданную приложенными электродинамическими усилиями (ЭДУ) при коротких замыканиях (КЗ). Вследствие этого действие ЭДУ приводит к сближению и даже к схлестыванию соседних фаз. При недопустимом сближении проводов РУ более вероятное первичное КЗ на воздушных ЛЭП, устраняемое, как правило, во время бестоковой паузы АПВ, сопровождается вторичным КЗ на гибких шинах РУ электростанций. Следующее за этим отключение системы шин РУ дифференциальной защитой ведет к тяжелым последствиям для энергосистемы в целом. Согласно ПУЭ [1] проверку гибких шин РУ на схлестывание необходимо выполнять при токах КЗ величиной 20 кА и более. Наибольшие уровни токов КЗ в энергосистеме Беларуси в РУ с гибкими проводами имеют место при $U_{ном} = 110$ кВ. По данным института РУП «БелНИПИэнергопром» и ГПО «Белэнерго» они достигают 40–45 кА и ожидается их дальнейший рост до 50 кА. Поэтому проблема их электродинамического действия на провода РУ становится актуальной задачей для энергосистемы Беларуси.

С помощью компьютерной программы FleBus проведен вычислительный эксперимент по оценке электродинамической стойкости шинного пролета типовых конструкций РУ напряжением 110 кВ длиной 27 м без отпаек к конструктивным элементам РУ (рисунок 1) для различных сечений проводов.

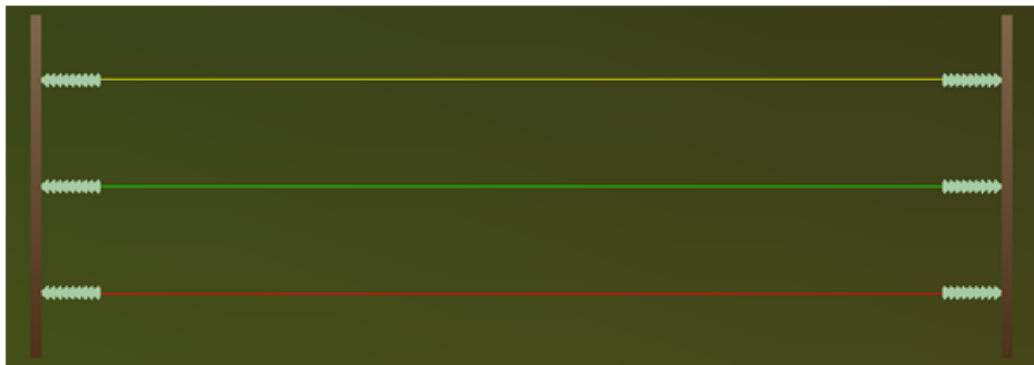


Рисунок 1 – Геометрия исследуемого шинного пролета

Параметры конструктивных элементов РУ приняты по типовому проекту 407-03-539.90 «Открытые распределительные устройства 110 кВ на унифицированных конструкциях».

Так как в исследуемом пролете (рисунках 1) движение проводов взаимодействующих при КЗ будет симметричным, то рассматривался только случай двухфазного КЗ между фазами А и В. Так же расчет проводился и для двухфазного КЗ между фазами А и С. В данном случае удаленность взаимодействующих фаз значительна и схлестывание их при исследуемых токах КЗ не произойдет.

При оценке электродинамической стойкости токоведущих конструкций необходимо выполнить серию расчетов с подбором наиболее тяжелых условий КЗ, изменяя величину тока, продолжительность, вид и место КЗ, климатические условия и другие параметры [2]. Исходя из изложенного, вычислительный эксперимент выполнен путем проведения серии

расчетов для токов двухфазного КЗ от 5 кА до 60 кА с шагом 1 кА и для продолжительности КЗ от 0,05 с до 0,30 с с шагом 0,05 с.

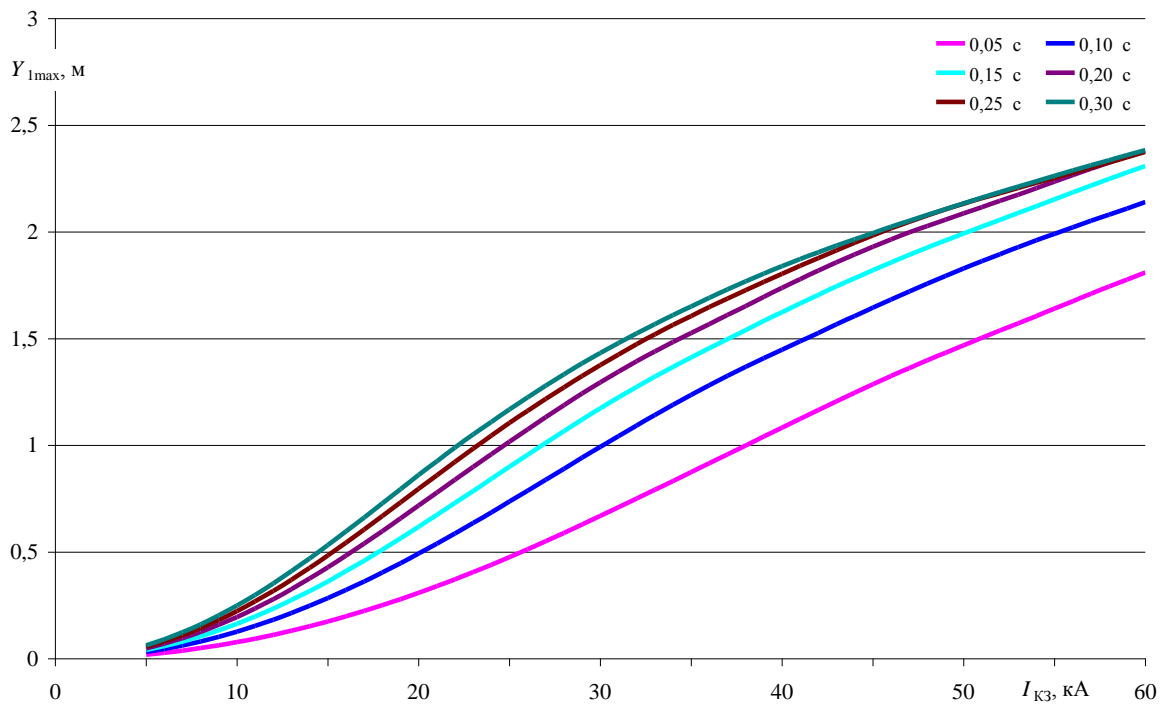


Рисунок 2 – Зависимости $Y_{1max} = f(I_{кз})$ при различной продолжительности КЗ

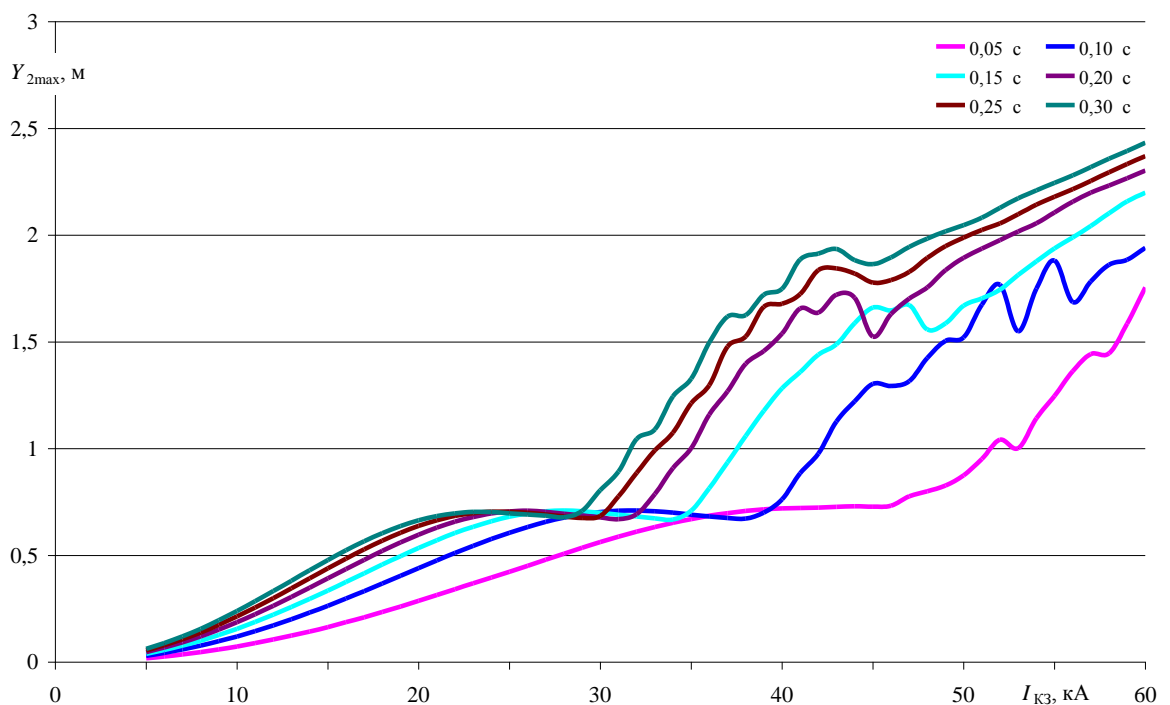


Рисунок 3 – Зависимости $Y_{2max} = f(I_{кз})$ при различной продолжительности КЗ

При проведении вычислительного эксперимента для проводов различного сечения построены зависимости максимального отклонения проводов в момент их сближения (Y_{2max}) и минимального расстояния между фазными проводниками (a_{min}) от величины тока двухфазного КЗ между фазами А и В, В и С, А и С.

Для исследуемого пролета с расщепленной фазой $2 \times AC-500/64$ построены семейства зависимостей от величины тока двухфазного КЗ для продолжительностей его воздействия:

– максимального отклонения проводов в момент их отталкивания (Y_{1max}) и времени его наступления (рисунок 2);

– максимального отклонения проводов в момент их сближения (Y_{2max}) и времени его наступления (рисунок 3);

– минимального расстояния между фазными проводниками (a_{min}) и времени его наступления (рисунок 4 и 5);

– максимального тяжения (T_{max}) и времени его наступления (рисунок 6).

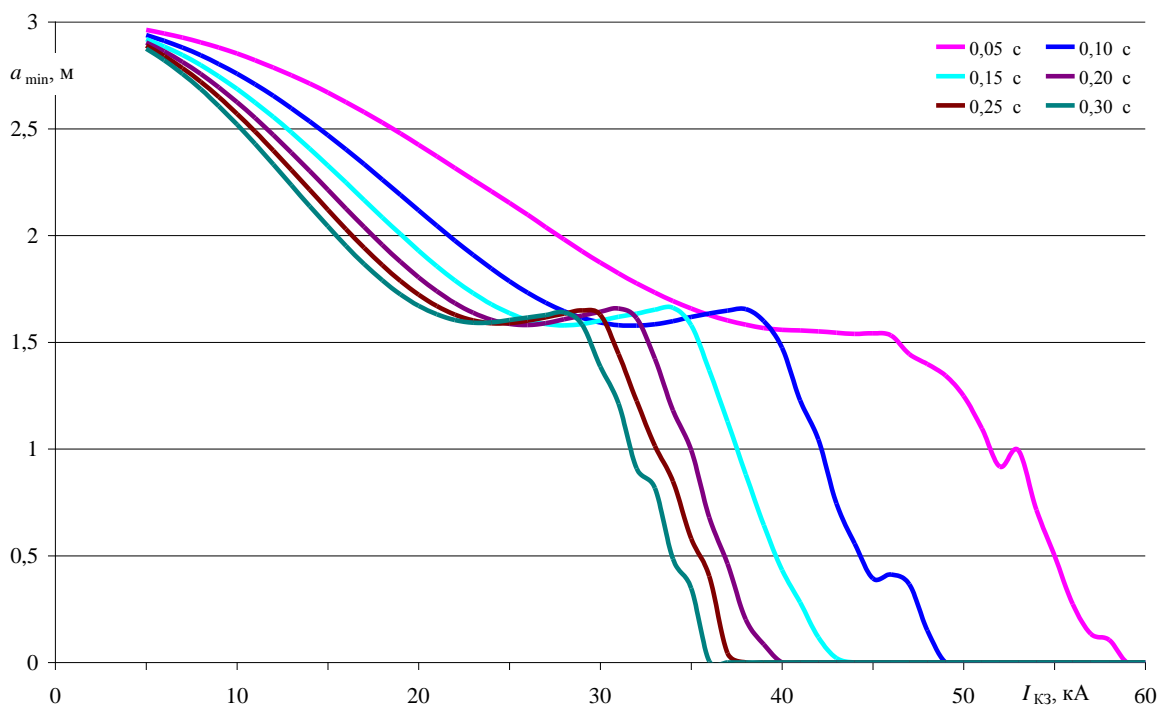


Рисунок 4 – Зависимости $a_{min} = f(I_{кз})$ между фазами А и В при различной продолжительности КЗ

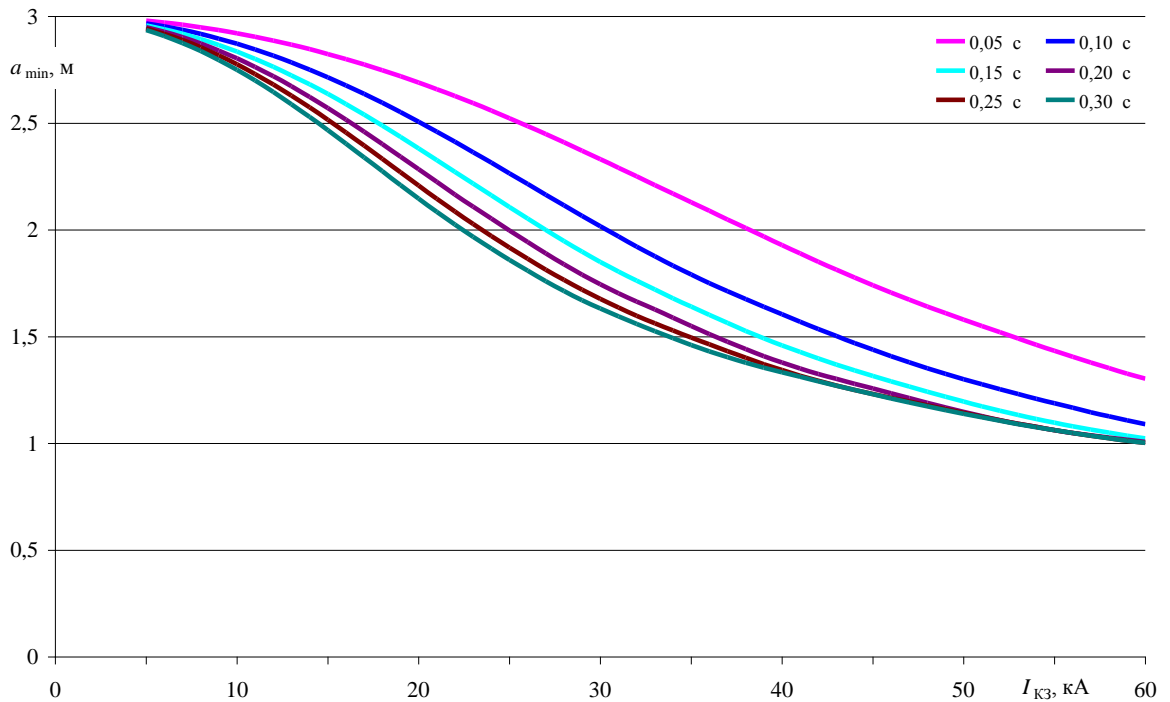


Рисунок 5 – Зависимости $a_{\min} = f(I_{кз})$ между фазами В и С при различной продолжительности КЗ

Полученные зависимости (рисунок 4) позволяют определить ток электродинамической стойкости рассматриваемого шинного пролета в зависимости от продолжительности воздействия тока КЗ по условию допустимого сближения фаз, которое, согласно [1], для напряжения 110 кВ составляет 0,45 м. Зависимости (рисунок 6) позволяют определить ток электродинамической стойкости – по условию максимально допустимого тяжения.

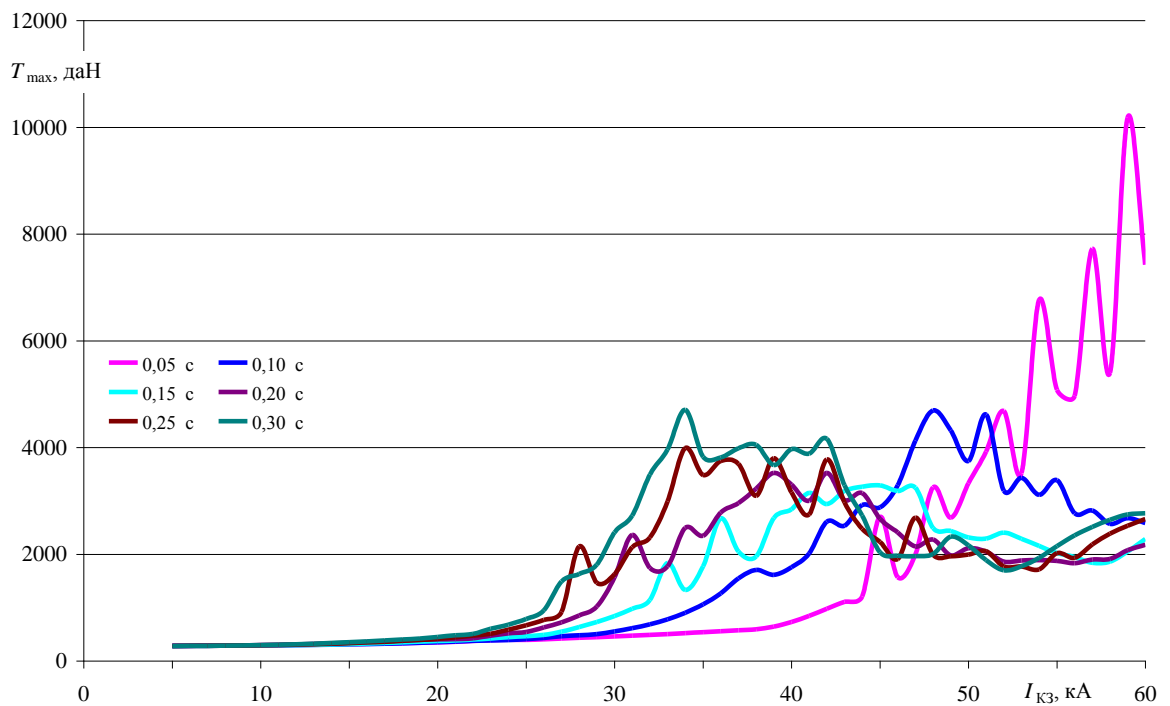


Рисунок 6 – Зависимости $T_{\max} = f(I_{кз})$ при различной продолжительности КЗ

Результаты расчетов показывают, что по критерию сближения проводников фаз, ток электродинамической стойкости при возрастании продолжительности КЗ уменьшается от 56 кА (при $t_{кз} = 0,5$ с) до 35 кА (при $t_{кз} = 3,0$ с).

Литература

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
2. Сергей, И. И. Проверка на схлестывание гибкой ошиновки распределительных устройств электростанций: методические указания для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроснабжение» и 1-43 01 03 «Электрические системы и сети» / И. И. Сергей, Е. Г. Пономаренко. – Минск : БНТУ, 2008. – 44 с.
3. Сергей, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.

УДК 621.3

Установки мониторинга частичных разрядов трансформаторов

Позняк Д. О.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Оценка технического состояния изоляции маслонаполненных трансформаторов, по уровню и распределению частичных разрядов, является одной из наиболее сложных технических задач для рассматриваемого нами метода диагностики. Однако, с другой стороны, этот вопрос является очень важным для службы эксплуатации высоковольтного оборудования.

Это приводит к тому, что очень часто не совсем подготовленные специалисты в области анализа измерения и анализа частичных разрядов, по просьбе служб эксплуатации, берутся за решение этой задачи. Большая часть отрицательного отношения практиков к применению метода анализа состояния изоляции по частичным разрядам возникло и возникает по причине таких неподготовленных работ.

Основной проблемой, возникающей при проведении измерений частичных разрядов в изоляции высоковольтных трансформаторов, является очень сложная отстройка от помех.

Причин этому несколько:

Во-первых, мощные силовые трансформаторы, по своему назначению, всегда являются узлами энергосистем, непосредственно вокруг которых устанавливается достаточно много другого, вспомогательного и измерительного высоковольтного оборудования, в котором также могут возникать частичные разряды. Все эти высокочастотные импульсы, в той или иной мере, по соединительным линиям, или путем электромагнитного излучения, наводятся в контролируемом трансформаторе.

Во-вторых, практически к каждому трансформатору подключены одна или несколько воздушных линий электропередачи, «собирающие» с большой территории грозовые и иные высокочастотные импульсы. Эти импульсы часто имеют большую амплитуду, регистрируются измерительными приборами, и существенно затрудняют анализ «внутренних» частичных разрядов, возникающих в изоляции самого трансформатора.

В-третьих, чаще всего, высоковольтные трансформаторы располагаются на открытых подстанциях, поэтому их работу всегда сопровождает большое количество коронных разрядов, интенсивность которых зависит от многих параметров – температуры и влажности воздуха, состояния поверхностей изоляторов и т. д. Чем выше рабочее напряжение трансформатора, тем больше проблем от коронных разрядов возникает при проведении измерений.

В-четвертых, работа трансформаторов часто сопровождается существенными изменениями нагрузочных и тепловых режимов. Кроме того, в трансформаторах присутствуют устройства, изменяющие их параметры в процессе работы, например РПН. В результате частичные разряды в изоляции трансформаторов могут иметь нестационарный характер, увеличиваться и уменьшаться, и даже появляться и исчезать.

Все эти четыре причины приводит к тому, что большое количество практических измерений частичных разрядов в трансформаторах являются некорректными. Чаще всего это происходит из-за низкой избирательной способности применяемой аппаратуры, реже из-за недостаточной квалификации экспертного персонала, который не может использовать все возможности имеющейся аппаратуры.

В результате за «импульсы частичных разрядов в трансформаторе», выдаются любые высокочастотные импульсы помех, от которых диагносту просто не удалось отстроиться. Естественно, что выполненный на основе некорректных замеров анализ распределения частичных разрядов, не имеет практической пользы, если даже не сказать о получении вреда. Следствием этого является все еще широко распространенное мнение о низкой информативности проведения измерений частичных разрядов.

Только правильно собранные измерительные схемы, позволяющие, в максимальной степени, отстроиться от помех, могут быть рекомендованы для проведения измерений. Если в результате измерений удастся зарегистрировать частичные разряды, то в этом случае, желательно, провести дополнительные измерения и исследования, включая в анализ техническое состояние рядом расположенного высоковольтного оборудования. Только после подтверждения первичных измерений можно будет уверенно говорить о наличии в трансформаторе частичных разрядов.

Резюмируем наши рассуждения кратко. Всем хочется измерять частичные разряды в трансформаторах, но это не простая задача. Если можно, начните набирать свой диагностический опыт на оборудовании другого типа, этим непростым шагом для себя шагом, вы избежите достаточно неприятных ситуаций.

Литература

1. Фурсанов, М. И. Диагностика состояния изоляции ЛЭП 110 кВ под рабочим напряжением / М. И. Фурсанов, Ю. Л. Богатырев, П. В. Криксин // Энергия и менеджмент. – 2011. – № 2. – С. 28–36.
2. Спургияш, А. Г. Защита трансформаторов от перенапряжений / А. Г. Спургияш, О. Я. Шмыгун // Перспективы развития энергетики в XXI веке : материалы II Республиканской научно-практической конференции, Минск, 11–13 мая 2011 г. – Минск : БНТУ, 2012. – С. 5.
3. Фурсанов, М. И. Определение потерь мощности в трансформаторах после нормативного срока эксплуатации / М. И. Фурсанов, Н. С. Петрашевич // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2015. – № 5. – С. 16–23.

УДК 621.3

Элегазовые токопроводы

Михайлюк А. А.

Научный руководитель – ТЕТЕРИНА Л. В.

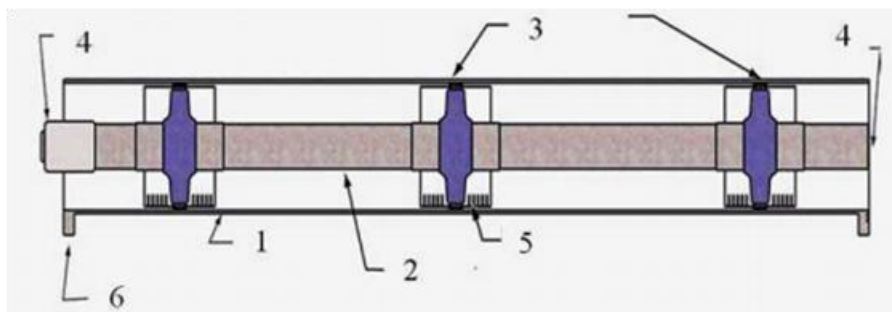
В настоящее время в энергетике повсеместно применяются различные виды токопроводов, которые предназначены для передачи и распределения электроэнергии, как правило – между блоками одной электроустановки. Они состоят из шин, изоляторов, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций, могут включать защитные кожухи (оболочки или экраны) и другие элементы. Однако применение типовых кабелей связано с различными проблемами. Обычные токопроводы плохо приспособлены для передачи электроэнергии на большие расстояния, это связано с ограничениями по термической стойкости, а также с резонансными явлениями. Большой проблемой является вертикальная прокладка таких токопроводов.

Активное внедрение в последнее время получили элегазовые токопроводы, они же газоизолированные линии (ГИЛ), которые представляют собой алюминиевые трубы, в которых устанавливаются токоведущие шины, а пространство между шиной и корпусом заполняется элегазом.

Основными достоинствами элегазовых токопроводов являются экологичность и безопасность для людей, пожаробезопасность, возможность как горизонтального, так и вертикального исполнения токопроводов, низкие потери мощности, компактность, высокая пропускная способность.

Технологии линий (или токопроводов) с газовой изоляцией позволяют решить практически все упомянутые проблемы традиционных кабелей.

Наглядно конструкция ГИЛ представлена на рисунке 1.



1 – оболочка; 2 – токоведущая жила; 3 – изоляторы;
4 – контакты присоединения; 5 – ловушки частиц; 6 – фланцы

Рисунок 1 – Конструкция ГИЛ

Приоритетными областями применения газоизолированных линий сейчас являются внутриподстанционные связи, глубокие вводы электроэнергии в крупные города и выдача мощности от электростанций, вертикальные вводы электроэнергии, передача электроэнергии через реки и другие препятствия с помощью ГИЛ, встроенных в мосты или транспортные туннели, если передаваемая мощность составляет 1000–4000 МВт. Особенно эффективны газовые токопроводы для вертикальной электропередачи, например, с подземных станций и подстанций при пересечении болотистых участков, дорог, районов городской застройки, где требуются повышенные требования по экологии и компактности.

Несмотря на достаточно большой международный опыт внедрения газоизолированных линий, в последние годы появилось второе поколение ЛГИ, которое характеризуется высокой надежностью, снижением стоимости, использованием вместо чистого элегаза

смесей элегаза с азотом, а также специальных устройств и технологий, повышающих электрическую прочность газа и газоплотность оболочек ГИЛ.

Газоизолированные линии имеют преимущества перед традиционными кабелями по пропускной способности, возможной предельной длине, уровню потерь электроэнергии, безопасности (в том числе и пожаробезопасности), совместимости с ЛЭП по системам автоматики и релейной защиты, возможностям вертикальной прокладки, уровню внешних электромагнитных полей, необходимости применения устройств компенсации реактивной мощности. Таким образом, на смену воздушным линиям обычной конструкции приходят более экономичные линии – токопроводы с элегазовой изоляцией.

Литература

1. Федеральная Сетевая Компания ПАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fsk-ees.ru>. – Дата доступа : 22.11.2018.
2. Русский центр токопроводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://rbc-energo.ru>. – Дата доступа : 22.11.2018.
3. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа : 21.11.2018.
4. Ляпин, А. Г. Газоизолированные линии электропередачи / А. Г. Ляпин, В. И. Попков, О. В. Щербина // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1973. – № 1.
5. ТУ-6-02-1249-83. Элегаз повышенной чистоты. Технические условия.

УДК 621.3

Промышленные сети в условиях возросших киберугроз

Плешко Д. Ю.

Научный руководитель – САПОЖНИКОВА А. Г.

В условиях интеграции систем АСУ ТП с локальными сетями *Ethernet* и сетью *Internet* важным вопросом становится сетевая безопасность, устойчивость сети предприятия к возможным хакерским атакам и проникновению вредоносного ПО. В 2010 году промышленные системы автоматизации тяжело пережили атаку уже широко известного компьютерного вируса *Stuxnet*. Это событие было самым широко освещаемым в профильных СМИ, но не стало единственным: с того момента промышленные сети и системы стали одной из основных целей для кибератак.

Даже если род деятельности промышленного предприятия не связан с критически важными процессами (энергетика, транспорт, оборонная промышленность), большинство технологических процессов автоматизировано с помощью *SCADA* (система диспетчерского управления и сбора данных) или типовых систем автоматического управления. Такие системы в последние годы стали подвержены атакам вредоносного ПО не меньше, чем «традиционные» финансовые и правительственные структуры. Отличие лишь в том, что атаки, направленные на промышленные системы, как правило, не регистрируются и их последствия обычно выглядят как сбои в работе, не связанные с действиями какого-либо вредоносного ПО.

Ещё в недалеком прошлом системы управления использовали закрытые протоколы передачи данных и различные полевые шины, не связанные напрямую с информационной сетью предприятия и *Internet*. Таким образом, безопасность технологической сети обеспечивалась методом её изоляции. За последнюю декаду промышленные сети мигрировали с собственных технологий и стандартов на готовые коммерческие решения и технологии. Несмотря на то что адаптация стандарта *Ethernet* к промышленному использованию сначала протекала медленно, сейчас с появлением протоколов *Real-time Ethernet* (гарантированной доставки пакета данных в заданный промежуток времени) и технологий резервирования каналов связи (автоматического восстановления сети после сбоя) *Ethernet* становится стандартом де-факто.

В дополнение к этому возрастает потребность в *online* доступе к технологическим данным извне, что означает необходимость прямого соединения технологической сети связи с информационной сетью предприятия и сетью *Internet*. Работа современной технологической сети требует постоянного удалённого доступа, обновлений, то есть обмена данными, и как результат технологическая сеть предприятия больше не может быть изолированной от общей сети.

Конечные устройства в технологической сети, такие как ПЛК или распределённые системы управления, проектировались с фокусом на максимальную надёжность. В то же время встроенные в них средства защиты от несанкционированного доступа по сети находятся на начальном уровне, недостаточном для защиты от современных угроз. Работа в безостановочном режиме, в жёстко регламентированных условиях, промышленные сети, как правило, обходят большую часть политик безопасности и регламентов, действующих для информационных сетей.

В прошлом основной причиной защиты промышленного сегмента сети от основного был так называемый человеческий фактор или сбои в сети. Соответственно, промышленное оборудование для автоматизации (ПЛК, распределённые системы, блоки телеметрии) не рассчитано на паразитный или неспециализированный сетевой трафик. Для обеспечения надёжности производства специализированные промышленные межсетевые экраны используются для разрешения только необходимого для функционирования трафика.

Риск кибератак извне, особенно нацеленных на промышленные системы связи, практически не брался в расчёт, однако возросший в новом тысячелетии уровень терроризма, особенно с применением кибероружия, заставляет взглянуть на проблему по-иному. Переломным моментом стала атака на ядерный комплекс по обогащению урана *Natanz* в Иране, проведённая с помощью вредоносного ПО (компьютерного вируса) *Stuxnet* в 2010 году. Физическое разрушение турбин реакторов показало, что урон от кибератаки может быть более чем реален.

Вирус *Stuxnet* успешно преодолел изолированность технологической сети связи от общей сети с помощью пресловутой *USB*-флэшки. Открытие данного вируса и публикация механизма его действия привело к некоторым изменениям. Возникло новое направление – промышленная сетевая безопасность. Уже в 2011 году было исследовано и опубликовано множество уязвимостей промышленных систем управления, исходных кодов вредоносного ПО – больше чем за 10 прошлых лет. Также появилось новое, более устойчивое вредоносное ПО. На основе вируса *Stuxnet* образовался новый класс вредоносного ПО, известный как *APT* (*Advanced Persistent Threats* – целенаправленные устойчивые угрозы). В отличие от вируса *Stuxnet*, который был нацелен на остановку технологического процесса и порчу технологического оборудования, ПО типа *APT* сфокусировано на промышленном шпионаже и краже бизнес-информации. Данный тип вирусов тяжело поддаётся обнаружению, ПО может скрытно собирать информацию годами и в итоге нанести не менее тяжёлый ущерб финансам или репутации предприятия, чем иная авария на производстве. В финансовой сфере вредоносное ПО такого характера бытует уже годами, но в промышленной сфере это явление новое. Например, вирус с названием *Night Dragon* был пойман на краже финансово-экономической информации у нефтехимических компаний в Северной Америке, в том числе сведений о заключённых сделках по продаже энергоносителей, о коммерческих предложениях по поставке нефти, будущем сейчас самое время позаботиться об усилении мер кибербезопасности на промышленных объектах.

Успешная кибератака на промышленную систему может повлечь за собой производственные потери, урон системе безопасности и окружающей среде, кражу интеллектуальной собственности, включая информацию из корпоративной сети предприятия. Также взлом промышленного сегмента сети образует «дверь» в общую корпоративную сеть предприятия. В условиях поточного производства промышленное оборудование работает в безостановочном режиме с минимальными периодами простоя и временем жизни от 10 до 20 лет. Для повышения уровня кибербезопасности сети технологического оборудования, занятого в поточном производстве, повсеместная замена оборудования – невыгодный вариант.

Способы повышения промышленной сетевой безопасности базируются на принятом стандарте *ISA IEC 62443* (ранее *ISA99*). Он относится к промышленной безопасности в целом, без привязки к какому-либо вертикальному рынку (отрасли). Ведущие нефтегазовые и химические компании, такие как *Exxon*, *Dow* и *Dupont* весьма успешно построили систему безопасности своих промышленных систем на базе этого стандарта.

Отдельные отрасли тоже имеют свои собственные стандарты сетевой безопасности, например, стандарт *NERC CIP* для североамериканской энергетики. Корпорация *NERC* (*North American Electric Reliability Corporation*) не только разрабатывает стандарты безопасности, но и регламенты по её обеспечению, систему сертификации персонала. В отличие от стандарта *IEC 62443*, сертификация по которому является добровольной процедурой, *NERC CIP* обязателен в США.

Далее, резюмируя стандарты безопасности, выделим 7 шагов для обеспечения безопасности *SCADA* и систем управления.

Шаг 1: Оценка рисков для систем управления производством.

Оценку рисков для конкретного производства стоит начать с выделения типовых угроз для систем управления промышленным производством: несанкционированный удалённый

доступ; атаки через офисную корпоративную сеть (*firewall*); атаки на промышленные системы посредством поиска уязвимостей (*Simatic Win CC*); (*D*)*DoS*-атаки; саботаж и ошибки персонала; внедрение вредоносного кода на переносных и внешних носителях; чтение и перезапись команд управления (ПЛК); несанкционированный доступ к ресурсам; атаки на сетевые устройства; технические сбои и форс-мажорные события.

Данный шаг применительно к конкретной системе безопасности выполняется в два этапа: анализ рисков и ранжирование их по степени тяжести возможных последствий. Оценка рисков производится для каждой системы управления в отдельности и зависит от степени вероятности и от тяжести последствий наступления каждого случая.

При анализе уязвимостей также следует учитывать различия в подходах к обеспечению безопасности в корпоративных сетях и в промышленных системах управления.

Шаг 2: Выработка правил и процедур по информационной безопасности. Хотя политики безопасности в каждой организации свои, некоторые пункты в них должны быть упомянуты обязательно: удалённый доступ; портативные носители данных; установка обновлений и патчей; управление антивирусной защитой; замена оборудования и ПО; создание и восстановление резервных копий; действия в случае инцидентов.

Шаг 3: Обучение персонала средствам и регламентам информационной безопасности. Данный шаг проводится в два этапа. Первый – ознакомление персонала с выработанными политиками, процедурами и стандартами. Учитывая тот факт, что специалисты АСУ ТП имеют ограниченное понятие об обеспечении ИТ-безопасности промышленного сектора, важно донести значение этого вопроса, сформировав обязательную программу, которая реализуется под контролем начальства. Второй этап – проведение тренингов для персонала, раскрывающих непосредственно механизм применения политик безопасности. Различные категории персонала должны быть ознакомлены с теми ролями, которые относятся к их зоне ответственности. К примеру, персонал можно разделить по категориям: посетители, подрядчики, операторы, инженеры, обслуживающий персонал, управленцы. Персонал первой категории (посетители) должен быть проинструктирован о том, какие действия разрешены и запрещены на производственном участке, инженерный состав должен уметь обращаться со средствами обеспечения безопасности, управленцы обязаны знать алгоритмы действий при возникновении угроз безопасности систем АСУ ТП.

Шаг 4: Формирование технологических сетей передачи данных. Industrial Ethernet становится стандартом де-факто в технологических сетях связи. Технологическое оборудование использует протоколы на базе *IP*, в том числе стандартные *TCP/IP*, *UDP*, наследуя тем самым все их уязвимости. С возникновением необходимости взаимодействия систем производственно-технологического управления (*SCADA/DMS*) с *ERP/MES*-системами верхнего уровня стала невозможной изоляция промышленного контура сети. Кроме связи с корпоративной сетью, необходимо учитывать интерфейсы удалённого управления и *USB*-порты рабочих станций как возможные дополнительные пути проникновения вредоносного ПО.

Формирование защищённой технологической сети заключается в её сегментации. Каждый сегмент образует зону, защищённую на нескольких уровнях от различных киберугроз. Такие зоны включают в себя физический или логический набор оборудования с идентичными требованиями к безопасности. Обмен данными между зонами осуществляется только по защищённым каналам связи (путям), все типы данных, проходящих по ним, должны быть регламентированы, а любой неописанный трафик запрещён. Соответственно, любая возможность электронного обмена данными должна осуществляться только через зарегистрированный путь. Основными технологиями защиты путей являются межсетевые экраны и *VPN*-каналы. Детально эти процессы описаны в стандарте *ANSI/ISA99*.

Шаг 5: Регламенты доступа персонала к системам управления. После определения зон и путей и обеспечения их информационной безопасности следует позаботиться о контроле физического и логического доступа к критически важному оборудованию. Физический

контроль доступа – понятное для понимания мероприятие, заключающееся в иерархической системе доступа в кабинеты с помощью замков и ключей. Как и в случае с межсетевыми экранами, идея состоит в том, чтобы доступ к критически важному оборудованию имел лишь тот персонал, которому это необходимо для работы.

Логический контроль доступа предполагает действия по следующим пунктам:

- аутентификация и авторизация пользователей;
- ролевой контроль доступа;
- лист привилегий;
- журналы контроля доступа;
- технологии *Active Directory*, *Radius*, *ldap*, др.;
- отслеживание изменений.

Шаг 6. Контроль функционала производственных систем. Усиление безопасности компонентов системы подразумевает запрещение всех ненужных функций, отключение не используемых для работы компонентов и функций операционной системы (например мультимедийных), отключение всех лишних коммуникационных интерфейсов и связанных с ними сервисов (например *Web*-сервера на ПЛК, если он не используется).

На рабочих станциях должно быть установлено антивирусное ПО, а операционные системы и программы обновлены с помощью официальных пакетов обновлений (патчей). Контроль актуальности антивирусных баз и обновления системы должен производиться в соответствии со специальным регламентом. Немаловажным средством для выявления уязвимостей является специализированное программное обеспечение типа *Nessus* или *Bandolier*. Данное ПО проверяет систему на наличие известных уязвимостей и правильной конфигурации серверов и рабочих станций, исходя из соображений безопасности. Однако тестирование работающей системы проводить не рекомендуется.

Шаг 7: мониторинг и управление системой информационной безопасности. Постоянный сетевой мониторинг должен быть неотъемлемой частью работы оператора системы. Этот процесс подразумевает множество действий, в том числе установку обновлений ПО и антивирусных баз, мониторинг сети на подозрительную активность. Последнее может проводиться, например, путём анализа *log*-файлов на неавторизованную активность. Также существуют специальные технологии под общим названием «Системы обнаружения вторжений (COB)», или в оригинале *Intrusion Detection Systems (IDS)*. COB тоже не является панацеей и не в состоянии защитить систему управления от любого вредоносного ПО, это только часть стратегии защиты в глубину.

Важно использовать технологии и решения, предназначенные именно для промышленного сектора. Жёсткие условия эксплуатации, опыт персонала, уникальные протоколы связи и фокус на безопасность и надёжность приводят к различию требований промышленной и ИТ-безопасности.

Литература

1. Фаронов, А. Е. Основы информационной безопасности при работе на компьютере / А. Е. Фаронов. – М. : ИНУИТ, 2016. – 155 с.
2. Добротун Е. Б. Построение модели угроз безопасности информации в автоматизированной системе управления критически важными объектами на основе сценариев действия нарушителя / Е. Б. Добротун. – М. : Инсайд, 2016. – 42 с.

УДК 621.3

Развитие ветроэнергетики в условиях Республики Беларусь

Курьянович С. Д.

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

Беларусь не располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Лишь 15 % собственных ТЭР покрывают потребности страны, остальные 85 % импортируются – в основном из России. В последние годы наблюдается постоянный рост цен на топливо и импортируемую электроэнергию. Этот рост будет иметь место и далее до достижения мировых цен. В связи с этим для Беларуси чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, одним из которых является ветер.

В настоящий момент на территории Беларуси действует 23 ветроустановки. При нормальном развитии энергетика Беларуси может стать полностью независимой уже к 2050 году, и имеет все шансы укрепится, как экспортер в данной индустрии.

На каком этапе развития ветроэнергетика в Беларуси, какие перспективы развития этого вида энергии?

Для первоначального этапа развития ветроэнергетики Беларуси определены 1840 площадок для строительства как одиночных ВЭУ, так и ВЭС с потенциалом более 200 млрд. кВт·ч. Выявленные на территории Беларуси площадки под ветроэнергетику – это, в основном, гряды холмов высотой от 20 до 80 м с фоновой скоростью ветра 5 м/с и более, на которых можно возвести от 5 до 20 ВЭУ. Каждому внедрению должно предшествовать детальное обследование места строительства ВЭУ. Невыполнение условий по результатам обследований приведет к значительным ошибкам в оценке выработки энергии. При выборе конкретных образцов ВЭУ необходимо дополнительно учитывать ряд факторов, связанных с величиной фактического ветроэнергетического ресурса в месте непосредственного размещения ВЭУ. К таким факторам относятся: абсолютная высота местности, высота возвышения площадок и их открытость, отдаленность предполагаемого места размещения ВЭУ от потребителя и особенно от линий электропередачи, в т. ч. от трансформаторных подстанций и т. п. Выборочные обследования зон опытной эксплуатации ветротехнического оборудования на территории Беларуси показали, что при оптимальном выборе строительной площадки для возведения ВЭУ (на возвышениях и открытой местности, на берегах водных массивов и т. п.) окупаемость ВЭУ при среднегодовой скорости ветра 6–8 м/с укладывается в срок около 5 лет. Наиболее эффективно обеспечивается использование современной зарубежной ветротехники на территориях зон со среднегодовыми фоновыми скоростями не ниже 4,5 м/с на холмистом рельефе. К таким регионам относятся: возвышенные районы большей части севера и северо-запада Беларуси, центральная зона Минской области включая прилегающие с запада районы, Витебская возвышенность. Местами на обследуемых территориях возможно обнаружение не выявленной ранее энергоэффективной холмистости, а также других энергоэффективных площадок для строительства не только мощных ВЭУ, но и ВЭС (например, в продуваемых долинах большой протяженности, вблизи крупных водных массивов, на высоких откосах).

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. Ветряк под Новогрудком до сих пор остается самым большим и мощным в Беларуси, а также единственным государственным. По заверениям специалистов ветроустановки окупятся в течении пяти лет при среднегодовой скорости 6–8 м/с.

Исходя из ветроэнергетического потенциала только в Минской области, насчитывается 1076 строительных площадок под размещение на каждой от 3 до 10 ВЭУ континентального базирования мощностью до 1000 кВт. Среднегодовая выработка только 10 % этих ВЭУ в

статистическом распределении времени работы в номинальном режиме от 2500 до 3300 часов в год на срок эксплуатации установок составляет около 2676 млн. кВт·ч. Соответственно среднегодовая экономия жидкого топлива составит более 800 тыс. тонн. Сроки окупаемости капитальных вложений в ветротехнику сопоставимы со сроками окупаемости малых гидроэлектростанций, парогазовых и газо-мазутных электростанций и значительно ниже данных сроков для угольных, атомных и дизельных электростанций. По завершении срока окупаемости затраты на эксплуатацию ВЭУ неизмеримо ниже аналогичных затрат для электростанций, работающих на жидком, газообразном, твердом и ядерном топливе, т. к. не нуждаются в поставках ископаемых источников энергии. Следует учитывать, что ветроэнергетическая отрасль за счет каждой ВЭУ начинает вырабатывать энергию немедленно после монтажа и при этом не требует гигантских единовременных капитальных вложений, также как и концентрированных вложений при заменах по завершении сроков эксплуатации каждой отдельной ВЭУ. Основными препятствиями к развитию ветроэнергетики в Беларуси как путем внедрения зарубежной ветротехники континентального базирования, так и посредством организации производства собственных ВЭУ остаются проблемы финансирования работ по созданию ВЭУ и ВЭС, тарифной и налоговой политики, отсутствия льгот при закупке и эксплуатации ветроэнергетического оборудования, стандартизации и сертификации продукции.

Ветроэнергетика является нерегулируемым источником энергии. Выработка ветроэлектростанции зависит от силы ветра – фактора, отличающегося большим непостоянством. Соответственно, выдача электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему отличается большой неравномерностью как в суточном, так и в недельном, месячном, годовом и многолетнем разрезах. Учитывая, что энергосистема сама имеет неоднородности нагрузки (пики и провалы энергопотребления), регулировать которые ветроэнергетика, естественно, не может, введение значительной доли ветроэнергетики в энергосистему способствует её дестабилизации. Понятно, что ветроэнергетика требует резерва мощности в энергосистеме (например, в виде газотурбинных электростанций), а также механизмов сглаживания неоднородности их выработки (в виде ГЭС или ГАЭС). Данная особенность ветроэнергетики существенно удорожает получаемую от них электроэнергию. Энергосистемы с большой неохотой подключают ветрогенераторы к энергосетям, что привело к появлению законодательных актов, обязующих их это делать.

В нашей стране в целом программой предусмотрены довольно оптимистические прогнозы развития Белорусской ветроэнергетики. В какой мере они будут реализованы, покажет время. Несмотря на то, что в настоящий момент не все задуманные инвестиционные проекты удалось реализовать, государством активно ведутся мероприятия по привлечению инвестиций в возобновляемую энергетику.

Литература

1. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.energya.by>. – Дата доступа : 09.11.2018.
2. Елистратов, В. В. Использование возобновляемой энергии: учебное пособие / В. В. Елистратов. – СПб., 2010. – 225 с.
3. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа : 13.11.2018.
4. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М. ; Берлин : Директ-медиа, 2014. – 229 с.

УДК 621.3

Измерение напряжения с использованием делителей

Вашков В. В., Саковец П. Д., Зубрицкий Н. В.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Делитель напряжения – это измерительное устройство, представляющее из себя цепочку последовательно соединенных элементов, имеющих активное или реактивное сопротивление, один конец которой заземляется, а на другой конец подается измеряемое напряжение. Делитель напряжения содержит низковольтное плечо, к которому присоединяется измерительный прибор, и высоковольтное плечо. Это отношение полного сопротивления делителя к сопротивлению низковольтного плеча делителя:

$$K_{\text{д}} = \frac{(Z_1 + Z_2)}{Z_2} = \frac{U_1}{U_2}.$$

Делитель должен удовлетворять основному требованию: напряжение на низковольтном плече должно по форме повторять измеряемое напряжение, приложенное к высоковольтному плечу. Для этого необходимо, чтобы:

- коэффициент деления не зависел от частоты;
- коэффициент деления не зависел от величины и полярности измеряемого напряжения;
- величина сопротивления делителя не зависела от напряжения, температуры и включение делителя не оказывало влияния на измеряемое напряжение.

Делители напряжения используются для измерения постоянных, переменных и импульсных напряжений. Однако из-за существенного различия в требованиях к делителям при напряжениях различного вида обычно делители изготавливают для измерения какого-либо одного вида напряжения. При создании делителей на высокие классы напряжений (порядка 10^6 и более) такой подход оказывается неэкономичным. Поэтому в настоящее время изготавливаются «универсальные» делители:

- омические;
- емкостные;
- емкостно-омические.

Наиболее полная эквивалентная схема делителя напряжения, состоящая из N одинаковых элементов (рисунок 1), может рассматриваться как длинная линия, заземленная с одного конца. Из такой схемы замещения как частный случай можно получить любые схемы замещения делителей – омического, емкостного, емкостно-омического.

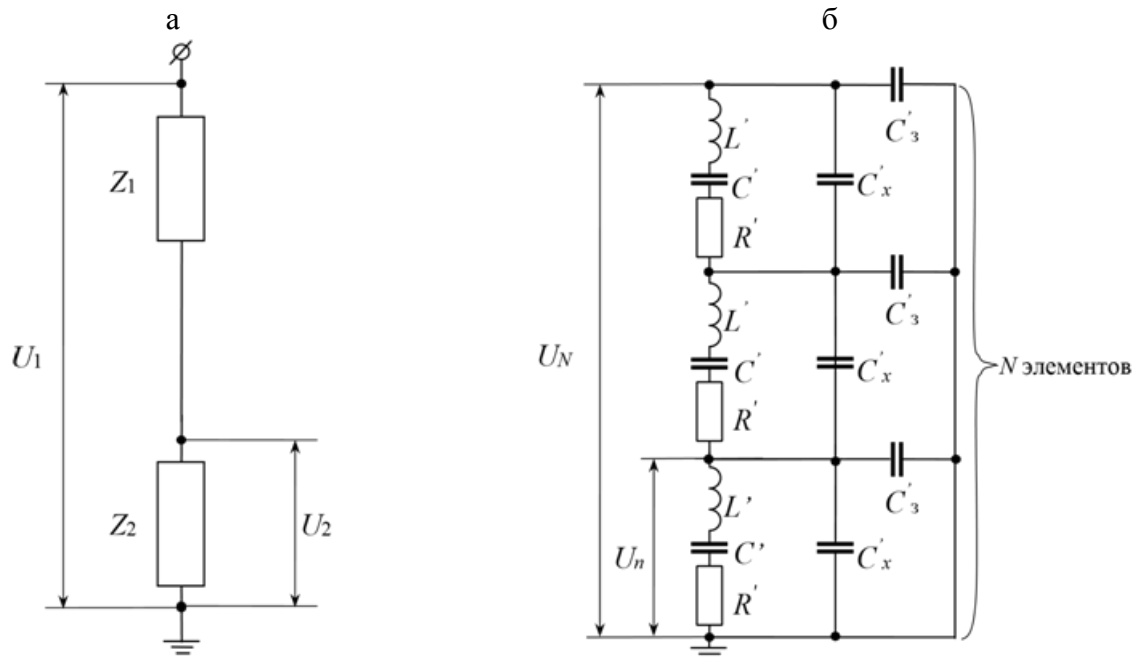
Продольная емкость делителя C зависит от конструкции делителя и для омических делителей составляет единицы пФ. Паразитную емкость делителя на землю C_3 без учета влияния окружающих объектов можно рассчитать как:

$$C_3 = \frac{4\pi\epsilon_0 h}{\ln \frac{h(h+4a)}{r(3h+4a)}},$$

где h – высота делителя; a – расстояние от основания высоковольтного элемента (резистора) делителя до поверхности земли; r – радиус делителя.

Паразитная емкость на землю C_3 приводит к неравномерному распределению напряжения вдоль его длины из-за токов, утекающих на землю. Это приводит к изменению коэффициента деления. Для уменьшения влияния паразитной емкости на землю делители снабжают экранами (колоколообразными, тороидальными или экранами по всей длине – цилиндрическими). Экраны подсоединяются к высоковольтному концу делителя, а цилиндрический экран соединяется и с землей.

Способность делителя верно передавать измеряемый импульс характеризуется коэффициентом передачи (частотная характеристика). Это отношение комплексной амплитуды выходного напряжения к комплексной амплитуде входного напряжения. Расчет характеристик передачи напряжения весьма громоздок в силу сложных схем замещения делителей. Поэтому на практике экспериментально определяют при подаче на вход делителя прямоугольного импульса. По сигналу на выходе можно определить переходную функцию (время реакции) измерительной системы по методике, изложенной в ГОСТ 17512-82.



R' – активное сопротивление элемента делителя;
 L' – индуктивность элемента делителя;
 C'_x – емкость элемента делителя на землю;
 C – продольная емкость элемента делителя;

C'_x – включенная емкость последовательно с элементом делителя

Рисунок 1 – Принципиальная схема делителя напряжения (а) и его схема замещения (б)

Емкостный делитель.

Схему емкостного делителя можно получить, полагая в общей схеме $L'=0$, $R'=0$, $C'=0$ (рисунок 1). Переходная функция такого делителя имеет вид:

$$g = n / N(1 - C_c / 6C_x).$$

Как видно из этого выражения, емкостный делитель воспроизводит процесс с постоянной погрешностью, не зависящей от частоты. Идеальная передаточная характеристика будет при максимально большом отношении C_x / C_c . В практике создания таких делителей достаточно иметь соотношение $C_x / C_c > 3-5$, так как при больших значениях делитель будет представлять большую емкостную нагрузку и влиять на измеряемое напряжение (амплитуду и форму сигнала).

С ростом частоты при достаточно большом отношении C_x / C_c распределение напряжения будет определяться токами через емкостную проводимость. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности применения чисто емкостного делителя для измерения быстроизменяющегося напряжения.

Однако реальные емкостные делители, собранные из конденсаторов, всегда обладают сопротивлением утечки, которое не позволяет использовать такие делители для измерения медленно меняющихся или постоянных напряжений, так как в этом случае распределение напряжения будет не по емкостям, а по сопротивлениям утечки. Кроме того, наличие собственной индуктивности конденсаторов ($L \neq 0$) вызывает возникновение колебаний в делителе, что ограничивает применение их применение.

Омический делитель для измерения постоянных напряжений.

При измерении постоянных напряжений нет смысла рассматривать частотные характеристики делителя. Схема замещения в этом случае состоит из активного сопротивления элементов делителя и сопротивления утечки элементов на землю. Погрешность измерения напряжения омическим делителем в этом случае будет определяться качеством резисторов: температурной зависимостью их сопротивления; влиянием токов утечки по изоляционной конструкции и их нелинейной зависимостью от напряжения, а также влиянием коронного разряда.

Следовательно, для измерения с малой погрешностью делитель должен быть некоронирующим, сопротивление его должно быть на несколько порядков меньше сопротивления утечки. С другой стороны, сопротивление делителя должно быть не очень малым, чтобы ограничить ток через делитель, отбираемую им мощность и тем самым уменьшить температуру элементов делителя и влияние его на измеряемое напряжение. Конструкция делителя должна обеспечивать достаточную интенсивность отвода тепла, выделяющегося на токопроводящих элементах его.

При создании делителей для измерения постоянных напряжений используют проволочные или керамические резисторы. Проволочные сопротивления изготавливаются из манганина, константана, нихрома и других металлов с высоким удельным сопротивлением или используют выпускаемые промышленностью проволочные резисторы марок С5-23–С5-25 и ряд других. В качестве сопротивлений могут использоваться керамические объемные (ТВО) и с пленочным проводящим покрытием резисторы КЭВ.

Омический делитель для измерения переменного и импульсного напряжения.

Схема замещения таких делителей может быть получена, если в общей схеме замещения полагать $C_x \rightarrow \infty$. Для изготовления могут быть использованы проволочные сопротивления и керамические резисторы. Проволочные сопротивления обладают существенной индуктивностью. Снижение индуктивности в этом случае можно добиться, выполняя бифилярную намотку сопротивлений.

На характер передачи напряжения решающее влияние оказывают паразитная емкость на землю C_ζ и индуктивность L , определяемые конструкцией делителя. Индуктивность делителя является нежелательным, но неизбежным параметром, присущим любому делителю. Величина ее зависит от конструктивного исполнения делителя, пропорциональна его длине, имеет порядок (10^{-6} – 10^{-5}) Гн/м. Наличие паразитных параметров приводит к колебательным процессам в делителе. Для устранения возникающих колебаний необходимо их демпфирование.

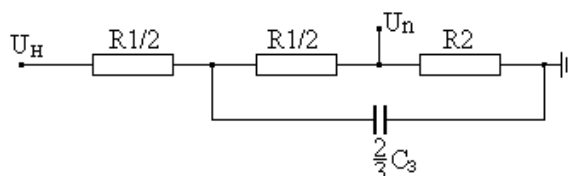
При измерении синусоидального напряжения из-за наличия паразитной емкости и индуктивности делителя возникают погрешности, которые определяются в основном произведением RC_ζ . Выделяют амплитудную δU и угловую φ_U погрешности, которые при синусоидальном напряжении могут быть выражены как:

$$\begin{aligned}\delta U &= -0.3(\omega\tau_\zeta)^2, \\ \varphi_U &= \arctg(\omega\tau_\zeta),\end{aligned}$$

$$\tau_c = RC_c.$$

Применение делителей малого сопротивления и малого габарита позволяет уменьшить погрешности. Но низкоомный делитель на высокие напряжения выполнить затруднительно. Обычно такие делители изготавливаются на напряжение до 100 кВ.

При измерении импульсного напряжения омическим делителем возникают еще более сложные проблемы, связанные с высокими скоростями изменения напряжения. Переходная функция омического неэкранированного делителя, представлена упрощенной схемой замещения (рисунок 2).



R_1 и R_2 – сопротивления высоковольтного и низковольтного плеча делителя

Рисунок 2 – Упрощенная схема замещения омического делителя

Литература

1. Электронная библиотека студента [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://studentlib.com>. – Дата доступа : 18.11.2018.
2. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа : 18.11.2018.

УДК 621.3

Практические методы расчёта переходных процессов

Кудёлка В. В.

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

Переходные процессы – процессы, возникающие в электрических цепях при различных воздействиях, приводящих их из стационарного состояния в новое стационарное состояние, то есть, – при действии различного рода коммутационной аппаратуры, например, ключей, переключателей для включения или отключения источника, или приёмника энергии, при обрывах в цепи, при коротких замыканиях отдельных участков цепи и т. д.

Физическая причина возникновения переходных процессов в цепях – наличие в них катушек индуктивности и конденсаторов, то есть индуктивных и ёмкостных элементов в соответствующих схемах замещения. Объясняется это тем, что энергия магнитного и электрического полей этих элементов не может изменяться скачком при коммутации (процесс замыкания или размыкания выключателей) в цепи. Иными словами, конденсатор не может запастись энергией мгновенно, а если бы мог – для этого потребовался источник энергии бесконечной мощности.

Расчет электромагнитного переходного процесса в современной электрической системе с учетом всех имеющих место условий и факторов чрезвычайно сложен и практически не выполним, поэтому, чтобы упростить задачу и сделать ее решение практически возможным, вводят ряд допущений. Последние зависят прежде всего от характера и постановки самой задачи. Те допущения, которые вполне пригодны при решении одной задачи, могут быть совершенно неприемлемыми при решении другой.

В соответствии с целевым назначением проводимого на практике расчета электромагнитного переходного процесса устанавливают исходные расчетные условия. Они весьма разнообразны и при решении разных задач могут быть даже противоположными. Так, например, для выбора выключателя по условиям его работы при коротком замыкании должны быть определены соответствующие возможные наибольшие величины тока короткого замыкания. С этой целью исходят из предположения, что короткое замыкание происходит в то время, когда включено наибольшее число генераторов, что вид короткого замыкания такой, при котором ток достигает наибольшей величины, что короткое металлическое и что оно произошло непосредственно у выводов самого выключателя. Помимо того, здесь устанавливают расчетное время размыкания контактов выключателя и цикл производимых им операций (включение и отключение).

Для составления эквивалентной схемы замещения в относительных единицах нужно прежде всего на одной из ступеней напряжения заданной схемы выбрать базисные единицы и затем определить базисные единицы для каждой другой ступени напряжения. После этого следует подсчитать все величины в относительных единицах при базисных условиях, имея в виду, что под базисным напряжением, током и сопротивлением всегда надо понимать базисные напряжение, ток и сопротивление той ступени трансформации, на которой находятся подлежащие приведению величины. При такой последовательности приведения магнитосвязанной схемы коэффициенты трансформации промежуточных трансформаторов учтены в базисных единицах каждой ступени напряжения заданной схемы.

Представление любых физических величин не в обычных для них соответствующих именованных единицах, а в относительных, безразмерных единицах позволяет существенно упростить некоторые теоретические выкладки и придать им более общий характер. Равным образом и в практических расчетах такое представление величин придает результатам большую наглядность и позволяет быстрее ориентироваться в порядке определяемых значений. Благодаря этому система относительных единиц широко используется. Под относительным значением какой-либо величины следует понимать ее отношение к другой одноименной величине, выбранной за единицу измерения. Следовательно, чтобы выразить,

отдельные величины в относительных единицах, нужно прежде всего выбрать те величины, которые должны служить соответственными единицами измерения (или установить базисные условия).

Исследования и расчеты при несимметричных КЗ проводят с помощью метода симметричных составляющих. Расчет состоит в том, что заданный несимметричный режим работы системы представлен как результат наложения трех симметричных режимов, один из которых содержит только составляющие прямой последовательности (ЭДС, токи, сопротивления), другой – только составляющие обратной последовательности и третий – только составляющие нулевой последовательности.

При расчетах токов несимметричных КЗ. применяют правило эквивалентности прямой последовательности, согласно которому ток прямой последовательности любого несимметричного КЗ может быть определен как ток при трехфазном КЗ в точке, удаленной от действительной точки КЗ, на дополнительное сопротивление, величина которого в зависимости от вида КЗ определяется результирующими сопротивлениями схем обратной и нулевой последовательности. Установлено, что симметричные составляющие токов и напряжений в месте КЗ, а также полные токи и напряжения в здоровых и поврежденных фазах для любого момента времени пропорциональны току прямой последовательности.

В ряде случаев, например, когда расчет токов КЗ ведется с целью выбора или проверки аппаратов и проводников по условиям КЗ, очень большой точности определения токов КЗ не требуется, поэтому желательно использование простых практических методов. Одним из таких методов, который учитывает параметры современных синхронных машин и реальные условия их работы, является метод типовых кривых.

Типовыми кривыми называют графические зависимости, отражающие при заданной удаленности точки КЗ, изменение во времени относительного значения периодической составляющей тока КЗ источника.

При приближенных расчетах токов КЗ для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронных генераторов в произвольный момент времени при радиальной расчетной схеме следует применять метод типовых кривых. Он основан на использовании кривых изменения во времени отношения действующих значений периодической составляющей тока КЗ от генератора в произвольный и начальный моменты времени, т. е. построенных для разных удаленностей точки КЗ.

Типовые кривые учитывают изменение действующего значения периодической составляющей тока КЗ, если отношение действующего значения периодической составляющей тока генератора в начальный момент КЗ к его номинальному току равно или больше двух. При меньших значениях этого отношения следует считать, что действующее значение периодической составляющей тока КЗ не изменяется во времени.

Расчет тока КЗ по его общему или индивидуальному изменению применяется, если в расчетной схеме ЭЭС точка КЗ питается от нескольких источников, то следует оценить возможность уменьшения их количества, располагая сведениями об их типе, мощности и электрической удаленности относительно точки КЗ. Различают расчет периодической составляющей тока КЗ по его общему изменению, если количество источников удастся сократить, и индивидуальному изменению, если необходимо вычислять составляющие тока КЗ от каждого или эквивалентных (объединённых однотипных) генераторов.

Расчет тока КЗ по его общему изменению заключается в замене однотипных и одинаково электрически удаленных генераторов эквивалентными с последующим определением периодической составляющей тока КЗ для каждого из этих эквивалентных генераторов.

Расчет тока КЗ по его индивидуальному изменению состоит в определении токов КЗ, создаваемых разнотипными генераторами или электростанциями с разной удаленностью их от точки КЗ. Периодические составляющие токов КЗ отдельных генераторов изменяются во времени неодинаково. Если вычислять токи КЗ, создаваемые разнотипными генераторами с

разной удалённостью от точки КЗ, через общее результирующее сопротивление, то расчёт может иметь большую погрешность. Предельное отклонение результатов расчёта по общему изменению периодической составляющей тока КЗ характеризуется отношением начального сверхпереходного тока к периодической составляющей тока источника в момент времени t при КЗ на зажимах генератора. Для турбогенераторов даже при малых промежутках времени расчет приводит к существенным погрешностям (отношение достигает трех). Для гидрогенераторов предельные ошибки такого расчёта гораздо меньше. При отсутствии АРВ погрешность расчёта возрастает. Если характеристики источников позволяют использовать для расчёта тока КЗ типовые кривые, то в случае независимых генерирующих ветвей можно воспользоваться также рекомендациями последовательности расчёта по общему изменению тока КЗ. Преобразование схемы выполняют с использованием коэффициентов распределения тока. Источники, непосредственно связанные с точкой КЗ, а также источники бесконечной мощности следует рассматривать отдельно от остальных источников питания. Токи, создаваемые источниками, находят отдельно для каждой ветви. В случае независимых генерирующих ветвей связи с точкой КЗ составляющие тока КЗ рассчитывают аналогично расчёту по общему изменению тока КЗ.

УДК 621.3

Показатели качества изоляции

Ломец Ю. А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Диэлектрическая изоляция – обязательная изолирующая часть любого кабеля, которая не только отделяет проводящие жилы друг от друга, физически изолируя их, но и защищает проводники от пагубного воздействия различных факторов окружающей среды. Таких оболочек у одного кабеля может быть одна или несколько.

Состояние данных оболочек выступает одним из определяющих критериев в плане безопасности как для персонала, так и для работоспособности оборудования. Если по какой-либо причине диэлектрическая изоляция проводников будет нарушена, это станет чревато аварией, поражением людей электрическим током или даже пожаром. А возможных причин нарушения качества изоляции существует масса:

- механическое повреждение во время монтажных, ремонтных или земляных работ;
- повреждение изоляции от действия влаги или температуры;
- недобросовестно выполненное электрическое соединение жил;
- систематическое превышение допустимых для кабеля токовых параметров;
- естественное старение изоляции.

Важно регулярно отслеживать показатели качества изоляции.

Полная замена проводки – это всегда очень материально затратное и трудоемкое действие, не говоря уже о потерях и убытках, которые понесет предприятие от сбоя электроснабжения и от незапланированного простоя оборудования. Что касается больниц и некоторых стратегически важных объектов, то для них нарушение штатного режима электроснабжения вообще недопустимо.

Вот почему гораздо важнее предотвратить проблему, не допуская ухудшения изоляции, вовремя проверив ее качество, и где нужно – оперативно починить, заменить, а не доводить до аварий и их последствий. Для этого проводятся измерения показателей качества изоляции – четырех параметров, о каждом из которых будет рассказано далее.

Хотя вещество изоляции и является фактически диэлектриком, и не должно проводить электрический ток, подобно идеальному плоскому конденсатору, тем не менее, в небольшом количестве свободные заряды внутри него присутствуют. И даже небольшое смещение диполей – тоже обуславливает слабую электропроводность (ток утечки) изоляции.

Кроме того, из-за наличия влаги или грязи, появляется у изоляции и поверхностная электропроводность. А накопление энергии в толще диэлектрика от действия постоянного тока – вовсе представляет изоляцию таким конденсатором небольшой емкости, который словно заряжается через некоторый резистор.

В общем и целом, изоляцию кабеля (или обмотки электрической машины) можно представить как цепь, состоящую из соединенных параллельно трех цепей: емкости C , представляющей геометрическую емкость и обуславливающей поляризацию изоляции по объему, емкости проводников и всего объема диэлектрика с последовательно подключенным сопротивлением абсорбции, как будто конденсатор заряжается через резистор. Наконец – сквозное сопротивление по всему объему изоляции, обуславливающее ток утечки сквозь толщу диэлектрика.

Сопротивление изоляции R_{iso} .

При подаче на обкладки конденсатора постоянного напряжения, сначала возникает импульс зарядного тока, величина которого в первый момент времени зависит только от сопротивления цепи, и лишь после идет заряд абсорбционной емкости (емкости поляризации), при этом ток по экспоненте спадает, и здесь можно экспериментально найти

постоянную времени RC . Так при помощи измерителя параметров изоляции, измеряют сопротивление изоляции R_{iso} .

Измерения ведутся при температуре не ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, так как при более низкой температуре сказывается влияние охлаждающейся и замерзающей влаги, и картина становится далекой от объективности. После снятия испытательного напряжения, заряд «изоляционного конденсатора» начинает спадать, так как происходит диэлектрическое поглощение заряда.

Коэффициент абсорбции DAR.

Степень текущей увлажненности изоляции численно отражается в коэффициенте абсорбции, так как чем более изоляция увлажнена – тем интенсивнее происходит диэлектрическое поглощение заряда внутри нее. По величине коэффициента абсорбции принимают решение о необходимости провести сушку изоляции трансформаторов, двигателей и т. д.

Вычисляют соотношение сопротивлений изоляции через 60 с и через 15 с после начала измерений сопротивления – это и есть коэффициент абсорбции.

Чем больше в изоляции влаги – тем больше ток утечки, тем ниже значение коэффициента абсорбции DAR (Dielectric Absorption Ratio). Во влажной изоляции больше примесей (примеси находятся во влаге), сопротивление из-за примесей уменьшается, потери растут, понижается напряжение теплового пробоя, ускоряется тепловое старение изоляции. Если коэффициент абсорбции менее 1,3 – необходимо изоляцию просушить.

Индекс поляризации PI.

Следующий важный показатель качества изоляции – индекс поляризации. Он отражает подвижность заряженных частиц внутри диэлектрика под действием электрического поля. Чем новее, целее и качественнее изоляция – тем меньше внутри нее, как в диэлектрике, движутся заряженные частицы. Чем выше индекс поляризации – тем старее изоляция.

Для нахождения данного параметра, вычисляется соотношение величин сопротивления изоляции через 10 мин и через 1 мин после начала испытаний. Данный коэффициент (Polarization Index) практически свидетельствует об остаточном ресурсе изоляции как качественного диэлектрика, еще способного выполнять свою функцию. Коэффициент поляризации PI не должен быть меньше 2.

Коэффициент диэлектрического разряда DD.

Данный параметр помогает выявить среди слоев многослойной изоляции дефектный, поврежденный слой. Измерение DD (Dielectric Discharge) производится следующим образом.

Первым делом изоляцию заряжают чтобы измерить ее емкость, после прекращения процесса зарядки, остается ток утечки через диэлектрик. Теперь изоляция разряжается накоротко, и спустя минуту после короткого замыкания, – измеряется остаточный ток разряда диэлектрика в наноамперах. Этот ток в наноамперах делится на напряжение при измерении и на емкость изоляции. Коэффициент DD должен быть меньше 2.

УДК 621.3

Поверочные установки и их применение в энергетике

Грицкевич Д. В.

Научный руководитель – БАРАН А. Г.

Стационарные поверочные установки предназначены для регулировки, калибровки и поверки средств измерения (СИ) активной, реактивной, полной мощностей и энергии, СИ промышленной частоты, действующих значений напряжения и тока, фазовых углов и коэффициента мощности.

Область применения поверочных установок: комплектация поверочных и испытательных лабораторий, а также предприятий, изготавливающих и ремонтирующих средства измерений электроэнергетических величин.

Поверочная установка может быть использована автономно и в сочетании с персональным компьютером (ПК), расширяющим ее функциональные возможности.

Установки выпускаются в различных конструктивных вариантах, в зависимости от размера стенда и количества устройств навески для подключения поверяемых СИ.

В зависимости от метрологических характеристик используемого эталонного средства измерения установки выпускаются в различных вариантах исполнения.

В поверочной установке для калибровки измерительных приборов используется эталонный счетчик (метод сравнения). Он определяет напряжение и ток в широком диапазоне.

По измеренным значениям токов, напряжений и сдвига фаз вычисляется фиктивная мощность, действующая в измерительном канале.

В режиме поверки установки ток и напряжение от внешнего источника фиктивной мощности подаются на эталонный счетчик через присоединительную колодку. Значение измеренной мощности передается на испытательный выход установки поверочной в виде последовательности импульсов, частота которых определяется постоянной счетчика.

Установка НЕВА-ТЕСТ 3303Л предназначена для регулировки и поверки трёхфазных и однофазных счетчиков активной, реактивной или активной и реактивной энергии класса точности 0,2S при измерении активной энергии и класса точности 0,5S при измерении реактивной энергии и менее точных. Возможна одновременная поверка трёх счётчиков при условии, что цепи тока и напряжения гальванически развязаны.

Программное обеспечение для управления работой установки с ПК предназначено для работы в операционных системах Windows XP/Vista/Win7/Win8/Win10, позволяет сохранять результаты поверки в базе данных и формировать протоколы поверки в формате Excel.

Для формирования выходных сигналов тока и напряжения используется технологии цифровой частотной модуляции, амплитудной модуляции и фазовой модуляции. Процессор оцифровывает основную гармонику синусоидального сигнала и гармонические составляющие, если в выходном сигнале должны присутствовать гармоники и сохраняет информацию в ОЗУ.

Установка определяет отклонение частоты на испытательном выходе поверяемого счётчика от частоты, формируемой образцовым счётчиком, и выводит результаты измерений по интерфейсу в ПК.

Установка НЕВА-ТЕСТ 6303Л предназначена для регулировки и поверки трехфазных и однофазных счетчиков активной, класса точности 0,2S и менее точных, реактивной, класса точности 0,5 и менее точных, или активной и реактивной энергии. Поверка счетчиков может проводиться как в автоматическом, так и в ручном режимах.

Область применения – поверочные и испытательные лаборатории, а также предприятия, изготавливающие и ремонтирующие средства измерения электроэнергетических величин.

Управление работой установки обеспечивает плата центрального процессора (ЦП). По командам от встроенной клавиатуры или ПК центральный процессор управляет генератором цифрового сигнала и переключает выходные диапазоны.

В генераторе сигнала используются различные методы цифровой частотной, амплитудной и фазовой модуляции, для формирования синусоидального сигнала.

Трансформаторы тока работают в режиме короткого замыкания, это обеспечивает отсутствие взаимного влияния фазных сигналов напряжения и тока при поверке электросчетчиков.

В установке для поверки счетчиков используется эталонный счетчик (метод сравнения).

Сигналы с датчиков поступают на вход цифро-аналогового преобразователя, где преобразуются в цифровой код, который считывается контроллером.

УДК 621.3

Электродинамическая стойкость токоведущих конструкций с гибкими проводниками

Федосевич Э. А.

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

Типовыми решениями в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 35 кВ и выше в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. При указанных напряжениях в ОРУ с жесткой ошиновкой требуется большое количество опорных изоляторов. Опорные изоляторы и жесткие шины сравнительно дороги. Жесткие шины чувствительны к сейсмическим воздействиям, а также к просадкам и наклонам опорных конструкций, требуют точной установки изоляционных опор и высокого качества строительно-монтажных работ. Они подвержены также ветровому резонансу, для борьбы с которым применяются специальные гасители вибрации.

Оценка электродинамической стойкости расщепленных проводов воздушных линий заключается в проверке их схлестывания и механической прочности. Для проверки схлестывания нужно выявить наибольший размах колебаний при коротких замыканиях (КЗ). Небольшие (на порядок меньше междуфазных) расстояния между проводами расщепленной фазы обуславливают большие электродинамические усилия, действующие внутри расщепленной фазы при КЗ. Испытания в опытных пролетах показали, что при определенном сочетании конструктивных параметров расщепленной фазы и величины токов КЗ возникает схлестывание проводов. После схлестывания провода фазы двигаются под действием междуфазных электродинамических усилий (ЭДУ). В момент максимального стягивания проводов в пучке под действием внутрифазных ЭДУ происходит резкое увеличение тяжения фаз.

Под электродинамической стойкостью гибких проводов электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов КЗ до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. ПУЭ указывает на ток КЗ в 20 кА, по достижении которого необходимо производить расчет гибких шин на электродинамическую стойкость. С возрастанием токов КЗ их электродинамическое действие становится ключевым фактором, определяющим габариты и механические характеристики токоведущих конструкций с гибкими проводами при проектировании.

В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 35 кВ и выше объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью. Внедрение глубоких вводов 110–220 кВ в большие города и крупные промышленные предприятия и размещение ТЭЦ и ГРЭС на стесненных площадках, при неблагоприятных условиях работы изоляции, привели к необходимости применения закрытых РУ (ЗРУ), аппараты и ошиновка которых размещаются в помещении. В настоящее время ЗРУ 110–220 кВ сооружаются, как правило, с применением оборудования и ошиновки, предназначенных для ОРУ.

Под гибкой ошиновкой ОРУ понимается система подвешенных гибких проводов, которые крепятся к несущим конструкциям portalного типа с помощью натяжных гирлянд изоляторов. Гирлянды собирают из стеклянных изоляторов типа ПС или фарфоровых типа ПФ. В качестве основных принимаются более прочные и удобные в эксплуатации стеклянные изоляторы. Длина гирлянд изоляторов в зависимости от напряжения составляет от 0,9 м на 35 кВ до 9,5 м на 750 кВ, и их вес соизмерим с весом проводов в пролете. Все соединения в гирлянде, а также ее крепление к порталам выполняются шарнирно, поэтому гирлянда изоляторов представляет собой гибкую цепь элементов. Гибкая ошиновка вместе с порталами образует анкерованные пролеты, расположенные рядами (пролеты ячеек). Ниже

перпендикулярно к ним находятся пролеты сборных шин (шинные пролеты). Электрическая связь между анкерованными пролетами выполняется в виде свободно висящих петель (шлейфов).

К гибким шинам ОРУ посредством ответвительных зажимов присоединяются спуски к электрическим аппаратам. Они монтируются практически без натяжения и имеют, как правило, значительную разность высот подвеса. В ряде случаев они представляют собой вертикально расположенные отпайки. Обычно в пролете гибких шин ОРУ имеется не более трех спусков к электрическим аппаратам. Для подвески гибкой ошиновки ОРУ применяются сборные железобетонные или стальные порталы. В отдельных случаях стойки порталов выполняются железобетонными, а траверсы – металлическими.

Таким образом, гибкая ошиновка ОРУ является неоднородной по составу механической системой, которая под действием ЭДУ при КЗ совершает сложное колебательное движение. При больших токах КЗ оно сопровождается недопустимым сближением проводов соседних фаз и значительными динамическими усилиями на порталы и электрические аппараты. Поэтому в соответствии с указаниями ПУЭ и ГОСТ при проектировании ОРУ необходимо проверять электродинамическую стойкость гибкой ошиновки к большим токам КЗ.

Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяет составить подробную картину поведения гибких проводов при КЗ. В траекториях движения проводов выделяют два участка. На первом провода движутся с ускорением под действием электродинамических усилий (ЭДУ). Началом второго участка является положение провода в момент отключения КЗ. После отключения движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода. Из-за влияния температурных удлинений проводов, податливости опор, а также изменения формы проводов и гирлянд изоляторов траектории движения гибких проводников приобретают более сложную форму.

При компьютерных расчетах большое количество времени тратится на сбор массива исходных данных, а также на анализ результатов расчета. В проектной практике целесообразно применение упрощенных методов расчета параметров электродинамической стойкости гибких шин, реализованных в виде простых формул и таблиц. Практика применения упрощенных методик одобрена в международном и межгосударственном стандартах.

В общем случае провода движутся по разным траекториям с различной угловой скоростью из-за влияния ветра, наличия отпаек в пролете и несимметричности пролета. Наиболее сближенными при КЗ могут оказаться провода сборных шин одной фазы с проводами спусков соседней фазы.

Следует заметить, что для расчета параметров электродинамической стойкости в случае пролетов со спусками предпочтительным является использование компьютерных программ. Упрощенные методы расчета позволяют определить только предельные отклонения гибких шин в таких пролетах.

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ. Поэтому для них динамические усилия при КЗ наиболее опасны. При определении их механической прочности расчетные максимальные моменты и перерезывающие силы в любом сечении сравниваются с допустимыми значениями.

Гибкие шины распределительных устройств (РУ) обладают существенной гибкостью и могут принимать форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при коротком замыкании. Поэтому динамика гибких шин в общем случае описывается с использованием расчетной модели гибкой нити с распределенной по длине массой. Движение гибкой нити под воздействием распределенных нагрузок описывается дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Получить решение таких уравнений можно лишь численными методами.

Гибкая ошиновка с расщепленной фазой моделируется одной нитью с эквивалентной массой, включающей в себя массы фазных проводников и дистанционных распорок, масса которых распределяется равномерно по всей длине проводов.

подавляющее большинство пролетов гибкой ошиновки распределительных устройств высокого напряжения расположены в горизонтальной плоскости. Для расчета их электродинамической стойкости широко применяются упрощенные методы расчета, основанные на представлении провода сосредоточенной массой или физическим маятником. Они положены в основу межгосударственного и республиканского стандартов на расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств.

Для оценки электродинамической стойкости гибкой ошиновки по условиям необходимо выполнить расчет ее динамики с учетом конструктивных элементов ОРУ. Расчетным является один пролет гибкой ошиновки ОРУ (рисунок 1). Влияние на него смежных участков заменяется динамическими силами, являющимися зеркальным отображением тяжений расчетного пролета.

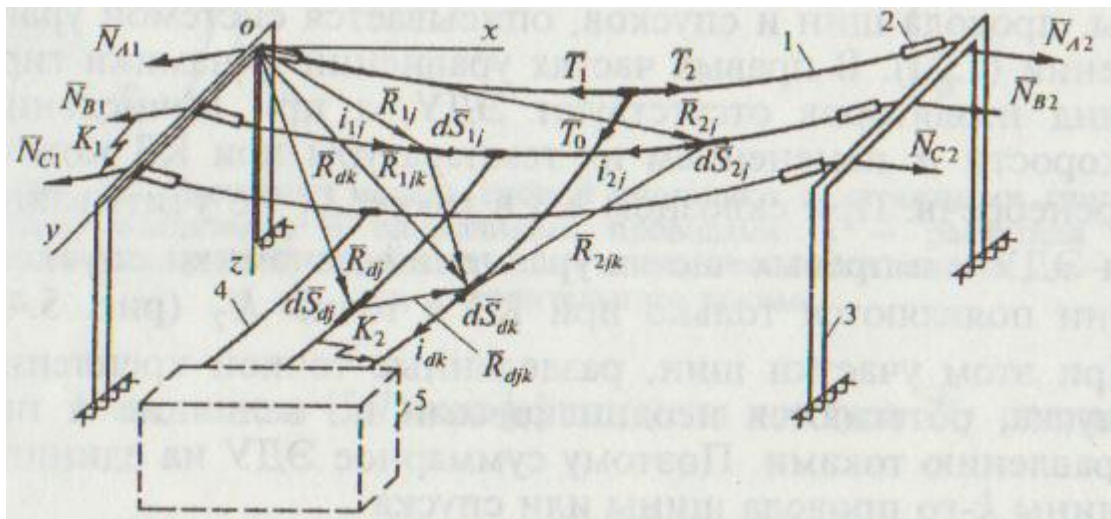


Рисунок 1 – Расчетная схема пролета гибкой ошиновки ОРУ

Считается, что рядом расположенные пролеты идентичны и обтекаются одинаковыми по величине токами КЗ. В местах присоединения к гибким шинам спусков, гирлянд изоляторов, шлейфов, распорок, коромысел действуют сосредоточенные нагрузки, поэтому динамика гибкой ошиновки не может быть описана только уравнениями гибкой упругой нити. Эту систему необходимо дополнить уравнениями движения конструктивных элементов (гирлянд изоляторов, порталов, отпаяк к аппаратам, аппаратов, зажимов, коромысел и распорок). Гирлянда изоляторов является гибкой цепью элементов, состоящей из чередующихся изоляционных и металлических компонентов. Однако для упрощения модели она, как и провод, представляется гибкой упругой нитью с равномерно распределенной по длине массой. Этот подход очевиден и используется в работах, посвященных механическому расчету гибкой ошиновки ОРУ и воздушных ЛЭП. Упругие свойства расчетной модели гирлянды определяются параметрами стальных стержней изоляторов, составляющих более 90 % всей ее длины. Поэтому расчетная модель гибкой ошиновки состоит из последовательно связанных между собой участков однородных гибких упругих нитей.

Расчетная модель гибкой ошиновки с одиночными проводами учитывает в местах соединения гирлянд и шин, а также шин и спусков натяжные и ответвительные зажимы, представленные материальными точками. В соответствии с принципом связей механики действие на них проводов и гирлянд изоляторов заменяется реакциями связей. После этого

зажимы становятся свободными телами, динамика которых описывается уравнениями движения материальной точки.

Для гибкой ошиновки с расщепленными проводами в местах присоединения спусков устанавливаются дистанционные распорки жесткого типа. Согласно принципу связей механики, они освобождаются от последних, и рассматривается их динамика под действием сил от шин и спусков по уравнениям жесткой распорки. Эти уравнения используются также для описания динамики коромысла, соединяющего гирлянду с расщепленными проводами гибкой ошиновки. Динамика концов гирлянд и спусков зависит от упругих и инерционных характеристик порталов, электрических аппаратов и шинных изолирующих опор. Действующие на электрический аппарат или изолирующую опору нагрузки от проводов по осям x и y являются изгибающими, а по оси z – растягивающими. Соотношение между ними зависит не только от расположения спусков, но и места КЗ. При сквозном КЗ спуски под действием сил от шин перемещаются в плоскости yoz , поэтому от них на аппарат действуют изгибающие и растягивающие усилия в этой плоскости. При КЗ в ячейке путь протекания тока КЗ включает в себя провода ответвлений. Их электродинамические взаимодействия между собой и с шинами ОРУ обуславливают изгибающие нагрузки по трем взаимноперпендикулярным направлениям. Динамические прогибы шинных изолирующих опор и электрических аппаратов находят из уравнений колебаний упругого стержня с заземленным концом (консоли). Электрические аппараты представляются эквивалентной консолью. Соответствие динамических характеристик консоли и реального электрического аппарата обеспечивается при использовании его экспериментальной жесткости в целом.

Литература

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

УДК 621.3

Резистивно-заземленная нейтраль электрических сетей

Караник А. А.

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

В настоящее время в сетях напряжением 6/10/35 кВ всё чаще применяется резистивное заземление нейтрали – заземление нейтрали через активное сопротивление.

При однофазных замыканиях на землю (далее ОЗЗ) 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.

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 нейтралью, 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 киловатт 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 35 кВ высокоомный резистор подключают к нейтрали одного из питающих трансформаторов, имеющих соединённую в «звезду» обмотку 35 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 включенных 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. Комплектация резистора может быть выполнена из единичных бетэловых резисторов типа РШ-2 (сопротивление 200 и 300 Ом) или из резисторов типа РНВ-6/10 (сопротивление 500 или 1000 Ом). Однако для устройств заземления нейтрали через высокоомное сопротивление предпочтительнее проволочные резисторы, так как они допускают большие нагрузки и более надёжны в эксплуатации.

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 $2,5U_{\phi}$. 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.

Выбор типа резистора для заземления нейтрали производится по трём основным критериям:

- резистор должен обеспечивать снижение уровня дуговых перенапряжений;
- сопротивление резистора в нейтрали должно гарантировать протекание активного тока в повреждённом присоединении, достаточного для действия релейных защит на сигнал или отключение повреждённого присоединения;
- при заземлении нейтрали через резистор должны соблюдаться условия электробезопасности для людей при ОЗЗ на подстанциях и распределительных пунктах с учётом существующего нормирования величины допустимого напряжения прикосновения.

Литература

1. Короткевич, М. А. Эксплуатация электрических сетей / М. А. Короткевич. – Минск : Вышэйшая школа, 2014.
2. Защита электрических сетей 6–35 кВ от влияния перенапряжений / под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджикибаева. – СПб. : Энергоатомиздат, 2002.

УДК 621.3

Методы контроля состояния изоляции

Ломец Ю. А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П. И.

Для нормального функционирования кабельных линий связи и электроустановок необходимо непрерывно контролировать состояние изоляционного покрытия. В данном процессе необходимо использовать устройство контроля качества изоляции. Устройства для контроля качества изоляции предназначено для проведения измерений состояния изоляции сети, которая находится под постоянным напряжением и для оценки результатов проведенных измерений. Все устройства, которые используют для контроля изоляции, ведут непрерывный контроль ее состояния путем проведения измерений сопротивления изоляции для обеспечения условий электробезопасности.

Существуют следующие группы устройств, для контроля состояния изоляции:

- устройства, которые предназначены для проведения непрерывного, автоматического контроля над состоянием сопротивления изоляционного покрытия сети или же установки относительно земли;
- инспекторские приборы, которые предназначены для проведения периодических контрольных замеров сопротивления изоляционного покрытия во время работы сети;
- устройства, которые предназначены для селективного обнаружения в разветвленных электрических сетях присоединения (фидера) с пониженным уровнем сопротивления изоляции.

Разрушающие методы контроля изоляции.

1. Метод проведения испытаний изоляционного покрытия повышенным напряжением промышленной частоты (50 Гц).

Силовые кабели работают при частоте 50 Гц, поэтому испытание готовой продукции в заводских условиях проводят повышенным напряжением при этой частоте. На частоте 50 Гц не проявляют себя межслоевая и приэлектродная поляризации. В полевых условиях испытание на частоте 50 Гц затруднено из-за большого габарита высоковольтного испытательного трансформатора.

Время воздействия и величина испытательного напряжения должны быть такими, чтобы нанести минимальный вред изоляции (рост триингов, разрушение изоляции под действием частичных разрядов) и одновременно пробить изоляцию в дефектных местах.

Обычно испытание кабельной линии повышенным напряжением производится после ее монтажа перед вводом в эксплуатацию.

Всякое испытание повышенным напряжением снижает ресурс кабеля, поэтому его нельзя использовать как промежуточный вид контроля качества изоляции. Для этого существуют неразрушающие методы контроля состояния изоляции.

2. Метод проведения испытаний изоляционного покрытия повышенным постоянным напряжением.

В полевых условиях испытание на частоте 50 Гц затруднено из-за большого габарита высоковольтного испытательного трансформатора. Это обусловлено тем, что трансформатор нагружен емкостным током.

Ток утечки существенно меньше емкостного тока, поэтому испытательная установка постоянного напряжения меньше испытательного трансформатора и может быть сделана мобильной.

Недостатком испытания повышенным постоянным напряжением является то, что при постоянном напряжении проявляют себя межслоевая и приэлектродная поляризации. Эти виды поляризации противостоят прикладываемому напряжению, т. е. усиливают изоляцию и, тем самым не дают истинного значения электрической прочности.

3. Метод проведения испытаний изоляционного покрытия повышенным напряжением сверхнизкой частоты (0,1 Гц).

При таком испытании проявляет себя межслоевая и приэлектродная поляризации, т. е. в неоднородном диэлектрике на границе раздела слоев накапливается заряд и у электродов также накапливается заряд.

За время смены полярности заряд не успевает уйти на электроды (что характерно для хороших диэлектриков, таких как полиэтилен) и усиливает внешнее электрическое поле. Диэлектрик оказывается под большим напряжением.

При подаче напряжения на диэлектрик, содержащий кристаллическую и аморфную фазы, происходит накопление заряда на границе раздела и около электродов в соответствии с рисунком 1.

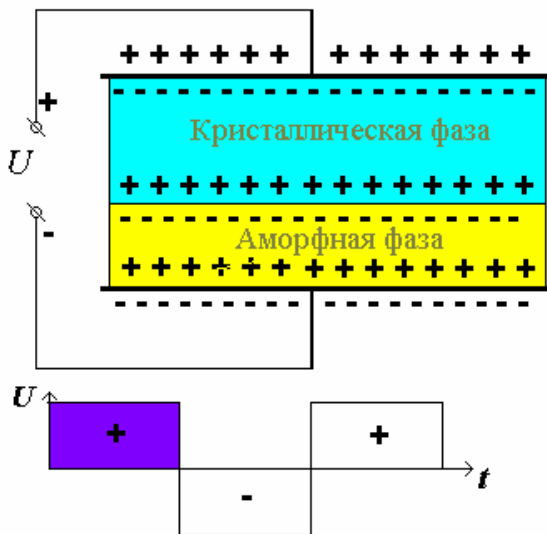


Рисунок 1

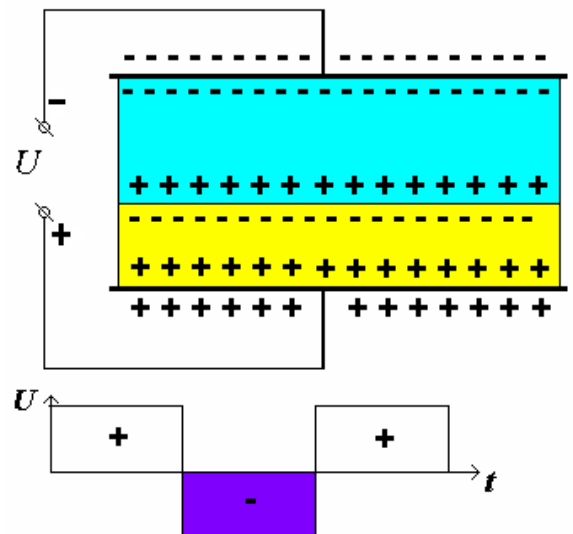


Рисунок 2

При смене полярности напряжение на диэлектрик удваивается, т. е. испытание происходит при двойном напряжении в соответствии с рисунком 2.

Неразрушающие методы контроля изоляции.

1 Метод проведения измерений тока сквозной проводимости или сопротивления изоляции.

Метод заключается в измерении специальным прибором (мегаомметром) сопротивления между двумя точками электроустановки, которое характеризует ток утечки между этими точками при подаче постоянного напряжения. Результатом измерения является значение, которое выражается в МОм (мегаОмы). Измерение проводится прибором – мегаомметром, принцип действия которого состоит в измерении тока утечки, возникающего под действием на электроустановку постоянного пульсирующего напряжения. Современные мегаомметры выдают различные уровни напряжения для испытания разного оборудования.

2 Метод проведения измерения угла диэлектрических потерь.

Тангенс угла диэлектрических потерь определяется как отношение активной составляющей тока утечки через изоляцию к его реактивной составляющей. При приложенном переменном напряжении является важной характеристикой изоляции трансформаторов и вводов высокого напряжения. Обычно тангенс угла диэлектрических потерь выражается в процентах.

3 Метод, основанный на измерении ёмкости.

Существуют различные методы измерения емкости: непосредственного отсчета, мостовой, резонансный и компенсационный. Наибольшее распространение получили методы непосредственного отсчета и компенсационный.

4 Метод измерения распределения напряжения.

Все известные методы измерения распределения напряжения можно разделить на две группы.

Компенсационные методы требуют сложного оборудования и довольно большой затраты времени на снятие кривой распределения напряжения. Эти методы дают высокую точность. Такие измерения могут быть производимы также и при наличии коронного разряда.

Методы вольтметра не требуют сложного оборудования и измерения, могут быть сделаны при меньшей затрате времени и менее квалифицированным персоналом. Точность измерения зависит от точности применяемого прибора и от того, насколько велико искажение распределения напряжения, вносимое проводимостью прибора. Чем меньше проводимость прибора по сравнению с проводимостью образца, по которому измеряется распределение напряжения, тем меньше погрешность измерения.

5 Метод измерения частичных разрядов в изоляции.

Серьезные дефекты изоляции обычно обнаруживаются на стадии приемо-сдаточных высоковольтных испытаний и испытаний на месте монтажа. Если оборудование прошло эти испытания, то необнаруженные при их проведении дефекты изоляции не приводят к полному пробое изоляции в нормальных рабочих условиях. Однако, при дальнейшей эксплуатации оборудования, эти дефекты развиваются и растут. Их рост обусловлен появлением частичных разрядов. Под действием частичных разрядов начинается разрушение изоляции. По мере развития дефекта энерговыделение в его зоне растет, и разрушение изоляции ускоряется за счет термических процессов. Увеличение дефектной области приводит к росту напряженности поля в оставшейся части изоляционного промежутка, и, когда дефектная зона достигает достаточно больших размеров, становится возможным сквозной пробой изоляции. Измерение частичных разрядов может проводиться в процессе нормальной работы оборудования без вывода его из эксплуатации и, при наличии устройств присоединения, даже без его кратковременного отключения.

6 Метод, основанный на использовании ультразвука или рентгеновских лучей для просвечивания.

Разрушающие методы контроля изоляции предполагают использования для испытаний повышенного напряжения, а неразрушающие не требуют его использования и могут быть самыми различными.

УДК 621.3

Цифровая дифференциальная защита трансформатора

Брикун Г. А.

Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К. И.

Широкое распространение вычислительной техники как средства обработки информации привело к информатизации общества и появлению принципиально новых, так называемых, информационных технологий. Это же коснулось и энергетики, так для улучшения качества обслуживания стали внедряться цифровые подстанции. В цифровой подстанции минимизировано количество аналоговых и дискретных трактов в системе мониторинга и управления, так как оперативное и автоматическое управление полностью оцифровано.

Основная суть проблемы кибербезопасности заключается в том, что закрытость объекта больше не является барьером для кибератаки, которая может преодолеть изоляцию, и все данные на верхнем уровне автоматизации подстанции с внедрением IEC 61850, если не принять специальные меры, могут стать доступными не по назначению. В настоящее время IEC 61850 лучше всего реализован через инфраструктуру Ethernet, что из-за связи с корпоративной сетью лишает систему преимуществ изоляции. Дополнительно отмечается, что одноранговая связь через GOOSE подвержена рискам, связанным с воспроизведением событий и манипулированием ими, а связи «клиент-сервер», поддерживающие более одного клиента, увеличивают возможность появления в них неавторизованного клиента.

Для обеспечения требований по безопасности и для оценки её уровня используются семь основополагающих требований, кодифицированных в ISA 01.01.99.

При разборе существующих стандартов оказалось, что ни один из документов не соответствует всем требованиям, а значит необходимо искать решения. А именно одно и то же устройство может быть настроено по-разному, т. е. одно может способствовать кибератакам, а другое может быть настроено так, что будет обеспечивать должную защиту. Данную проблему нельзя выявить путем периодического осмотра оборудования.

Мероприятия по повышению кибербезопасности цифровых подстанций и объектов электроэнергетики в целом:

- разделение информационных потоков различных подсистем на физически не связанные сегменты коммуникационных сетей передачи данных внутри подстанции, т. е. предлагается создание независимых друг от друга шин процессов и шин объектов для каждой функции автоматического или автоматизированного управления, требующей повышенной надежности;

- отказ от монотехнологичности в коммуникационных сетях передачи данных внутри подстанции (чтобы Ethernet и TCP/IP не были единственными коммуникационными технологиями цифровой подстанции);

- применение симплексных каналов с односторонней передачей информации там, где это достаточно для выполнения прикладной функции, например, односторонняя передача информации от цифрового трансформатора тока (трансформатора напряжения) к устройствам релейной защиты и автоматики, исключающая возможность кибератаки на сам трансформатор тока (трансформатор напряжения) от неисправного устройства релейной защиты и автоматики;

- создание выделенных сегментов коммуникационных сетей, использующихся для настройки и переконфигурирования микропроцессорных и коммуникационных устройств, причем в процессе эксплуатации данные сегменты должны быть нормально отключены (снято питание с коммуникационных устройств или разобраны разъемы);

- применение межсетевых экранов, разделяющих различные сегменты коммуникационных сетей на физическом (аналоговом) уровне, которые не должны

допускать выполнение несанкционированных функций (сегодня межсетевые экраны реализуются на уровне программного обеспечения);

– применение специальных межсетевых экранов, предназначенных для передачи GOOSE сообщения между физически разделенными сегментами коммуникационных сетей с возможностью физического вывода из работы любого сигнала (аналог традиционного ключа/накладки для традиционной подстанции);

– применение для ответственных функций упрощенных узкоспециализированных протоколов обмена информации, которые не позволяют передавать несанкционированную информацию (в отличие от Ethernet и TCP/IP, которые поддерживают передачу любой информации).

Для реализации предлагаемых мероприятий необходима разработка и внедрение новых технологий, ранее не применявшихся для построения цифровых подстанций. А это означает, что инженеру-релейщику должен будет обратиться к изучению ряда стандартов и отчетов с информацией об основополагающих требованиях, кодифицированных в ISA 01.01.99 и отчету СИГРЭ.

В связи с внедрением глобальных распределённых систем мониторинга, защиты и управления (WAMS, WAPS, WACS) должна быть решена задача помехоустойчивого приёма сигнала ГНС, обеспечивающего возможность векторных измерений пространственно-разнесённых устройств с высокой точностью синхронизации.

УДК 621.3

Анализ электродинамической стойкости гибкой ошиновки с расщепленными проводами

Мазуров А. Ю.

Научный Руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И.

В современных мощных энергосистемах получили широкое применение токоведущие конструкции с расщепленными проводами. Проектируются компактные воздушные линии с расщепленными фазами, число составляющих проводов в которых достигается 16 и более. Расщепление фаз ограничивает коронный разряд и увеличивает пропускную способность воздушных ЛЭП. Существующая тенденция сокращения габаритов распределительных устройств и компактизации воздушных ЛЭП усугубляет проблему электродинамических воздействий токов КЗ на токоведущие конструкции с расщепленными проводами.

Расщепленная фаза представляет собой систему квазипараллельных гибких проводов, зафиксированных на заданном расстоянии в нескольких точках пролета дистанционными распорками. Поэтому для математического описания динамики расщепленных фаз проводов можно использовать уравнения движения гибкой упругой нити. Они справедливы для участков проводов между распорками, на которые воздействуют при КЗ только распределенные ЭДУ. Из-за фиксации проводов в зажимах распорок при КЗ на провода в этих точках воздействуют также сосредоточенные силы, величины которых могут быть определены лишь с учетом упругих и инерционных характеристик распорок.

Особенностью динамики расщепленной фазы при КЗ является схлестывание проводов внутри нее на большей части пролета вследствие воздействия больших внутрифазных ЭДУ. После схлестывания провода двигаются совместно под действием междуфазных ЭДУ до момента времени отключения КЗ. При многофазных КЗ из-за разницы в расстояниях между составляющими различных фаз траектории движения проводов становятся несимметричными. Это ведет к повороту распорок и закручиванию фазы.

На современных воздушных ЛЭП устанавливаются гибкие и демпфирующие распорки, повышающие устойчивость расщепленных фаз к субколебаниям. Как правило, используется схема их неравномерной расстановки в пролете для более эффективного ограничения амплитуд субколебаний. Предлагаются гасители пляски расщепленных фаз с упруговязкими элементами. При наличии указанных конструктивных элементов в фазе затрудняется оценка ее динамики при КЗ.

В настоящее время в странах СНГ из-за финансового кризиса вычислительный эксперимент является практически единственным доступным способом исследования динамики расщепленных фаз при КЗ в полном масштабе РУ и воздушных ЛЭП. Это повышает требования к достоверности и точности математических моделей для расчета динамики расщепленных фаз при КЗ.

В качестве механической модели фазы принимается пучок гибких упругих нитей, сопротивляющихся кручению, зафиксированных в заданных точках пролета дистанционными распорками различного типа. Такая модель наиболее полно учитывает геометрические и физико-механические характеристики расщепленной фазы в целом пролете. Математическое описание динамики расщепленной фазы на основе принятой механической модели включает в себя уравнения поступательных перемещений и кручения проводов и распорок, которые решаются совместно. В соответствии с принципом связей механики действие проводов на распорки заменяется реакциями связей проводов, являющиеся по соотношению к ней внешними силами. В зависимости от конструктивных особенностей распорки в расчетах представляются различными идеальными моделями.

Перспективные конструкции распорок для расщепленных фаз характеризуются сложной геометрической конфигурацией. В их состав входят гибкие тросы, упругие криволинейные и упруговязкие элементы. Математическое описание таких распорок на

основе их представления абсолютно твердым телом невозможно. Используется расчетная модель распорки в виде сосредоточенных масс и прямолинейных пружин, соединяющих их. Сосредоточенные массы располагаются в центре распорки и в точках крепления к ним проводов фазы. Такая модель заменяет упругую пространственную реакцию тела распорки деформациями растяжения-сжатия системы прямолинейных пружин, упругие свойства которых определяются опытным путем. При этом принимается, что упругие свойства распорки при растяжении и сжатии одинаковы.

Жесткая распорка является системой материальных частиц, в которой расстояния между двумя любыми точками остаются постоянными и эти точки расположены непрерывно. Они заполняют область пространства, занятую распоркой, сплошным образом. С точки зрения теоретической механики такая неизменяемая система называется абсолютно твердым телом. По определению, абсолютно твердое тело не может подвергаться никаким деформациям и представляет собой идеальный образ, который тем ближе подходит к реальной распорке, чем меньше последняя способна деформироваться под действием сил, приложенных от проводов. Подавляющее большинство распорок, установленных в энергосистемах бывшего СССР, можно отнести к распоркам жесткого типа.

Составленная в общем виде математическая модель динамики распорки по уравнениям твердого тела пригодна для расчета динамики расщепленных фаз при их произвольном расположении в пространстве в любом направлении воздействующих ЭДУ. Однако в большинстве практических случаев рассматриваются поперечные колебания фаз в плоскостях, перпендикулярных пролету. Для них продольным вдоль пролета перемещением распорок можно пренебречь. В результате расчета динамики распорки сводится к решению более простой задачи движения ее твердого тела в плоскости, перпендикулярной пролету. В этом случае угловая скорость направлена вдоль неподвижной продольной оси пролета. Динамические уравнения Эйлера заменяются одним уравнением вращения плоского тела распорки вокруг неподвижной оси, относительно которой момент инерции распорки остается неизменным. Этот подход применяется при моделировании динамики демпфирующей распорки при КЗ.

Схлестывание проводов фазы наступает при определенном сочетании ЭДУ, геометрических характеристик фазы и физико-механических параметров проводов. Провода «прилипают» друг к другу через нескольких периодов тока и двигаются совместно под воздействием междуфазных ЭДУ до момента времени отключения КЗ. Математическое описание динамики схлестывающихся участков фазы производится на основе ее расчетной модели в виде эквивалентного провода, осью которого является линия центров масс (ЛЦМ) поперечных сечений.

В состав математической модели динамики расщепленной фазы при КЗ входят уравнения движения и кручения одиночных и эквивалентных проводов, а также уравнения динамики распорок нескольких типов. В математическом отношении уравнения движения эквивалентного провода относятся к классу дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных гиперболического типа. К ним относятся также уравнения кручения проводов. Динамика же распорок описывается нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями второго порядка. Для совместного решения перечисленных уравнений при заданном типе распорки ставится смешанная краевая задача Коши с краевыми условиями второго рода.

Литература

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

УДК 621.3

Внутренние короткие замыкания в силовых трансформаторах

Ломец Ю. А., Журкевич В. В.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Наиболее тяжелым повреждением трансформатора является любое (витковое, междуфазное, на землю) внутреннее короткое замыкание. Внутренние короткие замыкания в силовых трансформаторах в значительной степени связаны с повреждениями обмоток, высоковольтных вводов.

Возникновение внутренних коротких замыканий в процессе эксплуатации обусловлено развитием физико-химических процессов, ухудшающих изоляцию трансформаторов и высоковольтных вводов, недостаточной электродинамической стойкостью обмоток к токам коротких замыканий, длительными неотключениями сквозных токов коротких замыканий, приводящих к выгоранию витковой изоляции, нарушением контактных соединений.

Физико-химические процессы являются возможными причинами возникновения внутренних коротких замыканий в силовых трансформаторах.

К числу таких причин относится загрязнение твердой изоляции, обуславливающее опасное перераспределение напряжения на ее участках, либо загрязнение и увлажнение масла, снижающее его электрическую прочность. Развитие загрязнения твердой изоляции трансформатора возможно вследствие ионизационных процессов в изоляции, сопровождающихся образованием свободного углерода из масла, пропитывающего изоляцию.

Загрязнение твердой изоляции трансформатора возможно и без ионизационного пробоя, например, вследствие деструкции масла и коррозии металлических компонентов при длительной эксплуатации.

Критерием загрязнения поверхности твердой изоляции трансформатора может быть неоправданно малое значение тангенса угла потерь маслобарьерной изоляции. Это обуславливается токами утечки на заземленные части, минуя измерительную систему при испытаниях изоляции.

Снижение электрической прочности масла и маслобарьерной изоляции в целом у трансформаторов может быть вызвано увлажнением твердой изоляции и масла как вследствие попадания атмосферной влаги в масло, так и вследствие образования воды в результате процессов старения самой изоляции, газовой выделением из изоляции и коллоидным старением масла.

По физическому состоянию влага в твердой изоляции трансформаторов подразделяется на адсорбированную мономолекулярно и полимолекулярно.

В настоящее время предельно допустимое значение влагосодержания твердой изоляции эксплуатируемых трансформаторов составляет 4 % по массе. Превышение этого значения влагосодержания соответствует массовому переходу адсорбированной влаги от монослойной к полислойной адсорбции и существенному ухудшению диэлектрических свойств изоляции, что связано также с уменьшением электрической прочности маслобарьерной изоляции в целом.

Негативное действие влаги в изоляции трансформатора связано с образованием пузырьков газа и пара, выделяющихся из изоляции в масло при перегреве изоляции от токов нагрузки в обмотках. Оно состоит в том, что остаточная и приобретенная влага находится в изоляции в адсорбированном состоянии внутри целлюлозных волокон. У нагруженного трансформатора из-за нагрева изоляции влага частично десорбируется в микрокапилляры волокон, образуя в них пар, давление которого сравнимо с атмосферным давлением.

У трансформаторов с остаточной концентрацией влаги, соответствующей обычным условиям сушки, температура, при которой выделяются пузырьки, составляет 130–150 °С. Это снижает электрическую прочность масляного промежутка маслобарьерной изоляции.

Для недопущения газовыделения влажность изоляции эксплуатируемых трансформаторов не должна превышать 2 %.

Влагосодержание твердой изоляции трансформаторов определяется перед их вводом в эксплуатацию и при капитальных ремонтах по влагосодержанию заложенных в бак на заводе-изготовителе образцов изоляции.

Данный метод следует рассматривать все же как основное средство контроля абсолютного значения влагосодержания изоляции и его изменений в процессе эксплуатации. В этом отношении его диагностическая ценность выше, чем у метода анализа заложенных в бак образцов, поскольку он дает, хотя и приближенное влагосодержание, но влагосодержание непосредственно изоляции трансформатора с учетом температуры обмотки.

Опыт эксплуатации показывает, что при постоянно удовлетворительном состоянии масла высокие значения влажности твердой изоляции трансформаторов и высоковольтных вводов не наблюдаются.

В процессе эксплуатации силового трансформатора целлюлозная изоляция обмоток претерпевает деградацию (ухудшаются физико-химические свойства целлюлозной изоляции, снижается ее механическая прочность и образуется вода).

Объективным показателем, позволяющим оценивать степень износа изоляции обмоток, является степень полимеризации образца витковой изоляции, отобранного в одной из верхних катушек, прямо характеризующая глубину ее физико-химического разрушения в процессе эксплуатации.

Наиболее частым и опасным видом повреждения высоковольтных герметичных вводов трансформаторов является пробой изоляции масляного канала, что связано с развитием таких процессов, как отложение осадка (продуктов окисления масла или вымывания из конструктивных материалов) на внутренней поверхности фарфора и на внутренней изоляции, а также коллоидное старение масла.

УДК 621.3

Геоинформационные технологии

Сугаков А. Ю., Войтович А. В.

Научный руководитель – РОМАНОВИЧ С. М.

Геоинформационные технологии (ГИТ) – это информационные технологии обработки географически организованной информации.

Геоинформационная система (ГИС) – это многофункциональная информационная система, предназначенная для сбора, обработки, моделирования и анализа пространственных данных, их отображения и использования при решении расчетных задач, подготовке и принятии решений.

Основное назначение ГИС заключается в формировании знаний о Земле, отдельных территориях, местности, а также своевременном доведении необходимых и достаточных пространственных данных до пользователей с целью достижения наибольшей эффективности их работы.

Основной особенностью ГИС, определяющей ее преимущества в сравнении с другими автоматизированными информационными системами (АИС), является наличие геоинформационной основы, т. е. цифровых карт (ЦК), дающих необходимую информацию о земной поверхности. При этом ЦК должны обеспечивать:

- точную привязку, систематизацию, отбор и интеграцию всей поступающей и хранимой информации (единое адресное пространство);
- комплексность и наглядность информации для принятия решений;
- возможность динамического моделирования процессов и явлений;
- возможность автоматизированного решения задач, связанных с анализом особенностей территории;
- возможность оперативного анализа ситуации в экстренных случаях.

История развития ГИТ восходит к работам Р. Томлисона по созданию Канадской ГИС (CGIS), проводившимся в 1963–1971 гг.

В широком смысле ГИТ – это наборы данных и аналитические средства для работы с координатно привязанной информацией.

Существо ГИТ проявляется в ее способности связывать с картографическими (графическими) объектами некоторую описательную (атрибутивную) информацию (в первую очередь алфавитно-цифровую и иную графическую, звуковую и видеоинформацию). Как правило, алфавитно-цифровая информация организуется в виде таблиц реляционной базы данных (БД). В простейшем случае каждому графическому объекту (а обычно выделяют точечные, линейные и площадные объекты) ставится в соответствие строка таблицы – запись в БД. Использование такой связи, собственно, и открывает столь богатые функциональные возможности перед ГИТ. Эти возможности, естественно, различаются у разных систем, но есть базовый набор функций, обычно имеющийся в любой реализации ГИТ, например, возможность ответа на вопросы «что это?» указанием объекта на карте и «где это находится?» выделением на карте объектов, отобранных по некоторому условию в БД. К базовым можно также отнести ответ на вопрос «что рядом?» и его различные модификации. Исторически первое и наиболее универсальное использование ГИТ – это информационно-поисковые, справочные системы.

Таким образом, ГИТ можно рассматривать как некое расширение технологии БД для координатно привязанной информации. Но даже в этом смысле она представляет собой новый способ интеграции и структурирования информации. Это обусловлено тем, что в реальном мире большая часть информации относится к объектам, для которых важную роль играет их пространственное положение, форма и взаиморасположение, а, следовательно, ГИТ во многих приложениях значительно расширяют возможности обычных систем управления базами данных (СУБД), так как ГИТ более удобны и наглядны в использовании,

и предоставляют диспетчеру линии (ДЛ) свой «картографический интерфейс» для организации запроса к базе данных вместе со средствами генерации «графического» отчета. И, наконец, ГИТ добавляет обычным СУБД совершенно новую функциональность – использование пространственных взаимоотношений между объектами.

ГИТ позволяет выполнять, множествами картографических объектов, операции подобные обычным реляционным (JOIN, UNION, INTERSECTION). Операции этой группы называются оверлейными, так как используют в разных вариантах пространственное наложение одного множества объектов на другое. Фактически оверлейные операции обладают большим аналитическим потенциалом.

ГИТ предлагает совершенно новый путь развития картографии. Прежде всего, преодолеваются основные недостатки обычных карт: статичность данных и ограниченность емкости «бумаги» как носителя информации. В последние десятилетия не только сложные специализированные карты типа экологических, но и ряд обычных бумажных карт из-за перегруженности информацией становятся «нечитаемыми». ГИТ решает эту проблему путем управления визуализацией информации. Появляется возможность выводить на экран или на твердую копию только те объекты или их множества, которые необходимы пользователю в данный момент. То есть фактически осуществляется переход от сложных комплексных карт к серии взаимосвязанных частных карт. При этом обеспечивается лучшая структурированность информации, что позволяет ее эффективно использовать. Очевидно, что наблюдается тенденция возрастания роли ГИТ в процессе активизации информационных ресурсов, т. к. огромные массивы картографической информации эффективно переводимы в активную машиночитаемую форму только с помощью ГИТ. Кроме того, в ГИТ карта становится действительно динамическим объектом.

Это обусловлено следующими новыми возможностями ГИТ:

- изменяемостью масштаба;
- преобразованием картографических проекций;
- варьированием объектным составом карты;
- «опросом» через карту в режиме реального времени многочисленных БД, содержащих изменяемую информацию;
- варьированием символогией, то есть способом отображения объектов (цвет, тип линии и т. п.), в том числе определение символогии через значения атрибутивных признаков объектов, что позволяет синхронизировать визуализацию с изменениями в БД.

В настоящее время широко распространено понимание того, что ГИТ – это базовая технология (umbrella technology) для многих компьютерных приложений (методов и программ), работающих с пространственной информацией.

Поскольку цифровая карта местности (ЦКМ) являются наборами данных сложной структуры, то их целесообразно представлять в различных форматах. Под форматом ЦКМ понимается специально введенная система классификации и кодирования данных о местности. От принятого формата ЦКМ во многом зависит оперативность решения функциональных задач в системах управления различного назначения.

Литература

1. Релематика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://relematika.ru/produkty/6-35kv/geoinformatsionnaya_sistema_omp_vl_i_kl_6-35kv_gis_omp/. – Дата доступа : 01.11.2018.
2. Инфопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://relematika.ru/produkty/6-35kv/geoinformatsionnaya_sistema_omp_vl_i_kl_6-35kv_gis_omp/. – Дата доступа : 01.11.2018.

УДК 621.3

Установки мониторинга частичных разрядов кабельных систем

Никонович М. Ю.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю. В.

Частичные разряды (ЧР) – электрические разряды, которые происходят в изоляции электрооборудования, обычно возникающие в электрических системах, работающих при напряжении от 3000 В и выше.

Частичные разряды возникают в пустотах в твердой изоляции (бумажной или полиэтиленовой), в многослойных системах электродов или проводников, имеющих несколько слоев твердой изоляции, а также в пузырьках газа (в случае жидкой изоляции) или вокруг электродов в газе (коронный разряд) и в большинстве случаев представляют собой воздушные или масляные промежутки в изоляции.

Информация о частичных разрядах появилась после создания высоковольтного оборудования, ориентировочно в 1930-х годах.

ЧР обычно не приводят к быстрому пробое изоляционных промежутков, процесс развития ЧР довольно медленный и зависит от интенсивности частичного разряда.

При большой интенсивности происходит разрушение изоляции в виду разрастания малых воздушных или масляных промежутков, которыми являются ЧР, впоследствии этот процесс приводит к пробое и выводу оборудования из работы до истечения срока эксплуатации.

Общепризнанно, что ЧР в изоляции образуются в результате внесения воздушных (газовых) включений или проводящих частиц при нарушении технологического процесса изготовления оборудования или при его эксплуатации.

Появление ЧР сопровождается следующими физическими явлениями: протекание импульсного тока в искусственно создаваемых цепях, где имеются объекты с ЧР, электромагнитное излучение в окружающее пространство, ударные волны, разложение диэлектрика на молекулярные группы в зоне действия частичных разрядов, световое излучение в окружающее пространство, нагрев локальных объемов изоляции с ЧР.

Система мониторинга марки «КМК-500» предназначена для комплексного непрерывного контроля технического состояния кабельных линий. Контроль режимов работы линии на основании анализа профиля температуры с использованием оптоволоконных датчиков. Контроль состояния кабеля по результатам измерения частичных разрядов с использованием высокочастотных датчиков. Контроль состояния концевых и соединительных муфт по частичным разрядам при помощи акустических датчиков, регистрация и анализ емкостных токов утечки и уравнительных токов в экранах кабельной линии.

Достоинства практического использования системы непрерывного мониторинга марки «КМК-500». Измерение температуры кабельной линии при помощи системы «ASTRO» с оптическим волокном, которая позволяет не только оценивать температурный режим работы и проводить диагностику зон кабеля с повышенным нагревом, но и определять возможность увеличения нагрузки на линию. Выявление дефектов изоляции кабеля и муфт по частичным разрядам на ранних стадиях возникновения и развития, определение типа и опасности выявленного дефекта, используя диагностические приборы марок «CDR» (контроль состояния изоляции кабеля) и «ADM» (контроль состояния изоляции концевых и промежуточных муфт). Локализация места возникновения дефекта в изоляции на работающей кабельной линии на основании анализа формы и времени прихода «прямых» и «отраженных» импульсов частичных разрядов (система CDR). Проведение оперативного контроля емкостных и уравнительных токов, протекающих по броне кабельной линии, что позволяет корректировать режимы работы контролируемой кабельной линии.

Все оборудование системы мониторинга КМК-500 располагается в монтажных шкафах трех типов, связанных оптоволоконными линиями. Конфигурация оборудования системы мониторинга зависит от места его установки, и реальной топологии контролируемой кабельной линии.

Для контроля частичных разрядов в кабельных линиях 110 кВ и выше предназначена система мониторинга марки CDR, производимая компанией DIMRUS.

При помощи системы «CDR» реализуются функции мониторинга. Осуществляется непрерывный контроль состояния изоляции высоковольтной кабельной линии на основе метода регистрации и анализа уровня и распределения частичных разрядов, определяется тип дефекта в изоляции и степень его развития. Производится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле; уникальность этой важной диагностической функции в системе заключается в том, что она реализована для кабельной линии, находящейся под рабочим напряжением. Непрерывное контактное измерение рабочей температуры фаз кабельной линии (концевых муфт), расположенных рядом с измерительным прибором системы мониторинга. Контроль величины уравнивающих фазных токов, протекающих по экрану (броне) кабельной линии при помощи дополнительного датчика тока.

В качестве прибора регистрации и анализа параметров кабельных линий в системе мониторинга CDR использован шестиканальный измерительный прибор с функциональными особенностями. Возможность регистрации импульсов частичных разрядов в очень широком диапазоне частот, от 50 кГц до 1 ГГц; использование такого диапазона частот связано с тем, что импульсы ЧР, перемещаясь по линии, уменьшаются по амплитуде и увеличиваются по длительности. Если импульс возник рядом с датчиком, то его частота будет высокой, равной сотням МГц. Частота «удаленного импульса» может составлять «всего» сотни кГц. Чем длиннее линия, тем более низкочастотные импульсы ЧР могут быть зарегистрированы в ней. В систему мониторинга марки «CDR» встроены два современных метода локализации места возникновения дефекта в изоляции кабельной линии; один работает независимо на основе анализа рефлектограмм распределения импульсов частичных разрядов в линии, а второй анализирует разницу по времени прихода высокочастотного импульса от дефекта к «концам» контролируемой кабельной линии. В системе «CDR» реализована экспертная диагностическая система «PD-Expert», позволяющая в автоматическом режиме определять тип дефекта в изоляции и степень его развития.

Для реализации уникального набора функциональных возможностей в системе «CDR» использованы специфические технические решения. Во-первых, это то, что регистрация импульсов частичных разрядов во всех шести измерительных каналах прибора «CDR» производится полностью синхронно; только в этом случае возможна реализация всех вышеперечисленных диагностических алгоритмов. Во-вторых, если система мониторинга создается для контроля нескольких кабельных линий, то ее приходится создавать, используя несколько приборов марки «CDR»; в этом случае задача синхронизации измерений частичных разрядов становится глобальной.

Система мониторинга марки CDM-30 предназначена для постоянного контроля технического состояния изоляции до 30 кабельных линий 6–10 кВ под рабочим напряжением.

Использование многоканальной системы мониторинга CDM-30 позволяет, что очень важно, снизить общие затраты на систему мониторинга и диагностики, рассчитываемые на один контролируемый кабель.

Система CDM-30 предназначена для периодического мониторинга технического состояния изоляции 30 кабельных линий общей кабельной сборки (КРУ) под рабочим напряжением.

В системе CDM-30 контроль технического состояния высоковольтной изоляции кабельных линий, соединительных и концевых муфт, осуществляется на основе метода регистрации и анализа частичных разрядов.

При помощи системы CDM-30 реализуются функции диагностики. Осуществляется непрерывный контроль состояния изоляции высоковольтной кабельной линии на основе метода регистрации и анализа уровня и распределения частичных разрядов; определяется тип дефекта в изоляции, анализируется степень его развития и опасности для дальнейшей эксплуатации. Производится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле; уникальность этой важной диагностической функции в данном случае заключается в том, что она реализована для кабельных линий в режиме «on-line», т. е. под рабочим напряжением.

Система CDM-30 предназначена для контроля параметров изоляции кабельных линий и работает полностью в автоматическом режиме. Объемы внутренней памяти прибора хватает для хранения замеров частичных разрядов в течение достаточно длительного времени. Полученная информация и диагностические заключения оперативно передаются в систему более высокого уровня.

Система мониторинга ADM-9 предназначена для оперативного контроля технического состояния и поиска дефектов изоляции высоковольтного оборудования под рабочим напряжением. В системе ADM-9 диагностика осуществляется на основе метода регистрации и анализа частичных разрядов, который имеет максимально высокую чувствительность при поиске дефектов в изоляции любого типа.

Акустические датчики системы ADM-9 устанавливаются непосредственно на поверхности контролируемого оборудования, максимально близко к контролируемой зоне изоляции.

При помощи системы мониторинга марки ADM-9 эффективно решаются наиболее важные проблемы диагностики состояния оборудования, непосредственно влияющие на эксплуатацию высоковольтного оборудования. При помощи одного измерительного прибора марки ADM-9 может производиться контроль активности частичных разрядов в восьми различных точках оборудования, удаленных друг от друга на расстояние до 30 метров. Благодаря наличию функции синхронной регистрации сигналов по нескольким измерительным каналам, в приборе ADM-9 проводится локация места возникновения частичных разрядов внутри баков высоковольтного оборудования. На основании анализа полученной информации системой вырабатываются оперативные диагностические решения, и даются рекомендации о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования.

Акустические датчики системы ADM-9 могут быть эффективно применены для контроля технического состояния концевых, а при необходимости и наличии технической возможности (наличия сетевого питания в этой зоне), и промежуточных соединительных муфт высоковольтных кабельных линий.

УДК 621.3

Оптические трансформаторы тока

Алехнович А. С., Алехнович Д. С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КОРОТКЕВИЧ М. А.

За последнее десятилетие термин «аналоговый» успел стать синонимом к слову «устаревший». С одной стороны, это звучит обидно и даже несправедливо по отношению к надёжной, испытанной годами эксплуатации технике. Однако, если речь заходит о повышении точности средств измерения и интеграции их в единую сеть мониторинга и контроля технологических процессов, то имеющегося у аналоговой аппаратуры потенциала становится явно недостаточно. Одно из решений – оптоволоконные трансформаторы, работа которых основана на эффекте Фарадея, эффекте, открытом в одно время с законом электромагнитной индукции, но ожидавшим, когда появятся технологии, способные его эффективно использовать.

Несмотря на столетний опыт в области создания и эксплуатации электромагнитных ТТ – основных первичных преобразователей для целей РЗА, полностью устранить недостатки, присущие этим трансформаторам, не удалось. Одним из существенных недостатков ТТ является насыщение магнитопровода во время КЗ, сопровождающихся аperiodической составляющей. Использование разомкнутых магнитопроводов снижает насыщение, но при прочих равных условиях снижает и точность как по току, так и по углу.

В настоящее время активно рекламируются оптические трансформаторы тока (ОТТ), работа которых основана на эффекте Фарадея [3]. Несмотря на то, что работы по созданию оптических трансформаторов ведутся более 40 лет [4], первые промышленные образцы, появившиеся в последние годы, слишком дорогие и могут найти применение лишь на высоком и сверхвысоком напряжении (220 кВ и более).

В основе действия оптического ТТ лежит эффект Фарадея магнитооптический эффект (рисунок 1), который заключается в том, что при распространении линейно поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света, зависящее от величины этого магнитного поля.

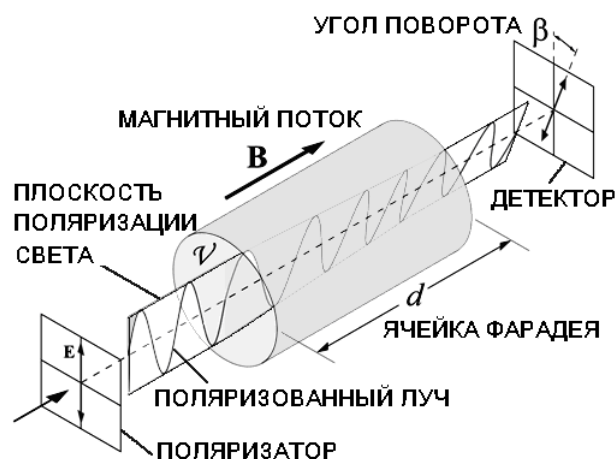


Рисунок 1 – Магнитооптический преобразователь на основе эффекта Фарадея

Чувствительный элемент ТТ установлен на полимерной изоляционной колонке, снабженной поддерживающим изолятором, обеспечивающим спуск гибкого световода на землю. Преобразователь 1 (рисунок 2) входного сигнала в два линейно поляризованных сигнала, которые поступают по оптоволокну, сохраняя поляризацию, на измерительную головку, выполнен на базе светоизлучающего диода. Круговой поляризатор 2 наверху

изоляционной колонки (опорного изолятора) преобразует два линейно поляризованных световых сигнала в сигналы с круговой поляризацией левого и правого вращения. Световые сигналы 3 многократно обходят проводник. Магнитное поле, создаваемое током, протекающим в высоковольтном проводнике, замедляет один сигнал и ускоряет другой (эффект Фарадея). Когда сигналы с круговой поляризацией проходят весь путь вокруг проводника, они отражаются зеркалом 4 и направляются в обратный путь. При этом, направление их поляризации теперь обратно первоначальному. На этом обратном пути эффект удваивается. После этого оба сигнала возвращаются обратно на круговой поляризатор, который снова преобразует их в линейно поляризованные световые пучки. Свет поступает обратно на оптоэлектронный блок внизу колонки по оптическому волокну 6. Разница в скорости распространения этих двух оптических сигналов обуславливает сдвиг по фазе между ними. Поскольку оба сигнала распространяются по идентичным путям, вибрация и изменение температуры воздействуют на них одинаково и поэтому не влияют на точность измерения тока.

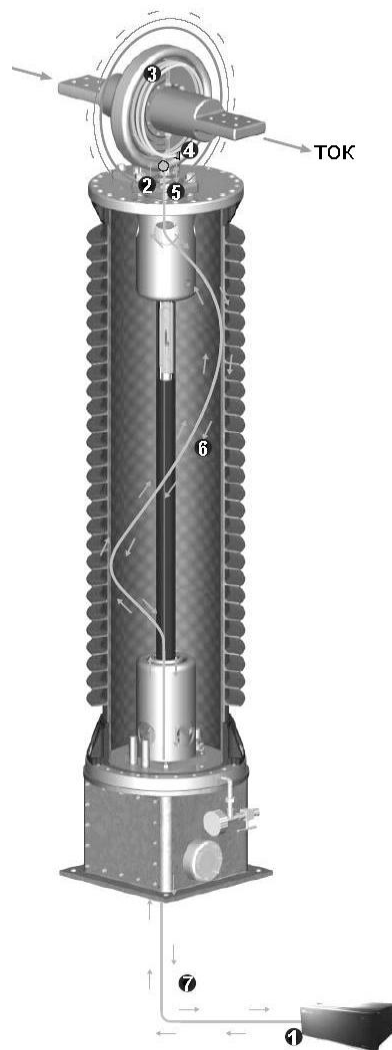


Рисунок 2 – Высоковольтный комбинированный измерительный трансформатор тока компании NxtPhase T&D

Преимущества ЦПС в сравнении с традиционной подстанцией приведены ниже в таблице 1.

Практический интерес также представляет измерительное преобразование тока на основе гальваномагнитных эффектов, используемых в датчиках магнитного поля, позволяющих измерять не только переменный, но и постоянный ток, а также переменный

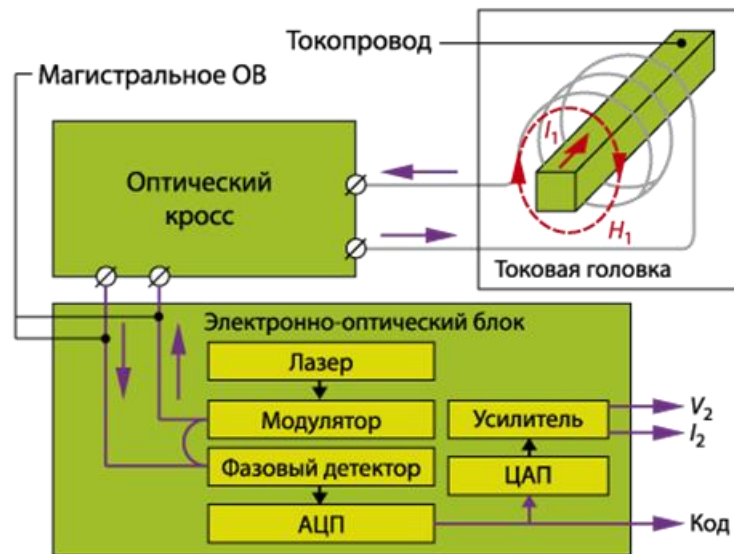
ток, сопровождающийся медленно затухающими аperiodическими составляющими. Измеряемый ток создает магнитное поле, на которое и реагирует датчик. К гальваномагнитным преобразователям относятся датчики Холла, магниторезисторы, магнитодиоды и магнитотранзисторы.

Таблица 1 – Сравнение особенностей традиционных и цифровых подстанций

Традиционная	Цифровая
Потери во вторичных цепях (для всех устройств разные)	Отсутствие потерь при передаче информации
Многokратные АЦ-преобразования (в каждом устройстве)	Однократное АЦ-преобразование (первичное измерение)
Несинхронность измерений	Синхронность измерений
Большое влияние ЭМ-эффектов	Отсутствие влияния ЭМ-эффектов
	Неограниченное тиражирование информации

Таким образом, актуален выбор наиболее перспективных видов первичных измерительных преобразователей тока.

Типичная схема оптического ТТ содержит чувствительный элемент в виде нескольких витков ОВ (оптоволокон), помещенных в жесткую защитную оболочку из немагнитного материала – токовую головку для ОТТ, и электронно-оптический блок (ЭОБ), соединяемый с чувствительным элементом через оптический кросс (рисунок 3).



V_2 – потенциальный выход; I_2 – токовый выход; Код – выход АЦП

Рисунок 3 – Упрощенная структурная схема оптического ТТ

ЭОБ генерирует с помощью встроенного лазера и модулятора на своем оптическом выходе монохроматический циркулярно поляризованный световой сигнал, направляемый по поддерживающему поляризации ОВ на вход чувствительного элемента. В чувствительном элементе плоскость поляризации сигнала подвергается под воздействием магнитного поля H_1 тока I_1 соответствующему повороту на угол Фарадея, и с выхода чувствительного элемента световой сигнал поступает на оптический вход ЭОБ, где на фазовом детекторе из него формируется электрический измерительный сигнал.

Далее этот сигнал через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) поступает в виде цифрового кода определенной разрядности на дискретный интерфейсный выход ЭОБ и через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) на усилитель, где формируются нормированные

аналоговые выходные сигналы в виде напряжения или тока для выдачи на аналоговый интерфейс ЭОБ. Таким образом, измерительная информация может быть получена на выходе ЭОБ для дальнейшего использования.

В том случае, когда чувствительный элемент по технологическим требованиям, например на высоковольтных подстанциях, должен быть удален от ЭОБ, для подключения чувствительного элемента дополнительно используется магистральное ОВ, сохраняющее поляризацию, и кроссовый блок (кабельный бокс), подключающий его к ОВ чувствительного элемента.

Преимущества оптических ТТ:

- отсутствие дополнительной изоляционной среды (масло, элегаз и т. д.);
- отсутствие опасности размыкания вторичной обмотки под нагрузкой;
- возможность измерения постоянного и переменного тока;
- отсутствие феррорезонансов;
- возможность подключения неограниченного количества потребителей измерительной информации. Простота и гибкость масштабирования систем;
- низкие затраты на текущую эксплуатацию, отсутствие рисков возникновения перерывов электроснабжения потребителей;
- высокая точность измерений и обеспечение их единства для всех приборов-получателей данных;
- возможность измерения гармонических составляющих до 100 порядка;
- удобство монтажа (масса ТТ в однофазном исполнении на напряжение 245 кВ составляет 50 кг).

Ведущим производителем оптических ТТ является компания АВВ, выпускающие ТТ типа FOCS-FS Цифровой интерфейс FOCS-FS отвечает требованиям Международного стандарта «Коммуникационные сети и системы подстанций» IEC 61850, что позволяет обеспечить взаимодействие с оборудованием других производителей. ТТ FOCS-FS пригодны для современных измерительных устройств на подстанциях напряжением от 245 до 800 кВ.

Кроме индуктивных трансформаторов тока с масляной или элегазовой изоляцией, АВВ еще в 1990-х годах разработало оптические датчики тока, работающие на эффекте Фарадея, где свет используется для определения точной величины тока, создающего магнитное поле. В результате конструкция, независимая от магнитного насыщения, подходит для получения картины переходных процессов, токов КЗ, и переменного тока с постоянной составляющей.

FOCS-FS это трехфазная система датчиков, состоящая из:

- трех полых изоляторов, заполненных азотом при атмосферном давлении, на которых установлены датчики тока;
- одного шкафа, установленного на опорной конструкции центральной фазы и соединяющего по оптоволокну датчики тока и терминалы защит через оптический Ethernet кабель (стандарт IEC61850-9-2LE).

Оптоэлектронный преобразователь, расположенный в шкафу, выполняет следующие функции:

- посылает поляризованный свет к сенсору;
- получает ответный поляризованный свет от сенсора;
- сравнивает сдвиг фаз в поляризованном свете, пропорциональный магнитному полю и первичному току;
- преобразует полученный результат в оптический Ethernet IEC 61850 выход.

Требуемый уровень резервирования обеспечивается соответствующим количеством оптоэлектронных преобразователей используемых в системе.

По запросу возможна комплектация цифровыми преобразователями аналоговых сигналов от трансформаторов напряжения, синхронизирующими данные сигналы с цифровыми сигналами идущими от FOCS-FS и передающими оба сигнала в одном цифровом потоке по стандарту IEC61850-9-2 LE.

В связи с повсеместным внедрением технологии «Цифровая подстанция» классические электромагнитные трансформаторы тока постепенно уступают место более современным оптическим. Целью такой технической политики является повышение технологического и конструктивного уровней строительства объектов электроэнергетики. Данная технология на сегодняшний день актуальна для Республики Беларусь, т. к. на территории страны в конце 2014 года введена в эксплуатацию первая уникальная подстанция напряжением 110 кВ с применением «шины процесса» (один из ключевых компонентов системы РЗА при реализации технологии «цифровая подстанция») и началась реконструкция ПС 330 кВ «Могилев», в рамках которой будут применены прогрессивные технологии, уникальные для отечественной электроэнергетики: отказ от электромагнитных трансформаторов тока (ТТ) за счет применения оптических ТТ, использование уникальных выключателей-разъединителей а также обеспечение полноценной реализации технологии «цифровая подстанция».

Литература

1. Цифровая подстанция // NR Electric Co., Ltd. – URL : <http://www.nrec.com/ru/category/Digital-Substation.html>.
2. Моржин, Ю. И. Цифровая подстанция – важный элемент интеллектуальной энергосистемы / Ю. И. Моржин. – URL : <http://www.ntc-power.ru/upload/presentation/CPS-intellectual-grid-element.pdf>.
3. Гавричев, В. Д. Волоконно-оптические датчики магнитного поля : учебное пособие / В. Д. Гавричев, А. Л. Дмитриев. – СПб. : СПбНИУ ИТМО, 2013.
4. Афанасьев, В. В. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель, И. М. Сирота, Б. С. Стогний. – Л. : Энергоатомиздат. 1989.

УДК 621.3

Анализ электродинамической стойкости гибких шин напряжения 110 кВ на крупных электростанциях Белоруссии

Буценко М. А.

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

Типовыми решениями в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 35 кВ и выше в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. При указанных напряжениях в ОРУ с жесткой ошиновкой требуется большое количество опорных изоляторов. Опорные изоляторы и жесткие шины сравнительно дороги. Жесткие шины чувствительны к сейсмическим воздействиям, а также к просадкам и наклонам опорных конструкций, требуют точной установки изоляционных опор и высокого качества строительно-монтажных работ. Они подвержены также ветровому резонансу, для борьбы с которым применяются специальные гасители вибрации.

Оценка электродинамической стойкости расщепленных проводов воздушных линий заключается в проверке их схлестывания и механической прочности. Для проверки схлестывания нужно выявить наибольший размах колебаний при коротких замыканиях (КЗ). Небольшие (на порядок меньше междуфазных) расстояния между проводами расщепленной фазы обуславливают большие электродинамические усилия, действующие внутри расщепленной фазы при КЗ. Испытания в опытных пролетах показали, что при определенном сочетании конструктивных параметров расщепленной фазы и величины токов КЗ возникает схлестывание проводов. После схлестывания провода фазы двигаются под действием междуфазных электродинамических усилий (ЭДУ). В момент максимального стягивания проводов в пучке под действием внутрифазных ЭДУ происходит резкое увеличение тяжения фаз.

Под электродинамической стойкостью гибких проводов электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов КЗ до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. ПУЭ указывает на ток КЗ в 20 кА, по достижении которого необходимо производить расчет гибких шин на электродинамическую стойкость. С возрастанием токов КЗ их электродинамическое действие становится ключевым фактором, определяющим габариты и механические характеристики токоведущих конструкций с гибкими проводами при проектировании.

В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 35 кВ и выше объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью. Внедрение глубоких вводов 110–220 кВ в большие города и крупные промышленные предприятия и размещение ТЭЦ и ГРЭС на стесненных площадках, при неблагоприятных условиях работы изоляции, привели к необходимости применения закрытых РУ (ЗРУ), аппараты и ошиновка которых размещаются в помещении. В настоящее время ЗРУ 110–220 кВ сооружаются, как правило, с применением оборудования и ошиновки, предназначенных для ОРУ.

Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяет составить подробную картину поведения гибких проводов при КЗ. В траекториях движения проводов выделяют два участка. На первом провода движутся с ускорением под действием ЭДУ. Началом второго участка является положение провода в момент отключения КЗ. После отключения движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода. Из-за влияния температурных удлинений проводов, податливости опор, а также изменения формы проводов и гирлянд изоляторов траектории движения гибких проводников приобретают более сложную форму.

При компьютерных расчетах большое количество времени тратится на сбор массива исходных данных, а также на анализ результатов расчета. В проектной практике целесообразно применение упрощенных методов расчета параметров электродинамической стойкости гибких шин, реализованных в виде простых формул и таблиц. Практика применения таких методик одобрена в международном и межгосударственном стандартах.

В общем случае провода движутся по разным траекториям с различной угловой скоростью из-за влияния ветра, наличия отпаек в пролете и несимметричности пролета. Наиболее сближенными при КЗ могут оказаться провода сборных шин одной фазы с проводами спусков соседней фазы.

Следует заметить, что для расчета параметров электродинамической стойкости в случае пролетов со спусками предпочтительным является использование компьютерных программ. Упрощенные методы расчета позволяют определить только предельные отклонения гибких шин в таких пролетах.

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ. Поэтому для них динамические усилия при КЗ наиболее опасны. При определении их механической прочности расчетные максимальные моменты и перерезывающие силы в любом сечении сравниваются с допустимыми значениями.

Гибкие шины РУ обладают существенной гибкостью и могут принимать форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при коротком замыкании. Поэтому динамика гибких шин в общем случае описывается с использованием расчетной модели гибкой нити с распределенной по длине массой. Движение гибкой нити под воздействием распределенных нагрузок описывается дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Получить решение таких уравнений можно лишь численными методами.

Гибкая ошиновка с расщепленной фазой моделируется одной нитью с эквивалентной массой, включающей в себя массы фазных проводников и дистанционных распорок, масса которых распределяется равномерно по всей длине проводов.

подавляющее большинство пролетов гибкой ошиновки распределительных устройств высокого напряжения расположены в горизонтальной плоскости. Для расчета их электродинамической стойкости широко применяются упрощенные методы расчета, основанные на представлении провода сосредоточенной массой или физическим маятником. Они положены в основу межгосударственного и республиканского стандартов на расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. ГОСТ 30323-95. – Введ. 01.03.1999. – Минск, 1999. – 57 с.
3. The mechanical effects of short-circuit currents in open-air substations (rigid or flexible bus-bars). – Paris, 1996. – 90 p.
4. Сергей, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.
5. Пономаренко, Е. Г. Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств с применением неявной схемы / Е. Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 5. – С. 34–45.
6. Сергей, И. И. Численный анализ токов электродинамической стойкости гибких проводов электроустановок и способов их повышения / И. И. Сергей, Е. Г. Пономаренко //

Энергетика. (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2010. – № 1. – С. 10–17.

УДК 621.31

Источники оперативного тока высоковольтных подстанций

Гулида В. Д.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А. Ю.

Вторичные цепи подстанции (ПС) – это совокупность кабелей и проводов, соединяющих устройства управления, автоматики, сигнализации, защиты и измерения электростанции или ПС.

Оперативный ток питает вторичные устройства оборудования, такие как: цепи релейной защиты, устройства автоматики и телемеханики, цепи управления выключателями, аппаратуру дистанционного управления и др. При нарушениях нормальной работы станции (подстанции) оперативный ток в некоторых случаях используется также для аварийного освещения и для электроснабжения особо ответственных механизмов собственных нужд.

Совокупность источников питания, кабельных линий, шин питания переключающих устройств и других частей оперативных цепей составляет систему оперативного тока данной электроустановки.

От надежности источника оперативного тока и исправности его сети в наибольшей степени зависит безотказная работа всех этих устройств. Поэтому источники оперативного тока должны быть постоянно готовы к действию и обеспечивать необходимую величину напряжения или тока в обмотках включающих и отключающих электромагнитов, а их мощность должна быть вполне достаточной для надежного действия вторичных устройств при самых тяжелых авариях.

В связи с вышеперечисленным от источников оперативного тока требуется повышенная надежность. Эти же требования высокой надежности приводят к необходимости повышенного резервирования источников оперативного тока и их распределительных сетей.

Применяются следующие системы оперативного тока на подстанциях:

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

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

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

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

В системах оперативного тока различают:

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

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

Источники постоянного оперативного тока обладают высокой надежностью, однако крупным их недостатком является большая стоимость как самих аккумуляторных батарей, так и сети оперативного тока, которая при централизованном распределении неизбежно получается очень сложной и сильно разветвленной. Аккумуляторные батареи требуют

отдельного, специально оборудованного помещения, изолированного от других служебных и производственных помещений и снабженного надежной и эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Эксплуатация аккумуляторных батарей достаточно сложна: необходима высокая квалификация обслуживающего персонала. Все это делает нецелесообразным применение оперативного постоянного тока на небольших электроустановках, напряжением 110 кВ и ниже, где возможно применение переменного оперативного тока.

Источниками переменного оперативного тока являются трансформаторы собственных нужд и измерительные трансформаторы тока и напряжения, осуществляющие питание вторичных устройств непосредственно или через промежуточные звенья – конденсаторные устройства, блоки питания или специальные выпрямительные агрегаты. Переменный оперативный ток распределяется централизованно, и, следовательно, при его использовании не требуется сложной и дорогой распределительной сети. Однако зависимость питания вторичного оборудования от наличия напряжения в основной сети, необходимость в специальных аппаратах и приборах с мощной контактной системой, а также недостаточная во многих случаях мощность самих источников (трансформаторов тока и напряжения) ограничивают область использования оперативного переменного тока относительно малыми установками небольшого напряжения (не выше 110 кВ). Другим недостатком оперативного переменного тока является отсутствие универсальности источников, каждый из которых имеет свою область применения. Оперативный переменный ток с успехом используется на упрощенных подстанциях всех напряжений, не имеющих выключателей на стороне высшего напряжения.

Трансформаторы тока служат надежными источниками для питания защит от коротких замыканий, однако в случаях, когда повреждения в сети или в оборудовании не сопровождаются увеличением тока, трансформаторы тока не могут обеспечить действие соответствующих защит.

Трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд могут служить источниками оперативного тока для защит от повреждений и ненормальных режимов, не сопровождающихся глубокими понижениями напряжения (например, от перегрузки, замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью). Так как напряжение в сети при КЗ заметно снижается, иногда до нуля, трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд не могут использоваться для питания оперативных цепей защит от коротких замыканий. Трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд можно также применять для питания вторичного оборудования и цепей, когда не требуется высокой стабильности напряжения и допустимы перерывы в питании.

Литература

1. Зотов, Б. К. Электромонтер по монтажу вторичных цепей / Б. К. Зотов, Я. С. Миллер, П. Г. Починок. – М. : Стройиздат, 1969. – 304 с.
2. Красник, В. В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств: производственно-практическое пособие / В. В. Красник. – М. : ЭНАС, 2011. – 320 с.
3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
4. Сибикин, Ю. Д. Эксплуатация электрооборудования электростанций и подстанций : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Ю. Д. Сибикин. – М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 447 с.

УДК 621.3

Цифровая дифференциальная защита трансформатора

Магер Н. С.

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

Силовые трансформаторы в различных конструктивных исполнениях являются одними из важнейших элементов энергосистемы. Существуют как и небольшие трансформаторы высокого напряжения (мощностью до 100 кВА), так и большие трансформаторы мощностью несколько МВА. Помимо большого числа простых двухобмоточных и трехобмоточных силовых трансформаторов также существуют многообмоточные и регулирующие трансформаторы.

Дифференциальная защита трансформаторов применяется для предотвращения аварийных и ненормальных режимов работы при возникновении короткого замыкания между фазами, межвитковых коротких замыканий и замыкания одной или более фаз на землю. Дифференциальная защита применяется как основной вид автоматического отключения для мощных трансформаторов и для трансформаторов меньшей мощности, в случае если другие виды защиты не обеспечивают требуемого быстродействия.

Принцип работы дифференциальной защиты заключается в сравнении токов входящих и выходящих из трансформатора, и отключении трансформатора при неравенстве токов. С обеих сторон трансформатора устанавливаются трансформаторы тока, вторичные обмотки которых включены последовательно. Параллельно им подключается токовое реле. Если характеристики трансформаторов тока будут одинаковы, то в нормальном режиме, а также при внешнем коротком замыкании токи во вторичных обмотках трансформаторов тока будут равны, разность их будет равна нулю, ток через обмотку токового реле протекать не будет, следовательно, защита действовать не будет.

При коротком замыкании в трансформаторе и в любой точке защищаемой зоны, например в обмотке трансформатора, по обмотке реле будет протекать ток, и если его величина будет равна току срабатывания реле или больше его, то реле сработает и через соответствующие вспомогательные приборы произведет двустороннее отключение поврежденного участка.

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

Дифференциальная защита трансформатора может быть применена дифференциальной токовой отсечкой, дифференциальной защитой от коротких замыканий на землю или ограниченной защитой от коротких замыканий на землю.

Принцип действия дифференциальной токовой отсечки основан на том, что если дифференциальный ток в защите превышает данный максимальный ток, то может быть выполнено отключение без какой-либо выдержки времени без оценки величины торможения.

Дифференциальная защита от короткого замыкания на землю выделяют два случая: при КЗ на землю в трансформаторе с глухозаземленной нейтралью, при КЗ на землю в трансформаторе с резистивно-заземленной нейтралью. При КЗ на землю в заземленной обмотке трансформатора протекают токи КЗ, которые могут привести к серьезным повреждениям трансформатора. Со стороны питания соответствующие токи могут быть относительно малыми, если замкнутыми являются несколько витков вторичной обмотки.

Ограниченная защита от КЗ на землю является оптимальным дополнением к фазной дифференциальной защите, в частности, на обмотках трансформатора с резистивно-заземленной нейтралью (ограничение тока повреждения). При установке данной защиты

улучшается чувствительность при КЗ на землю. Защита осуществляет сравнение тока нейтрали с суммой фазных токов присоединения. При реализации защиты на традиционной элементной базе для повышения чувствительности при обеспечении селективности действия применялись так называемые реле направления. Такие реле поляризуют рабочий ток током нейтрали, так что защита достигает своей наибольшей чувствительности, когда рабочий ток и ток в нейтрали ТТ направлены в одну сторону (имеют одну и ту же полярность).

Высокоомная дифференциальная защита на трансформаторах применяется в двух версиях – как дифференциальная защита от КЗ на землю и как дифференциальная защита автотрансформаторов.

Высокоомная ограниченная защита от КЗ на землю часто применяется в англосаксонских странах по причине своей простоты и высокой устойчивости при внешних КЗ в условиях насыщения ТТ. Для реализации защиты необходимо использование отдельных сердечников ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации. Защита обычно устанавливается со стороны заземленных обмоток, соединенных в звезду. Три фазных ТТ и ТТ в нейтрали подключаются параллельно устройству защиты (плюс последовательное сопротивление). Порог срабатывания должен быть задан в диапазоне от 5 до 10 % номинального тока трансформатора. Стабильность функционирования защиты оценивается при максимальном сквозном токе КЗ, который имеет место при самых неблагоприятных условиях.

На автотрансформаторах высокоомная защита может быть применена для реализации защиты гальванически связанных обмоток. Для этой цели должны быть доступны выводы обмоток со стороны нейтрали. Указанное обеспечивает альтернативу стандартной дифференциальной защите. Однако необходимо отметить, что обмотки, соединенные по схеме треугольника, не охватываются данной защитой. При реализации защиты группы мощных трансформаторов иногда применяются оба принципа защиты одновременно.

УДК 621.3

**Программные комплексы для механического
и электродинамического расчёта гибких проводников**

Плешко Д. Ю., Федосевич Э.А.

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

Проблема электродинамических воздействий токов короткого замыкания на гибкие провода электроустановок энергосистем стала особенно актуальной к концу 70-х годов, когда проводилось проектирование электроснабжения и непрерывно наращивались мощности электростанций, проектировались распределительные устройства с сокращенными габаритами, велись исследования компактных воздушных линий электропередачи повышенной пропускной способности со сближенными фазами. Это инициировало разработку методов математического моделирования и вычислительного эксперимента для исследования динамики их токоведущих конструкций с гибкими проводами при коротком замыкании.

В электроустановках высокого напряжения электроснабжения энергосистем широко применяются токоведущие конструкции с гибкими проводами. Особенностью их динамики является недопустимое сближение, и даже схлестывание соседних фаз в результате электродинамического действия токов КЗ, сопровождающегося ударными нагрузками на конструктивные элементы РУ и воздушных линий электропередач. Электродинамические воз действия больших токов КЗ – ключевые факторы, влияющие на выбор геометрических размеров и механической прочности токоведущих конструкций с гибкими проводами. Согласно ПУЭ «большими» для гибких проводов являются токи КЗ, имеющие величину более 20 кА. Их существующие уровни превысили указанное значение не только в сетях высокого, но и сверхвысокого напряжения.

Динамика токоведущих конструкций с проводами представляет собой движение упругой многопролетной и многокомпонентной механической системы под воздействием электродинамических усилий (ЭДУ). Изменение взаимного положения проводов влияет на величину и закон распределения по ним ЭДУ. Движение проводов описывается на основе законов и теорем механики. ЭДУ определяются по законам электротехники. При выборе расчетной модели вводятся допущения, идеализирующие провод. Ему придаются свойства и качества, облегчающие решение задачи динамики. В зависимости от степени идеализации провода методы расчета его динамики при КЗ подразделяются на три группы:

- упрощенные, с несколькими степенями свободы провода;
- приближенные, учитывающие дискретное распределение его масс;
- численные методы, учитывающие непрерывное распределение масс.

Упрощенные методы базируются на представлении провода сосредоточенной массой с одной или несколькими степенями свободы и сводятся к решению обыкновенных дифференциальных уравнений. Наиболее простым из них и широко применяемым на практике является метод физического маятника. В нем провод представляется абсолютно твердым телом, все точки которого лежат в одной плоскости, а провода фаз расположены горизонтально. Для повышения точности расчета вводятся поправочные коэффициенты, учитывающие упругое и температурное удлинение проводов, изменение формы проводов при КЗ, упругую податливость опорных конструкций. Влияние изменения кривой провисания провода на его максимальные отклонения при КЗ учитывается путем его преобразования в равнобедренный треугольник. Учет упругих удлинений провода базируется на законе Гука.

Упругость опорных конструкций вводится невесомой пружиной между точкой подвеса и стержнем маятника. Температурное удлинение учитывается для адиабатического нагрева, исходя из действующего значения тока КЗ. При расчете наибольшего отклонения провода во время свободного движения предполагается, что после отключения КЗ провод движется в

противоположную сторону и отклоняется на такое же расстояние, что и при вынужденном движении. По- существу, этот метод пригоден лишь для частных случаев расположения проводов при приближенной оценке максимальных отклонений и тяжений проводов без учета конструктивных элементов распределительных устройств (РУ) и воздушных ЛЭП.

Профессор Кудрявцев Е. П. применял расчетную модель провода с одной степенью свободы в виде абсолютно твердого и упругого стержня с осью, очерченной по цепной линии. Для описания динамики стержня использованы уравнения Лагранжа второго рода относительно угловой координаты провода.

Кудрявцевым Е. П. составлены многочисленные номограммы, облегчающие определение критериев электродинамической стойкости гибких проводов электроустановок. Однако, представление провода сосредоточенной массой ограничивает возможности упрощенных методов в решении задач динамики проводов при КЗ. Они применимы лишь для частного случая расположения проводов и не могут достоверно учесть влияние различных конструктивных элементов РУ и воздушных ЛЭП.

К приближенным методам расчета относятся методы математического маятника и веревочного многоугольника. Несмотря на простоту и физическую наглядность, метод веревочного многоугольника не имеет строгого обоснования по количеству выбираемых узлов многоугольника, что может привести к искажению результата расчета.

Для упрощения расчетов динамики расщепленной фазы в качестве расчетной схемы большинство исследователей принимают подпролет между двумя соседними распорками. Влиянием ЭДУ от соседних фаз и движением распорок на параметры динамики фазы пренебрегают и оценивают только влияние электродинамического внутрифазного взаимодействия на T_{1max} и силу сжатия распорок.

Другим приближенным методом расчета T_{1max} является энергетический метод, предложенный канадскими учеными Крэйгом Д. Б. и Фордом Ж. Л. Энергия деформации проводов, а также потенциальная и кинетическая энергия поддерживающих конструкций во время предельного стягивания проводов фазы после схлестывания приравниваются к работе электромагнитных сил за время их схлестывания. При вычислении этой работы принимается, что ток за рассматриваемый промежуток времени не изменяется и остается равным среднеквадратичному току. Допускается, что провода после схлестывания неподвижны и лежат на оси расщепленной фазы.

В основу численных методов положены расчетные модели провода с непрерывным распределением масс. При этом наибольшее применение получила гибкая упругая нить. При таком подходе выполняется точный расчет сложных токоведущих конструкций с проводами, результаты которого совпадают с опытными данными, и вычисляются динамические характеристики любой точки провода. Поэтому численные методы и составленные на их основе компьютерные программы рекомендованы для решения проектных задач. При численном решении системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающей движение проводов, применяют методы конечных элементов либо конечных разностей. Решение полученных при этом конечно-разностных алгебраических уравнений производится на каждом шаге по времени итерационными методами.

Гибкие провода РУ и воздушных ЛЭП представляют собой пространственную систему криволинейных проводников, взаимное положение и форма которых под действием ЭДУ непрерывно изменяются. Расчет ЭДУ в такой системе проводников представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Существующие методы расчета ЭДУ в системе гибких проводов основаны на законе Био-Савара-Лапласа для бесконечно тонких прямолинейных проводников. Методы расчета ЭДУ в системе гибких проводов можно подразделить на две группы. К первой следует отнести более простые методы, основанные на допущении неизменности прямолинейной формы проводов в процессе КЗ. При этом может учитываться лишь изменение расстояния между взаимодействующими проводами. В основу этих методов

положена формула для вычислений ЭДУ между бесконечно длинными параллельными проводниками. Ко второй группе относятся методы, которые приближенно учитывают криволинейность провода. Провод при этом заменяется ломаной линией. ЭДУ на отрезок определяется как результат действия всех отрезков противоположного провода. В качестве основного выражения для расчета ЭДУ используется закон Био-Савара-Лапласа для двух отрезков, лежащих в одной плоскости. Этот метод не учитывает пространственное положение провода и его изменение во времени.

Для механического и электродинамического расчёта гибких проводников на кафедре «Электрические станции» Белорусского национального технического университета были разработаны программные комплексы FleBus, Linedys, а также пакет программ MR220.

Программа FleBus «Расчет электродинамического действия токов короткого замыкания на гибкие шины распределительных устройств» предназначена для динамического расчета гибкой ошиновки распределительных устройств (РУ) при двухфазном или трехфазном коротком замыкании.

Расчет может производиться при различном расположении гибких проводов в РУ с учетом упругого и температурного удлинения под действием гололедных и ветровых нагрузок. В расчете учитываются разность высот подвеса, натяжные гирлянды изоляторов, расщепление фазы, а также отпайки (до трех) к электрическим аппаратам с учетом их реального расположения в РУ.

В ходе расчета определяются нагрузки на провода и гирлянды изоляторов; усилия от сборных шин и отпайки на порталы и аппараты; отклонения порталов и аппаратов под действием приложенных усилий; тяжения в сборных шинах и отпайках; траектории движения сборных шин в любой точке пролета; минимальные расстояния между проводами соседних фаз, а также между сборными шинами и отпайками; максимальные отклонения сборных шин и некоторые другие характеристики.

Программа Linedys «Механический и электромеханический расчёт гибких проводников воздушной линии электропередачи» предназначена для механического расчета воздушных ЛЭП в различных климатических режимах; электродинамического расчета воздушных ЛЭП при коротком замыкании. Расчет производится при различном расположении гибких проводов на опоре с учетом упругого и температурного удлинения под действием гололедных и ветровых нагрузок. В расчете учитываются натяжные и подвесные гирлянды изоляторов, расщепление фазы, упругие характеристики опорных конструкций, а также отпайки (до трех) к электрическим аппаратам.

В ходе расчета определяются нагрузки на провода и гирлянды изоляторов; усилия от проводов и отпайки на опорные конструкции и аппараты; отклонения опорных конструкций и аппаратов под действием приложенных усилий; тяжения в проводах и отпайках; траектории движения проводников в любой точке пролета; минимальные расстояния между проводами соседних фаз; максимальные отклонения проводов и некоторые другие характеристики.

Преимущества: при расчете учитываются: разность высот подвеса и другие особенности геометрии пролета; натяжные и подвесные гирлянды изоляторов; жесткость опорных и изолирующих конструкций; расщепление фазы; внутрифазные и междуфазные распорки; действие гололедных и ветровых нагрузок; упругое и температурное удлинения проводников; характеристики короткого замыкания.

В ходе расчета определяются: нагрузки на провода и гирлянды изоляторов; усилия от проводов на опоры; отклонения опор под действием приложенных усилий; тяжения в проводах; траектории движения проводов в любой точке пролета; минимальные расстояния между проводами соседних фаз и максимальные отклонения проводов; нагрев проводов в процессе КЗ; ток электродинамической стойкости пролета.

Пакет программ MR220 предназначен для механического расчета гибких проводов распределительных устройств и воздушных линий.

Преимущества: при расчете учитываются: разность высот подвеса и другие особенности геометрии пролета; натяжные и подвесные гирлянды изоляторов; расщепление фазы; внутрифазные и междуфазные распорки; отпайки (до трех) к электрическим аппаратам.

Работу с программами упрощает встроенная помощь, диагностика исходных данных, наличие каталогов проводов и гирлянд изоляторов, а также возможность их корректировки и обновления.

Основные характеристики: не предъявляет исключительных требований к персональному компьютеру, интуитивно понятный интерфейс.

При расчете учитываются: разность высот подвеса и другие особенности геометрии пролета; натяжные и подвесные гирлянды изоляторов; расщепление фазы; внутрифазные и междуфазные распорки; отпайки (до трех) к электрическим аппаратам.

Работу с программами упрощает встроенная помощь, диагностика исходных данных, наличие каталогов проводов и гирлянд изоляторов, а также возможность их корректировки и обновления.

Литература

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

УДК 621.3

Особенности современных типовых конструкций распределительных устройств в электрических станциях и подстанциях

Буравкин Д. О.

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

Распределительное устройство (РУ) – электроустановка, предназначенная для приема и распределения электроэнергии, состоящая из сборных шин и ошиновки, коммутационной и измерительной аппаратуры, вспомогательных устройств (компрессорное хозяйство, аккумуляторы, релейные щиты), и устройств РЗА и измерительных приборов.

Все РУ делятся на 3 типа:

– ОРУ – РУ, у которого все или основное оборудование расположено на открытом воздухе. Сооружается на все классы напряжения 6 кВ и выше.

– ЗРУ – РУ, у которого оборудование размещаются внутри закрытых помещений. Может сооружаться на напряжение. 6–220 кВ.

– КРУ – РУ, состоящие из полностью или частично закрытых шкафов или блоков, с отстроенными в них аппаратами, устройствами РЗА, поставляющиеся в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Сооружаются на напряжение 6–10 кВ.

К оборудованию распределительных устройств предъявляются следующие основные требования:

1) По своим номинальным данным оборудование РУ должно удовлетворять условиям работы, как в нормальном режиме, так и при КЗ. В условиях нормального режима работы нагрев током проводников не должен превышать значений, установленных нормами. В режиме КЗ оборудование РУ должно обладать необходимой термической и электродинамической стойкостью.

2) Изоляция оборудования должна соответствовать номинальному напряжению сети и выдерживать возможные в эксплуатации повышения напряжения при коммутационных и атмосферных перенапряжениях.

3) Оборудование должно надежно работать при допустимых перегрузках, которые не должны приводить к повреждениям и снижению срока его службы.

4) Производственные помещения РУ должны быть удобны и безопасны при обслуживании оборудования персоналом, а также при ремонтах.

5) Распределительные устройства должны быть оборудованы рабочим и аварийным электрическим освещением.

Для выбора конструкции РУ необходимо иметь следующие данные:

– схему электрических соединений на всех напряжениях;

– типы электрических аппаратов и сечений проводников;

– направления подхода линий электропередачи;

– климатические условия и характер загрязнения среды;

– ограничения по территории, конфигурации РУ, рельефу местности (если они заданы).

При компоновке РУ сначала определяется общее количество присоединений, количество ячеек и их размеры.

Составляется схема заполнения РУ. При составлении схемы заполнения должны быть учтены направления подходящих линий электропередачи, возможность подъезда к тяжёлому оборудованию подъёмно-транспортных машин.

В схеме заполнения определяется взаимное расположение систем шин и электрических аппаратов, расположение аппаратов в каждой ячейке. Обращается особое внимание на выполнение кратчайших связей между РУ различных напряжений.

Принципы расположения выключателей в РУ (однорядное или двухрядное), конфигурация систем шин, а также количество ярусов проводников по высоте РУ

оценивается по площади занимаемой территории РУ, а также его высотой и удобством обслуживания выключателей.

Работа по компоновке РУ оформляется в виде эскизов-разрезов по ячейкам и схем заполнения, выполненных карандашом от руки на миллиметровой бумаге.

Заключительным этапом в разработке конструкции является план РУ и разрез по одной из ячеек. В чертежах используются упрощённые графические изображения элементов конструкций и аппаратов РУ, которые в масштабе отражают габаритные размеры оборудования и расстояния до токоведущих частей. На плане наносятся также дороги, вспомогательные сооружения и ограждение РУ.

Литература

1. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А. А. Васильева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 570 с.
2. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа : 18.11.2018.
3. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, Л. К. Корнеева, Т. В. Чиркова. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.

УДК 621.3

Методы синтеза цифровых частотных фильтров

Жиркова К. Ю.

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

Термин «фильтр» как в аналоговой, так и в цифровой технике понимается как устройство, преобразующее входной сигнал в выходной с подавлением или усилением частотных составляющих сигнала из заданной полосы частот.

Процесс разработки цифровых фильтров можно разделить на следующие этапы:

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

Второй этап проектирования представляет собой собственно синтез фильтра и заключается в нахождении коэффициентов уравнения 1 по заданной спецификации фильтра:

$$y(n) = - \sum_{m=1}^M a_m y(n-m) + \sum_{k=1}^N b_k x(n-k),$$

где a_m , b_k – некоторые постоянные коэффициенты.

В данной работе были исследованы следующие методы проектирования цифровых частотных фильтров:

- метод инвариантного преобразования импульсной характеристики;
- метод билинейного преобразования;
- метод на основе дискретизации частотной характеристики;
- оконный метод (или метод взвешивания);
- оптимизационный метод.

Был освещен широкий спектр методов разработки фильтров как с бесконечной (БИХ-фильтры), так и с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры). При этом необходимо было решить такие задачи, как выбор наиболее предпочтительной системы (с конечной или бесконечной импульсной характеристикой), а также выбор наиболее удобного и наиболее точного метода синтеза частотных фильтров.

Выбор между КИХ- и БИХ-фильтрами зависит от достоинств и недостатков каждого из этих типов с точки зрения конкретной задачи. БИХ-фильтры, например, имеют то преимущество, что в их рамках можно разработать большое число частотно-избирательных фильтров с помощью компактной формулы. Иными словами, как только задача проектирования сформулирована в терминах, подходящих для данного метода, то легко вычисляется порядок искомого фильтра, на котором достигается указанный набор спецификаций, а его коэффициенты (или полюса и нули) определяются прямой подстановкой в систему соответствующих уравнений. Такая упрощенная процедура дает возможность ручного проектирования БИХ-фильтров и позволяет написать прямые неитерационные компьютерные программы, облегчающие разработку БИХ-фильтров. К сожалению, упомянутые методы ограничены частотно-избирательными фильтрами, а с их помощью удастся получить лишь АЧХ. Если требуется другая форма АЧХ или необходимо аппроксимировать предписанную фазу или групповую задержку, то прибегают к алгоритмической процедуре.

С другой стороны, КИХ-фильтры могут иметь (обобщенную) линейную фазу. Однако компактной проектной формулы для разработки КИХ-фильтров не существует. Хотя оконный метод довольно прост для применения, могут потребоваться некоторые итерации для достижения данного набора спецификаций. Оконный метод, как и большинство других алгоритмов, предоставляет возможность аппроксимировать практически любую функцию,

связанную с комплексно частотной характеристикой, быть может, с чуть большими трудностями, чем при проектировании фильтров нижних частот. Кроме того, решение задачи проектирования КИХ-фильтров поддается лучшему контролю, нежели аналогичная задача для БИХ-фильтров, поскольку для них существует критерий оптимальности аппроксимации, применимый в большом числе практических ситуаций.

Экономические вопросы занимают не последнее место при реализации фильтров. Экономическая сторона проектирования измеряется обычно в терминах сложности аппаратного оборудования, микропроцессоров или скорости вычислений. Эти факторы более или менее напрямую зависят от порядка фильтра, обеспечивающего данные спецификации. Если не принимать в расчет фазу, то, как правило, данные параметры АЧХ наиболее эффективно реализуются БИХ-фильтрами. Однако во многих случаях линейная фаза, которую могут обеспечить КИХ-фильтры, вполне оправдывает дополнительные затраты. Более того, узкоспециализированные цифровые процессоры сигналов, или микрокомпьютеры, обладают арифметическими возможностями, разработанными для накопления сумм произведений, как это нужно в КИХ-фильтрах.

Итак, при проектировании цифровых фильтров необходимо учитывать множество иногда противоречивых требований. Очевидно, что окончательный выбор зачастую зависит от инженерной оценки таких вопросов, как набор спецификаций, метод реализации фильтра и программные средства, с помощью которых будет осуществляться проектирование.

УДК 621.3

Электромагнитная совместимость в электроэнергетике

Михалеви́ч Н. А.

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

В последнее время в электроэнергетике все активнее используется электронная аппаратура в системах релейной защиты и автоматике. Однако электронная аппаратура весьма чувствительна к помехам, появляющимся во вторичных цепях подстанций, источниками которых являются коммутации выключателей и разъединителей высокого напряжения, удары молний, а также большие токи замыкания на землю. Аналогичная ситуация складывается и при внедрении электронной аппаратуры в других отраслях промышленности. В связи с указанными обстоятельствами появилась необходимость решения сложной задачи электромагнитного сосуществования электронных и электротехнических систем. Возникло новое актуальное научно-техническое направление – обеспечение электромагнитной совместимости электронных систем.

При этом под электромагнитной совместимостью любого электрического устройства подразумевается его способность нормально функционировать совместно с другими электротехническими системами, например с установками высокого напряжения в условиях возможного влияния случайных электромагнитных помех, не создавая при этом недопустимых помех другими средствами.

Надежная работа электронной аппаратуры является актуальной частью проблемы обеспечения электромагнитной совместимости электрооборудования. Её значение возрастает в связи с развитием новых технологий, приведших к широкому распространению полупроводниковых, микроэлектронных и микропроцессорных систем автоматического управления во всех сферах человеческой деятельности, включая электроэнергетику.

Уровень совместимости – установленное значение помехи, при которой с наибольшей вероятностью гарантируется нормальное взаимодействие всех элементов системы. Он служит, с одной стороны, в качестве основы при формулировке требований по помехоустойчивости и, с другой стороны, исходным пунктом для установления допустимого уровня излучения помех, вводимых в эксплуатацию устройств. Установление уровня совместимости осуществляется в соответствии с существующим или ожидаемым видом и значением помех и с возможным изменением электромагнитной обстановки объектом на стадии его проектирования с учётом технико-экономических аспектов.

Помехоустойчивость – свойство чувствительного элемента нормально работать при воздействии помехи. Количественно помехоустойчивость рассматриваемого объекта задаётся в виде допустимого воздействия в форме амплитуды импульса напряжения, напряжённости поля, граничной энергии и т. д. Если при воздействии, превышающем предел помехоустойчивости, не происходит разрушение объекта, то наблюдается обратимое нарушение функционирования. После исчезновения помехи рассматриваемое устройство может работать нормально, ему не требуется ремонт или замена деталей или группы элементов.

Электромагнитная обстановка (ЭМО), в которой работают средства автоматизации, обусловлена наличием большого числа источников помех. Помехи можно разделить на две большие группы: естественные источники, обусловленные природными электромагнитными явлениями, и искусственные, образованные электромагнитными процессами в технических устройствах. Среди известных естественных источников для средств автоматизации важны разряды атмосферного электричества в виде молний, а также возможные разряды статического электричества между телами, получившими заряды разной полярности.

В качестве искусственных источников электромагнитных помех рассматриваются все процессы при нормальных и аварийных режимах приборов, машин, электрических установок, находящихся вблизи средств автоматизации.

Электромагнитные помехи, излучаемые различными источниками, воздействуют на приборы, линии сигналов или данных, а также на системы электропитания, заземления устройств автоматизации отдельно или комбинированно при случайном наложении во времени.

Характерными источниками электромагнитных воздействий на электрических станциях и подстанциях являются:

- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями;
- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коротких замыканиях, срабатывание разрядников или ограничителей перенапряжений;
- электромагнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций;
- переходные процессы в заземляющих устройствах подстанций, обусловленные токами коротких замыканий промышленной частоты и токами молний;
- переходные процессы при коммутациях в индуктивных цепях низкого напряжения;
- переходные процессы в цепях различных классов напряжения при ударах молний непосредственно в объект или вблизи него;
- разряды статического электричества.

Литература

1. Жежеленко, И. В. Электромагнитная совместимость потребителей электроэнергии / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк. – М. : Машиностроение, 2012. – 351 с.
2. Ощепков, В. А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / В. А. Ощепков, В. Н. Горюнов. – Омск : Издательство ОмГТУ, 2005. – Ч. 1. – 40 с.

УДК 621.316

**Анализ влияния междуфазных распорок
на параметры электродинамической стойкости
гибкой ошиновки распределительных устройств 330 кВ**

Баран А. Г., Васильева А. А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И.,
к.т.н., доцент ПОНОМАРЕНКО Е. Г.

В настоящее время в качестве токоведущих частей открытых распределительных устройств (ОРУ) рекомендуется применять гибкие проводники. Это, своего рода, удачная альтернатива применению жесткой ошиновке. Несмотря на то, что использование гибкой ошиновки вместо жесткой имеет большой ряд своих преимуществ, так же существуют сложности проектирования и эксплуатации гибкой ошиновки, главными из которых является контроль максимально допустимых сближений разноименных фаз при двухфазных и трехфазных КЗ, а так же тяжений при протекании тех же аварийных процессов.

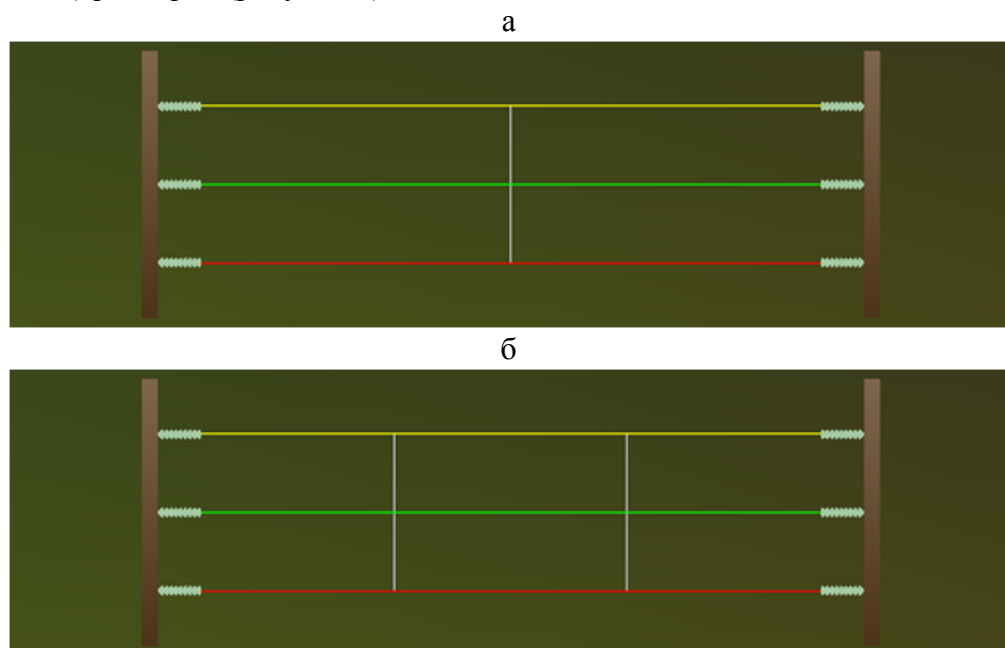
В работе рассматривается один из способов ограничения влияния тока КЗ на величины сближений разноименных фаз и тяжений при двухфазных и трехфазных КЗ – это установка междуфазных распорок.

В ходе выполнения работы были выполнены исследования параметров электродинамической стойкости гибкой ошиновки двух пролетов типовых конструкций распределительных устройств 330 кВ длиной 44 и 77,5 м без отпаек к аппаратам. Параметры пролетов приняты по конструктивным чертежам реально действующих объектов, на которых на данный момент проводится реконструкция распределительных устройств.

Инструментом исследования выступает, разработанная на кафедре «Электрические станции» БНТУ компьютерная программа LinEDyS+.

Исследования выполнены для расщепленной фазы с проводом 2×АС-500/64 в диапазоне токов двухфазного КЗ от 20 до 50 кА с продолжительностью его воздействия 0,10, 0,15, 0,20 и 0,25 с. Постоянная времени КЗ составляет 0,1 с.

Оценка влияния междуфазных распорок на параметры электродинамической стойкости выполнялась путем установки одной (в середине пролета) или двух (симметрично установленных) распорок (рисунок 1).



а – одна распорка; б – две

Рисунок 1 – Расчетные схемы пролетов при наличии междуфазных распорок

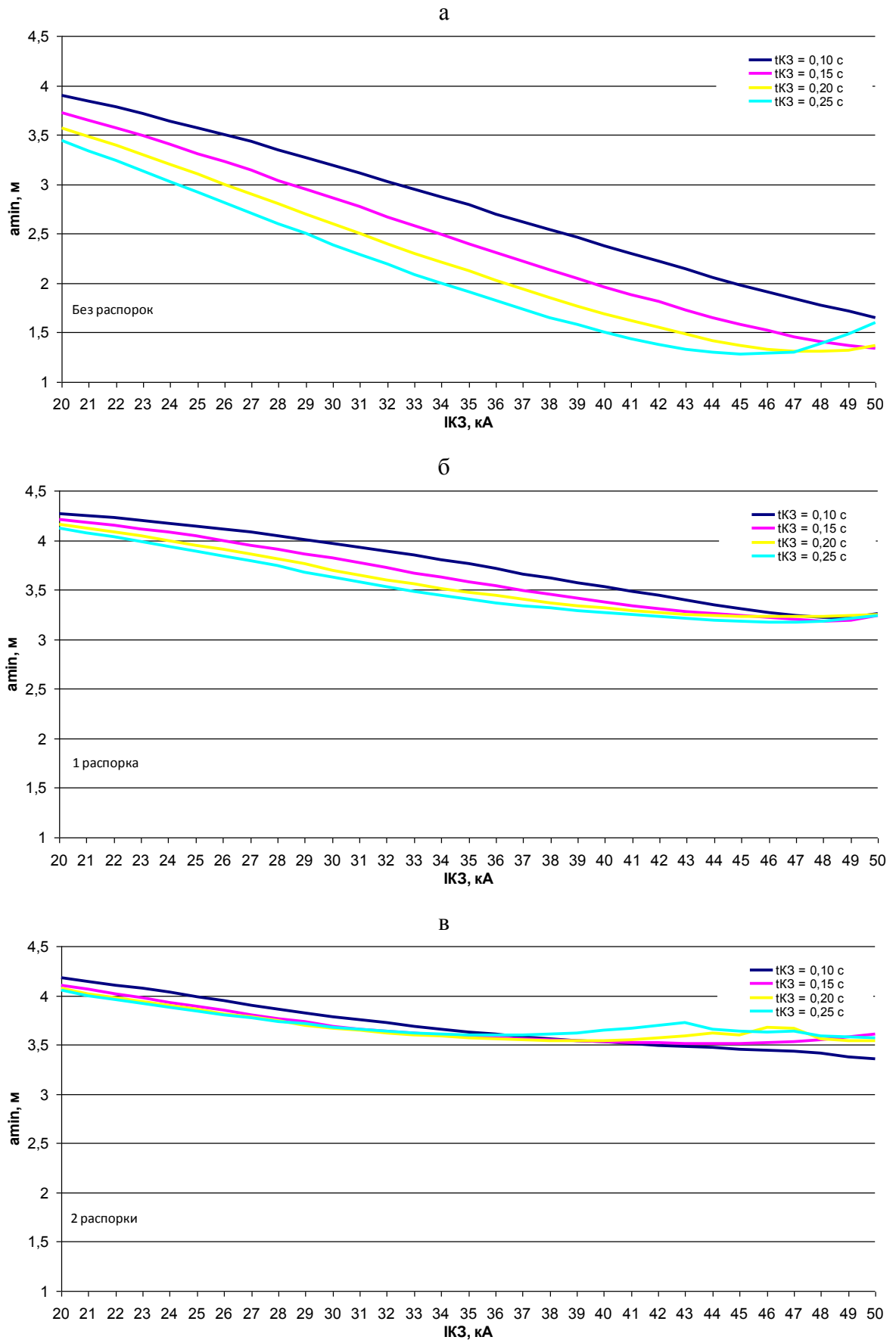


Рисунок 2 – Сближение фаз при двухфазном КЗ для пролета 44 м без междуфазных распорок и при наличии одной и двух

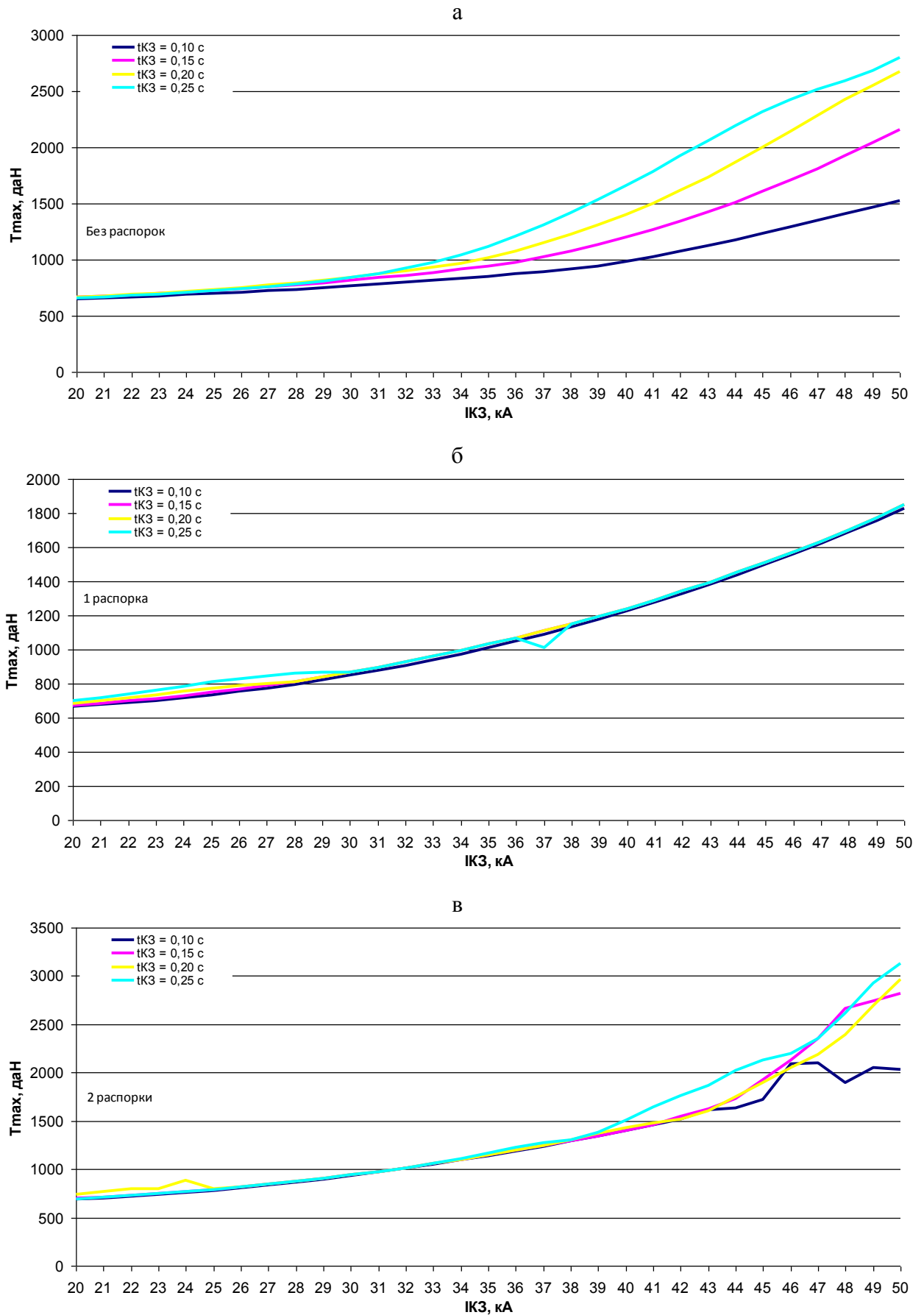


Рисунок 3 – Максимальные тяжения при двухфазном КЗ для пролета 44 м без междуфазных распорок и при наличии одной и двух

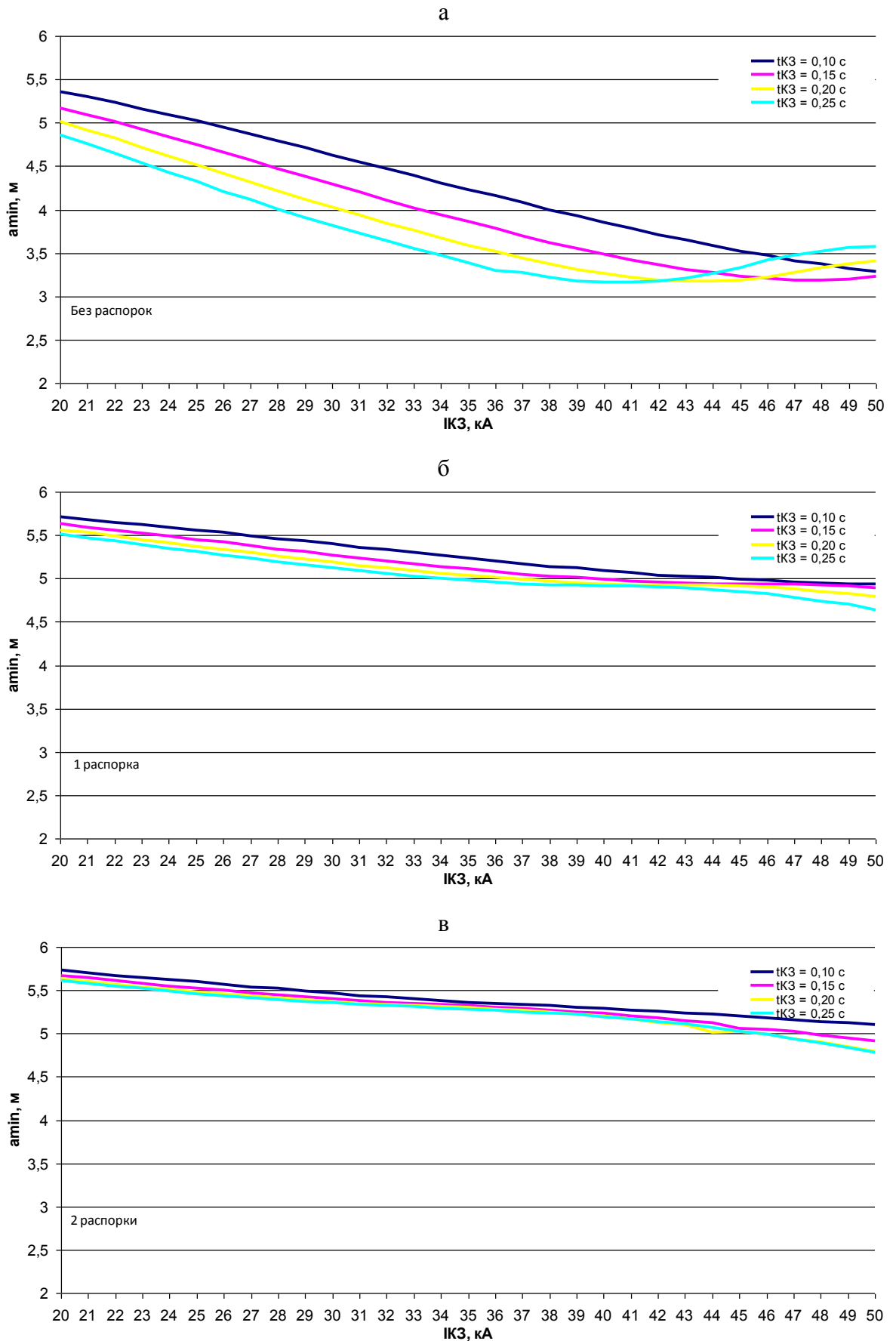


Рисунок 4 – Сближение фаз при двухфазном КЗ для пролета 77,5 м без междуфазных распорок и при наличии одной и двух

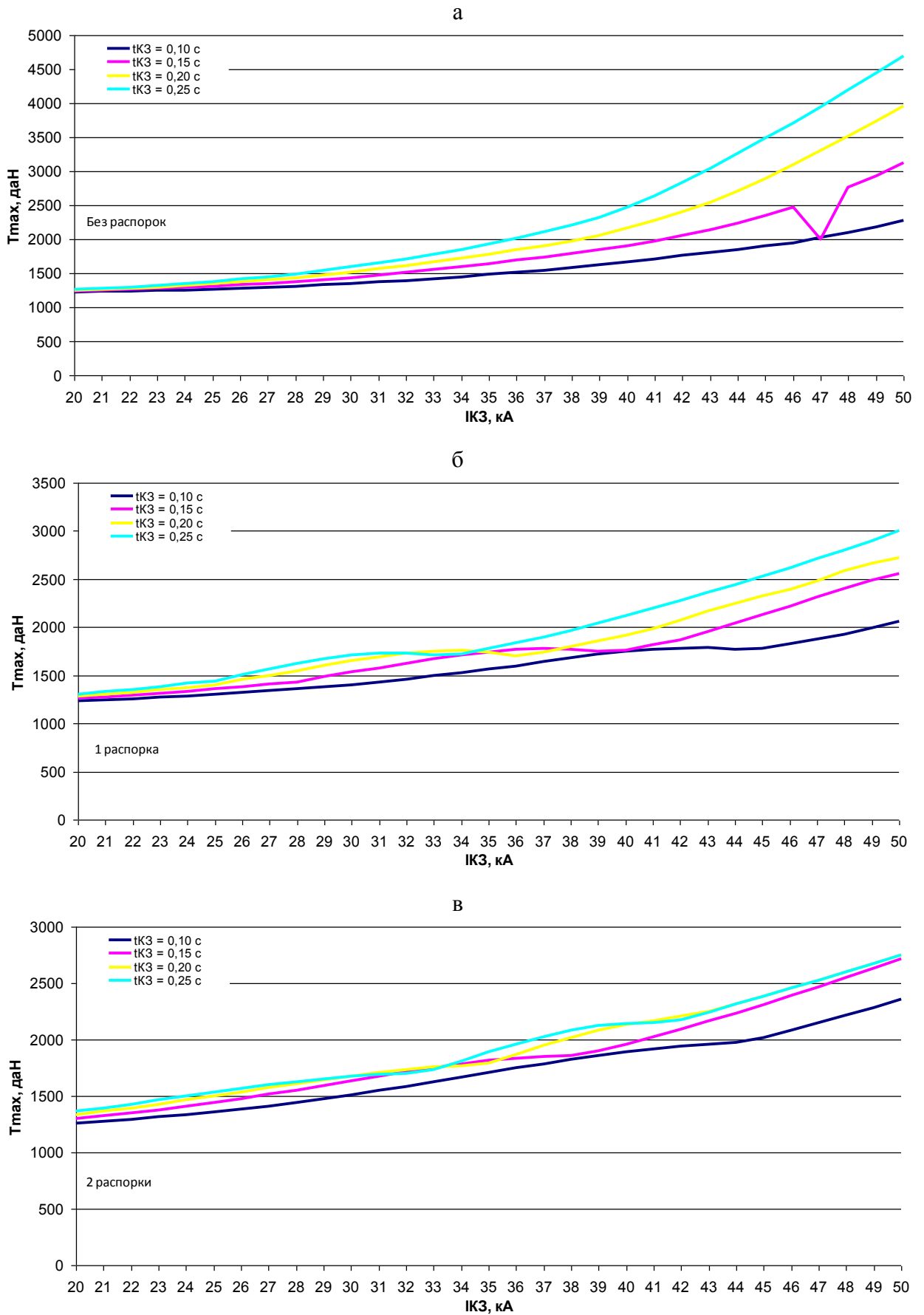


Рисунок 5 – Максимальные тяжения при двухфазном КЗ для пролета 77,5 м без междуфазных распорок и при наличии одной и двух

Анализ результатов вычислительного эксперимента для пролета длиной 44 м показывает, что:

- сближение проводов (рисунок 2) на всем диапазоне исследований не достигает предельно-допустимых значений при установке одной междуфазной распорки;
- установка одной междуфазной распорки в середине пролета (рисунок 3) ограничивает величину максимального тяжения до 1800 даН, а установка двух распорок при некоторых значениях токов КЗ и времени его воздействия даже увеличивает значение тяжения по сравнению с полученными результатами без распорок.

Анализ результатов вычислительного эксперимента для пролета длиной 77,5 м показывает, что:

- сближение проводов (рисунок 4) на всем диапазоне исследований не достигает предельно-допустимых значений даже без установки междуфазных распорок;
- установка одной междуфазной распорки в середине пролета (рисунок 5) ограничивает величину максимального тяжения на 9–25 % (в зависимости от продолжительности КЗ), а установка двух распорок ограничивает величину максимального тяжения на 0–42 % (в зависимости от продолжительности КЗ). Максимальное тяжение составляет без установки междуфазных распорок в пролете 4700 даН, при установке одной распорки – 3000 даН, при установке двух – 2750 даН.

Следовательно, как на коротких (44 м), так и на длинных (77,5 м) пролетах распределительных устройств 330 кВ для увеличения электродинамической стойкости достаточна установка всего одной междуфазной распорки в середине пролете.

Литература

1. Васильев, А. А. Электрическая часть станций и подстанций / А. А. Васильев. – М. : Энергия, 1980. – 608 с.
2. Сергей, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.
3. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
4. Гук, Ю. Б. Проектирование электрической части станций и подстанций: учебное пособие для вузов / Ю. Б. Гук, В. В. Кантан, С. С. Петрова. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. – 312 с.

УДК 621.3

Производство и выдача электрической энергии на ветряных электростанциях

Побегуц А. Д.

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

Энергию ветра относят к возобновляемым видам энергии, так как она является следствием активности Солнца. Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью.

За рубежом нетрадиционная энергетика начала всерьез развиваться после нефтяного кризиса середины 1970 годов. По данным Международного энергетического агентства, ветряные электростанции всего мира в 2007 году произвели около 200 млрд. кВт·ч, что составляет примерно 1,3 % мирового потребления электроэнергии. К слову, в Европе сконцентрировано 61 % установленных ветряных электростанций, в Северной Америке – 20 %, в Азии – 17 %.

Спустя столетия принцип работы ветроагрегатов практически не изменился: под напором ветра вращается колесо с лопастями, передавая крутящий момент другим механизмам, причем, чем больше диаметр колеса, тем больший воздушный поток оно захватывает и быстрее вращается. Сегодня в мире широко распространены ветродвигатели двух типов: крыльчатые и карусельные. Встречаются еще барабанные и некоторые другие оригинальные конструкции.

Крыльчатые ветряные электростанции (ВЭС) – их еще называют ветродвигателями традиционной схемы – представляют собой лопастные механизмы с горизонтальной осью вращения. Ветроагрегат вращается с максимальной скоростью, когда лопасти расположены перпендикулярно потоку воздуха. Поэтому в конструкции предусмотрены устройства автоматического поворота оси вращения: на малых ВЭС – крыло-стабилизатор, а на мощных станциях, работающих на сеть, – электронная система управления рысканием. Небольшие крыльчатые ВЭС постоянного тока соединяют с электрогенератором напрямую, мощные станции оснащают редуктором. Отметим, что мощность ВЭС зависит от скорости ветра и размаха лопастей ветроколеса. Коэффициент использования энергии ветра у крыльчатых ВЭС (чаще всего их ветроагрегаты бывают двух- или трехлопастными) намного выше, чем у других ветряков. Поэтому они занимают более 90 % рынка.

Карусельные, или роторные, ВЭС с вертикальной осью вращения, в отличие от крыльчатых, могут работать при любом направлении ветра, не изменяя своего положения. Когда ветровой поток усиливается, карусельные ВЭС быстро наращивают силу тяги, после чего скорость вращения ветроколеса стабилизируется. Ветродвигатели этой группы тихоходны, поэтому не создают большого шума. В них используются многополосные электрогенераторы, работающие на малых оборотах, что позволяет применять простые электрические схемы без риска потерпеть аварию при случайном порыве ветра. Конструкция лопастных ветроэлектрических установок (ВЭУ) роторной схемы обеспечивает максимальную скорость вращения при запуске и ее автоматическое саморегулирование в процессе работы. С увеличением нагрузки скорость вращения ветроколеса уменьшается, а вращающий момент возрастает. Подобные ветродвигатели с лопастями разной формы строят в США, Японии, Англии, ФРГ, Канаде, Финляндии. По данному типу спроектирована и одна из ВЭС в Беларуси (ВЭУ в Мядельском районе мощностью 250 кВт).

Из недавно появившихся оригинальных проектов стоит назвать ВЭС принципиально новой конструкции, состоящую из фундамента, трехопорного несущего основания и смонтированного на нем кольцеобразного генератора со встроенным подшипником и центральным ротором. Кольцо генератора может достигать в диаметре 120 м и более.

Ветроэнергетика является нерегулируемым источником энергии. Выработка ветроэлектростанции зависит от силы ветра – фактора, отличающегося большим непостоянством. Соответственно, выдача электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему отличается большой неравномерностью, как в суточном, так и в недельном, месячном,

годовом и многолетнем разрезе. Учитывая, что энергосистема сама имеет неоднородности энергонагрузки (пики и провалы энергопотребления), регулировать которые ветроэнергетика, естественно, не может, введение значительной доли ветроэнергетики в энергосистему способствует ее дестабилизации. Понятно, что ветроэнергетика требует резерва мощности в энергосистеме (например, в виде газотурбинных электростанций). Данная особенность ветроэнергетики существенно удорожает получаемую от нее электроэнергию. Энергосистемы с большой неохотой подключают ветрогенераторы к энергосетям, что привело к появлению законодательных актов, обязующих их это делать. Проблемы в сетях и диспетчеризации энергосистем из-за нестабильности работы ветрогенераторов начинаются после достижения ими доли в 20–25 % от общей установленной мощности системы. По данным испанских компаний Gamesa Eolica и WinWind, точность прогнозов выдачи энергии ветростанций при почасовом планировании на рынке «на день вперед» или спотовом режиме превышает 95 %. Небольшие единичные ветроустановки могут иметь проблемы с сетевой инфраструктурой, поскольку стоимость линии электропередач и распределительного устройства для подключения к энергосистеме могут оказаться слишком большими. В настоящее время, несмотря на рост цен на энергоносители, себестоимость электроэнергии не составляет сколько-нибудь значительную величину у основной массы производств на фоне других затрат, ключевыми для потребителя остаются надежность и стабильность электроснабжения.

Литература

1. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.spwr.by>. – Дата доступа : 09.11.2018.
2. Елистратов, В. В. Использование возобновляемой энергии: учебное пособие / В. В. Елистратов. – СПб., 2010. – 225 с.

УДК 621.3.022

Математические модели однофазных трансформаторов

Позняк Д. А.

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

Согласно теории Роговского, магнитное поле трансформатора содержит только три независимых друг от друга замкнутых магнитных потока. Первый поток Φ_μ – общий для обеих обмоток. Он сцеплен с каждой из них называется основным. Основной поток замыкается по магнитопроводу под действием силы магнитодвижущих сил (МДС) первичной $i_1 w_1$ и вторичной $i_2 w_2$ обмоток. Второй поток Φ_{1s} – поток рассеяния первичной обмотки. Он сцеплен только с ее витками, замыкается только по немагнитной среде (воздуху, маслу и т. п.) под действием МДС только этой обмотки. Третий поток Φ_{2s} – поток рассеяния вторичной обмотки. Он сцеплен только с ее витками, также замыкается по немагнитной среде под действием ее МДС. Каждый из потоков проходит только по своему пути, нигде не накладываясь друг на друга и не имея общих участков с другими потоками. Каждый из потоков сцеплен с соответствующим полным числом витков, что обеспечивает однозначность в переходе от магнитных потоков к потокосцеплениям, т. е. магнитных величин к электрическим.

Уравнение магнитной цепи трансформатора с учетом допущения одинаковости и равномерности магнитного потока по сечению магнитопровода ($H_\mu = \text{const}$) можно записать в соответствии с законом полного тока:

$$H_\mu l_\mu = i_1 w_1 + i_2 w_2,$$

где H_μ – напряженность магнитного поля в магнитопроводe; l_μ – длина средней линии магнитопровода; w_1 и w_2 – числа витков первичной и вторичной обмоток соответственно.

Основной поток Φ_μ образует с первичной обмоткой потокосцепление $\Psi_{\mu 1} = w_1 \Phi_\mu$, а со вторичной обмоткой потокосцепление $\Psi_{\mu 2} = w_2 \Phi_\mu$.

Ошибки, возникающие при моделировании электромагнитных процессов трансформатора, при использовании классической теории электромагнитного рассеяния, возникают из-за того, что у широко распространенных трансформаторов с концентрическими обмотками происходит почти полное наложение всех потоков друг на друга. Потоки рассеяния накладываются друг на друга в межобмоточном канале, а на основной поток – в ярме и стержне.

Низкая практическая ценность теории Роговского вызвала у специалистов потребность в разработке второй теории рассеяния, которая могла бы дать более точные результаты моделирования процессов двухобмоточного трансформатора на базе картины магнитного поля второй теории рассеяния.

В трансформаторе с концентрическими обмотками поток второй (внутренней) обмотки $\Phi_{\bar{n}}$ занимает область стержня, поток первой (внешней) обмотки $\Phi_{\bar{y}}$ – область ярма, а поток рассеяния $\Phi_{\bar{e}}$ – межобмоточный канал. Наложение потоков нигде не происходит. Потоки сцеплены с полными числами витков w_1 и w_2 первичной и вторичной обмоток.

Уравнения магнитной цепи трансформатора записываются на основе закона полного тока и второго закона Кирхгофа для магнитной цепи:

$$\begin{aligned} -w_2 i_2 &= l_{\bar{n}} H_{\bar{n}} + R_{i\bar{e}} \Phi_{\bar{e}}, \\ w_1 i_1 - w_2 i_2 &= l_{\bar{n}} H_{\bar{n}} + l_{\bar{y}} H_{\bar{y}}, \\ \Phi_{\bar{e}} - \Phi_{\bar{n}} + \Phi_{\bar{y}} &= 0, \end{aligned}$$

где $l_{\bar{n}}$, $l_{\bar{y}}$ – длины стрежня и ярма магнитопровода; $H_{\bar{n}}$, $H_{\bar{y}}$ – напряженность магнитного поля в стержне и в ярме; $R_{1\hat{e}}$ – магнитное сопротивление межобмоточного канала.

Представив магнитные потоки в стержне и ярме магнитопровода через соответствующие индукции $\Phi_{\bar{n}} = s_{\bar{n}}B_{\bar{n}}$ и $\Phi_{\bar{y}} = s_{\bar{y}}B_{\bar{y}}$, уравнения могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} -w_2i_2 &= l_{\bar{n}}s_{\bar{n}}B_{\bar{n}} + R_{1\hat{e}}(s_{\bar{n}}B_{\bar{n}} - s_{\bar{y}}B_{\bar{y}}), \\ w_1i_1 - w_2i_2 &= l_{\bar{n}}s_{\bar{n}}B_{\bar{n}} + l_{\bar{y}}s_{\bar{y}}B_{\bar{y}}, \end{aligned}$$

где $s_{\bar{n}}$ и $s_{\bar{y}}$ – площади сечения стрежня и ярма магнитопровода.

Индукция стержня и ярма определяются по характеристикам намагничивания $B_{\bar{n}} = f(H_{\bar{n}})$ и $B_{\bar{y}} = f(H_{\bar{y}})$ соответственно.

Уравнения электрических контуров обмоток трансформатора записываются на основе второго закона Кирхгофа:

$$\begin{aligned} u_1 &= e_1 + R_1i_1 = -w_1 \frac{d}{dt}(\Phi_{\bar{n}} - \Phi_{\bar{y}}) + R_1i_1, \\ u_2 &= e_2 - R_2i_2 = -w_2 \frac{d}{dt}(-\Phi_{\bar{n}}) - R_2i_2, \end{aligned}$$

где R_1 и R_2 – активные сопротивления первичной и вторичной обмоток.

После замены потоков выражениями через индукции уравнения записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} u_1 &= -w_1s_{\bar{n}} \frac{d}{dt}(B_{\bar{n}}) + w_1 \frac{d}{dt}(\Phi_{\hat{e}}) + R_1i_1 = -w_1s_{\bar{y}} \frac{d}{dt}(B_{\bar{y}}) + R_1i_1, \\ u_2 &= w_2s_{\bar{n}} \frac{d}{dt}(B_{\bar{n}}) - R_2i_2. \end{aligned}$$

Уравнения и совместно с характеристиками намагничивания $B_{\bar{n}} = f(H_{\bar{n}})$ и $B_{\bar{y}} = f(H_{\bar{y}})$ представляют собой математическую модель трансформатора на основе картины магнитного поля второй теории рассеяния.

Полученная математическая модель позволяет учесть неодинаковость магнитных потоков в элементах магнитопровода (стержне и ярме), а при их одинаковости вырождается в уравнения модели на базе классической теории электромагнитного рассеяния без учета потоков рассеяния двух обмоток.

Учитывая, что магнитный поток $\Phi_{\hat{e}}$ замыкается по немагнитному пространству, уравнение первичной обмотки можно записать в виде:

$$u_1 = e_1 + R_1i_1 = -w_1s_{\bar{n}} \frac{d}{dt}(B_{\bar{n}}) + L_{\hat{e}} \frac{di_1}{dt} + R_1i_1,$$

где $L_{\hat{e}}$ – индуктивность рассеяния двух обмоток, которая может быть определена экспериментально по результатам измерений опыта короткого замыкания трансформатора.

В компьютерном моделировании коммутационных режимов трехфазных электроустановок с силовыми трансформаторами математические модели однофазных двухобмоточных трансформаторов используется для представления измерительных трансформаторов тока и напряжения.

СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Пути развития энергетической сферы Республики Беларусь

Краснова Ю. Д.

Научный руководитель – ст. препод. КРАВЧУК Е. А.

Торий-232 – будущее топливо человечества?

Кулик В.В.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Анализ конечного потребления ТЭР на предприятиях легкой промышленности в Республике Беларусь

Лапшина Т.С., Лапука А.А.

Научный руководитель – к. э. н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

Проблемы переработки коммунальных отходов в мегаполисах

Лукша О.П.

Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

Современное состояние в сфере энергосбережения и энергоэффективности на примере Республики Татарстан

Николаева Е.К.

Научный руководитель – к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А. Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань, Россия

Системный подход к оценке энергоэффективности

Николаева Е.К., Тулисова А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А., к.б.н., доцент ДУНАЕВА Т.Ю.

Оценка роли атомной энергетики в мировом производстве электроэнергии

Русецкая М.И.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Моделирование учета энергоэффективности в теории фирмы

Файзуллина Э.И., Замалиева Г.В.

Научный руководитель - к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А., к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А. Казанский государственный энергетический университет, Россия.

Влияние возобновляемых источников энергии на окружающую среду

Шавлис А.К.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Перспектива создания общего электроэнергетического рынка странами-участницами ЕАЭС

Щелко Д.Ю.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

УДК 621.13

Пути развития энергетической сферы Республики Беларусь

Краснова Ю. Д.

Научный руководитель – ст. препод. КРАВЧУК Е. А.

Растущий в мире энергетический голод обострил зависимость стран от ископаемых энергетических ресурсов. Ответом на этот вызов являются прежде всего, энергоэффективность и развитие возобновляемых источников энергии. В Беларуси, благодаря беспрецедентным мерам государственной поддержки, последние пять лет возобновляемая энергетика развивалась достаточно интенсивно. К тому же в стране эффективно работают традиционные электростанции, завершается строительство Белорусской АЭС. В сфере производства электроэнергии Беларусь, безусловно, сократит потребление углеводородного топлива, но в сфере теплоснабжения потребление углеводородов будет оставаться существенным.

Современные города используют до 80% вырабатываемой в мире электроэнергии. 70% выбросов парниковых газов приходится именно на города. В них живет 50% населения Земли и примерно 50% мирового ВВП производится в городах. Эти факты свидетельствуют о том, что городам необходима новая политика в сферах энергетики, транспорта и экологии. Основные направления по повышению энергоэффективности городов – это развитие электротранспорта, строительство биогазовых комплексов и, конечно же, тепловая модернизация зданий жилой и социальной сферы. Жилые здания нашей республики являются самым крупным потребителем тепловой энергии – это порядка 23,3 млн Гкал, или 930 млн долларов США в год. Важными шагами на пути развития энергоэффективных городов в Беларуси станут развитие нормативно-технической базы (сегодня, к примеру, разрабатывается Технический регламент «Энергоэффективность зданий»), более четкие стимулы для бизнеса (застройщиков, строителей, ЖКХ) и инвесторов (арендаторов, жильцов), а также ряд других изменений.

Важным направлением в развитии электроэнергетики является построение Smart Grid, или умных сетей, - это то, что обсуждают энергетики всего мира. Умные сети – это идеология и стратегический план, до реализации которого необходимо пройти еще достаточно много этапов. Для Smart Grid необходимо построение интеллектуальных электрических сетей, формирование рынков электроэнергии и распределенной малой энергетики, применение накопителей электроэнергии, повышение гибкости систем передачи электроэнергии... В нашей стране эти направления пока находятся на начальной стадии развития. Важно понимать, что сегодня в Беларуси практически невозможно реализовать проект автоматизации электрической или тепловой сети. Который окупится коммерчески. С другой стороны важным фактором остается показатель надежности энергоснабжения потребителей. Одним из примеров внедрения АСУ является филиал «Могилевские тепловые сети» РУП «Могилевэнерго». Внедрение диспетчеризации теплосетей и теплоисточников областного центра дало энергетикам возможность более качественно контролировать состояние оборудования и следить за техническими параметрами, оперативно управлять технологическими режимами, а также собирать и архивировать параметры работы оборудования. Применение современных технологий позволяет вести экономичный режим работы теплоисточников тепловых сетей, оперативно производить переключения на технологическом оборудовании, сокращать время поиска и устранения повреждений. Все это значительно повышает надежность теплоснабжения потребителей. В электрических сетях модернизация системы освещения с внедрением светодиодных светильников и АСУ, где главной задачей являлось обеспечение значительного снижения энергопотребления для нужд освещения и затрат, связанных с обслуживанием, автоматизация освещения. Внедренное программное обеспечение позволило осуществлять мониторинг состояния светильников и элементов системы управления, настраивать и изменять режимы работы системы освещения, контролировать потребление и основные электрические характеристики в режиме онлайн,

получать оперативную информацию о сбоях с четкой идентификацией места, элемента. Среди возможностей – множество функций. Это диспетчеризация управления с выводом на пульт оператора, индивидуальное и групповое управление. Возможность задать режимы освещения и управлять ими. Также предусмотрены доступ к основным электрическим характеристикам в режиме онлайн, а также идентификация сбоев онлайн с различными возможностями оповещения.

Энергосистема Республики Беларусь интенсивно готовится к такому значимому событию, как ввод в эксплуатацию первого энергоблока АЭС. Такие крупные единичные мощности, которые будут введены в эксплуатацию в Островце, сегодня в стране отсутствуют. Поэтому энергосистема и вся экономика Беларуси должна тщательно подготовиться к появлению такого мощного источника генерации. Чтобы обеспечить устойчивость и надежность энергосистемы, будут реализованы мероприятия, предусмотренные Комплексным планом развития энергетической сферы до 2025 года: они позволят сбалансированно работать энергосистеме и обеспечить надежность энергоснабжения и резервирование этих мощностей. Основные из них – строительство пиково-резервных источников, электрокотлов, которые позволят пройти минимальные часы нагрузок энергосистемы и сгладить суточный график энергопотребления.

Литература

1. Газета «Энергетика Беларуси» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energo.by/content/infocenter/otraslevaya-pressa/gazeta-energetika-belarusi/>. – Дата доступа: 28.11.2018.

УДК 546

Торий-232 – будущее топливо человечества?

Кулик В.В.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Торий – природный слаборадиоактивный металл, открытый в 1828 г. шведским химиком Йенсом Берцелиусом, который назвал его в честь Тора, бога войны скандинавских народов. В небольших количествах он присутствует во многих горных породах и грунтах, где его содержание почти в три раза превышает содержание урана. В почве содержится приблизительно шесть частей тория на миллион.

Торий встречается во многих минералах, наиболее распространенным из которых является редкоземельный минерал – фосфат тория – монацит, в котором содержится до 12% оксида тория. Залежи этого минерала имеются в нескольких странах. Торий-232 распадается очень медленно (его период полураспада почти в три раза превышает возраст Земли), но другие изотопы тория содержатся в нем и в цепях распада урана. Большинство из них являются короткоживущими элементами, и поэтому они намного более радиоактивны, чем Th-232, хотя в массовом отношении их содержание ничтожно мало.

Торий, как и уран, может использоваться в качестве ядерного топлива. Сам по себе не являющийся делящимся материалом Th-232 поглощает медленные нейтроны и образует делящийся уран-233. Как и U-2238, торий-232 является топливным сырьем.

Топливо на основе тория также демонстрирует отличные физические и химические свойства, что позволяет улучшить технические данные реактора и могильника. В сравнении с диоксидом урана, преобладающим топливом для реактора, диоксид тория имеет более высокую температуру влияния, теплопроводность и более низкий коэффициент теплового расширения. Диоксид тория также показывает лучшую химическую стабильность и, в отличие от диоксида урана, не способен к дальнейшему окислению.

В Индии с целью повышения эффективности после запуска в блоки 1 и 2 АЭС в Какрапаре было загружено 500 кг ториевого топлива. Первый блок АЭС был первым в мире реактором, в котором для выравнивания мощности в активной зоне использовался не уран, а торий. Работая на ториевом топливе, 1-й блок вышел на полную мощность за 300 суток, а 2-й блок – за 100 суток. Ториевое топливо планируется использовать в блоках 1 и 2 АЭС в Кайга и в блоках 3 и 4 АЭС в Раджастане, которые находятся в стадии строительства.

Обладая запасами тория, в шесть раз превышающими запасы урана, Индия в качестве основной задачи промышленного производства энергии поставила задачу внедрения ториевого цикла, которая будет решаться в три этапа:

Отработанное топливо затем будет перерабатываться для восстановления делящихся материалов и их последующей переработки.

Ядерное деление производит радиоактивные продукты распада, который могут иметь период полураспада от нескольких дней до более 200 000 лет. В соответствии с некоторыми исследованиями токсикологии, ториевый цикл может полностью перерабатывать актиноидные отходы и лишь излучать отходы после продуктов деления, и только через несколько столетий отходы ториевого реактора станут менее токсичными, чем урановые руды, которые могут применяться для производства обедненного уранового топлива для легководного реактора аналогичной мощности.

В качестве еще одной возможности для третьего этапа рассматриваются подкритические комплексы на ускорителях (ADS). В комплексах с ускорителями высокоэнергетические нейтроны производятся за счет реакции расщепления ядер высокоэнергетическими протонами ускорителя, соударяющимися с тяжелыми ядрами мишени (свинец, свинец-висмут или другие элементы). Эти нейтроны можно направить в субкритический реактор, содержащий торий, где нейтроны производят U-233 и обеспечивают его деление. Существует возможность обеспечения самоподдерживающейся реакции деления,

которую можно направить на производство энергии. Использование тория вместо урана означает, что в самом реакторе ADS будет производиться меньшее число актиноидов.

Проблемы, связанные с решением этой задачи, сводятся к высокой стоимости производства топлива частично вследствие высокой радиоактивности U-233, который всегда содержит U-232; аналогичные проблемы касаются и переработки тория вследствие высокой радиоактивности Th-228, определенного риска распространения U-233 как оружейного материала, а также ряда технических проблем переработки (пока не решенных должным образом). Предстоит проделать большую работу, прежде чем ториевый цикл будет поставлен на коммерческую основу, но пока можно в больших количествах добывать уран, такая работа представляется маловероятной.

Тем не менее, ториевый цикл с его потенциалом по воспроизводству без использования реакторов на быстрых нейтронах сохранит свою перспективность еще в течение длительного времени. Этот цикл является определяющим фактором в развитии самодостаточной ядерной энергетики.

Литература

1. Торий как лекарство от ядерной чумы: [Электронный ресурс]. 2011. URL: <https://poisk.livejournal.com/641694.html>. (Дата обращения: 30.11.2018).
2. Торий — новая «батарея» в ядерной энергетике: [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://proagregat.com/energetika/toriy-novaya-batareyka-v-yadernoy-energetike/> (Дата обращения: 30.11.2018).
3. Торий // Химическая энциклопедия: в 5 т. / Редкол.: Зефилов Н. С. (гл. ред.). — М.: Советская энциклопедия, 1995. — Т. 4. — С. 613. — 20 000 экз. — ISBN 5—85270—039—

УДК 620.97

Анализ конечного потребления ТЭР на предприятиях легкой промышленности в Республике Беларусь

Лапшина Т.С., Лапука А.А.

Научный руководитель – к. э. н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

Энергосбережение на предприятии является одной из самых важных проблем, с которой сталкивается промышленность. Это связано с постоянным ростом стоимости на электроэнергию и прочие энергоносители. Наибольшее количество финансов предприятия затрачивают не только на сырье, материалы и эксплуатационные затраты, но и оплату за энергетическую составляющую.

Энергосберегающие мероприятия позволяют промышленным предприятиям значительно сократить затраты на энергоносители и тем самым положительно влияют на технико-экономические показатели работы предприятия или производства. Это сразу наблюдается в увеличении рентабельности и улучшении конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет снижения себестоимости выпускаемой продукции или услуг.

Анализируя структуру конечного потребления топлива и энергии по секторам, можно заметить, что наибольшую долю как в 2010, так и в 2017 году занимает промышленность (34,5% и 32,4% соответственно). Данная структура приведена на следующем рисунке. [9]

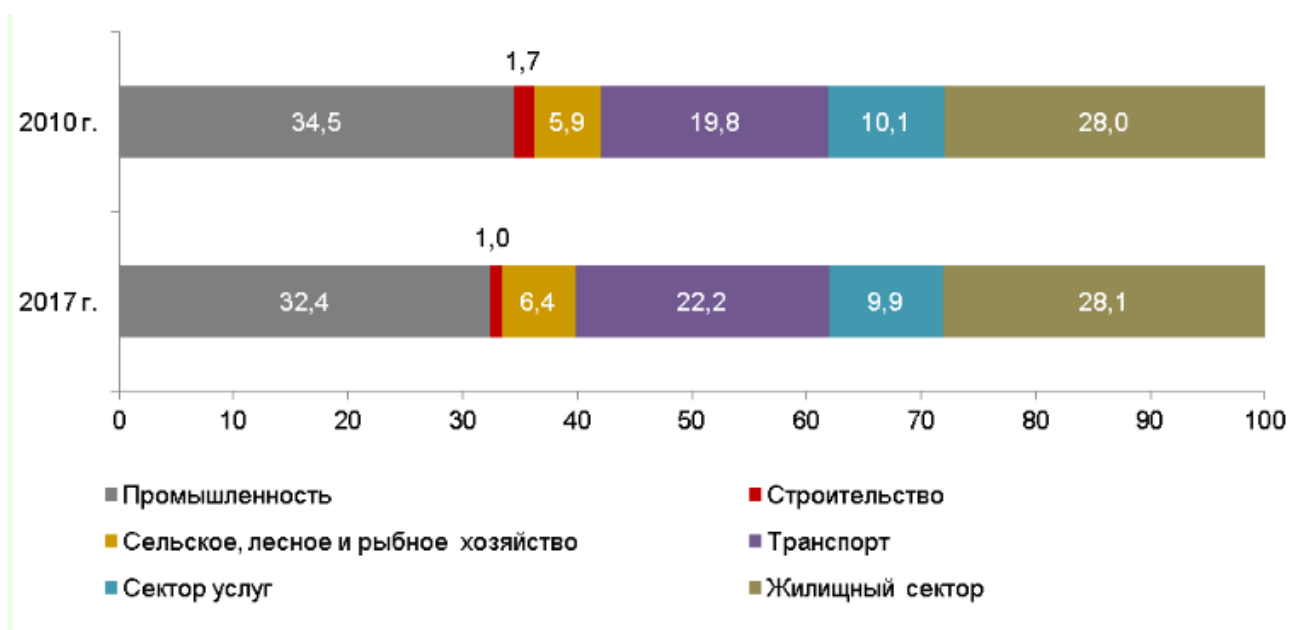


Рисунок 1 – Структура конечного потребления топливно-энергетических ресурсов по секторам потребления в 2010 и 2017 годах

Что же касательно легкой промышленности, то по уровню потребления населением, продукция этой отрасли стоит на втором месте после продовольственных товаров. Это подчеркивает роль отрасли в обеспечении экономической и стратегической безопасности Республики Беларусь, импортозамещения и занятости трудоспособного населения. Она обладает потенциалом, который можно эффективно использовать для динамичного экономического и социального развития страны.

Легкая промышленность имеет ряд проблем, связанных с сырьевой базой, технической отсталостью, моральным и физическим износом технологического оборудования, конкурентоспособностью выпускаемой продукции, высоким удельным весом импортной составляющей в себестоимости продукции, со сбытом товаров в республике и за ее пределами и др. Однако, как и у других отраслей промышленности, ее основными проблемами являются недостаточная энергоэффективность производства и энергосбережения.

Далее на основе данных Белстата о конечном потреблении ТЭР по секторам потребления была составлена следующая таблица.

Таблица 1 – Конечное потребление топливно-энергетических ресурсов в легкой промышленности (тысяч т у. т.; в угольном эквиваленте)

Показатели	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Темп роста (2017 к 2010)
Конечное потребление – всего	26 572	26 784	27 898	27 645	26 804	25 018	25 377	25 992	0,98
в том числе:									
производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха	283	276	269	257	230	201	207	139	0,49

Как можно заметить из представленных данных, конечное потребление ТЭР при производстве текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха в 2017 уменьшилось на 51%, или на 144 тыс. т у.т. в угольном эквиваленте. Для обеспечения устойчивого экономического роста и эффективного развития отрасли была принята Программа развития легкой промышленности в 2016-2020 годах. В целях повышения эффективности работы предприятий концерна будет активизирована работа по снижению издержек производства продукции по следующим направлениям:

- совершенствование системы организации производства за счет оптимизации затрат, внедрения ресурсосберегающих технологий, эффективного и рационального использования материальных, денежных и трудовых ресурсов;
- снижение материалоемкости продукции, условно-постоянных расходов, уменьшение отходов, потерь сырья и материалов на всех стадиях их обработки, более полному использованию в производстве вторичных ресурсов, увеличению удельного веса добавленной стоимости в объеме промышленного производства;
- экономия топливно-энергетических ресурсов и повышение уровня энергоэффективности производства.

Литература

1. Структура конечного потребления топливно-энергетических ресурсов по секторам потребления в 2010 и 2017 годах [Электронный ресурс]: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/graficheskii-material-grafiki-diagrammy/struktura-konechnogo-potrebleniya-toplivno-energeticheskikh-resursov-po-sektoram-potrebleniya/>. Дата доступа: 2.12.2018.
2. Конечное потребление топливно-энергетических ресурсов по секторам потребления [Электронный ресурс]: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/operativnye-dannye_3/-konechnoe-potreblenie-toplivno-energeticheskikh-resursov-po-sektoram-potrebleniya/. Дата доступа: 2.12.2018.

УДК 546

Проблемы переработки коммунальных отходов в мегаполисах

Лукша О.П.

Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

Для уменьшения объемов захораниваемых отходов в сентябре 2017 года в Минске введен в эксплуатацию мусоросортировочный завод в районе полигона «Гростенецкий» мощностью 100 тыс. т в год. Это позволяет на 32 тыс. т в год увеличить извлечение вторичных материальных ресурсов (ВМР) из твердых коммунальных отходов. Однако при среднем ежегодном образовании в столице более чем 1,3 млн т ТКО введенных мощностей недостаточно.

Первостепенные задачи на ближайшее время, требующие решения, определены Программой социально-экономического развития Беларуси на 2016-2020 годы, в которой запланирован поэтапный запрет захоронения отходов, не прошедших сортировку; работа в таких приоритетных направлениях, как обезвреживание и использование отходов.

В стране разработана Национальная стратегия по обращению с ТКО и вторичными материальными ресурсами до 2035 года, которая предусматривает, в том числе, и внедрение депозитно-залоговой системы, ресурсосбережение и максимальное использование отходов. Это позволит снизить количество мусора, который хранится на полигонах.

Чтобы заполненные полигоны и выработанные карьеры исчезли с карты Беларуси, нужно их рекультивировать. Работа в этом направлении третий год подряд проводится в рамках Республиканского плана мероприятий по наведению порядка на земле. Финансовые средства выделяются из республиканского и местного бюджетов, привлекаются средства и собственников объектов. Так, в прошлом году в стране было выведено из эксплуатации и рекультивировано 294 мини-полигона и 183 внутрихозяйственных карьера, а в этом году в планах - 188 объектов захоронения ТКО обоих видов и 108 карьеров. Работа идет на каждом из уровней, начиная от сельских исполнительных комитетов до республиканских органов управления.

Избавиться от «мусорной» проблемы должна помочь реализация Национальной стратегии обращения с ТКО и вторичными материальными ресурсами до 2035 года. Один из ее модулей предусматривает оптимизацию сети полигонов и мини-полигонов по принципу регионализации. Суть в том, чтобы создавать не несколько объектов захоронения отходов в одном районе, а один максимально эффективный и экологически безопасный на два-три района. По планам к 2035 году в стране должно остаться не более 120 полигонов.

Основные нарушения в сфере разработки карьеров (рисунок 1).

Согласно белорусскому законодательству в основном недропользователи несут ответственность за нарушение требований по использованию недр и нарушение правил охраны недр. Максимальный размер штрафов - 500 базовых величин.

Физические лица - нарушители законодательства об обращении с отходами несут ответственность согласно ст. 15.63. ч. 2 (предупреждение или наложение штрафа в размере от 5 до 50 базовых величин). Согласно Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития, уровень использования твердых коммунальных отходов к 2020 году у нас должен составить 25%, к 2025-му – 35%, а к 2030-му — не менее 40%.

Низкие закупочные цены на отдельные виды вторичных материальных ресурсов, а именно: от 5 до 17 копеек за килограмм макулатуры, 1—10 копеек за стекло и 4—38 копеек за полимерные отходы — не стимулируют население к их сдаче в заготовительные пункты. Не стимулирует эту работу и неудобное место расположения самих пунктов.

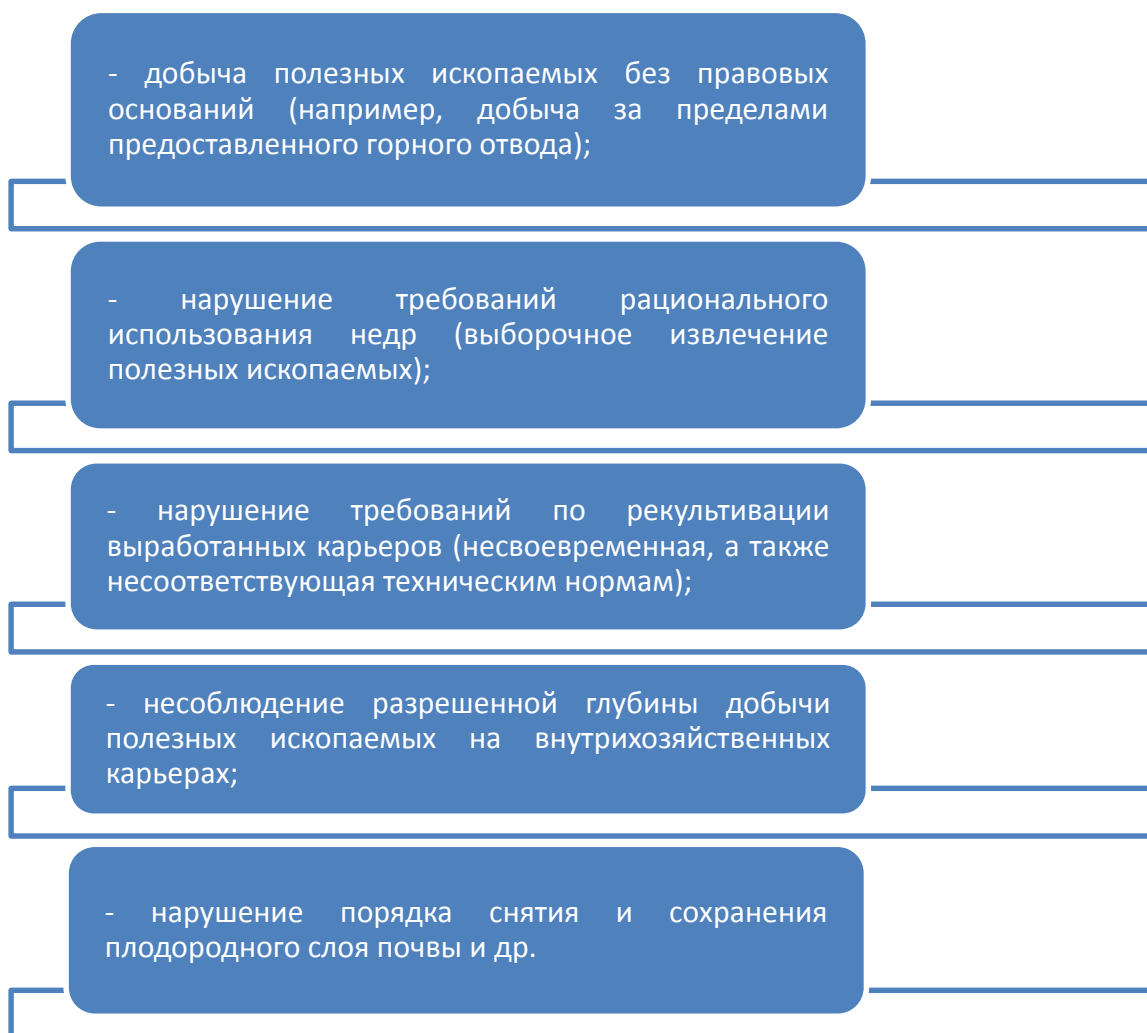


Рисунок 1 – Нарушения в сфере разработки карьеров

Отсутствие равных условий для раздельного сбора отходов также не стимулирует население проводить эту работу. Например, на тысячу населения в Малоритском районе приходится 17,7 единиц специализированного контейнера, в то время как в Барановичском районе — 1,8. Концепцию изменений и дополнений в Закон «Об обращении с отходами» планируется внести в правительство в ближайшее время.

Два полигона - это слишком мало для столицы, которая производит более 25% отходов от общего объема по Беларуси, поэтому в 2016 году обследовали и изучали 6 земельных участков, на которых расположены карьеры «Дубовляны-2», «Веснянка-2», «Ребрище-2» и «Ребрище-3», предложенные Миноблисполкомом для размещения полигонов. Однако из-за удаленности от Минска, недостаточности площадей, а также по экономическим причинам положительное решение до сих пор не получило законодательного оформления.

Литература

1. Мусороперерабатывающий сортировочный завод в районе полигона "Тростенецкий" [Электронный ресурс]. – Электронные данные.- Режим доступа: <https://m.belta.by>
2. Строительство мусоросжигательного завода в Минске [Электронный ресурс].- Электронные данные.- Режим доступа: <https://news.tut.by>

УДК 338

**Современное состояние в сфере энергосбережения и энергоэффективности
на примере Республики Татарстан**

Николаева Е.К.

Научный руководитель – к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А.

Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань, Россия

Одним из первых регионов Российской Федерации, вступивших на путь повышения энергоэффективности, стала Республика Татарстан. За последние несколько лет энергоемкость валового регионального продукта снизилась примерно на 40%. Стоит отметить, что снижение энергоемкости происходило параллельно с увеличением роста качества жизни населения в регионе. Реализация программы энергоэффективности в Республике Татарстан, за прошедшие годы и по настоящее время, дала высокую коммерческую и бюджетную эффективность. При этом, затраты на финансовое сопровождение программы по соотношению к экономическому эффекту в результате подсчетов оказались не более 0,3 %.

Правительство Республики Татарстан, каждый год устанавливает новые пороговые значения показателей энергоэффективности для всех отраслей экономики и муниципального образования, контролируя порядок их выполнения. В федеральном законе подробно прописаны рычаги воздействия на все учреждения бюджетной и промышленной сферы.

В 2010 году в Республике Татарстан была принята и разработана программа на перспективу до 2020 года, которая, как показало время, дала качественно новый толчок в этом направлении. Проект программы был разработан центром энергосберегающих технологий Республики Татарстан при Кабинете Министров РТ, совместно с министерствами и ведомствами РТ на основании Федерального закона «Об энергосбережении ...» от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ.

На территории республики в настоящий момент свою деятельность осуществляют несколько генерирующих компаний - ОАО «ТГК-16», ОАО «Генерирующая компания», ЗАО «ТГК Урусинская ГРЭС» и ООО «Нижнекамская ТЭЦ». Перечисленные предприятия находятся в статусе субъектов оптового рынка электроэнергии. В составе компаний эксплуатируются одна ГЭС (Нижнекамская), две ГРЭС (Заинская и Урусинская) и семь ТЭЦ. Выработка по долям составляет ТЭЦ и ГРЭС примерно 92 % и Нижнекамской ГЭС – более 7 %. За последний год электростанциями республики было произведено более 29,6 млрд кВт/ч электроэнергии и 40,95 млн Гкал тепловой энергии. Гарантирующим поставщиком электроэнергии в РТ, является ОАО «Татэнергосбыт», осуществляющий продажу и покупку потребителям электроэнергии, согласно заключенным договорам.

По подсчетам специалистов, за последний год, промышленным потребителям поставка полезной электрической энергии по долям составила: бюджетным потребителям – 1,6 %, сельхозпотребителям – 3,6 %, прочим – 11,3 %, населению – 12,3 %, промышленным потребителям-59,8 %.

Самым болезненным и сложно-решаемым вопросом для большинства энергетических компаний остается физический износ оборудования, точнее его предельно высокая степень. Такую проблему можно наблюдать и в электросетевом хозяйстве и в генерирующих компаниях, степень износа измеряется примерно в 72 %.

Для обеспечения надежного электропотребления, гарантии энергобезопасности РТ, конкурентоспособности тепловой и электрической энергии, производимой в республике, специалисты выделяют главные задачи развития и модернизирования энергетического комплекса:

- совершенствование и рост генерирующих мощностей и сетевого хозяйства, техническое перевооружение на базе инновационных технологий и оборудования;

- ввод новых и переоборудование уже имеющихся систем централизованного теплоснабжения, для более расширенного и максимально оптимального использования электрической и тепловой энергии в комбинированном производстве;

- сокращение удельных затрат на производство, потребление энергоресурсов и транспорт за счет использования энергосберегающих установок и проводимых мероприятий.

Обновление основных производственных фондов, является следствием принятого решения о реализации инновационного проекта «Умные сети», который позволяет минимизировать затраты на свое содержание, уменьшить уровень потерь электроэнергии, привести к максимально удобным затратам потребителей. «Умная сеть» («Smart Grid»)- сочетает в себе инструменты мониторинга и контроля, является максимально автоматизированной сетью, объединяет в себе средства коммуникации и информационные технологии, которые одновременно обеспечивают поток электроэнергии и информации от электростанций до потребителя, и параллельно оказывает гарантированное повышение надежности электроснабжения потребителя, снижает потери электроэнергии во всех элементах сети, выводит на более качественный уровень электроэнергию, сохраняет надежность электроснабжения, путем увеличения продолжительности межремонтного эксплуатационного периода, повышает экологическую и электрическую безопасность в целом, создавая благоприятные условия для перспективного роста промышленности и инфраструктуры республики.

В энергетическом комплексе РТ, актуально обсуждение ряда вопросов, требующие скорейшего внедрения по программе «Smart Grid», например:

- интегрирование в автоматизированную систему коммерческого учета энергоносителей «интеллектуальных» счетчиков электроэнергии;

- создание автоматизированной системы определения фактических и нормативных технологических потерь электроэнергии на линиях электропередачи и автотрансформаторах 110-500 кВ с использованием приборов учета.

Инициатива создания производственных и сервисных предприятий, обязана интенсивному развитию энергетики, которое мы наблюдаем последние годы, обеспечивающее энергосистему и промышленные предприятия РТ нужным набором услуг, оборудования и материалов. Таким образом, в РТ на основе группы компаний «ИНВЭНТ» создан энергетический кластер, который обеспечивает экономику РТ стандартизированным и высококачественным электро- и теплотехническим оборудованием с последующим сервисным обслуживанием по оптимальным ценам. Предприятия, которые вошли в группу, располагаются на территории Республики Татарстан – Технополис «ИНВЭНТ», заводы в г. Казани, г. Заинске, г. Набережные Челны и п.г.т. Уруссу.

Литература

1. Программа «Энергоресурсоэффективность в Республике Татарстан на 2006-2010 годы» // Закон РТ от 23.03.2006 г. Об утверждении Программы «Энергоресурсоэффективность в Республике Татарстан на 2006-2010 годы». Принят Государственным Советом Республики Татарстан 16 февраля 2006 года

2. Журнал «Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда», № 10 (60), октябрь, 2011 № 4 (133), апрель, 2018 <http://prominf.ru/contacts>

УДК 621.313

Системный подход к оценке энергоэффективности

Николаева Е.К., Тулисова А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А., к.б.н., доцент ДУНАЕВА Т.Ю.

Моделирование институционального развития энергетической отрасли может быть сведено к обоснованию и разработке поэтапного финансирования отраслевой экономики по подразделу 0402 "Топливо-энергетический комплекс", где подлежат отражению расходы на государственную поддержку организаций топливно-энергетического комплекса, угольной промышленности, а также расходы на обеспечение деятельности органов власти и учреждений, осуществляющих руководство и управление в сфере установленных функций и оказывающих услуги в установленной сфере деятельности. В частности, обеспечение деятельности поисковых и аварийно-спасательных учреждений, учреждений, обеспечивающих предоставление услуг, связанных с реструктуризацией угольной отрасли, а также расходы, связанные с реструктуризацией угольной отрасли [1].

Государственная программа Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года" разработана в соответствии с планом подготовки актов по реализации в 2009 - 2010 годах Основных направлений деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2012 года, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2008 г. N 1996-р.

Программа направлена на обеспечение повышения конкурентоспособности, финансовой устойчивости, энергетической и экологической безопасности российской экономики, а также роста уровня и качества жизни населения за счет реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности на основе модернизации, технологического развития и перехода к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов [1].

Указом Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. N 889 "О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики" установлена задача по снижению к 2020 году энергоемкости валового внутреннего продукта не менее чем на 40 процентов по отношению к уровню 2007 года и обеспечению рационального и экологически ответственного использования энергии и энергетических ресурсов.

Основными макроэкономическими показателями по итогам реализации Программы являются:

- обеспечение снижения энергоемкости валового внутреннего продукта за счет реализации мероприятий Программы не менее чем на 7,4 процента на I этапе (2011 - 2015 годы) и на 13,5 процента за весь срок реализации Программы (2011 - 2020 годы);

- обеспечение годовой экономии первичной энергии за счет реализации мероприятий Программы в размере не менее 100 млн. тонн условного топлива к концу I этапа (к 2016 году) и 195 млн. тонн условного топлива к концу II этапа (к 2021 году);

- обеспечение суммарной экономии энергии в размере 334 млн. тонн условного топлива на I этапе (2011 - 2015 годы) и 1124 млн. тонн условного топлива за весь срок реализации Программы (2011 - 2020 годы).

Общий объем финансирования программных мероприятий составляет 9532 млрд. рублей, в том числе в 2011 - 2015 годах 3553 млрд. рублей и в 2016 - 2020 годах - 5979 млрд. рублей (в ценах соответствующих лет), из них:

- средства федерального бюджета - 70 млрд. рублей, в том числе в 2011 - 2015 годах - 35 млрд. рублей и в 2016 - 2020 годах - 35 млрд. рублей;

- средства бюджетов субъектов Российской Федерации - 625 млрд. рублей, в том числе в 2011 - 2015 годах - 208 млрд. рублей и в 2016 - 2020 годах - 417 млрд. рублей.[1]

Несмотря на представленные выше показатели важно определить какие факторы влияют на доходы энергетической отрасли на макроуровне. Автором предлагается построить

экономико-математическую модель для выявления резервов роста внутреннего долга от предложенных маркоэкономических показателей, которые, в свою очередь, влияют на эффективность энергетической отрасли, что позволит выявить величину использования энергетического потенциала отрасли на основании следующего алгоритма.

К примеру, используя статистические данные смоделировать многофакторную зависимость внутреннего долга от предложенных показателей.

Анализ решения задачи.

1. Начнём с построения корреляционного поля зависимости каждого показателя от времени. Для этого выделим столбец, содержащий исследуемые данные. Затем выберем

Вставка – Диаграмма – Точечная

Таблица 1 – Динамика макроэкономических показателей

Дата	Внутренний долг, млрд.руб., Y	Цены на нефть, руб., X_1	Внешний долг, млрд.руб., X_2	Курс доллара, руб., X_3
01.01.2014	5340	110,9	1852,3	33,6
01.02.2014	5342	111,6	1852,9	35,2
01.03.2014	5401	111,9	1864,8	36,2
01.04.2014	5462	114,1	1874,2	35,7
01.05.2014	5475	113,6	1872,5	34,7
01.06.2014	5461	114,8	1897,6	34,4
01.07.2014	5502	114,5	1899,2	34,4
01.08.2014	5489	114,9	1901,1	36,1
01.09.2014	5524	115,4	1919,8	38
01.10.2014	5548	115,6	1926,4	40,7
01.11.2014	5497	115,3	1938,7	46,3
01.12.2014	5569	118,9	1944,1	54,4
01.01.2015	5474	121,5	2014,6	65,3
01.02.2015	5529	124,5	2016,4	64,3
01.03.2015	5648	124,3	2028,7	60,7
01.04.2015	5649	123,9	2036,4	52,4
01.05.2015	5706	124,8	2049,8	50,3
01.06.2015	5728	123,6	2051,7	54,4
01.07.2015	5736	124,5	2064,5	56,9
01.08.2015	5814	125,1	2065,9	65
01.09.2015	5836	125,9	2074,2	66,6
01.10.2015	5847	124,7	2078,9	62,7
01.11.2015	5859	123,9	2156,7	64,9
01.12.2015	5923	126,4	2205,6	70,2
01.01.2016	5969	126,8	2212,8	76,6
01.02.2016	6015	127,6	2239,7	77,1
01.03.2016	6029	127,4	2267,8	70,2
01.04.2016	6058	127,9	2304,8	66,5
01.05.2016	6079	128,3	2329,7	65,9
01.06.2016	6053	128,5	2451,8	65,1
01.07.2016	6097	127,9	2538,7	64,1
01.08.2016	6082	129,5	2617,9	64,8
01.09.2016	6128	129,4	3015,8	64,8
01.10.2016	6234	125,7	3267,3	62,5
01.11.2016	6247	128,4	3358,7	64,2
01.12.2016	6311	127,8	3415,9	61,6

В результате получаем следующие графики:

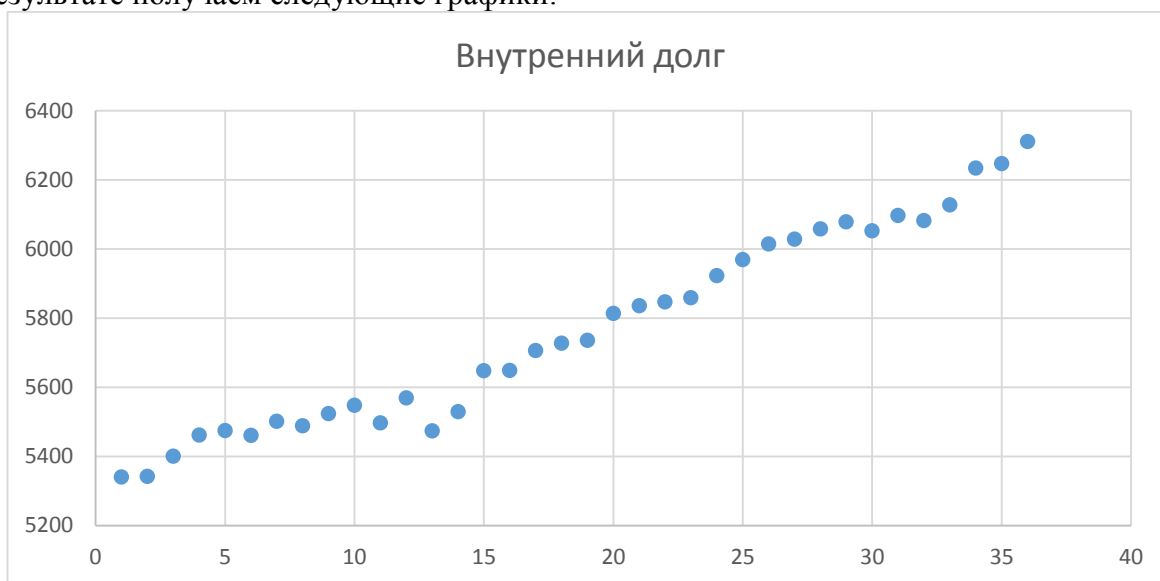


Рисунок 1 – Тренд внутреннего долга

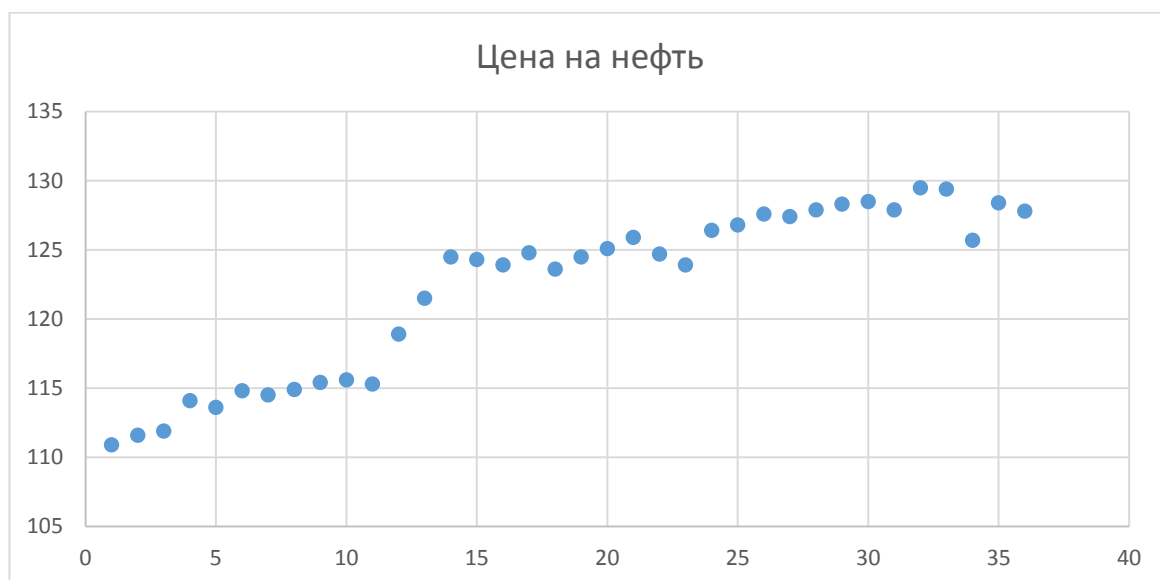


Рисунок 2 – Динамика цены на нефть

По виду графиков можно предположить, что внутренний долг можно смоделировать с помощью многофакторной модели регрессии. Коэффициенты корреляции (табл.2) приближаются к 1,000, что означает тесную связь между различными макроэкономическими показателями.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции

	Внутренний долг, Y	Цены на нефть, X ₁	Внешний долг, X ₂	Курс доллара, X ₃
Внутренний долг, Y	1			
Цены на нефть, X ₁	0,885	1		
Внешний долг, X ₂	0,858	0,649	1	
Курс доллара, X ₃	0,777	0,921	0,506	1

Модель множественной линейной регрессии примет вид:

$$Y = 110,9 \cdot X_1 + 1852,3 \cdot X_2 + 33,6 \cdot X_3$$

Исходя из модели видно, что рост цен на нефть на 1 руб. будет способствовать росту внутреннего долга на 110,9 млрд.руб., рост внешнего долга на 1 млрд.руб. приведет к росту внутреннего долга на 1852,3 млрд.руб., рост курса доллара на 1 руб. будет способствовать росту внутреннего долга на 33,6 млрд.руб.

Резюмируя хочется отметить, что на макроуровне эффективное управление внутренним долгом позволит повысить энергоэффективность и доведение бюджетных средств в виде субсидий или субвенций до субъектов РФ.

Литература

1. <http://www.rg.ru/2011/01/25/energoberejenie-site-dok.html>
2. Башмаков И. А., Мышак А. Д. Российская система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии // М.: Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ). – 2012.
3. Ефремкова Т.И. Оценка эффективности планирования расхода электроэнергии на технологические цели в электросталеплавильном цехе металлургического предприятия// Современные технологии управления. ISSN 2226-9339. — №5 (77). Номер статьи: 7701. Дата публикации: 2017-05-14. Режим доступа: <http://sovman.ru/article/7701/>
4. Машунин Ю. К., Осипов А. В. Моделирование и прогнозирование развития промышленного предприятия с учетом интенсивных факторов на примере энергоэффективности (1. Теоретический аспект) //Современные технологии управления. – 2017. – №. 8 (80).
5. Машунин Ю.К. Машунин К.Ю. Численная реализация инновационного развития промышленного предприятия // Глобальные вызовы в экономике и развитие промышленности (INDUSTRY-2016): тр. науч.-практ. Конф. с зарубежным участием 21-23 марта 2016/ под ред. д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 455–484.
6. Машунин Ю.К. Моделирование и программная реализация инновационного развития промышленного предприятия // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Экономические науки. 2016. № 3(245). С. 78–92.
7. Машунин Ю.К. Теория управления. Математический аппарат управления экономикой. — М.: Логос, 2013. — 448 с.
8. Машунин Ю.К., Машунин И.А. Инновационная модель развития промышленного предприятия // Глобальные вызовы в экономике и развитие промышленности (INDUSTRY-2016): тр. науч.-практ. Конф. с зарубежным участием 21-23 марта 2016/ под ред. д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 440–454.
9. Осипов А.В., Осипов В.А. Энергоэффективность промышленного производства: методология определения // Экономика и предпринимательство. 2015. № 8. Ч. 2.
10. Осипов В.А., Осипов А.В. Энергобаланс предприятия как инструмент управления энергоэффективностью // Экономика и предпринимательство. 2015. № 10. Ч. 2.
11. Поляничко М.В. Методические подходы к управлению энергоэффективностью предприятия// Современные технологии управления. ISSN 2226-9339. — №3 (75) (<http://sovman.ru/issue/2017-75/>). Номер статьи: 7503. Дата публикации: 2017-03-06. Режим доступа: <http://sovman.ru/article/7503/>
12. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» /, ч.2, п.3 / Собрание законодательства РФ. - 2009. — № 48.

УДК 338

Оценка роли атомной энергетики в мировом производстве электроэнергии

Русецкая М.И.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Мировая экономика переживает весьма непростой период, что оказывает самое прямое воздействие на состояние энергетической сферы. Энергетический кризис может грозить не только отдельно взятой стране, но и всей цивилизации в целом. Поэтому проблема глобальной энергетической безопасности приобретает всё большую актуальность.

Энергетическая безопасность - это комплексная концепция, целью которой является защита потребителей от перебоев в поставках, вызванных чрезвычайными обстоятельствами, терроризмом или недостаточным инвестированием в инфраструктуры энергетических рынков. Национальная энергетическая безопасность означает гарантированное обеспечение национальной экономики энергетическими ресурсами, необходимыми для ее устойчивого развития и модернизации. Это обеспечение зависит от целого ряда факторов:

- степени обоснованности государственной политики в развитии энергетики;
- общего состояния мировой экономики и ее энергетического сектора;
- уровня международного сотрудничества в энергетике.

Согласно прогнозам ООН, численность населения мира вырастет до 8 млрд. к 2030 году и до 10 млрд к 2050 году, при чём 80% населения будут проживать в развивающихся странах (Рисунок 1). Численность населения Земли существенно влияет на потребление энергии, но в большей степени энергобаланс зависит от темпов индустриального развития. Например, в XX в. население мира выросло в 3,6 раза, в то время как мировой энергобаланс увеличился более чем в 10 раз. Гигантские потребности в энергии были обусловлены интенсивным развитием промышленности преимущественно в странах Европы, в США и России.



Рисунок 1 – Прогнозный рост численности населения мира

Борьба за доступ к источникам энергии принимает критический характер. Государства стремятся обеспечить себя надёжными энергетическими ресурсами как путём установления контроля над традиционными энергоресурсами, так и за счёт внедрения передовых технологий освоения и переработки традиционных углеводородных ресурсов, а также промышленного использования возобновляемых источников энергии.

По состоянию на середину 2018 года в 31 стране мира работают атомные реакторы. В свою очередь мощность выработки электроэнергии в мире составляет 2503 млрд. кВтч. На атомных станциях (АЭС) вырабатывается около 16 % мировой электроэнергии, а для многих развитых стран их доля превышает 60–70 %. Прогнозируется снижение суммарной выработки электроэнергии на АЭС в мире, связанное с выводом из эксплуатации энергоблоков, однако предполагается, что к концу XXI века эта цифра возрастёт как минимум в 10 раз, что связано с изменением структуры атомной энергетики и вводом новых технологий: получают развития реакторы на быстрых нейтронах, термоядерный синтез, - что позволит не только в несколько раз увеличить мощность, но и повысить безопасность станций.

Исходя из выше изложенного, в будущем нехватки ресурсов не ожидается. Открытие всё новых ресурсов и появление новых технологий, которые способствуют извлечению

нетрадиционных видов нефти и газа и повышают коэффициенты извлечения с существующих месторождений, уже привели к четырёхкратному увеличению доступных запасов ископаемого топлива в течение последних 10 лет, и эта тенденция сохраняется. До 2050г. нефть, газ и уголь сохранят доминирующую роль в топливно-энергетическом балансе планеты, на их долю будет приходиться до 70% вырабатываемой энергии (на сегодняшний день эта цифра составляет 80%). Однако между этими ресурсами произойдёт перераспределение. Если сегодня первенство за нефтью, далее следует уголь и газ, то в будущем лидерство перейдёт к газу. Уголь останется в тройке только при условии, что будут разработаны эффективные технологии, позволяющие хранить углекислые газы, т.к. на данный момент его серьёзная проблема- это влияние отходов на климат. Что касается, ВИЭ, то цифра их использования будет около 10%. Несмотря на существующее сегодня в некоторых странах негативное восприятие атомной энергетики, её роль будет возрастать. Относительная экологичность и доступность этой энергии позволит решить проблему «энергетического голода» и энергобезопасность.

Как мы видим, повышение эффективности использования энергоресурсов можно достичь за счёт изменения существующего подхода к взаимодействию факторов энергетического рынка. Следует сосредоточиться на учёте региональных и национальных контекстов, а также дифференцированных потребительских ожиданий.

Прогноз мирового электропроизводства на АЭС на долгосрочный период 2015-2050 гг. является составной частью прогноза общего мирового электропроизводства на всех типах энергоустановок. В свою очередь, прогноз общего мирового электропроизводства определяется прогнозами мирового электропотребления и электрическими потерями.

Прогноз мирового электропотребления является производной от прогноза развития мировой экономики, т.е. прогнозов темпов роста мирового ВВП и его структуры. В свою очередь темпы роста мирового ВВП определяются темпами роста численности населения Земли, ростом его благосостояния, развитием технологий, эффективностью производства и многим другим. Было установлено, что в 2050 г. мировой ВВП должен увеличиться до \$157 трлн. со среднегодовым темпом роста 2%.

Как мы видим, в связи с ростом электропотребления будет возрастать потребность на производство электроэнергии. На данный момент много стран продолжает успешно эксплуатировать АЭС, многие страны приняли решение присоединиться к ядерному сообществу. В том числе и Беларусь. В Республике Беларусь ведётся строительство первой АЭС, запуск которой планируется в 2019-первый блок, 2020- второй блок. Установленная мощность БелАЭС с двумя энергоблоками с реакторами типа ВВЭР 1200 будет составлять 2218 МВт

Литература

1. Ввод БелАЭС обеспечит Беларуси мощный экспортный потенциал [Электронный ресурс]. – 2018 – Режим доступа: <http://www.ostrovets.by>– Дата доступа: 01.10.2018.
2. Международное состояние и перспективы ядерной энергетики[Электронный ресурс] – 2017/ Доклад генерального директора МАГАТЭ , -7 августа 2017г Режим доступа: http://minenergo.gov.by/o_ministerstve/yadernaya_energetika/mezhdunarodnoe-sostojanie-i-perspektivy-jadernoj-jenergetiki-2017/ – .Дата доступа: 01.10.2018.
3. Русецкая М.И. –Современное состояние и тенденции развития атомной энергетики/ М.И. Русецкая; науч. рук.- Е.П. Чиж //IV Міжнародної науково-практичної конференції, 26 жовтня 2018 року /Донецький університет економіки та права-Бахмут, Секція « Економіка, менеджмент та фінанси: сучасні тенденції та перспективи розвитку в Україні та світі»-ДонУЕП,2018-С. 65-66.

УДК 620.9

Моделирование учета энергоэффективности в теории фирмы

Файзуллина Э.И, Замалиева Г.В.

Научный руководитель - к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А., к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А.
Казанский государственный энергетический университет, Россия.

Потребление энергоресурсов во всем мире стремительно растет. На фоне этого энергосбережение и энергетическая эффективность требуют все большего внимания со стороны, как руководства стран, так и рядовых граждан. Необходимо понимать, что любая правительственная инициатива, любой закон об энергосбережении и предварительная программа энергосбережения, может остаться только бумагой, если на местах нет понимания о необходимости проведения мероприятий по энергосбережению. Рассмотрим на примере нескольких стран.

Россия поставила перед собой довольно-таки грандиозную задачу снижения энергоемкости ВВП на 45% в 2008-2020 гг. Для реализации этой цели должна быть создана и реализована система учета энергоэффективности и энергопотребления, принципы которого в теориях фирмы отражают снижение энергоемкости ВВП и энергетические (производственные) риски [6.с.3].

Для оценки эффективности государственного регулирования во многих странах были созданы национальные системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии. Существуют также международные системы. Реализация федеральной политики повышения энергоэффективности направлена на снижение интегрального индекса энергоэффективности и сокращение технологического разрыва с ведущими странами для повышения конкурентоспособности российской экономики в целях энергообеспечения и энергосбережения, что в итоге будет способствовать энергетической безопасности.

В Канаде система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии ведет Офис энергоэффективности организации Нэчурал ресорсиз Канада (NRCan). Метод измерения потребления энергии - конечная энергия.

Кроме того, в системе проводится анализ динамики выбросов парниковых газов, порожденных использованием энергии. Анализ проводится по пяти секторам энергопотребления: жилищный сектор, сфера услуг, промышленность, транспорт и сельское хозяйство [6.с.30].

Далее, в Новой Зеландии учет влияния факторов изменения энергопотребления проводится с 2001 г. на основе системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии [2].

Организацией, которая отвечает за поддержку этой системы, является Служба по энергоэффективности и энергосбережению.

Помимо этого, выделен специальный раздел по возобновляемым источникам энергии. Анализируется влияние на энергопотребление и изменение энергоэффективности следующих факторов:

В США учет повышения энергоэффективности ведет Офис энергоэффективности и возобновляемых источников энергии Министерства энергетики США. Анализ охватывает пять секторов энергопотребления: жилищный сектор, сферу услуг, промышленность, транспорт и производство электроэнергии.

Способ учета потребления энергии: первичная энергия и подведенная энергия. Используемый метод декомпозиции – мультипликативный LMDI (то есть рассматривающий относительные изменения показателей).

Изучением тенденций в области энергоэффективности в Австралии занимается Австралийское бюро экономики сельского хозяйства и ресурсов [3].

В анализе отражается три сектора энергопотребления: жилищный сектор, промышленность и транспорт. Способ учета потребления энергии: конечная энергия. Используемый метод

декомпозиции - Мультипликативный LMDI (то есть рассматривающий относительные изменения показателей).

Таким образом, обобщая опыт учетной политики энергоэффективности и энергосбережения зарубежных стран на микроуровне касательно деятельности конкретной фирмы принципы моделирования учета можно вести к следующим:

- Принцип инновационного развития организации. Нам представляется реализация энергосберегающих технологий типа композитных покрытий на основе стекловолокна.
- Формирование оптимистичного (реалистичного) плана энергопотребления организацией. Целесообразно осуществлять оперативное, годовое и долгосрочное планирование. Оценка эффективности планирования должна сводиться к учету, контролю и анализу таких показателей как производительность энергии, индекс энергоэффективности, энергоемкость.
- Реализация механизмов инвестиционного и стратегического менеджмента на предприятиях, реализующих принципы энергосбережения и энергоэффективности. Так, инвестиции на уровне фирмы формируются за счет прибыли предприятия, кредита, лизинга и пр. Задача региональных органов управления состоит в стимулировании таких финансово-производственных процессов на уровне бюджета на базе долгосрочных целевых программ [8].
- Составление энергостойкого баланса предприятия. В этом балансе помимо данных о величине энергопотребления, должны учитываться данные об эффективности всех внешних энергоисточников и данные внутренних направлений расходования энергии [13, 16].
- Составление математической модели функционирования предприятия, которая сводится к векторной задаче математического программирования. Математический аппарат для ее решения, основан на нормализации критериев и принципе гарантированного результата, которые позволяют сформировать стратегию инновационного развития предприятия с учетом снижением трудозатрат и энергозатрат, т.е. повышения энергоэффективности.

Литература

1. Машунин Ю. К., Осипов А. В. Моделирование и прогнозирование развития промышленного предприятия с учетом интенсивных факторов на примере энергоэффективности (1. Теоретический аспект) //Современные технологии управления. – 2017. – №. 8 (80).
2. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» /, ч.2, п.3 / Собрание законодательства РФ. - 2009. — № 48.
3. www.gks.ru

УДК 621.1

Влияние возобновляемых источников энергии на окружающую среду

Шавлис А.К.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Сегодня одни из главных экологических проблем (изменение климата, кислотные осадки, всеобщее загрязнение среды и другие) напрямую или косвенно связывают с производством или потреблением энергии.

На сегодняшний день, путем сжигания топлива (включая дрова и другие биоресурсы) производят около 90% энергии. Не смотря на то, что сжигание топлива является основным источником энергии, этот метод также считается важнейшим поставщиком загрязняющих веществ в окружающую среду. Тепловые электростанции являются фактором, который усиливает парниковый эффект и вызывает кислотные осадки.

В выбросах, которые попадают в атмосферу при работе ТЭС, содержится достаточно большое количество металлов и их соединений. Тепловая энергетика отрицательно воздействует почти на все элементы окружающей среды, в том числе на человека, другие организмы и их сообщества.

Выходом для общества из этой ситуации должны стать: внедрение новых технологий (по очистке, рециркуляции выбросов, по переработке и хранению радиоактивных отходов), распространение альтернативной энергетики и использования возобновляемых источников энергии.

Одним из основных преимуществ возобновляемой нетрадиционной энергетики является уменьшение негативного воздействия на окружающую среду в сравнении с традиционными источниками энергии, при этом каждый вид источников оказывает на нее различное как прямое, так и косвенное влияние. При использовании возобновляемых нетрадиционных источников энергии снижаются выбросы различных загрязняющих веществ, в том числе парниковых газов, по сравнению с традиционными источниками энергии. ВИЭ могут также играть роль в уменьшении местного загрязнения атмосферы, улучшая качество воздуха в городах и зонах отдыха.

В таблице 1 приведен уровень выбросов основных загрязнителей окружающей среды от ВИЭ при выработке единицы энергии. Он на порядки меньше выбросов указанных веществ при использовании традиционных источников энергии, которые, например в Великобритании, имеют значения, г/(кВт·ч): для установок на угле CO₂ – 955; SO₂ – 11,8; NO_x – 4,3; для установок на нефти – соответственно 818; 14,2; 4,0; для установок на газе – 430; 0; 0,5; для установок на дизельном топливе – 772; 1,6; 12,3.

Таблица 1 – Удельные выбросы загрязнителей от ВИЭ при получении единицы энергии, г/(кВт·ч)

Загрязнитель окружающей среды	Биологическое топливо		Традиционные ГЭС	Солнечные фотоэлементы	Ветровые установки	Геотермальные установки
	на сегодня	в будущем				
CO ₂	17 – 27	15 – 18	3,6 – 11,6	98 – 167	7 – 9	79
SO ₂	0,07 – 0,16	0,06 – 0,08	0,009 – 0,024	0,20 – 0,34	0,02 – 0,07	0,02
NO _x	1,1 – 2,5	0,35 – 0,51	0,003 – 0,006	0,18 – 0,30	0,02 – 0,06	0,28

Распространению «альтернативных» электростанций препятствуют разнообразные технические и технологические сложности. Не лишены эти электростанции и экологических недостатков.

Собранная гелиоэнергетическими устройствами солнечная радиация заменяет энергию, которая производится с помощью грязных относительно окружающей среды технологий. В этом и состоит главный экологический эффект солнечной энергетики.

Основное вредное влияние гелиоустановок на окружающую среду косвенное и обусловлено технологическими процессами, связанными с производством новых соединений для гелиоустановок. Во многих случаях это требует редкоземельных элементов, которые содержатся в очень малых концентрациях в земных породах и для их добычи необходимо переработать значительное количество таких пород.

Ветроустановки вырабатывают электрическую энергию практически без загрязнения окружающей среды, но при этом их отрицательное влияние связано с отведением под строительство значительных территорий и изменением ландшафта, шумовыми эффектами, препятствием распространению радиосигналов, вибрационным действием, угрозой гибели птиц, металлоемкостью ветроустановок, что обуславливает загрязнения при производстве металла. Особую экологическую проблему представляют шумовые влияния ветроагрегатов мощностью 250 кВт и выше. Проблема генерации ВЭУ ультразвука была преодолена путем выбора профиля лопасти и скорости вращения ветроколеса, а точнее концов лопасти ветроколеса.

Приливные электростанции характеризуются отрицательным влиянием на окружающую среду. Сооружение плотины приводит к увеличению амплитуды прилива. Даже небольшое повышение амплитуды прилива вызывает значительное изменение распределения грунтовых вод в береговой зоне, увеличивает зону затопления, нарушает циркуляцию водных масс, изменяет ледовый режим в части бассейна за плотиной.

При строительстве плотин в зоне умеренного климата возможно образования зоны сероводородного заражения, подобные тем, которые наблюдаются в заливах и бухтах, имеющих естественные ноги. Хорды скандинавского полуострова, имеющие естественный порог, представляют собой классический пример такого естественного сероводородного заражения.

Отдельно стоит отметить **геотермальные электростанции**. Их влияние на атмосферу характеризуется возможными выбросами мышьяка, ртути, соединения серы, бора, силикатов, аммиака и других веществ, растворенных в подземных водах. В атмосферу выбрасываются также водяные пары, что связано с изменением влажности воздуха, выделением теплоты, шумовыми эффектами. Воздействие геотермальных тепловых электростанций на гидросферу проявляется в нарушении балансов подземных вод, круговорота веществ, связанного с подземными водами. Воздействие на литосферу связано с изменением геологии пластов, загрязнением и эрозией почвы. Возможны изменения сейсмичности районов интенсивного использования геотермальных источников.

Технология возобновляемых источников энергии играет важную роль в сокращении выбросов углекислого газа в атмосферу, способствуя тем самым снижению так называемого парникового эффекта. Хотя это чистая технология, с гораздо меньшим влиянием на окружающую среду по сравнению с конвенциональными энергетическими технологиями, но и она, к сожалению, не лишена экологических недостатков.

Литература

1. Возобновляемая нетрадиционная энергетика и охрана окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-5> – Дата доступа: 29.11.2018
2. Энергетика и охрана окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016025800> – Дата доступа: 28.11.2018
3. Основные техногенные источники загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016025800> – Дата доступа: 29.11.2018

УДК 621

Перспектива создания общего электроэнергетического рынка странами-участницами ЕАЭС

Щелко Д.Ю.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Энергетика является одним из основных видов экономической деятельности любой страны. Энергетическая система или энергосистема – это совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, энергетических ресурсов всех видов и технических средств для добычи, преобразования, распределения и использования энергии.

По состоянию на 1 января 2018 года в состав ГПО «Белэнерго» входят 30 организаций. Установленная мощность 68-ми генерирующих энергоисточников ГПО «Белэнерго» составляет 9 109, 06 МВт, из них:

- 42 тепловых электростанций электрической мощностью- 9 011, 8 МВт, в том числе 12 тепловых электростанций высокого давления- 8 347,6 МВт;
- 25 гидроэлектростанций мощностью 88,26 МВт;
- Новогрудская ветроэлектростанция мощностью 9 МВт.

В настоящее время белорусская энергосистема работает параллельно с энергосистемами России, Украины и странами Балтии. Сейчас экспорт электроэнергии из Республики Беларусь осуществляется в Литву в соответствии с правилами торговли энергобиржи NordPool по контракту с одной из компаний, являющейся резидентом Литвы. Кроме того, экспорт электроэнергии из нашей страны может осуществляться в рамках договоров на оказание аварийной взаимопомощи в Литву, Латвию, Эстонию и Россию, а также в незначительных объемах в Украину – для энергоснабжения приграничных населенных пунктов. В 2015 г. экспорт белорусской электроэнергии составлял 194,4 млн кВт.ч, в 2016 г. – 160,1 млн кВт.ч, в 2017 г. – 147,5 млн кВт.ч.

С 1 января 2015 года Республика Беларусь входит в состав Евразийского экономического союза (ЕАЭС). На данный момент в состав ЕАЭС входят Кыргызская Республика, Республика Армения, Республика Беларусь, Республика Казахстан и Российская Федерация. Основными целями ЕАЭС являются:

- создание условий для стабильного развития экономик государств-членов в интересах повышения жизненного уровня их населения;
- стремление к формированию единого рынка товаров, услуг, капитала и трудовых ресурсов в рамках ЕАЭС;
- всесторонняя модернизация, кооперация и повышение конкурентоспособности национальных экономик в условиях глобальной экономики.

7 сентября 2018 года Коллегия Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) одобрила изменения в Договор о ЕАЭС в части формирования общего электроэнергетического рынка. В Договор Евразийского экономического союза включен международный договор о формировании электроэнергетического рынка. Общий электроэнергетический рынок позволит:

- во-первых, общие рынки энергоресурсов, наравне с единым таможенным пространством, свободным перемещением людей и капиталов, должны сыграть роль «цемента», которым скрепляется все разнообразие экономических отношений между странами-участницами ЕАЭС;
- во-вторых, формирование привлекательной модели энергетической интеграции;
- в-третьих, это увеличение доступности энергетических товаров и услуг для потребителей в странах-участницах ЕАЭС.

Общий электроэнергетический рынок ЕАЭС это система отношений между субъектами внутренних оптовых электроэнергетических рынков государств-членов союза на основе параллельно работающих электроэнергетических систем, связанная с куплей-продажей

электрической энергии, действующая на основании актов, регулирующих общий электроэнергетический рынок союза, и соответствующих договоров между субъектами общего электроэнергетического рынка союза.

С энергетической точки зрения ЕАЭС – это: 1/5 мировых запасов природного газа и более 50% мирового экспорта; более 1/5 запасов угля и 4,9% мировой добычи; 7,8% мировых запасов нефти, 14,2% мировой добычи и 18% мирового экспорта; 5,1% мирового производства электроэнергии. ТЭК в ЕАЭС – это: 1/5 внутреннего валового продукта; более 1/3 промышленного производства. В 2015 г. в государствах – членах ЕАЭС было добыто 614,4 млн т нефти (из них 284,6 млн т экспортировано), газа – 679,3 млрд куб. м (экспорт – 168,1 млрд куб. м), угля – 481,1 млн т (экспорт – 156,8 млн т), произведено 1213,0 млрд кВт-ч электроэнергии (экспорт – 15,5 млрд кВт-ч). Экспорт топливноэнергетических ресурсов ориентирован, преимущественно, вовне ЕАЭС (95% совокупного объема экспорта).

При формировании общего электроэнергетического рынка необходимо учитывать различия в текущем положении энергетических систем стран государств-членов ЕАЭС. Например, рынок электроэнергии РФ является двухуровневым (опт и розница) двухтоварным (электроэнергии и мощность), который основан на централизованном планировании режимов электроэнергетической системы, а рынок электроэнергии РК является двухуровневым с преобладанием двухсторонних договоров.

Энергетика РБ находится на начальном этапе реформирования. Сейчас в республике преобладает вертикальная интеграция процессов производства, передачи и распределения энергии; имеет место полное государственное регулирование тарифов.

Общий рынок электроэнергии в ЕАЭС должен заработать до 1 июля 2019 года. Создание общего электроэнергетического рынка: повысит эффективность рыночных механизмов во взаимной торговле электроэнергией; стимулирует развитие экономики; повысит уровень конкуренции в торговле электроэнергией; повысит прозрачность ценообразования; создаст условия для беспрепятственного доступа к услугам субъектов естественных монополий в сфере электроэнергетики при осуществлении межгосударственной передачи электроэнергии (мощности); создаст условия для доступа производителей и потребителей электроэнергии на рынки государств-членов; расширит возможности для взаимной торговли электроэнергией; снизит темпы роста цен на электроэнергию для конечных потребителей; создаст благоприятные условия для активизации инвестирования в объекты электроэнергетики.

Литература

1. Государственное производственное объединение электроэнергетики «БЕЛЭНЕРГО». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.energo.by/>. – Дата доступа: 28.11.2018.
2. Решение О концепции формирования общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза от 8 мая 2015 года № 12

СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Обращение с жидкими радиоактивными отходами

Воронюк Д.Ю.

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

Снижение выбросов в ГТУ различного назначения

Дегтяренко Д. В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КАРНИЦКИЙ Н. Б.

Опыт работы детандер-генераторной установки ДГУЭ-5000 на 2018

Казанцев И.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Метод магнитной памяти металла для диагностики элементов энергетических котлов

Каранкевич В.В., Таранчук А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Анализ коррозионного состояния оборудования систем теплоснабжения

Ковалёв М.С.

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

Сжигание древесных отходов в малой энергетике

Купцов М.А., Казанцев И.А.

Научный руководитель - д.т.н., профессор ЖИХАР Г.И.

Назначение и состав средств обеспечения ВХР первого контура

Мелешко К.И.

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

Гидравлический расчет технологического канала

Пташиц К.П.

Научный руководитель – ст. препод. БУРОВ А.Л.

Поддержание вакуума в конденсаторах турбин атомных электростанций

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

Использование систем компьютерной алгебры при подготовке специалистов в области энергетики и управления

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

Научный руководитель – д.т.н., проф. КУЛАКОВ Г.Т.

Программное обеспечение для проектирования систем ВПУ

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

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

Расчет эффективности и экономического эффекта от использования сотовых уплотнений на 28-30 ступенях турбины ПТ-60-130/13

Сидорук Ю.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Сервисное обслуживание энергетических газотурбинных установок

Сидорук Ю.С., Трахимович И.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Комплексный подход к нормализации тепловых расширений турбины

Трахимович И.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Модернизация турбины семейства ПТ-60

Харченко К.Г.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Сравнительный анализ турбогенераторов с турбинами К-1200-6,8/50 и «Arabelle» для АЭС-2006

Цыганкова С.Д.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

Кавитация в центробежных насосах

Эркабаева Е.О., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОНКЕВИЧ Е. В.

Энергокомплексы на базе газотурбинных установок с использованием в качестве топлива бытовых отходов

Эркабаева Е.О., Швецов И.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

УДК 621.039.7

Обращение с жидкими радиоактивными отходами

Воронюк Д.Ю.

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

Источники образования жидких радиоактивных отходов на АЭС

В процессе эксплуатации АЭС неизбежно образование жидких радиоактивных отходов, содержащих радиоактивные элементы в количествах, не допускающих сброс в окружающую среду. [1]

Протечки теплоносителя являются одним из основных источников ЖРО. Они могут быть организованными и неорганизованными. Протечки появляются из-за неплотностей сварных швов, фланцевых разъемов, сальниковых уплотнений насосов и арматуры.

Во избежание поступления радиоактивного теплоносителя в производственные помещения наиболее вероятные протечки отводятся в закрытую систему, состоящую из трубопроводов и приемных баков, и поэтому носят название организованных протечек. К организованным протечкам относятся слив воды из воздушников и дренажей оборудования и трубопроводов, из пробоотборных точек, продувочная вода импульсных линий датчиков контрольно-измерительных приборов (КИП) и др. В систему организованных протечек выводятся некоторые технологические сбросы, которые по химическому составу загрязняющих веществ или активности не могут быть возвращены в цикл без предварительной очистки. К ним относятся, например, сливы замасленного конденсата из уплотнений питательных насосов и из-под картерных полостей турбин, конденсат пара эжекторов уплотнений турбин и из системы дожигания радиолитического водорода, а также конденсат, получаемый при опорожнении конденсаторов газового контура, и др.

Протечки из технологического оборудования на пол производственных помещений носят название неорганизованных и собираются в систему трапов, состоящую также из системы трубопроводов и приемных баков. Трапами (в виде приемной воронки в полу) оборудуются, как правило, все производственные и лабораторные помещения, в которых возможны протечка активного теплоносителя или попадание на пол растворов, загрязненных радионуклидами. В систему неорганизованных протечек собираются также некоторые «грязные» сбросы технологического оборудования, например, переливы бака биологической защиты и бассейнов выдержки отработавших ТВС.

Организованные протечки первого контура блока с ВВЭР содержат большое количество борной кислоты и все химические добавки (гидроксид калия, аммиак, гидразин), которые вводятся в циркулирующую воду. Неорганизованные протечки первого контура ВВЭР, как уже указывалось, чрезвычайно малы.

Дезактивационные и обмывочные воды появляются в результате проведения дезактивации оборудования в сборе, например, основного контура циркуляции реактора, парогенератора, или отдельных деталей (выемных частей насосов, арматуры) на специальных установках. Дезактивационные воды образуются как из собственно дезактивационных растворов, так и из воды, применяемой для вытеснения растворов из контуров и отмытки оборудования от их остатков. Химический состав дезактивационных вод целиком зависит от реагентов, используемых для дезактивации.

Фильтрат и деконтат из хранилища жидких радиоактивных отходов обладают заметной активностью. Фильтрат из ХЖО образуется в результате отделения воды от направляемого на захоронение отработавшего фильтрующего материала установок обработки радиоактивных вод. Отделение воды происходит посредством фильтрации через слой песка, поэтому фильтрат практически не содержит механических примесей. Солеосодержание фильтрата обусловлено вымыванием небольшого количества солей из ионообменных смол и находится на уровне 1 г/л.

Воды душевых и спецпрачечных в основном загрязнены моющими веществами, содержание которых может составлять 10 г/л и более; кроме того, другими загрязнителями

являются различные масла и продукты коррозии. Воды образуются при стирке спецодежды и защитных средств. При этом сточные воды душевых, расположенных между зонами строгого и свободного режима, загрязнены в меньшей степени по сравнению с водами спецпрачечных.

Активность вод спецпрачечных обусловлена наличием радиоактивных аэрозолей в воздухе помещений и радиоактивной пыли на поверхности оборудования. Эта активность значительна во время ремонтов (особенно со вскрытием загрязненного оборудования) и может достигать 10 Бк/л. Общее количество вод спецпрачечных на современной АЭС составляет 20—30 тыс. м³/год.

Регенерационные воды появляются при восстановлении обменной способности ионообменных материалов установок обработки ЖРО. Воды загрязнены солями, кислотами, щелочами. Обычно они щелочные. Солесодержание регенерационных вод может составлять до 50 г/л. Активность их обусловлена вытеснением из ионитов сорбированных нуклидов. Максимальная активность вод (до 10 Бк/л) наблюдается при регенерации катионитных фильтров, включенных в схему дезактивации основного контура реактора. В среднем активность регенерационных вод составляет 10 Бк/л. Их общее количество для энергоблока с РБМК-1000 достигает примерно 7 тыс. м³/год.

Промывочные воды появляются в результате взрыхления фильтров водой, гидротрегрузки фильтрующего материала или отмывки его после регенерации. Основной загрязнитель промывочных вод — взвешенные вещества: продукты коррозии и мелкодисперсные фильтрующие материалы.

Способы обработки жидких радиоактивных отходов.

Примеси в ЖРО делятся на четыре группы. В первую группу входят нерастворимые в воде взвеси, песок, продукты коррозии в виде нерастворимых оксидов и гидроксидов, некоторые органические вещества, например, измельченные ионообменные смолы, а также сорбированные на частицах взвеси радионуклиды.

Во вторую группу объединяются примеси, находящиеся в коллоидном состоянии (тонкодисперсные образования), и высокомолекулярные вещества. К примесям этой группы относятся минеральные масла, различные моющие препараты, некоторые органические вещества, используемые для дезактивации, радиоколлоиды, а также органо-минеральные частицы почв и грунтов, поступающих с присосами охлаждающей воды. Основным способом очистки воды от этих примесей является соосаждение с коагулянтами (можно применять и метод обратного осмоса).

Третья группа веществ включает в себя молекулярно-растворимые соединения — растворенные газы и некоторые органические соединения. Наиболее эффективными процессами удаления из воды веществ этой группы являются дегазация и абсорбция на высокоразвитой поверхности некоторых твердых материалов, например, активированных углей.

Четвертая группа включает в себя электролиты — вещества (активные и неактивные), диссоциирующие в воде на ионы. Очистка воды от этих веществ основана на связывании ионов в малорастворимые соединения (соосаждении),

удалении из раствора растворителя (воды) и концентрировании примесей в кубовом остатке (дистилляции), наконец, на использовании ионообменных реакций, протекающих на поверхности твердых ионообменных материалов. Находят применение и такие способы, как обратный осмос, электродиализ.

Соосаждение — это захват примесей (микрокомпонентов) осадком макрокомпонентов. Соосаждение как способ обработки радиоактивных вод находит применение в ядерной энергетике в виде двух методов — объемной коагуляции и соосаждения с кристаллическими осадками.

Для очистки воды от взвешенных частиц используется *фильтрация* воды через слой зернистого материала. Очистка воды фильтрацией обусловлена, с одной стороны, адгезией взвешенных частиц на поверхности материала зернистого слоя, а с другой — механическим задержанием взвеси в порах, образованных зернами фильтрующего материала. Если

взвешенные частицы и фильтрующий материал имеют различные знаки заряда, то в процессе сближения частиц участвуют и электрические силы.

Различают два режима фильтрации через слой зернистого материала — медленный и быстрый.

Дистилляция — один из наиболее эффективных способов очистки ЖРО от растворимых солей. Дистилляцию проводят, испаряя ЖРО в дистилляторах (испарителях, выпарных аппаратах) с последующей конденсацией пара в охладителях (конденсаторах).

Очистка воды основана на весьма малой растворимости примесей в паре. Переход вещества из кипящей воды в пар снижается с уменьшением давления пара и при значениях, принятых в практике обработки воды, может не учитываться.

Загрязнение пара за счет капельного уноса зависит от размера капель, образующихся при кипении воды, и содержания в них примесей. Так как содержание примесей в воде, обрабатываемой методом дистилляции на АЭС, велико, капельный унос приобретает основное значение.

Сущность *ионного обмена* заключается в извлечении из водных растворов различных ионов посредством обмена их на другие ионы, входящие в состав фильтрующих материалов ионитов.

Обработка воды методом ионного обмена заключается в пропуске ее через слой ионитов, загруженных в насыпной фильтр или намытых тонким слоем в намывном фильтре. Удаление из воды радионуклидов способом ионного обмена основано на том, что многие радионуклиды находятся в виде ионов или коллоидов, которые при контакте с ионитом также сорбируются фильтрующим материалом. Адсорбция радиоколлоидов на ионообменных смолах носит физический характер; емкость смол по отношению к коллоидам намного ниже, чем к ионам.

Для извлечения радионуклидов цезия из жидких радиоактивных отходов, представляющих собой многокомпонентные растворы, наиболее приемлемым является *сорбционный метод с применением селективных неорганических сорбентов*. По сравнению с органическими ионообменниками неорганические сорбенты имеют такие преимущества, как высокие химическая, радиационная и термическая устойчивости. Этими качествами в значительной мере обладают ферроцианидные сорбенты, изготовленные с использованием пористых алюмосиликатов. Сорбенты этого класса проявляют достаточно высокое сродство с радионуклидами кобальта в отношении сорбции из технических растворов с ограниченной концентрацией солей, не содержащих комплексообразующих веществ.

Дегазация — это процесс связывания или удаления из обрабатываемой воды растворенных в ней углекислого газа, кислорода, радиоактивных благородных газов, к которым относятся, в частности, криптон и ксенон, йода и некоторых других, например, водорода, образующегося при радиолизе воды.

Применяются химический и термический методы дегазации. Химический метод заключается в переводе в неагрессивное состояние кислорода и углекислого газа добавлением гидразина и аммиака. Термический метод состоит в удалении из воды растворенных газов посредством нагревания ее до кипения. В практике обработки радиоактивных вод удаляются в основном агрессивные газы — кислород и углекислый газ, РБГ и радионуклиды йода.

Для осуществления обратного перехода молекул растворителя из раствора через полупроницаемую мембрану, другими словами, для отделения воды от растворенных в ней веществ, необходимо создать перед мембраной давление выше осмотического для того, чтобы заставить молекулы воды двигаться в направлении, противоположном направлению прямого осмоса. Указанный метод очистки воды называют *гиперфильтрацией* или *обратным осмосом*.

Для очистки ЖРО возможно применение *электролиза*, основанного на явлении электролиза. При пропускании постоянного электрического тока через раствор электролитов катионы и анионы движутся к катоду и аноду и разряжаются на них. Если на пути движения ионов установить полупроницаемые мембраны, селективно пропускающие катионы (одна) и анионы (другая), то можно разделить исходный раствор на чистую воду и концентрат.

Флотацию и вымораживание можно использовать в качестве методов уменьшения объема осадков и концентрирования жидких радиоактивных отходов при очистке воды способом соосаждения, приводящим к образованию аморфных осадков, содержащих до 90 % воды. [2]

Отверждение жидких радиоактивных отходов

Отверждение ЖРО необходимо в целях обеспечения безопасного, надежного долговременного хранения (захоронения) радиоактивных отходов. Из реально применяемых и разрабатываемых методов отверждения ЖРО следует отметить:

- 1) битумирование;
- 2) цементирование;
- 3) остекловывание;
- 4) включение в керамику;
- 5) переработку до солевого плава.

Перспективным методом является включение продуктов переработки ЖРО в полистироловую матрицу.

Отверждаются ЖРО, удельная активность которых не превышает $3,7 \cdot 10^6$ Бк/л (10^{-4} Ки/л). Если значение удельной активности ЖРО больше указанного, то они должны разбавляться низкоактивными отходами.

Битумирование ЖРО

Метод битумирования продуктов переработки ЖРО нашел широкое применение. Это обусловлено универсальностью битума как связующего ингредиента, в который могут быть включены практически все продукты переработки ЖРО, хорошими характеристиками получаемого битумного компаунда и относительной простотой аппаратного оформления технологического процесса.

Битумирование концентратов ЖРО проводится или в непрерывном (кубовые остатки), или в периодическом (пульпы и шламы) режиме. Технологические параметры процесса битумирования должны обеспечивать получение битумного компаунда с заданными характеристиками (наполнение по сухому остатку, водоустойчивость, влажность, вязкость), а также пожаро- и взрывобезопасность при его получении и хранении. Рекомендуются следующие основные параметры: удельная активность ЖРО — не более $3,7 \cdot 10^6$ Бк/л (10^{-4} Ки/л); температура процесса битумирования — 130—160 °С; температура процесса при битумировании пульп ионообменных смол — не более 40 °С; наполнение (по массе) битумного компаунда по солям — 50 %, по ионообменным смолам — 40 %.

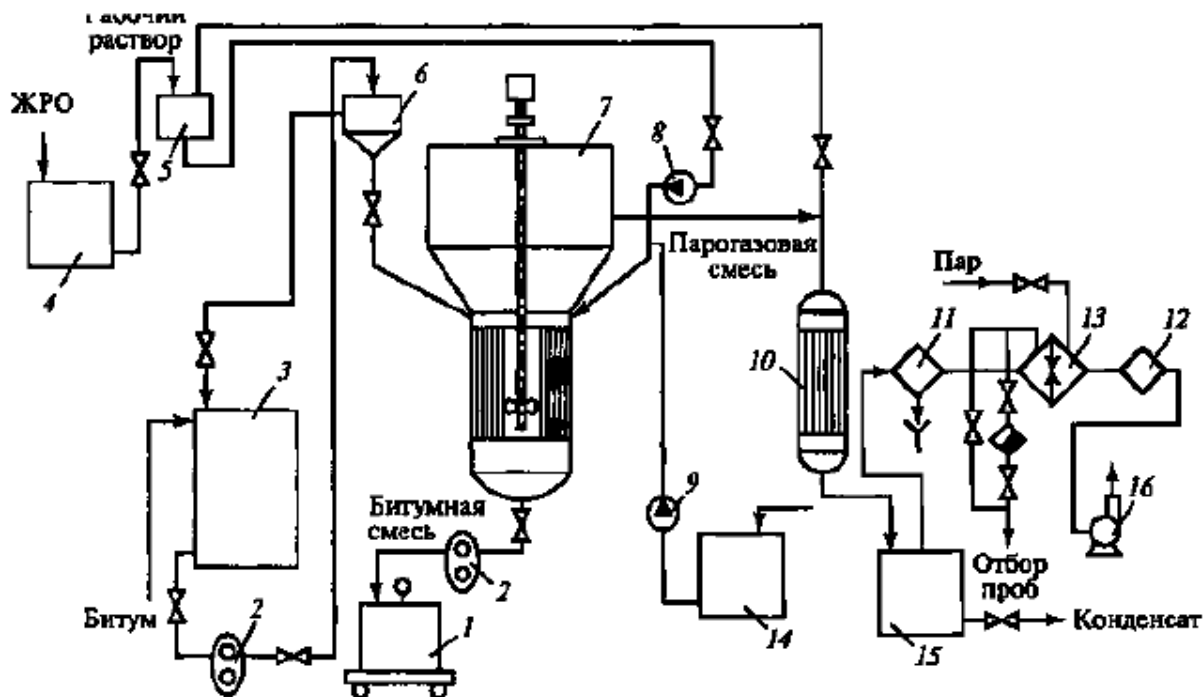


Рисунок 1 – Установка битумирования ЖРО периодического действия

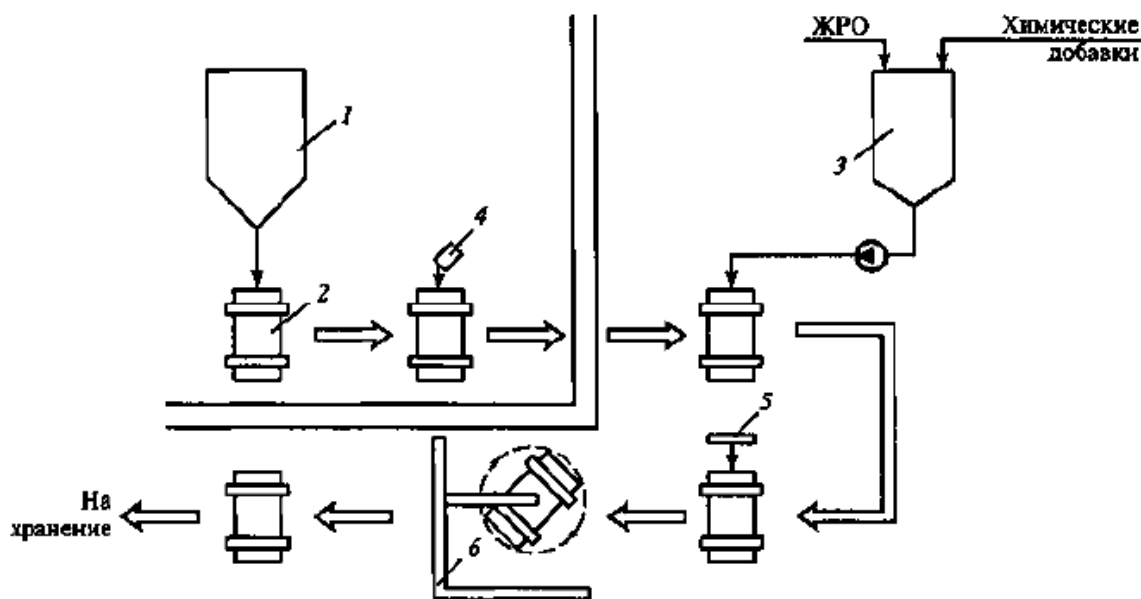
7 — контейнер-упаковка; 2 — битумный насос; 3 — емкость чистого битума; 4 — емкость ЖРО; 5 — дозатор раствора; 6 — дозатор битума; 7 — битуматор ДБ-100; 8 — насос-дозатор; 9 — насос; 10 — конденсатор; 11, 12 — фильтры грубой и тонкой очистки; 13 — теплообменник; 14, 15 — баки промывочного раствора и конденсата; 16 — вентиляционная установка

Существуют схемы битумирования РАО, в которых битумный компаунд из битуматора по компаундопроводу непосредственно сливается в хранилище. Хранилище в данном случае — бетонное сооружение, состоящее обычно из 12 отсеков и рассчитанное на хранение 27 000 м битумной смеси. Ликвидация подобного хранилища в случае полной ликвидации АЭС — сложная проблема. Исходя из этого хранение битумного компаунда в бочках-упаковках, складываемых в хранилище твердых отходов, признано более технологичным.

Цементирование ЖРО

Процесс цементирования основан на смешении жидких отходов с цементом, при этом в большинстве случаев используются смесители разного типа. В результате после отверждения смеси образуется материал, основу которого составляют кристаллические соединения гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Для получения прочных цементных блоков необходимо, чтобы концентрация солей в них не превышала 200 г/л.

Цементирование применяется для отверждения ЖРО с удельной активностью до 3,7-10 Бк/л (10~ Ки/л). Захоронение цементных блоков с удельной активностью больше 10" Ки/л требует гидроизоляции и герметизации хранилища. Основным недостатком цементирования ЖРО является малое сокращение объема конечного продукта (по сравнению с исходным объемом ЖРО, подаваемым на цементирование). Максимальный коэффициент сокращения объема составляет 1,3 при удовлетворительном качестве конечного продукта.



1 — бункер сухого цемента; 2 — 200-литровая бочка-упаковка; 3 — бак-смеситель; 4 — груз для интенсификации перемешивания; 5 — крышка; 6 — опрокидыватель
Рисунок 2 – Установка цементирования ЖРО непосредственно в бочке-упаковке с грузом

Для предотвращения биологической коррозии цементного компаунда, содержащего радиоактивные отходы, предлагается использовать биоцидные добавки класса полигексаметиленгуанидинов (ПГМГ), обладающие широким спектром биоцидной активности: бактерицидным, вирулицидным, фунгицидным, спороцидным, алгицидным, флокулирующим, пестицидным и инсектицидным действиями.

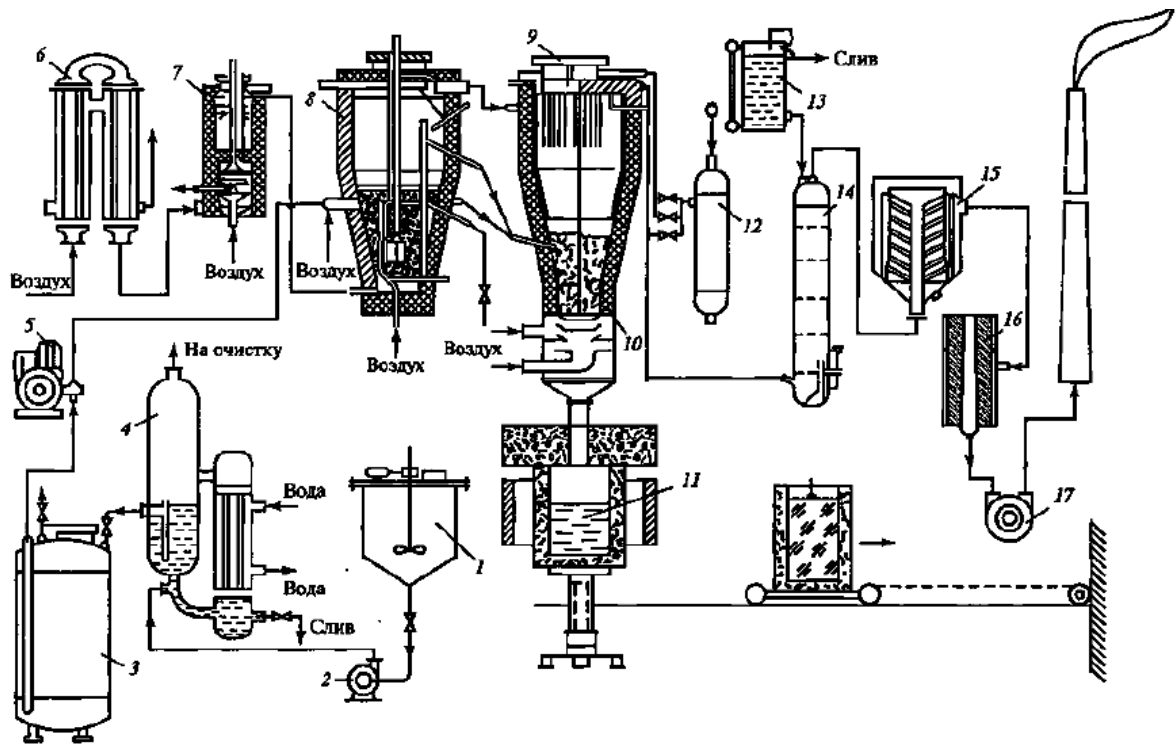
Остекловывание ЖРО

Остекловывание считается способом отверждения, обеспечивающим достаточно надежную локализацию радионуклидов ЖРО среднего и высокого уровней активности. Битумирование и цементирование ЖРО при сравнительной простоте технологии и аппаратного оснащения не позволяют получить конечный продукт отверждения высокого качества и не обеспечивают заметного сокращения исходного объема ЖРО (а в случае цементирования объем конечного продукта зачастую превосходит исходный объем ЖРО). Кроме того, конечный продукт битумирования пожароопасен, а цементный продукт подвержен заметному выщелачиванию радионуклидов.

В случае остекловывания радиоактивных отходов коэффициент уменьшения объема достигает 4—6 при высоком качестве конечного продукта и минимальной скорости выщелачивания.

Сначала остекловывание РАО применялось для высокоактивных отходов (РАО топливного цикла и регенерации ядерного топлива), а затем оно стало использоваться и для отходов среднего уровня активности.

Согласно современным воззрениям остекловывание представляет собой достаточно надежный метод подготовки РАО к захоронению. Тем не менее ряд специалистов высказывают сомнения в долговременной надежности стеклянной матрицы и указывают, что данная матрица должна быть способна локализовать радионуклиды в течение десятков или сотен тысяч лет. Стеклянная матрица представляет собой искусственный продукт, и проверка ее долговременной надежности невозможна. Поэтому заслуживает внимания точка зрения, что максимальную надежность в процессе локализации радионуклидов могут иметь керамические матрицы, близкие по составу к природным керамикам, изолирующим месторождения радионуклидов в течение миллионов лет.



1 — монжюс; 2 — насос; 3 — емкость выпаренного раствора; 4 — выпарной аппарат; 5 — насос-дозатор; 6 — трубчатый теплообменник; 7 — калорифер; 8 — сушилка; 9 — фильтр МКФ; 10 — тарельчатый пневмопитатель; 11 — тигель; 12 — ресивер; 13 — бачок; 14 — барботажно-абсорбционная колонка; 15, 16 — фильтры грубой и тонкой очистки; 17 — вакуум-насос

Рисунок 3 - Схема установки остекловывания ЖРО КС-КТ-100

Включение радионуклидов в керамическую или полимерную матрицу.

По мере совершенствования ядерной технологии наметились изменения в отношении ее отдельным продуктам, первоначально причисленным к разряду отходов: в ряде случаев эти продукты могут явиться вторичными ресурсами ядерной энергетики. На основе мировой практики обращения с РАО утвердилась в качестве наиболее безопасной и надежной для длительного хранения твердая их форма. Задача состояла в создании матрицы для отверждения радионуклидов различной природы. В результате большого объема исследований, выполненных в области химии и технологии радиоактивных элементов, открылась перспектива надежного разделения радионуклидов, содержащихся в отработавшем топливе ядерных энергетических установок, на группы в соответствии с близкими химическими свойствами. При этом в зависимости от возможного использования той или иной фракции в будущем сложно применить наиболее подходящую технологию отверждения.

В практике обращения с жидкими радиоактивными отходами отверждение радионуклидов с образованием кальцината предпочтительно благодаря достоинству этого метода — практически полному отсутствию балластных компонентов в конечном продукте. Однако есть и недостатки, связанные, во-первых, с процессом его осуществления, — наличие стадии с интенсивным пылевыведением, во-вторых, с низкой химической устойчивостью конечной формы вследствие присутствия оксидов элементов групп I, II Периодической системы.

Способ иммобилизации радионуклидов путем введения их в пористую матрицу с дальнейшей фиксацией в ней имеет определенное преимущество по сравнению с другими

способами благодаря своей простоте и экономичности. В связи с этим решался ряд следующих проблем:

- выбор материала пористой матрицы;
- термическое разложение нитратов непосредственно в самой матрице, определяющее минимальную температуру отжига;
- поведение и свойства оксидов, получаемых при разложении нитратов;
- условия образования соединений между вводимыми растворами и материалом матрицы;
- процессы, происходящие при хранении иммобилизатора.

Принципиально осуществимы два вида иммобилизации: обратимая и необратимая. Обратимая иммобилизация — способ, в котором выбран такой режим отжига, когда не происходит взаимодействия материала матрицы с вводимыми элементами. В результате образуются оксиды, которые впоследствии, при желании, можно вывести из матрицы.

Необратимая иммобилизация — способ, в соответствии с которым при отжиге происходит взаимодействие материала матрицы с вводимыми элементами и вывести их из матрицы весьма затруднительно. Получаются материалы, обладающие более высокими прочностными свойствами и высокой химической устойчивостью, в результате чего иммобилизатор при транспортировке и хранении более безопасен. [2]

И в заключение хотелось сказать, что надежность и безопасность длительного хранения отвержденных радиоактивных продуктов определяются главным образом степенью их делокализации за пределы хранилища. Основной вклад в делокализацию вносит взаимодействие матрицы с водой. Так, при остекловывании РАО материал матрицы подвергается выщелачиванию совместно с включенными в нее радионуклидами. При взаимодействии с водой пористой матрицы с иммобилизованными в ней радионуклидами (в виде оксидов) контакт осуществляется лишь с соединениями, растворимость которых мала. Материал матрицы выполняет функцию каркаса и непосредственно не подвергается воздействию воды, что заметно снижает вероятность делокализации радионуклидов. Таким образом, иммобилизация фракций трансурановых элементов пористыми материалами обеспечивает их безопасное длительное хранение.

Литература

1. Никифоров А.С., Куличенко В. В., Жихарев М. И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. М. : Энергоатомиздат, 1985, 184 с.
2. Скачек М. А., Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС : учебное пособие для вузов / М.А. Скачек – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.

УДК 621.181

Снижение выбросов в ГТУ различного назначения

Дегтяренко Д. В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор КАРНИЦКИЙ Н. Б.

В настоящее время загрязнение окружающей среды носит глобальный характер, поскольку вредные компоненты негативно влияют на здоровье населения, фауну и флору. Это влияние не ограничивается прилегающей территорией, а распространяется на сотни и тысячи километров. Поступления в атмосферу с продуктами сгорания ГТУ оцениваются следующими величинами: оксиды азота - 140, оксид углерода – 210, углекислый газ – 81,5 тыс.т/год. Взвешенная концентрация загрязняющих веществ при этом составляет: оксидов азота – 180 мг/м³, оксида углерода – 250 мг/м³, в связи с чем значительно выросли расходы на охрану окружающей среды. [1]

Показатели выбросов оксидов азота и углерода с продуктами сгорания для некоторых ГТУ указаны в таблице, из которой видно, что у различных турбоустановок мощность выбросов оксидов азота, наиболее сильно влияющие на здоровье человека и экологию, значительно отличается между собой. Концентрация оксидов азота в установках без регенерации ниже, чем в регенеративных установках, поскольку в них температура воздуха на входе в камеру сгорания выше.

Таблица 1 – Показатели выбросов для некоторых ГТУ

Тип ГТУ	Расход продуктов сгорания, нм ³ /с			Мощность выброса NO _x , г/с			Мощность выброса CO, г/с		
ГТ-700-5, ГТ-6-750, ГТН-6, ГТ-750-6, ГПА-Ц-6,3, ГПУ-6, ГПА-Ц-8	35,4	35,4	37,1	6,89	6,89	3,57	1,72	1,72	5,35
	37,1	45,6	47,1	3,57	15,5	3,04	5,35	2,66	6,52
ГТК-10, ГПУ-10, ГТН-10И, ГТНР-10	23,3	47,8	66,5	2,41	4,83	22,6	5,18	6,58	2,58
	68,1	40,6	66,6	4,3	7,68	11,7	1,84	1,92	1,95
ГТК-16, ГТН-16, ГТН-16М-1, ГПА-Ц-16, ГПУ-16, ГТН-25И, ГТН-25, ГТН-25-1, Коберра-182, Центавр	79,2	67,4	66,6	7,57	11,6	6,88	1,51	12,9	13,8
	80,5	76,2	92,5	7,73	6,4	12,7	30,9	0,73	2,63
	117,3	80,2	60,7	13,4	12,5	7,84	39,2	37,8	8,13
	12,9			1,66			0,62		

Согласно [2], при работе на природном газе концентрация оксидов азота не должна превышать 150 мг/нм³, оксидов углерода - 100 мг/нм³. Современные ГТУ выбрасывают оксиды азота с концентрацией в пределах 70-100 мг/нм³.

К методам снижения вредных выбросов с продуктами сгорания относят: впрыск воды или ввод пара в камеру сгорания для снижения максимальной температуры газов в зоне горения, использование химической очистки дымовых газов, модернизацию камер сгорания и их горелочных устройств и т.д. Недостатки первого метода: большой расход воды, необходимость её специальной предварительной очистки от механических примесей и солей жесткости. Примерный суточный расход воды только на один агрегат может достигать до 50-60 м³/сут, что вызывает необходимость отказаться в некоторых случаях от этого метода снижения выбросов NO_x.

Методы химической очистки дымовых газов от оксидов азота делят на три группы:

1. Окислительные. Основаны на окислении оксида азота в диоксид с последующим его поглощением разного рода поглотителями;
2. Восстановительные. Основаны на восстановлении оксида азота до азота и кислорода с применением разного рода катализаторов;
3. Сорбционные. Основаны на поглощении оксидов азота разного рода сорбентами (например, адсорбция диоксида азота торфом, водными растворами щелочей и т.п.).

Применительно к ГТУ на газопроводах, основными направлениями борьбы с вредными выбросами с продуктами сгорания следует считать разного рода реконструкции камер сгорания, специальную организацию процесса сжигания топлива, включая метод

предварительного смешения определенной порции воздуха и топлива перед подачей их в камеру сгорания и т.п.

Многочисленные исследования процессов горения топлива в камерах сгорания ГТУ показывают, что основным направлением по снижению выбросов оксидов азота следует считать уменьшение объема зон горения с максимальным уровнем температуры. Это происходит, прежде всего, из-за повышения качества процесса смесеобразования, обеднения рабочей смеси на участках формирования фронта пламени, организации ступенчатого подвода топлива и воздуха по длине камеры сгорания.

Так, реконструкция камер сгорания на агрегатах типа ГТК-10 за счет установки новых регистров и изменения диаметра отверстий в горелках, перераспределение воздушных потоков первичного воздуха, использовании «микрофакельного» горения, проведенные на ряде компрессорных станциях предприятия «Мострансгаз» позволили снизить содержание NO_x , в выхлопных газах более чем в два раза. [3]

В последние годы активно работают над созданием двухзонных камер сгорания: в первичную зону горения воздух подается в меньшем количестве, чем это теоретически необходимо для горения ($\alpha_1=0,80-0,90$), в результате чего происходит снижение максимальной температуры горения в зоне факела, снижение содержания кислорода в ядре факела и, как следствие, уменьшение скорости образования оксидов азота. Во вторую зону горения вводится уже избыточное количество воздуха ($\alpha_2>2$). Из-за разбавления продуктов сгорания воздухом, последующее горение протекает также при более низкой температуре, вследствие чего во вторичной зоне горения оксиды азота практически не образуются. Применение двухстадийного горения топлива в камерах сгорания ГТУ позволяет снизить выход оксидов азота до 45-50% от начального выхода при сжигании природного газа, однако оно связано с разработкой достаточно сложной конструкции камеры сгорания, что не в полной мере компенсируется снижением эмиссии NO_x . [4]

В настоящее время наиболее простым и дешевым способом снижения выбросов оксидов азота с продуктами сгорания считается способ, основанный на предварительном смешении топлива с воздухом (обедненная смесь) до подачи компонентов в зону горения, то есть качество предварительной подготовки топливо воздушной смеси является основным направлением по снижению образования NO_x при сжигании природного газа в камерах сгорания ГТУ, что подтверждается работой ГТУ на магистральных газопроводах.

Литература

1. РД 51-162-92 «Каталог удельных выбросов загрязняющих веществ газотурбинных установок ГПА. ВНИИГАЗ, 1993 (2004).
2. ГОСТ ИСО 11042-1-2001 «Установки газотурбинные. Методы определения выбросов вредных веществ».
3. Газотурбинные технологии. Специализированно-аналитический журнал. Издательство «Медиа Гранд».
4. Манушин Э. А. Газовые турбины. Проблемы и перспективы. М.: Энергоатомиздат, 1986 – 168 с.

УДК 621.3

Опыт работы детандер-генераторной установки ДГУЭ-5000 на 2018

Казанцев И.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Турбодетандерная установка предназначена для выработки электроэнергии путём преобразования потенциальной энергии избыточного давления части природного газа, подаваемого на установку от газопровода перед ГРП.

Лукомльская ГРЭС мощностью 2400 тыс. кВт является самым крупным в Республике Беларусь потребителем газа. После газораспределительной станции газ с давлением 1,2 МПа поступает на газораспределительный пункт электростанции, где он дросселируется перед подачей в топку котлоагрегатов до давления 0,125 МПа. Таким образом, энергия избыточного давления газа безвозвратно теряется.

Первая в Республике Беларусь, энергосберегающая, детандер-генераторная установка 5000 кВт (ДГУЭ-5000), сооружена и введена в эксплуатацию в феврале 2000г на ЛГРЭС. Установка позволяет использовать перепад давления природного газа на ГРП для выработки электроэнергии.

Проект сооружения ДГУЭ-5000 Лукомльской ГРЭС выполнен институтом «БелНИПИэнергопром»).

Турбодетандер представляет собой осевой пятиступенчатый агрегат, передающий крутящийся момент к генератору через вал трансмиссии. Электрогенератор типа ТК-2,5-23У3 – синхронный двухполюсный трёхфазный переменного электрического тока на напряжение 10,5 кВ. Охлаждение генератора воздушное по замкнутому контуру с одним водяным охладителем. Принципиальная схема представлена на рисунке 1.

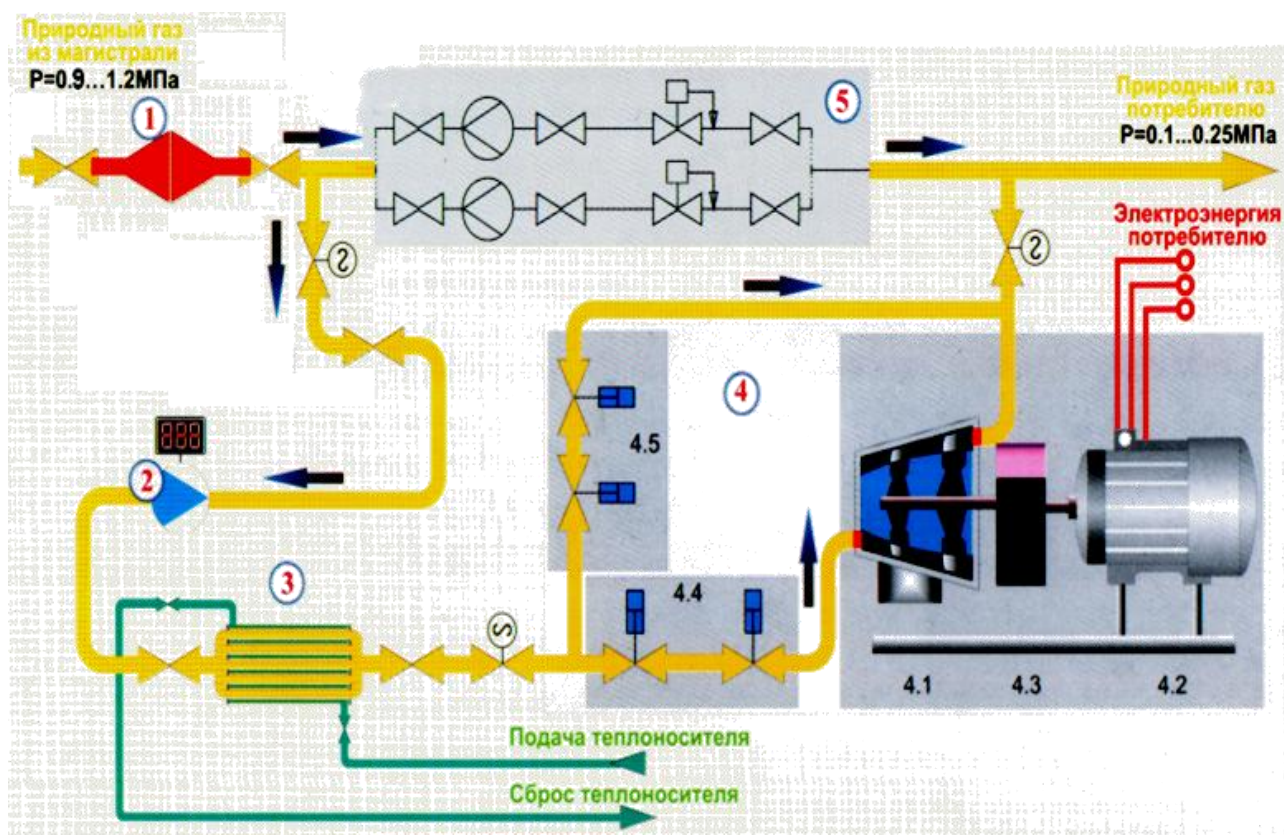


Рисунок 1 – Принципиальная схема ДГУЭ-5000

Осевой двухступенчатый турбодетандер типа ДГА-5000 имеет частоту вращения ротора 9600 об/мин. и через понижающий редуктор приводит во вращение с частотой 3000 об/мин. ротор генератора Т-6-22У3.

Система управления, регулирования и защиты ДГА-5000 в случае его аварийного останова обеспечивает устойчивое поддержание давления газа в газопроводе за агрегатом, соответствующее давлению в газопроводе за ГРП, что исключает возникновение аварийных ситуаций для энергетических котлов электростанции.

При расширении газа в турбодетандере снижается его температура. Минимальная температура газа на выхлопе турбодетандера не допускается ниже -20°C , поэтому перед подачей газа в турбодетандер необходимо обеспечить его подогрев. Для подогрева газа используется сетевая вода из теплотрассы ГРЭС – г. Новолукомль. Подогрев газа осуществляется в теплообменнике «Газ-вода» (поверхность теплообмена 661 м^2). Сетевая вода после этого теплообменника поступает на теплообменники (2шт.), которые обеспечивают подогрев газа перед подачей на котлоагрегаты до положительной температуры ($\sim 1\div 3^{\circ}\text{C}$).

Сетевая вода после этих теплообменников поступает в обратную магистраль сетевой воды из г. Новолукомля.

Для использования тепла технической воды после воздухоохладителя генератора и маслоохладителя системы смазки детандер-генератора установлен теплообменник, в котором это тепло используется для подогрева газа, а охлажденная техническая вода по замкнутому контуру снова поступает на маслоохладитель и воздухоохладитель генератора. Выдача мощности детандер-генераторной установки выполнена кабельной трассой 10,5 кВ на подстанцию г. Новолукомль.

В таблице 1 приводятся технико-экономические показатели детандергенераторной утилизационной энергоустановки ДГА-5000 Лукомльской ГРЭС.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели детандер-генераторной утилизационной энергоустановки ДГА-5000 Лукомльской ГРЭС

№ п/п	Наименование Показателя	Размерность	Значение
1.	Установленная электрическая мощность	КВт	5 000
2.	Номинальный расход газа	тыс.м3	170
3.	Давление газа перед агрегатом	ата	10
4.	Температура газа на входе	оС	57
5.	Температура газа на выходе	0С	-20
6.	Число часов работы за год	-	6 000
7.	Эквивалентный удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии	г/кВт.ч	80
8.	Годовая экономия условного топлива при работе ДГА	т.у.т.	4 925
9.	Годовое снижение вредных выбросов в атмосферу при использовании ДГА	тонн	36

Внедрение энергосберегающего комплекса на базе ДГА-5000 на ГРП тепловой электростанции, срок окупаемости комплекса составляет 4,5 года без использования налоговых преференций и 2,5 года при использовании налоговых преференций.

В таблице 2 приведены фактические технико-экономические показатели работы ДГУЭ-5000 Лукомльской ГРЭС за 3 квартал 2018 года.

Таблица 2 – Расчёт экономии топлива от использования ТДГО филиала Лукомльская ГРЭС за 3 квартал 2018 года

№ п/п	Наименование	Обознач.	Размерность	Июль	Август	Сентябрь
1.	Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении Т-отбора	W	МВт*ч/Гкал	0,716	0,716	0,716
2.	Расход тепла на подогрев газа ТДГО	$Q_{п}^{ТДГО}$	Гкал	2413,72	2726,45	2512,76
3.	Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии на энергоблоки 300-315 МВт и ПГУ-427 МВт	$b_{э/э}^{бл, ПГУ}$	г/кВт*ч	290,1	313,7	291,7
4.	Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии на энергоблоки 300-315 МВт	$b_{э/э}^{бл}$	г/кВт*ч	316,5	317,7	315,7
5.	Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии по ТФ циклу	$b_{э/э}^{ТФ}$	г/кВт*ч	146,8	146,9	147,1
6.	Отпуск электроэнергии ТДГО	$\mathcal{E}^{ТДГО}_{отп}$	МВт*ч	3477	3841	3608
7.	Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии ТДГО	$b_{э/э}^{ТДГО}$	г/кВт*ч	145,5	145,8	145,8
8.	Экономия топлива ТДГО	$V_{ТДГО}$	т у.т.	796	978	830

Экономия газа снижена в два раза, за счёт лимитирования в потреблении газа, а также из-за не автономной схемы подогрева газа, связанной с теплосетью г.Новолукомля.

За время эксплуатации ДГУЭ-5000 останавливалась 29 раз. Из них:

– 14 плановые остановки по причине отсутствия газа для работы турбодетандера, а также для выполнения регламентных работ.

– 7 остановов из-за повреждений в электрической части. Это пробой кабеля между ДГУЭ и подстанцией Новолукомль, отключение подстанции Новолукомль из-за коротких замыканий, повреждение электродвигателя насоса системы регулирования, повреждение автомата на секции питания насоса системы смазки детандер-генераторной установки, ложная работа электрических защит.

– 4 останова из-за отказа блоков управления дозирующим клапаном и стопорным клапаном, вызванные попаданием грязи в жиклёры. С целью уменьшения загрязнения газа, поступающего на ДГУЭ-5000 на фильтрах ГРП установлены мелкие сетки сечением ячейки 0,15мм в 3 ряда.

– 2 останова из-за понижения температуры газа на выхлопе детандера до пределов уставки технологической защиты ($\sim 25^{\circ}\text{C}$). С целью несения большей нагрузки держали температуру газа на выхлопе на уровне -18°C и при увеличении расхода газа на котлоагрегаты

электростанции машинисту ДГУ не всегда удавалось разгрузить турбодетандер до нужного предела. Пришлось дать указание держать температуру на выхлопе на уровне $-15^{\circ}\text{C} \div -16^{\circ}\text{C}$.

– 1 останов из-за понижения перепада давления масло-газ до пределов уставки срабатывания технологической защиты. Пришлось перенастроить регулятор перепада давления масло-газ.

– 1 останов – срабатывание технологической защиты по загазованности в детандерном отделении (пробило прокладку фланца на газопроводе перед фильтром).

Из всех этих случаев самым тяжелым является отключение единственного маслососа системы смазки из-за обесточения секции РУСН, что привело к подплавлению подшипника генератора со стороны возбудителя. Для исключения таких случаев мы подключили маслосос откачки масла из маслобака ДГА в параллель с маслососом системы смазки и запитали их с разных секций РУСН.

В целом можно констатировать, что детандер-генераторная установка вполне надежная и эффективно работающая энергосберегающая технология



Рисунок 2 – Общий вид на детандер-генераторную, установку 5000 кВт (ДГУЭ-5000)

Ввод детандер-генераторных установок на электростанциях, предприятиях, потребляющих большое количество газа, на газораспределительных станциях вполне оправдан, внесет весомый вклад в решение проблем энергообеспечения народного хозяйства Республики Беларусь, улучшения экологического состояния окружающей среды.

Литература

1. Мальханов В.П. Турбодетандерные агрегаты в системах подготовки и распределения природного газа. Москва 2004г.
2. Расчёт ПТО ЛГРЭС на 2018 год. Алгоритм расчета экономии по ДГУ.
3. Джадж А. Газотурбинные двигатели малой мощности. Москва 1963г. Изд. Иностран. Лит.

УДК: 621.165

Метод магнитной памяти металла для диагностики элементов энергетических котлов

Каранкевич В.В., Таранчук А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Источниками разрушения труб поверхностей нагрева паровых энергетических котлов являются зоны концентрации механических напряжений (ЗКН), в которых процессы коррозии, ползучести и усталости протекают наиболее интенсивно.

Концентрация напряжений на отдельных участках обусловлена, в основном,

- недостатком самокомпенсации труб и возникает из-за различных нарушений и отступлений от проектной схемы перемещений труб в подвижных креплениях, допускаемых при монтаже и ремонте котлов;

- повышения теплогидравлической разверки;

- неправильной установки ремонтных вставок;

- заземления труб в ремонтных "сухарях" и в местах прохода труб и змеевиков через обмуровку.

Своевременное выявление участков труб с максимальной концентрацией напряжений является главной задачей, решаемой методом диагностики, основанном на эффекте магнитной памяти металла (МПМ). Головным разработчиком этого нового метода и приборов неразрушающего контроля для него можно назвать ООО "Энергодиагностика" - предприятие, основанное в 1992 году в Москве, которое работает в сфере обеспечения промышленной безопасности различных отраслей производства и контроля качества изделий машиностроения [1 - 7].

Кратко изложим суть метода [1].

Известно, что трубы в состоянии поставки имеют определенный уровень остаточной намагниченности, сложившейся в процессе их изготовления. В условиях монтажа остаточная намагниченность изменяется и перераспределяется под действием сварочных и монтажных напряжений. При эксплуатации котельных труб остаточная намагниченность, сформировавшаяся в процессе изготовления и монтажа, изменяется под действием рабочих нагрузок.

В специальных лабораторных и промышленных экспериментах установлено, что перераспределение остаточной намагниченности и, соответственно, собственного магнитного поля рассеяния H_p на поверхности труб обусловлено действием магнитоупругого, магнитомеханического эффектов и магнитоластики [1].

Установлено также, что изменение остаточной намагниченности и, соответственно, измеряемого поля H_p при растяжении, сжатии, кручении и циклическом нагружении ферромагнитных труб однозначно связано с максимально действовавшими рабочими напряжениями, что позволило использовать этот параметр как элемент памяти при разработке данного метода диагностики.

Известно, что потеря устойчивости труб происходит при достижении осевой силой значения критической нагрузки. При этом происходит, как правило, упругопластический прогиб трубы, исчезающий (или частично исчезающий) после снятия осевой нагрузки.

В условиях работы котельной трубы на участке, имеющем недостаток самокомпенсации (например, при наличии заземления в узлах креплений) при потере устойчивости, как правило, возникает изгиб с кручением. В ослабленном сечении такого участка трубы образуется соответствующее поле напряжений и плоскости сдвига с максимальной деформацией металла. В этой же зоне на поверхности трубы возникают устойчивые полосы и площадки скольжения дислокаций задолго до достижения условного предела текучести металла.

Устойчивые полосы скольжения возникают и в случаях локального перегрева металла вследствие недостатка самокомпенсации по периметру и толщине стенки трубы. Момент

возникновения устойчивых площадок скольжения дислокаций связан с уровнем и направлением внутренних напряжений (напряжений растяжения, сжатия, сдвига). Устойчивые полосы скольжения дислокаций, возникающие под действием повторяющихся в одном и том же месте циклических нагрузок, могут получить развитие до каналов с размерами по глубине и ширине до десятков и сотен микрон, что уже будет заметно на макроуровне. По границам этих каналов происходит развитие пластической деформации и, в итоге, зарождение трещин.

Многолетний опыт исследования магнитных полей на котельных и паропроводных трубах выявил наличие устойчивых линий смены знака нормальной составляющей напряженности магнитного поля H_p в зонах развивающихся повреждений металла (линии $H_p=0$). Интерпретация этого диагностического магнитного параметра как линии максимальных напряжений, возникающей на поверхности труб под действием рабочих нагрузок, подтверждена расчетными исследованиями [2, 3]. Очевидно, что совпадение линий $H_p=0$ со сварными стыками и гибами наиболее опасно для надежности труб поверхностей нагрева.

Для количественной оценки уровня концентрации напряжений определяется градиент (интенсивность изменения) нормальной и/или тангенциальной составляющих магнитного поля H_p [4]:

$$K_{ин} = |\Delta H_p| / \Delta x, \quad (1)$$

где $K_{ин}$ – градиент магнитного поля рассеяния, характеризующийся интенсивностью изменения намагниченности металла в зоне концентрации напряжений и, соответственно, интенсивностью изменения поля H_p ;

$|\Delta H_p|$ – модуль разности поля H_p между двумя точками контроля;

Δx – расстояние между двумя точками контроля.

Предложенные в методике критерии позволяют отличать участки труб, работающие в упругой зоне деформаций металла от участков, работающих в зоне пластической деформации металла и находящихся в состоянии предразрушения металла.

Как правило, нулевые линии нормальной составляющей магнитного поля (линии $H_p=0$) соответствуют зонам концентрации напряжений, являющимися источниками развития повреждений труб. Однако, в отдельных случаях развитых локальных дефектов (например, язвы коррозии) имеет место локальное изменение поля H_p без изменения знака. Общим признаком ЗКН и развитых дефектов является резкое локальное изменение поля H_p и его градиента $K_{ин}$. Зоны с максимальной концентрацией напряжений соответствуют зонам с максимальными градиентами поля $K_{ин}$.

Рассматриваемый магнитный метод диагностики поверхностей нагрева может быть использован самостоятельно и в сочетании с другими разрушающими и неразрушающими методами контроля.

Для выполнения контроля котельных труб используются приборы типа ИКН (измерители концентрации напряжений магнитометрические) и специализированные сканирующие устройства, изготавливаемые ООО "Энергодиагностика".

Контроль выполняется на остановленном в ремонт или резерв котле. Для проведения измерений напряженности магнитного поля рассеяния (H_p) вдоль образующих труб контролируемой поверхности нагрева специальной зачистки не требуется, но шлаковую корку необходимо удалить.

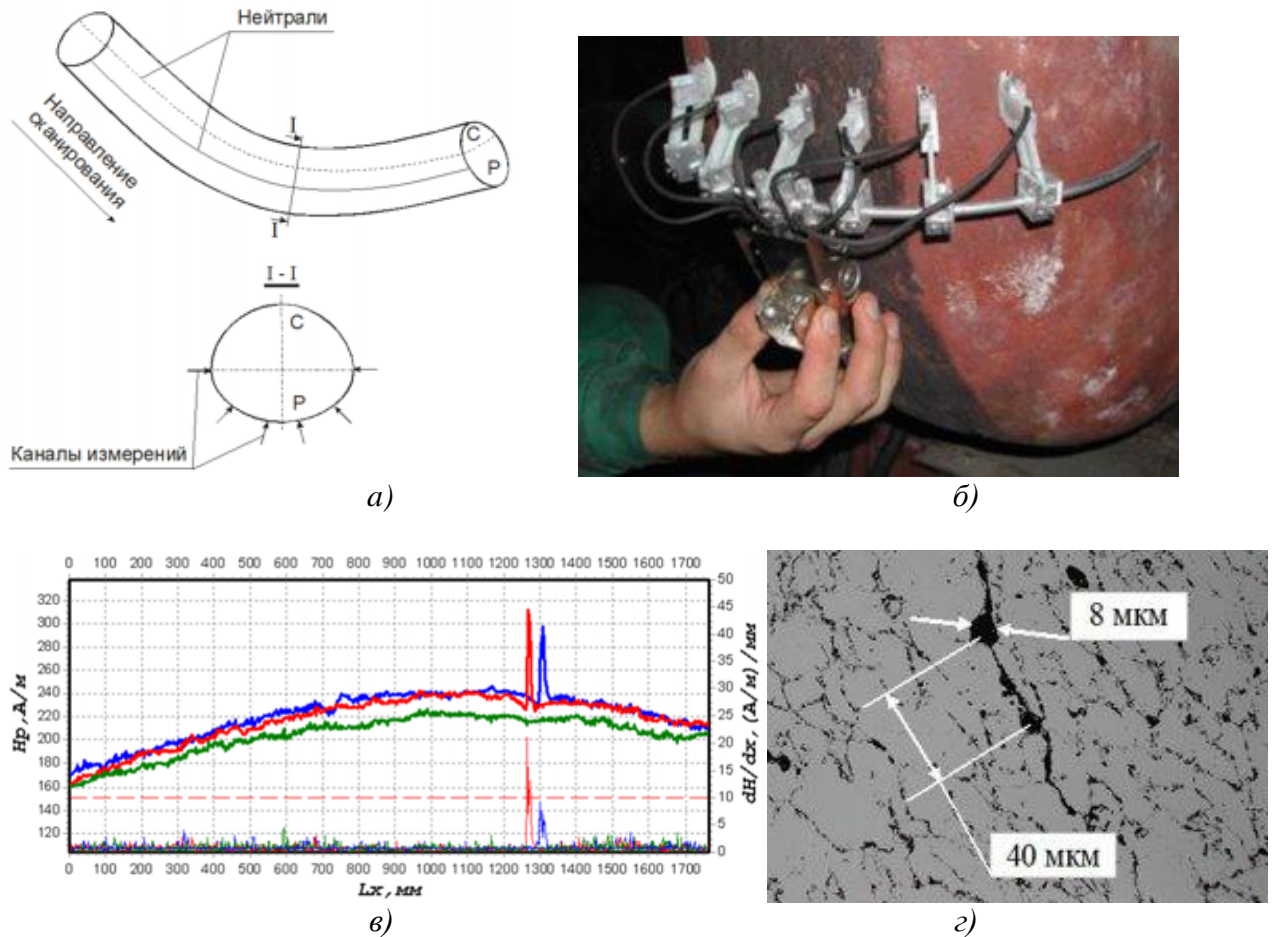
Выполнение контроля осуществляют два оператора. Один из них выполняет сканирование датчиком прибора вдоль поверхности трубы. Другой оператор производит запись измеренных величин H_p в журнал регистрации результатов контроля.

Допускается проводить контроль только одному оператору, при условии соблюдения правил техники безопасности, а также при наличии у оператора соответствующей квалификации и опыта контроля.

Рассмотрим далее отдельные примеры из практики применения метода МПМ при диагностике котельных и паропроводных труб.

На тепловых и атомных электростанциях существует проблема обнаружения зон концентрации напряжений на гихах паропроводных труб, являющихся источниками развития повреждений.

На рисунке 1 представлены результаты контроля методом МПМ растянутой зоны гига $\varnothing 219 \times 19$ мм пароперепускной трубы, сталь 15Х1МФ.



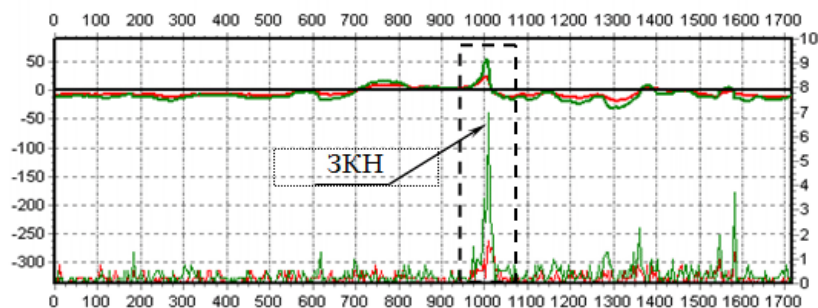
а - схема контроля гига; *б* - сканирующее устройство, используемое при контроле; *в* - распределение магнитного поля H_p и его градиента dH_p/dx вдоль растянутой образующей гига; *г* - структура металла, зафиксированная в зоне локального изменения магнитного поля
 Рисунок 1 – Контроль методом МПМ растянутой зоны гига:

На верхней части магнитограммы (рисунок 1,в), зафиксированная при контроле, показано распределение собственного магнитного поля гига, а в нижней части - распределение градиента этого поля.

В зоне резкого локального изменения поля и его градиента с поверхности гига была взята "реплика" для анализа структуры металла (рисунок 1,г). Для удаления поврежденного слоя металла с наружной поверхности была выполнена шлифовка металла на глубину 100-150 мкм, после чего гиб был допущен в дальнейшую эксплуатацию.

Метод МПМ может применяться для определения язвин коррозии на внутренних поверхностях нагрева энергетических котлов.

На рисунке 2,а показаны результаты контроля экранной трубы $\varnothing 60 \times 6$ мм (сталь 12Х1МФ) энергетического котла, а на рисунке 2,б - вырезанный участок трубы из ЗКН, выявленной методом МПМ, на внутренней поверхности которого обнаружены язвину коррозии.



а)



б)

Рисунок 2 – Результаты контроля экранной трубы 60х6 мм фронтного экрана котла ТГМП-206

Известно, что газоплотные панели обеспечивают уплотнение топки от присосов холодного воздуха, увеличивают площадь поверхностей нагрева и, таким образом, повышают экономичность котлов. Однако, с самого начала эксплуатации котлов с газоплотными панелями была выявлена их низкая ремонтпригодность. Кроме того, в процессе эксплуатации была обнаружена более высокая чувствительность газоплотных панелей к теплогидравлическим разверкам и, особенно, к локальным перегревам металла. Даже незначительные нарушения соотношений "вода-топливо" или "топливо-воздух", допускаемые для обычных котлов, могут вызвать массовые повреждения труб газоплотных панелей с выходом их из строя.

На рисунке 3 представлен фрагмент повреждений труб газоплотных панелей заднего экрана в виде массового их прогиба в зоне монтажных сварных стыков. Такой вид повреждений был выявлен специалистами ООО "Энергодиагностика" в марте 2004 года на газоплотном котле паропроизводительностью 525 т/ч, ст. № 4 ТЭС "Дора" (Ирак).



Рисунок 3 – Массовый прогиб экранных труб газоплотной панели в зоне монтажных стыков

Эксплуатация и ремонт котлов с газоплотными панелями требуют высокого уровня квалификации персонала электростанций, обслуживающего эти котлы, а технология их ремонта - применения современных методов технической диагностики.

При исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) труб газоплотных панелей с использованием метода МПМ установлено, что более 90% всех ЗКН и развивающихся в них повреждений расположено вблизи заводских, монтажных и ремонтных сварных стыков. Только в отдельных случаях ЗКН и повреждения в них происходят на участках труб, расположенных между сварными стыками. При этом повреждения металла находятся преимущественно в зонах термического влияния сварки, являющимися, как известно, технологическими и конструктивными концентраторами напряжений.

Установленная закономерность преимущественного расположения повреждений труб вблизи сварных стыков характерна для газоплотных котлов и очевидно обусловлена их конструктивными особенностями и принципиально другим распределением напряжений и деформацией при температурной компенсации по сравнению с экранными трубами, имеющими подвижные узлы креплений через каждые 2-4 м по высоте топки.

В случае недостатка самокомпенсации отдельной трубы и/или нескольких труб внутри газоплотной панели распределение возникающих при этом напряжений и деформаций на каждой трубе в отдельности обусловлено взаимным влиянием всей массы труб, жестко связанных между собой внутри панели. При этом наиболее восприимчивыми к напряжениям от недостатка температурной компенсации оказываются зоны термического влияния сварки, как наиболее слабое звено по условиям прочности.

В подтверждение сказанного рассмотрим пример из практики применения метода МПМ при диагностике НДС газоплотных панелей.

На рисунке 4 представлены результаты контроля отдельных труб газоплотных панелей на котле 525 т/ч, ст. № 4 ТЭС "Дора" (Ирак). Видно, что вблизи монтажных сварных стыков зафиксировано резкое увеличение магнитного поля H_p и его градиента dH_p/dx .

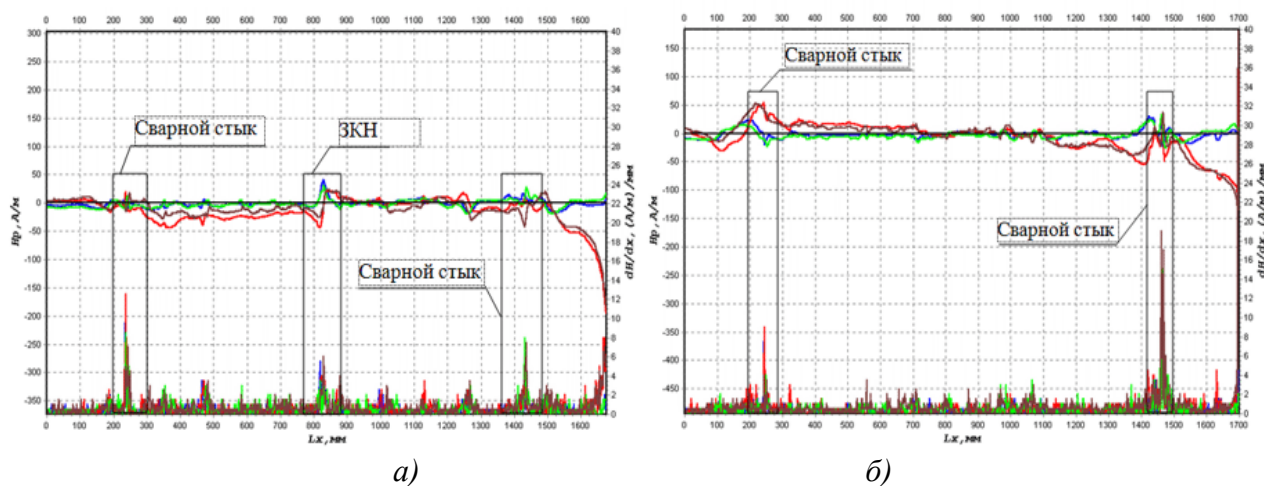


Рисунок 4 – Результаты контроля трубы №26 (а) и трубы №28 (б) фронтального экрана на уровне верхнего яруса горелок котла ст. №4 ТЭС "Дора" (Ирак)

Представленные на рисунке 4 фрагменты распределения магнитного поля являются характерными для отдельных труб внутри панелей. Путем вырезки образцов и анализа их состояния установлено, что именно на участках труб с максимальным значением градиента магнитного поля развиваются повреждения металла. Характер повреждений в зоне концентрации напряжений, расположенных вблизи сварных стыков, может быть разным в зависимости от ряда эксплуатационных факторов. На основе выполненных исследований состояния металла образцов, вырезанных из участков труб с ЗКН, установлено, что повреждения могут развиваться как с внутренней поверхности, так и с наружной.

Повреждение в ЗКН преимущественно развивается на внутренней поверхности трубы в случае низкого качества котловой воды и с наружной поверхности при наличии агрессивных компонентов в топочных газах (например, при сжигании низкокачественного топлива и недостатке воздуха). На внутренней поверхности труб повреждения развиваются, как правило, в виде отдельных язвин или цепочки язвин (рисунок 2), а на наружной поверхности - в виде поперечных рисок с частотой, кратной толщине стенки трубы.

В работах [6, 7] рассматриваются возможности метода МПМ при решении различных задач обеспечения надежности труб поверхностей нагрева энергетических котлов. В частности, в указанных работах [6, 7] рассматриваются возможности метода МПМ при выявлении участков с развивающимися повреждениями из-за перегрева металла, при контроле сварных соединений в узлах с контактной сваркой и в узлах приварки змеевиков к коллекторам, при определении межкристаллитной коррозии на аустенитных трубах, при выявлении мест заземлений на трубах и в опорно-подвесной системе котлов, вызывающих развитие повреждений из-за недостатка самокомпенсации температурных расширений.

В заключение отметим, что на основе длительного периода (более 30 лет) применения метода МПМ на ряде энергетических и водогрейных котлов электростанций России, Польши, Китая, Болгарии, Индии и других стран можно заявить об эффективности метода при решении задач диагностики.

Литература

1. Власов В.Т., Дубов А.А. Физические основы метода магнитной памяти металла. М.: ЗАО "Тиссо", 2004. 424 с.
2. Встовский Г.В., Дубов А.А. Решение обратной задачи расчета полей напряжений в стенках труб по магнитным полям рассеяния на основе нелинейной модели магнитоупругого эффекта // Заводская лаборатория, 2000, №3.
3. Кулеев В.Г., Дубов А.А., Лопатин В.В. Нулевые линии нормального поля рассеяния на поверхности бездефектной трубы при ее упругом изгибе в любом внешнем магнитном поле // Дефектоскопия, 2002, №1. С.13-26.
4. Дубов А.А., Дубов Ал.А., Колокольников С.М. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: Учебное пособие. М.: ЗАО "Тиссо", 2008. 363 с.
5. Дубов А.А. Метод магнитной памяти металла и его возможности для диагностики элементов энергетических котлов / ООО "Энергодиагностика" // <http://www.energodagnostika.ru/article-about-mmm-power-boiler.html>
6. Дубов А.А. Диагностика котельных труб с использованием магнитной памяти металла. М.: Энергоатомиздат, 1995. 112 с.
7. Дубов А.А., Дубов Ал.А., Колокольников С.М. Техническое диагностирование труб поверхностей нагрева паровых и водогрейных котлов с использованием магнитной памяти металла: Учебно-методическое пособие. ИПК Госслужбы, 2006. 110 с.

УДК 621.3

Анализ коррозионного состояния оборудования систем теплоснабжения

Ковалёв М.С.

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

На долю процессов внутритрубной коррозии приходится порядка 25% от общего числа повреждений (для отдельных систем до 90%). На сегодняшний день продолжают споры по механизму протекания процесса коррозии, при этом большинство исследователей сходятся во мнении, что причиной является наличие кислорода и углекислоты в теплоносителе.

Даже при надежном, в целом, водно-химическом режиме теплосети часты случаи кратковременного увеличения концентрации кислорода в сетевой воде. Причинами могут являться некачественная работа деаэраторов, кратковременные остановы деаэраторов, присосы водопроводной воды в абонентских подогревателях (для закрытой теплосети), завоздушивание обратных трубопроводов, отсутствие мониторинга коррозионной активности теплоносителя.

Считалось, что повышение концентрации кислорода в сетевой воде на короткое время не представляет опасности с точки зрения коррозии. Однако проведенные электрохимические исследования показали, что даже кратковременные «проскоки» кислорода в сетевую воду приводят к появлению питтингов на поверхности металла труб, развивающиеся в язвы и свищи, в деаэрированной воде после ликвидации «проскока» резко увеличивается повреждаемость трубопроводов систем от внутренней коррозии.

В пределах $pH=4-10$ скорость коррозии определяется только скоростью диффузии кислорода к поверхности металла. Основной диффузионный барьер – пленка оксида железа (II) – постоянно обновляется в ходе коррозионного процесса. Независимо от величины pH воды в этих границах поверхность железа всегда контактирует со щелочным раствором, насыщенным гидратированным оксидом железа (pH приблизительно 9,5).

В кислой среде ($pH < 4$) пленка оксида железа растворяется, значение pH на поверхности железа снижается, и металл находится непосредственном контакте с водной средой, при этом увеличение скорости реакции является результатом, как значительной скорости выделения водорода, так и кислородной деполяризации.

Увеличение щелочности среды ($pH > 10$) вызывает возрастание pH на поверхности железа. Скорость коррозии при этом уменьшается, так как железо пассивируется в присутствии щелочей и растворенного кислорода.

Увеличение pH среды является одним из распространенных методов снижения скорости протекания коррозионных процессов наряду с попытками увеличить коррозионную стойкость углеродистых сталей путем улучшения технологии изготовления.

Отложения, накапливающиеся на функциональных поверхностях теплоэнергетического оборудования, классифицируются следующим образом:

- оксидные пленки - результат химического взаимодействия металла теплообменной поверхности с растворенным в воде кислородом;
- отложения кристаллического характера, образовавшиеся в результате роста кристаллов на поверхностях оборудования за счет присоединения ионов из контактирующего с поверхностью перенасыщенного раствора (к этому типу относятся отложения сульфата кальция);
- отложения, образовавшиеся в результате осаждения из потока мелкодисперсных взвесей, часто имеющие шламовидную, рыхлую структуру, уплотняющуюся во времени. К этому типу отложений относятся железистоокисные соединения, карбонат кальция, гидроксид магния и т.д.

За исключением отложений, состоящих из продуктов коррозии, причиной которых является процесс окисления металлических поверхностей, механизм образования отложений состоит из нескольких этапов:

- растворение и кристаллизация солей, перемешивание и коагуляция дисперсных частиц;

- доставка материала отложений к стенке трубы;
- закрепление и формирование отложений;
- удаление, смыв отложений потоком воды;
- процессы, происходящие в отложениях с течением времени (уплотнение, отверждение и т.д.).

Накопление отложений на теплообменных поверхностях оборудования приводит к существенному снижению эффективности, надежности и ресурса работы теплоэнергетического оборудования. Практически все виды накапливающихся отложений имеют весьма низкий коэффициент теплопроводности, для некоторых из его значение в сотни раз меньше аналогичного показателя для сталей. По этой причине многие котлоагрегаты работают со значительным перерасходом («пережогом») топлива и соответствующим дополнительным ухудшением экологической обстановки, например, отложения толщиной в 1 мм увеличивают расход топлива на 7-10% (данные ОАО «ВТИ»).

Характерной проблемой систем теплоснабжения, работающих от водогрейной котельной, расчетная температура которой не превышает 100-120°C, является низкое качество деаэрации подпиточной воды. Использование вакуумных деаэраторов часто не позволяет решить проблему удаления растворенных газов из-за сложности эксплуатации и нестабильности их работы, поэтому даже при качественной предварительной очистке блокировать коррозионные процессы не представляется возможным.

Жесткое соблюдение норм ПТЭ на теплоисточнике не гарантирует надежную и эффективную работу системы теплоснабжения в целом. Большое влияние на содержание примесей и растворенных газов оказывают: «завоздушивание» - присосы воздуха через неплотности оборудования теплосетей в сетевую воду. При уменьшении давления в обратных магистралях ниже атмосферного, происходит аэрация сетевой воды в открытых расширительных баках местных систем отопления и наблюдаются «проскоки» неподготовленной воды, которые могут быть связаны с кратковременным аварийным отключением водоподготовительного оборудования, аварийной подпиткой теплосети «сырой» водой, заполнением местных систем теплоснабжения водопроводной водой в межотопительный период и период пусков и т.д. В теплосети закрытого типа подмес водопроводной воды может происходить в местных абонентских подогревателях при нарушении их герметичности. Исследования, проведенные ОАО «ВТИ», показали, что даже кратковременные «проскоки» неподготовленной воды в сетевую воду приводят к появлению питтингов на поверхности металла труб, которые продолжают развиваться в деаэрированной воде после ликвидации «проскока», и образованию термобарьерных отложений.

В Республике Беларусь протяжённость магистральных трубопроводов составляет более 800 км, а распределительных – более 1600 км. В своей основе это электросварные трубы из углеродистой и низколегированной стали диаметром от 530 до 1420 мм. Аварии трубопроводов из труб такого диаметра приводят к очень тяжёлым последствиям (прекращение подачи тепла в жилые районы и промпредприятия, размытые фундаменты жилых и промышленных зданий и т.д.).

Виды коррозии:

- Язвенная (кислородная);
- Подшламовая;
- Стояночная;
- Микробиологическая.

Кислородная коррозия. Повреждения трубопроводов в основном связано с появлением язв, со временем перерастающих в свищи. Язвы возникают по всему периметру трубы, иногда они выстраиваются в цепочки, объединяющиеся в канавки. Основная причина – кислород.

Даже при надежном в целом ВХР систем теплоснабжения, часты случаи кратковременного увеличения кислорода в сетевой воде. Проскоки O_2 в сетевую воду приводят к появлению питтингов на поверхности металла труб, которые могут развиваться в язвы и свищи даже в деаэрированной воде после ликвидации проскока. Скорость развития

коррозионных процессов зависит от температуры и физико-химических параметров воды: содержания O_2 , CO_2 , сульфатов, хлоридов, значения pH и щелочности.

Подшламовая коррозия чаще всего встречается на нижней образующей труб в виде глубоких пятен и промоин, вытянутых вдоль трубы. Их развитие протекает под слоем отложений и шлама.

Микробиологическая коррозия. К данному виду коррозии относят повреждения металла, в которых участвуют микроорганизмы. Особенность данного вида коррозии – локальный характер. Это объясняется тем, что микроорганизмы обычно занимают не всю поверхность металла, а локализуются на отдельных участках. Большое влияние микроорганизмов на развитие электрохимической коррозии определяется следующим:

-микроорганизмы образуют в процессе своей жизнедеятельности агрессивные соединения (минеральные и органические кислоты);

-они образуют потенциальные центры коррозии на поверхности металла, разрушая защитную пленку.

Микроорганизмы в системах теплоснабжения подразделяют на две группы: аэробные организмы, развивающиеся в присутствии O_2 в воде и анаэробные - не нуждающиеся в свободном кислороде.

Для жизнедеятельности бактерий необходимо создание определенных условий: наличие воды, определенные температура, показатель pH и т.д.

По *типу питания* микроорганизмы подразделяются на:

-автотрофные, усваивающие из неорганических соединений (CO_3^{2-} , HCO_3^-) углерод;

-гетеротрофные, использующие органические соединения.

Сетевая вода, как правило, содержит все эти соединения. Наиболее опасными являются три группы бактерий:

-железобактерии, которые поглощают железо в ионном состоянии и выделяют его в виде нерастворимых соединений;

-бактерии, участвующие в преобразовании соединений серы: тионовые (сероокисляющие) сульфатвосстанавливающие. Сульфатвосстанавливающие бактерии восстанавливают ионы SO_4^{2-} до сероводорода H_2S и сульфидов SO_3^{2-} . Для их жизнедеятельности необходимо наличие в воде сульфатов (а их при подготовке подпиточной воды не удаляют, а наоборот добавляют с коагулянтами $Al_2(SO_4)_3$ и $FeSO_4$).

Влияние сульфатвосстанавливающих бактерий на процессы коррозии связано с выделением сероводорода, который реагирует с продуктами коррозии, образуя сульфид железа $FeSO_4$.

Тионовые (сероокисляющие) бактерии могут существовать и при очень малых содержаниях в виде O_2 . Их жизнедеятельность обеспечивается за счет окисления серы и серосодержащих соединений до сульфат-ионов и серной кислоты (до 10%-ой концентрации).

-нитрифицирующие бактерии в процессе своей жизнедеятельности используют аммиак, преобразуя его в азотистую кислоту HNO_2 .

Любой вид микроорганизмов существенно ускоряет процесс коррозии металла. Эффективный способ борьбы с биокоррозией – промывка не реже одного раза в год участков трубопроводов водой со скоростью 4 – 6 м/с с последующей осушкой воздухом.

Стояночная коррозия систем теплоснабжения. Работа систем теплоснабжения сезонна, поэтому для теплообменного оборудования и трубопроводов большие проблемы создает коррозия во время простоев. Воду на неотапливаемый период из теплосетей дренируют, большая часть периметра трубы высыхает, но на нижней образующей существует вероятность сохранения влаги. Иногда там даже течет слабый поток воды. Во время простоя возможно появление локальных коррозионных повреждений именно в этих местах. В процессе стояночной коррозии принимают участие также аэробные бактерии, т.к. для них это оптимальные условия по температуре и высокому содержанию кислорода.

Для предотвращения стояночной коррозии в период длительного простоя все теплофикационное оборудование, включая пиковые водогрейные котлы, должно быть законсервировано.

Способ консервации выбирается в зависимости от характера и длительности простоя, а также от типа и конструкционных особенностей оборудования.

Для малых котлов способы консервации упрощены. Различают следующие способы:

1. Высушивание – полное удаление из агрегатов воды и размещении в них влагопоглотителей (прокалённого CaCl_2 – хороший поглотитель влаги, негашёной извести CaO – хуже при взаимодействии с CO_2 CaCO_3 покрывает коркой, ухудшая свойства, силикагеля из расчёта 1 – 2 кг на 1 м³ объёма);

2. Заполнение их щелочными растворами (NaOH , Na_3PO_4 , Na_2SiO_3), обеспечивающими полную устойчивость защитной плёнки на поверхности металла;

3. Заполнение азотом (но необходимы меры для создания плотности системы и безопасных условий для обслуживания оборудования).

4. При кратковременных простоях удобнее использовать консервацию способом заполнения деаэрированной водой с поддержанием $P_{\text{изб.}}$;

5. В настоящее время разработана технология окислительной очистки и пассивации водогрейных котлов. Для обеспечения водоокислородной обработки необходим пар от парового котла с температурой 300 – 400 °С, обогащённый O_2 , время обработки – несколько суток. Коррозионная стойкость оксидных плёнок очень высокого качества.

При осуществлении любого из перечисленных способов консервации, кроме последнего, необходимо:

-предварительное удаление (промывка) отложений легкорастворимых солей;

-перед длительной консервацией необходимо удаление всех видов нерастворённых отложений;

-при ненадёжной арматуре необходимо отключение от работающего оборудования с помощью заглушек.

Внутренняя коррозия почти всегда *локальная, язвенная*. Основными водно-химическими параметрами, влияющими на развитие язв являются показатель среды pH, концентрация растворенного в теплоносителе кислорода O_2 , содержание агрессивных ионов-депассиваторов (SO_4^{2-} , Cl^-). В настоящее время предлагается увеличить показатель pH сетевой воды и для открытых систем поддерживать его на уровне $\text{pH} = 9$, а для закрытых систем, которые в коррозионном отношении более опасны, поддерживать $\text{pH} = 9 - 10,5$ (методом подщелачивания NaOH). В то же время, при выборе величины pH, необходимо учитывать, что система теплоснабжения состоит из множества различных материалов: сталь, медь, латунь, нержавеющая сталь и пластик. Иными словами, значение pH должно быть таким, чтобы обеспечить условия отсутствия коррозии материалов, составляющих систему. Для систем, полностью состоящих из стали pH должен быть в диапазоне 8,8 – 9,5. Для систем, включающих в себя медь и сталь pH должен быть в диапазоне 8,6 – 9,2, что обеспечивает минимальную скорость коррозии для этой пары материалов. Если в системе присутствуют алюминий и сталь – pH следует держать в диапазоне 8,2 – 8,4. Значение pH в системе никогда не должно быть выше 10,0. Выше этого уровня начинается вымывание цинка из латуни и разрушение этого материала, а следовательно, частей системы, изготовленных из него. Таким образом, водородный показатель воды в системе должен постоянно контролироваться.

Тип системы теплоснабжения (открытая – закрытая) не может не оказывать влияния на протекающие там процессы и виды коррозии.

В закрытых системах теплоснабжения типичным является нарушение гидравлической плотности теплообменников горячего водоснабжения. Присосы в систему водопроводной воды приводят к повышению концентрации O_2 в сетевой воде и увеличению ее жесткости. Повышение содержания O_2 приводит к ускорению процесса внутренней коррозии в трубопроводах теплосети, а рост жесткости сетевой воды увеличивает опасность накипеобразования в теплообменном оборудовании.

В открытых системах теплоснабжения соотношение подпиточной и циркуляционной воды значительно больше, чем в закрытых, и, поэтому, при том же качестве деаэрации подпиточной воды в открытые сети попадает большее количество коррозионно-агрессивных газов (O_2 , CO_2). Кроме того, для открытых систем характерны резкие изменения расхода подпиточной воды по несколько раз в сутки, что не наблюдается в закрытой системе теплоснабжения.

По приведенным выше причинам, определяющих более высокую скорость коррозии металла в открытых системах, а соответственно и большее накопление соединений железа в сетевой воде, интенсивность железистоокисного накипеобразования в водогрейных котлах, работающих в открытых системах, будет выше.

Системы горячего водоснабжения по сравнению с системами теплоснабжения, водоснабжения и канализации являются наименее надёжными и долговечными. При их эксплуатации возникают те же проблемы, что и в тепловых сетях. Так, появление в трубах накипных отложений приводит к снижению пропускной способности труб, увеличению гидравлических потерь, что нарушает режим подачи горячей воды потребителю. Коррозионные разрушения металла труб (чаще всего это малоуглеродистая сталь) горячего водоснабжения протекают достаточно интенсивно. Этому способствует высокая коррозионная активность горячей водопроводной воды, содержащей растворённые агрессивные газы (O_2 , CO_2), а также хлориды и сульфиты и другие примеси. Коррозионные повреждения трубопроводов горячей воды при их совместной прокладке с тепловыми сетями приводят к затоплению их горячей водой и, как следствие, к активизации внешней коррозии. Коррозия способствует образованию свищей в трубопроводах, что вызывает утечку воды, возрастание коррозионных расходов, связанных с ремонтом и частой заменой элементов систем водоснабжения.

УДК 620.9:662, 638

Сжигание древесных отходов в малой энергетике

Купцов М.А., Казанцев И.А.

Научный руководитель - д.т.н., профессор ЖИХАР Г.И.

В настоящее время в связи с высокой стоимостью и дефицитом газа и мазута экономия этих топлив является важнейшей задачей для Республики Беларусь. Экономия газообразного и жидкого топлива может быть достигнута путем снижения их использования для энергетических целей.

В Беларуси частично могут заменить эти дорогие и дефицитные топлива древесные отходы. Особенно они могут широко использоваться в котлах малой мощности предприятий деревообрабатывающей промышленности. Количество древесных отходов в Беларуси ежегодно в результате хозяйственной деятельности человека достигает 12 – 13 млн.м³, что эквивалентно примерно 2,5 млн. тонн условного топлива. Поэтому, экономически целесообразно создавать малую энергетику при выпуске котлоагрегатов, работающих на неостребованных древесных отходах и топливной щепе, вырабатываемой из быстрорастущих возобновляемых древесных пород.

Основная сложность освоения возобновляемых источников энергии состоит в малой энергетической плотности потока и непостоянном временном характере их действия. Это вынуждает искать как оригинальные конструкции установки, так и методы эффективного использования полученных видов энергии. Оборудование, установки для производства, а также технологии их использования следует относить к новым высоким технологиям и рассматривать производство и потребление энергии как единый комплексный процесс.

С целью уменьшения зависимости от импорта топливных ресурсов в республике проводится работа по увеличению объема использования местных видов топлива, древесных и других горючих отходов производства, вторичных энергоресурсов, биомассы и других возобновляемых источников энергии.

Потребность населения в коммунально-бытовом топливе оценивается в 5 млн. т у.т. Таким образом, только за счет древесной и растительной массы могут быть удовлетворены потребности населения в топливе.

В конце декабря 2009 года введена в эксплуатацию Пружанская ТЭЦ мощностью 3,7 МВт с современной технологией сжигания древесного топлива и торфа. Для сжигания топлива применена коническая колосниковая решетка, разработанная финской фирмой. На Осиповичской мини-ТЭЦ также введена новая котельная установка для сжигания древесных отходов и фрезерного топлива, как раздельно, так и в смеси в котлоагрегате КЕ-10-24-300 ОГМВ. Энергетические установки, работающие на местных видах топлива, построены и в других городах страны: Жодино, Вилейка, Бобруйск, Пинск и др.

Сейчас необходимо определить самый эффективный проект. В перспективе будут еще построены многие энергетические установки, работающие на местных топливах.

УДК 621.311.25

Назначение и состав средств обеспечения ВХР первого контура

Мелешко К.И.

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

Водно-химический режим (ВХР) – это комплекс технологических операций направленных на поддержание показателей качества рабочей среды в допустимых значениях.

ВХР первого контура предназначен для:

- поддержания качества теплоносителя первого контура;
- своевременного выявления и устранения причин, вызывающих отклонение качества теплоносителя от требуемых норм;
- организации химконтроля за качеством теплоносителя первого контура, подпиточной воды, воды вспомогательных систем;
- снижения попадания загрязнений в активную зону реактора и их распространения по контуру.

Системы обеспечения ВХР первого контура включают в себя:

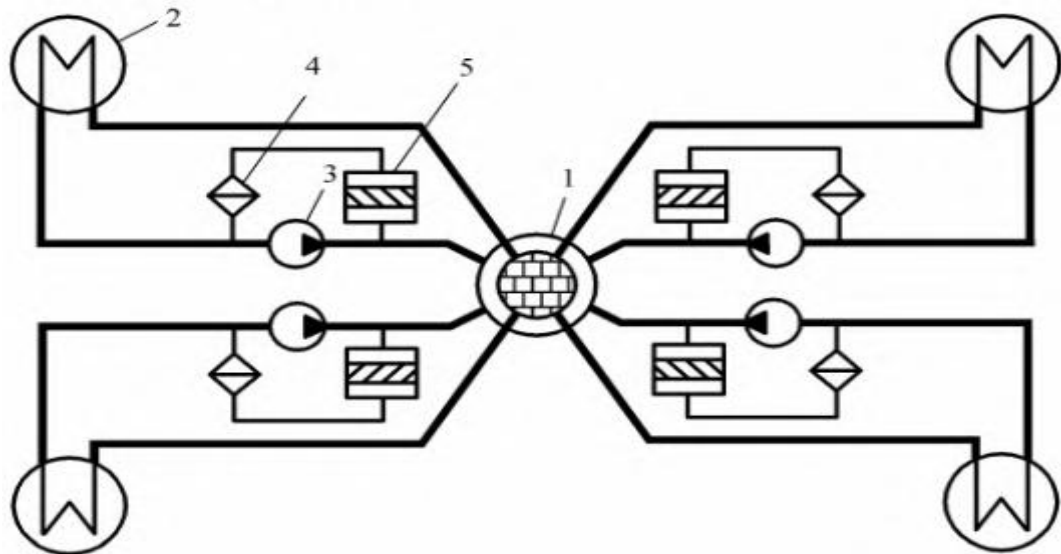
- систему байпасной очистки теплоносителя первого контура СВО-1;
- систему очистки продувочной воды первого контура и организованных протечек СВО-2;
- систему очистки вод бассейнов выдержки и перезагрузки топлива СВО-4;
- систему реагентного хозяйства.

СВО-1

Необходимость создания системы байпасной очистки теплоносителя первого контура вызвана наличием в первом контуре радиационных полей, сложных химических процессов, образования в борной среде при высоких температурах и давлении продуктов коррозии металлов оборудования.

Система байпасной очистки теплоносителя первого контура СВО-1 предназначена для очистки неохлажденного теплоносителя первого контура от продуктов коррозии конструкционных материалов оборудования в виде коллоидных и взвешенных частиц, радионуклидов, находящихся в дисперсном состоянии с целью снижения удельной активности поверхности оборудования первого контура и других вспомогательных систем.

Функциональная схема системы байпасной очистки теплоносителя первого контура представлена на рисунке 1.



1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – ГЦН; 4 – фильтр-ловушка; 5 – ВТФ

Рисунок 1 – Функциональная схема системы СВО-1

При работе реакторной установки 1 теплоноситель первого контура с напора каждого ГЦН 3 поступает в высокотемпературный фильтр 5 сверху, проходит через верхнее распределительное устройство, фильтрующий материал, нижнее распределительное устройство и, очищенный от продуктов коррозии, проходит фильтрующие системы фильтров-ловушек 4, после чего возвращается в первый контур на всас ГЦН.

Система СВО-1 состоит из четырех одинаковых цепочек, расположенных на байпасах и включает в себя следующее оборудование:

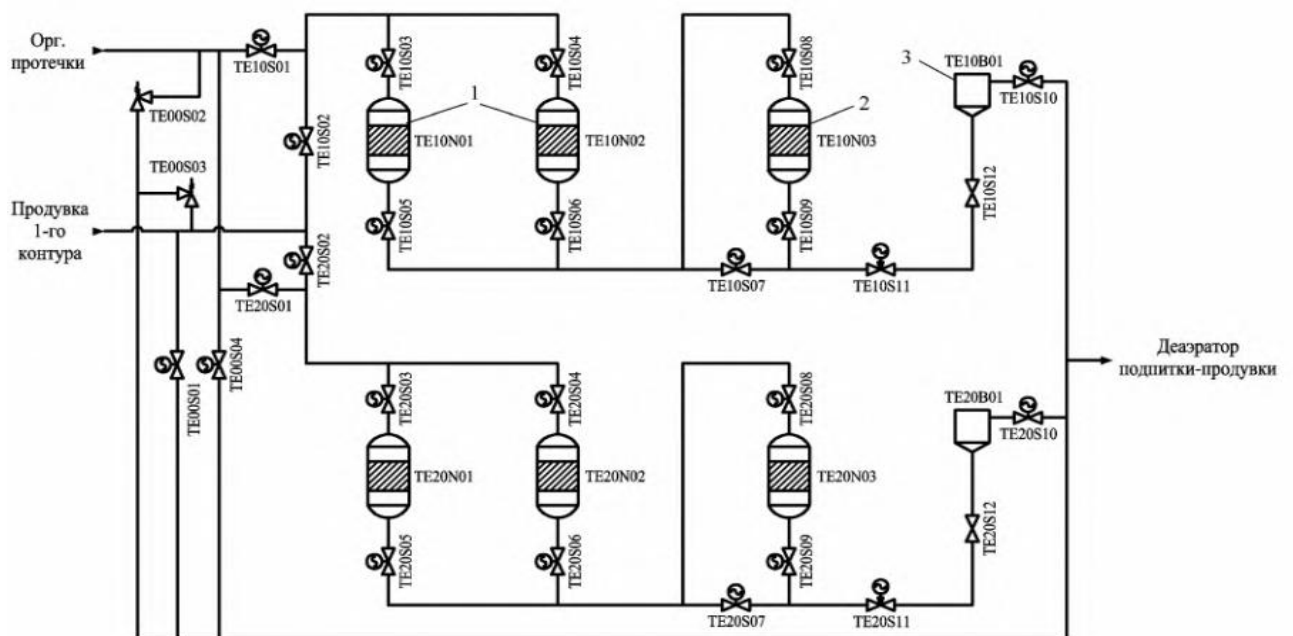
- высокотемпературный механический фильтр, предназначенный для очистки неохлажденного теплоносителя первого контура от радиоактивных взвешенных продуктов коррозии;
- фильтр-ловушку, предназначенную для улавливания высокотемпературного сорбента после высокотемпературных фильтров в случае аварийного разрушения их дренажных систем;
- фильтр-контейнер, предназначенный для приема сорбента из высокотемпературного фильтра при его гидровыгрузке для проведения его ремонта, дезактивации или регенерации сорбента.

СВО-2

Система очистки продувочной воды первого контура и организованных протечек предназначена для:

- очистки продувочной воды и организованных протечек первого контура от продуктов коррозии конструкционных материалов, от примесей в ионной форме и радионуклидов;
- вывода из первого контура избыточной щелочности;
- плавного регулирования концентрации аммиака и калия в теплоносителе первого контура;
- вывода из теплоносителя первого контура борной кислоты в конце кампании для ее продления.

Функциональная схема системы очистки продувочной воды первого контура и организованных протечек представлена на рисунке 2.



1 – катионитовые фильтры; 2 – анионитовый фильтр; 3 – фильтр-ловушка ионов

Рисунок 2 – Функциональная схема системы СВО-2

Система СВО-2 состоит из двух одинаковых цепочек, которые функционально не связаны между собой. Каждая цепочка включает в себя два параллельно включенных катионитовых фильтра 1, последовательно включенного анионитового фильтра 2 и фильтра-ловушки ионов 3. При номинальном режиме работы энергоблока в работу вводится одна

цепочка системы. В переходных режимах в работу могут быть включены параллельно обе нитки.

Катионитовые фильтры в H^+ -форме используются для вывода ионов щелочных металлов из теплоносителя первого контура. В аммиачно-калиевой форме используется для поддержания аммиачно-калиевого водного режима теплоносителя первого контура, а так же для вывода из теплоносителя примесей в виде катионитов и продуктов коррозии.

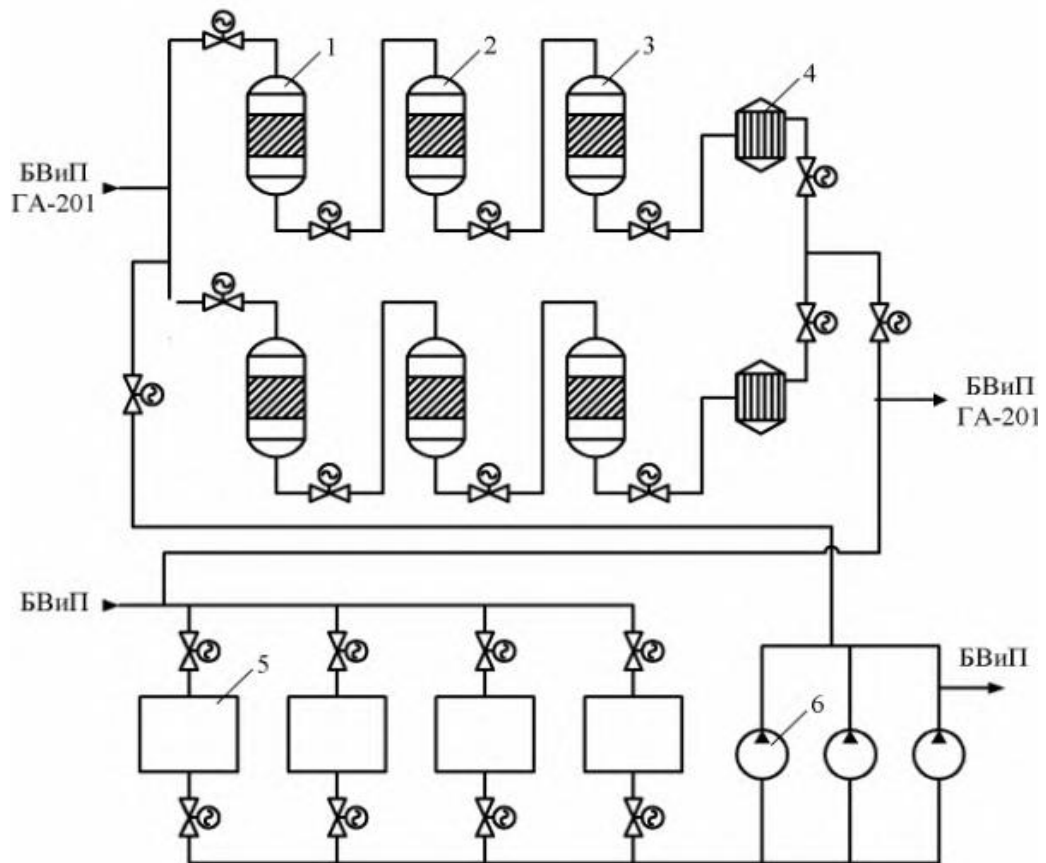
Анонитовые фильтры с анионитом в борной форме применяются для вывода из теплоносителя первого контура примесей в виде анионов. Анионит в OH^- -форме выводит борную кислоту из теплоносителя первого контура.

Ловушка ионитов предназначена для улавливания ионообменных материалов фильтров СВО-2 в случае повреждения нижнего распределительного устройства фильтров.

СВО-4

Система очистки вод бассейнов выдержки и перегрузки топлива и баков аварийного запаса борной кислоты СВО-4 предназначена для осветления и химической очистки вод бассейна выдержки и перегрузки топлива, бака аварийного запаса борной кислоты, дренажа вод с пола боксов, сливающихся в баки системы аварийного охлаждения активной зоны реактора.

Функциональная схема системы очистки вод бассейнов выдержки и перегрузки топлива и баков аварийного запаса борной кислоты представлена на рисунке 3.



1 – механический фильтр; 2 – катионитовый фильтр; 3 – анионитовый фильтр; 4 – фильтр-ловушка зернистых материалов; 5 – бак слива вод бассейна перегрузки; 6 – насос бака слива вод бассейна перегрузки

Рисунок 3 – Функциональная схема системы СВО-4

Система СВО-4 состоит из двух ниток фильтров, каждая из которых включает в себя механический 1, катионитный 2, анионитный 3 фильтры и фильтр-ловушка зернистых материалов 4. Так же в систему включены четыре бака слива вод бассейна перегрузки и выдержки 5 и три насоса 6.

Механический фильтр предназначен для очистки воды от мелко- и крупнодисперсных механических примесей.

Катионитовый фильтр предназначен для очистки вод от ионов кальция, магния и натрия.

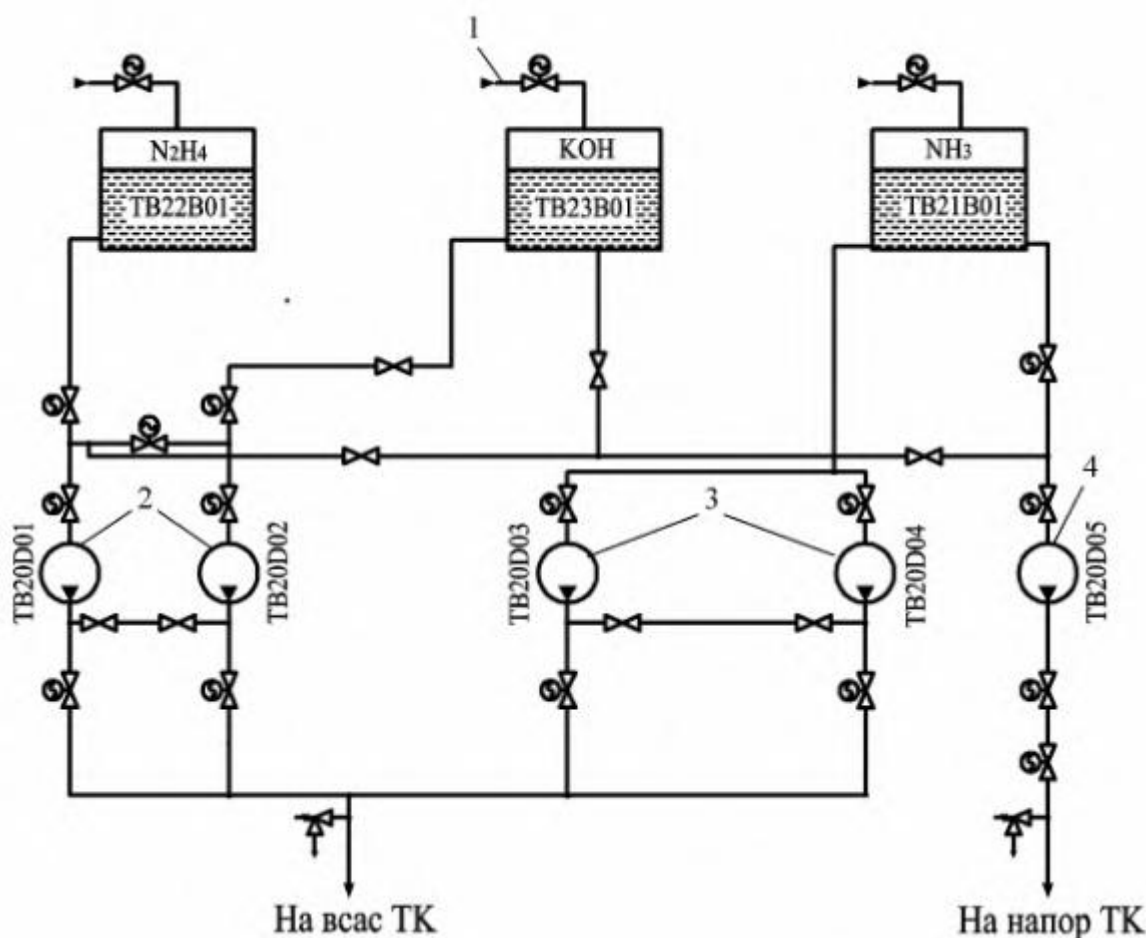
Анионитовый фильтр предназначен для очистки воды, в основном, от ионов хлора.

Ловушка зернистых материалов предназначена для предотвращения попадания ионообменной смолы в технологический цикл при разрушении нижней дренажной системы анионитового фильтра

Система реагентного хозяйства

Система реагентного хозяйства предназначена для получения со спецкорпуса, хранения и дозирования реагентов в первый контур с целью поддержания водно-химического режима согласно нормам.

Функциональная схема системы реагентного хозяйства представлена на рисунке 4.



- 1 – заполнение баков; 2 – насосы-дозаторы гидразин-гидрата и едкого калия;
3,4 – насосы дозаторы аммиака

Рисунок 4 – Функциональная схема системы ТВ-20

В состав системы ТВ-20 входят:

1. Баки ТВ21,22,23В01 – цилиндрические емкости, изготовленные из нержавеющей стали:

- ТВ21В01 – бак 3%-го раствора аммиака, рабочий объем 3,8 м³;
- ТВ22В01 – бак 3%-го раствора гидразина, рабочий объем 1,3 м³;
- ТВ23В01 – бак 3%-го раствора гидроксида калия, рабочий объем 3,8 м³;

2. Насосы ТВ20D01...04 типа НД 0,5Э 100/10 К13А – поршневые с регулируемой подачей.

3. Насос ТВ20D05 типа НД 25/250 ДА – поршневой с регулируемой подачей.

4. Арматура трубопроводы.

Подгруппа аммиака NH_3 предназначена для хранения и дозировки в первый контур аммиака с целью получения в результате его радиолиза водорода и поддержания концентрации этого водорода в заданных пределах в зависимости от тепловой мощности реактора. Этот избыток водорода позволит связать кислород в теплоносителе первого контура до нормируемых пределов.

Подгруппа гидразин-гидрата N_2H_4 предназначена для хранения и дозировки в первый контур раствора гидразин-гидрата с целью связывания избыточного кислорода.

Подгруппа едкого калия KOH предназначена для хранения и дозировки в первый контур раствора едкого калия с целью поддержания pH теплоносителя первого контура в заданных пределах в зависимости от текущей концентрации борной кислоты в первом контуре.

Для ограничения количества примесей, вносимых в первый контур с корректирующими добавками, к реагентам предъявляются высокие требования по чистоте. Особое внимание следует обратить на содержание в водимых реагентах Cl^- -иона и Na^+ -иона.

Литература

1. Сукуршев, А.В. Основы водного режима контуров ЯЭУ АЭС: учебное пособие / А.В. Сукуршев, Ю.В. Браславский. – Севастополь: СевГУ, 2017. – 260 с.: ил.

УДК 621.3

Гидравлический расчет технологического канала

Пташиц К.П.

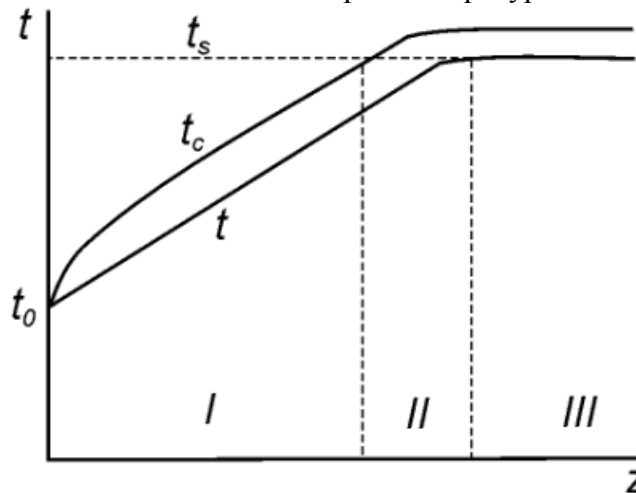
Научный руководитель – ст. препод. БУРОВ А.Л.

Методически целесообразно разделить канал на три участка (рисунок 1):

- 1) конвективный (или экономайзерный) участок $h < h'; t_c < t_s$;
- 2) участок кипения недогретой жидкости (участок поверхностного кипения) $h < h'; t_c > t_s$;
- 3) участок объемного кипения теплоносителя $h > h'; t_c > t_s$.

где h - энтальпия теплоносителя;

h' - энтальпия кипящего теплоносителя при температуре насыщения t_s .



I - конвективный участок; II-участок кипения недогретой жидкости;

III -участок объёмного кипения; t_s - температура насыщения

Рисунок 1 – Распределение температур теплоносителя t и стенки t_c по длине канала z :

В отсутствии кипения (водо-водяные реакторы под давлением ВВЭР, PWR) весь канал является конвективным.

Для прокачки теплоносителя с необходимой скоростью через технологический канал реактора следует создать соответствующий перепад давления (напор), требуемый для компенсации его гидравлического сопротивления.

Для расчета гидравлического сопротивления обычно используется выражение:

$$\Delta p_{TK} = \sum_i \Delta p_{Ti} + \sum_j \Delta p_{Mj}, \tag{1}$$

где Δp_{Ti} - потери давления на трение на i участке канала;

Δp_{Mj} - потери давления за счет местных сопротивлений (входные и выходные устройства, сужения, дистанционирующие решетки, изгибы и т. д.).

Сопротивление трения на i участке:

$$\Delta p_{Ti} = \frac{\xi_{Ti} \cdot \Delta z_i}{d_{эi}} \cdot \left(\frac{\rho_i \cdot w_i^2}{2} \right), \tag{2}$$

где ξ_{Ti} - коэффициент трения на i участке;

Δz_i и $d_{эi}$ - длина и эквивалентный диаметр i участка;

ρ_i и w_i - плотность и скорость теплоносителя на i участке.

В случае стабилизированного турбулентного течения коэффициент трения для гладких круглых труб хорошо определяется соотношением:

$$\xi_{Ti} = \frac{1}{(1,82 \cdot \lg Re_i - 1,64)^2}. \tag{3}$$

Для расчёта коэффициентов трения ξ_i в пучках ТВЭЛа можно использовать следующие формулы:

для треугольной решетки ТВЭЛа

$$\frac{\xi_i}{\xi_{Ti}} = 0,57 + 0,18(x - 1) + 0,53[1 - \exp(-a)], \quad (4)$$

где

$$a = \begin{cases} 0,58(1 - \exp[-70(x - 1)]) + 9,2(x - 1) & \text{при } x < 1,02 \\ 0,58 + 9,2(x - 1) & \text{при } x > 1,02 \end{cases} \quad (5)$$

для квадратной решетки ТВЭЛа

$$\frac{\xi_i}{\xi_{Ti}} = 0,59 + 0,19(x - 1) + 0,52[1 - \exp(-10(x - 1))], \quad (6)$$

где ξ_{Ti} - коэффициент трения для круглой трубы при том же значении Re по отношению (3),

$x = s/d$ - отношение расстояния между центрами соседних ТВЭЛов к диаметру ТВЭЛ.

Для расчёта местных сопротивлений используется выражение (2), в котором вместо коэффициента трения ξ_{Ti} используются коэффициенты местных сопротивлений. Для определения последних используются расчётные соотношения и графические зависимости, приводимые в справочной литературе.

Мощность, необходимая для прокачки теплоносителя через АЗ реактора, рассчитывается по формуле:

$$N_H = n_{TK} \cdot \frac{G \cdot \Delta P_{TK}}{\eta \cdot \bar{\rho}}, \quad (7)$$

где $\bar{\rho}$ - среднее значение плотности теплоносителя;

η - КПД насосов.

Литература

1. Коротких А.Г. Теплогидравлические процессы в ядерном реакторе и расчет их основных параметров: учебное пособие / А.Г. Коротких, И.В. Шаманин. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 108 с.

УДК 621.039.5-519

Поддержание вакуума в конденсаторах турбин атомных электростанций

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

Основной задачей системы конденсаторов турбины является конденсация отработавшего пара в турбине: пар, поступающий из турбины в паровое пространство, конденсируется на поверхности конденсаторных трубок, внутри которых протекает охлаждающая вода. Процесс конденсации может идти при любом давлении. Однако, чем меньше температура отвода теплоты цикла (что соответствует более низкому давлению конденсации), тем выше тепловая экономичность паротурбинной установки при неизменных начальных параметрах, если при этом не возникают потери из-за необратимости протекающих процессов. Поэтому важной задачей на энергетических объектах является не только установление глубокого вакуума, но и дальнейшее его поддержание.

На данный момент в энергетике нашли широкое применение эжекторы и водокольцевые насосы.

Эжекторы предназначены для удаления паровоздушной смеси из конденсатора и циркуляционной системы и поддержания необходимого вакуума [1]. В паротурбинных установках применяют пароструйные и водоструйные эжекторы. Если в качестве рабочего тела используется пар, то эжектор называется пароструйным, а если вода, то водоструйным. При обычном режиме турбоустановки включены основные эжекторы, использующие, например, выпар деаэрата. При пуске энергоблока используется пусковой эжектор, работающий, в отличие от основного, при переменных режимах. Он начинает работу при давлении всасывания, равном атмосферному, а отключается, когда это давление снижается до расчетного, и в дальнейшем вакуум поддерживается основными эжекторами.

Для пускового эжектора резерв не предусматривается, а для основных эжекторов обычно один резервный приходится на два рабочих.

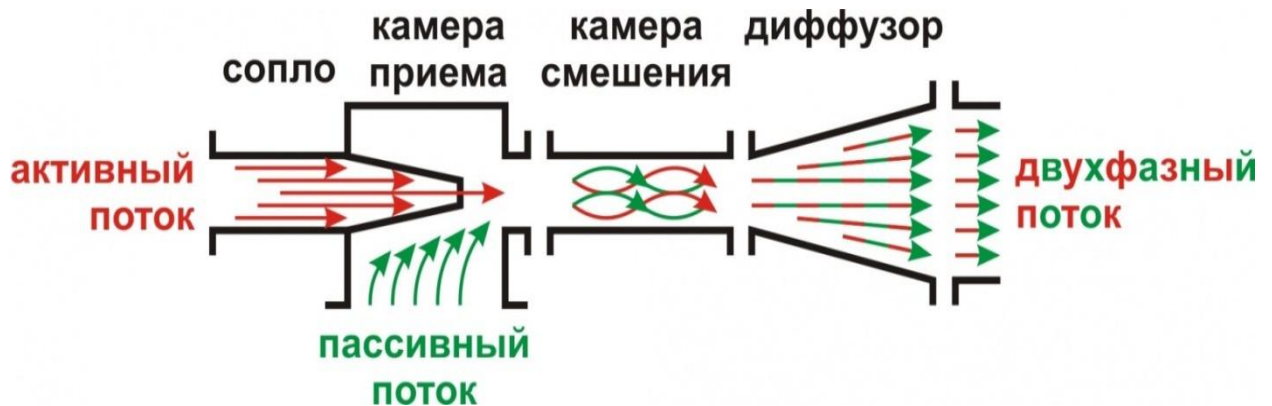


Рисунок 1 – Принципиальная схема эжектора

Рабочее тело (пар – в пароструйном эжекторе, вода – в водоструйном) подается под давлением в приемную камеру, откуда через суживающееся сопло (или несколько сопел) с большой скоростью направляется в камеру смешения, соединенную с паровым пространством конденсатора (рисунок 1). Струя рабочего тела (пара или воды), обладая большой кинетической энергией, увлекает за собой паровоздушную смесь из камеры в суживающуюся часть канала переменного сечения и далее поступает в диффузор, в котором происходит торможение потока и преобразование кинетической энергии в потенциальную. Вследствие этого давление на выходе из диффузора превышает атмосферное и происходит постоянное удаление паровоздушной смеси из конденсатора. Самое широкое распространение в паротурбинных установках получили пароструйные эжекторы, которые выполняются одно-, двух- и трехступенчатыми. Одноступенчатые эжекторы создают разрежение до 0,073–0,080

МПа и применяются в качестве пусковых. Двух- и трехступенчатые эжекторы создают более глубокое разрежение и применяются в качестве рабочих, обеспечивая устойчивую и надежную работу турбины при глубоком вакууме. В последних конструкциях пароструйных эжекторов имеются приборы для измерения количества отсасываемого воздуха, что позволяет контролировать воздушную плотность конденсатора. Расход рабочего пара на эжекторы имеет заметное значение (0,5–0,8%) расхода на турбину, и, кроме того, некоторое количество пара поступает с воздухом из конденсатора. Во избежание потерь конденсата и для уменьшения тепловых потерь с рабочим паром конструкция эжекторов органически сочетается с холодильниками пара.

Основными причинами неудовлетворительной работы пароструйных эжекторов, приводящими к ухудшению вакуума в турбине, являются:

- 1) малый расход рабочего пара из-за засорения сопел эжектора;
- 2) падения давления рабочего пара;
- 3) повышение температуры паровоздушной смеси из-за загрязнения холодильников эжекторов или уменьшения расхода воды через них;
- 4) рециркуляция воздуха между ступенями эжектора и между первой ступенью эжектора и конденсатором при наличии неплотностей в перегородках между ступенями и другие факторы.

Аварийные случаи в работе пароструйных эжекторов связаны с их «запариванием» либо с «захлебыванием». «Запаривание» – это нарушение нормальной работы пароструйного эжектора, возникающее вследствие неполной конденсации пара в холодильниках эжекторов при недостаточном расходе через них конденсатора. «Захлебывание» эжекторов – переполнение их охладителей конденсатом вследствие неудовлетворительной работы системы сброса конденсата в конденсатор. В последнее время все большее применение находят водоструйные эжекторы, рабочим телом в которых служит вода, отбираемая из напорного циркуляционного водовода в количестве 5–7%. Водяные эжекторы могут создавать более глубокий вакуум, чем пароструйные. Однако отсасываемый пар и его теплота теряются бесполезно.

На Белорусской атомной станции для поддержания вакуума создана система вакуумирования на основе водокольцевых насосов.

Система вакуумирования главных конденсаторов [2] предназначена для:

- 1) создания вакуума на выхлопе турбины с целью использования возможно большего теплового перепада рабочего тела посредством охлаждения циркуляционной водой и конденсации пара, отработавшего в турбине;
- 2) отсоса паровоздушной смеси из конденсатора турбины и возможно более глубокого вакуума, необходимого для обеспечения надежной и экономичной работы турбины;
- 3) создания необходимого разрежения в конденсаторе пара уплотнений (КПУ).

Отвод из конденсатора неконденсирующихся газов, а также воздуха, проникающего через уплотненности вакуумной системы, осуществляется с помощью водокольцевых насосов. Количество одновременно работающих устройств определяется необходимостью поддержания расчетного вакуума.

Состав системы водокольцевого насоса

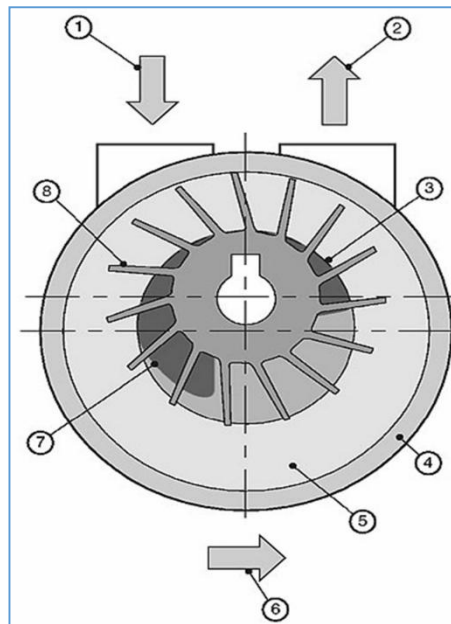
Технологический воздух вместе с парами воды поступает в вакуумный насос (рисунок 2) через входной трубопровод, оборудованный вакуумметром для визуальной индикации и дисковым клапаном с приводом для автоматической изоляции системы от процесса. Также, на трубопровод установлена форсунка для конденсации излишних паров воды перед входом в вакуумный насос.

Через форсунку в насос подается небольшое количество рабочей жидкости для конденсации излишних паров воды, поступающих из процесса. Форсунки в сочетании с использованием межступенчатого воздухопровода малого сечения защищают насос от возникновения условий кавитации при недогрузке второй ступени. Это может происходить, когда большая часть паров конденсируется на первой ступени вакуумного насоса при

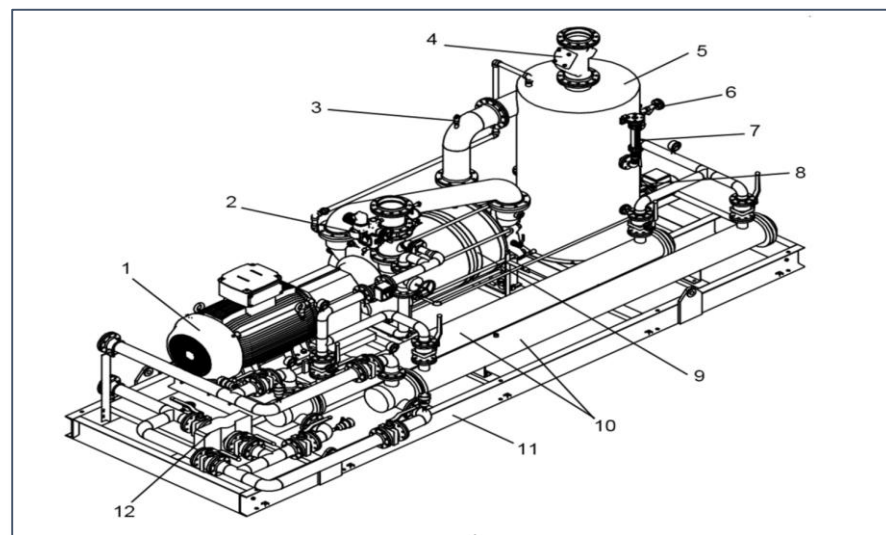
соприкосновении с водяным кольцом и затем сжимается. В результате поток, поступающий на вторую ступень, очень мал, что приводит к работе при высоком уровне вакуума и как следствие к кавитации.

Принцип работы водокольцевых насосов

Межступенчатый трубопровод (рисунок 3) берет воздух с выхода первой ступени и подает на промежуточную пластину вакуумного насоса, где необходим неконденсируемый поток для поддержания корректного межступенчатого давления. В данный трубопровод встроена ограничительная насадка для поддержания фиксированного потока, и байпасный вакуумный предохранительный клапан.



1 – вход процесса; 2 – выход процесса; 3 – выхлопное отверстие; 4 – литой корпус; 5 – жидкостное кольцо; 6 – направление вращения; 7 – всасывающее отверстие; 8 – импеллер
Рисунок 2 – Водокольцевой насос



1 – электродвигатель насоса, 2 – дисковый клапан; 3 – реле температуры; 4 – обратный клапан; 5 – сепаратор; 6 – подпитка; 7 – индикатор уровня; 8 – рециркуляционный насос; 9 – ВВКН; 10 – теплообменники; 11 – рама агрегата; 12 – дуплексный фильтр
Рисунок 3 – Общий вид агрегата

ХАРАКТЕРИСТИКИ (ОДНОГО НАСОСА)						
СКОРОСТЬ НАСОСА		rpm	585	585	585	585
ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ (на валу)	(прим 1)	kW	85,2	85,1	87,8	93,0
УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ		kW	132	132	132	132
ТИП ПРИВОДА			Прямой	Прямой	Прямой	Прямой
ВЫПУСКНАЯ ТЕМПЕРАТУРА		°C	19,9	14,3	29,9	41,4
РАБОЧАЯ ЖИДКОСТЬ			КОНДЕНСАТ	КОНДЕНСАТ	КОНДЕНСАТ	КОНДЕНСАТ
ТЕМПЕРАТУРА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ		°C	13,5	8,0	23,0	34,0
ПОТОК РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ	(прим 1)	m ³ /h	24,00	24,00	24,00	24,00
ОХЛАЖДАЮЩАЯ ЖИДКОСТЬ			СССВ	СССВ	СССВ	СССВ
ТЕМПЕРАТУРА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ		°C	10,50	5,00	20,00	31,00
ПОТОК ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ	(прим 1)	m ³ /h	50,0	50,0	50,0	50,0
ПОТОК ПОДПИТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ		lit/min	1,0	1,0	1,0	1,0
ОЖИДАЕМЫЙ УРОВЕНЬ ШУМА НА 1М В ОТКРЫТОМ (± 3 dB'A)		dB'A'	82	82	82	82

Рисунок 4 – Параметры водокольцевого насоса

Технологический воздух выходит из вакуумного насоса, вместе с неконденсируемыми парами и порцией рабочей жидкости. Эта смесь поступает в газожидкостный сепаратор, изготовленный из углеродистой стали, в котором под действием сил гравитации и вихревого движения газа происходит разделение газовой и жидкой фазы.

Выходной сепаратор находится только под атмосферным давлением. Он не предназначен для работы при любом давлении выше атмосферного.

На сепаратор устанавливается магнитный индикатор уровня с ручными изолирующими клапанами, закрытое сливное отверстие и реле низкого уровня жидкости.

Данное реле посылает аварийный сигнал, информирующий о падении уровня рабочей жидкости, и возможных протечках, защищает вакуумный насос и механические уплотнения циркуляционного насоса от работы «в сухую». Работа механических уплотнений без охладителя и смазки, или работа циркуляционного насоса «в сухую» может привести к мгновенному повреждению и выходу их из строя.

К сепаратору подключена линия перелива, которая позволяет удалять лишнюю рабочую жидкость естественным образом и поддерживать корректный уровень воды в сепараторе.

Рабочая жидкость подается обратно в насос при помощи небольшого центробежного рециркуляционного насоса, оборудованного механическим уплотнением вала однокомпонентного типа.

Далее рабочая жидкость поступает в теплообменник из нержавеющей стали, спроектированный для отвода тепла от сжатия и тепла, образующегося при конденсации паров воды в охлаждающую воду.

После теплообменника рабочая жидкость поступает обратно в вакуумный насос по трубопроводу, оборудованному индикаторами температуры и реле потока для визуального отображения.

Все вышеописанное оборудование устанавливается на общую раму (рисунок 4), оборудованную монтажными проушинами и расположенными друг напротив друга по диагонали точками подключения заземления.

Импеллер расположен эксцентрично относительно оси корпуса насоса (это лопаточная машина, заключенная в кольцо, конструктивно позволяющая существенно снизить перетекание воздуха/жидкости на концах лопастей и тем самым способно обеспечивать максимальную тягу при минимальном диаметре вентилятора). Жидкостное кольцо концентрически вращается относительно оси корпуса. Перерабатываемые газы всасываются через впускной патрубок в ячейки импеллера, где газ сжимается и выбрасывается через выхлопное отверстие. Рабочая жидкость, формирующая жидкостное кольцо, подается под давлением, равным выпускному давлению насоса, что позволяет насосу автоматически

восполнять количество жидкости, выбрасываемой через выхлопное отверстие, отводить тепло, выделяющееся при сжатии.

Выбор применения эжекторов или водокольцевых насосов требует основательного технико-экономического обоснования для конкретной станции. Эжекторы проще по конструкции и, следовательно, дешевле, но для их работы требуются значительные затраты пара (0,5–0,8%), что снижает эффективность цикла. В свою очередь, водокольцевые насосы не нуждаются в паре, но для их работы требуется использование электроэнергии (около 85 кВт). Но, несмотря на определенные недостатки, каждое устройство свою основную функцию: поддержание вакуума в конденсаторах турбин, выполняет безукоризненно.

Литература

1. Турбины тепловых и атомных электрических станций / А.Г. Костюк [и др.]; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова – М.: Изд. МЭИ, 2001. – 488 с.
2. Водокольцевые насосы для энергетики [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intech-group.ru/>. – Дата доступа: 13.10.2018.

УДК 004(07.07)

Использование систем компьютерной алгебры при подготовке специалистов в области энергетики и управления

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

Научный руководитель – д.т.н., проф. КУЛАКОВ Г.Т.

Системы компьютерной алгебры (СКА) — это класс компьютерных программ, предназначенных для работы с математическими и другими объектами в символьном (аналитическом) виде. Данные системы обеспечивают весь процесс разработки математической модели: от поиска и просмотра необходимой литературы до аналитического и численного решения поставленной задачи с оформлением результатов в виде отчета [1]. В сфере высшего инженерного образования западных стран системы компьютерной алгебры являются важным звеном в процессе подготовки квалифицированных кадров. Такие системы пригодны для решения многих научных, учебных или исследовательских задач, где требуется математика, начиная с курсовых работ и заканчивая инженерными разработками высокого класса.

Одной из дисциплин, изучаемых студентами кафедры «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета является «Информатика и интегрированные прикладные системы». В рамках дисциплины студенты получают базовые знания программирования на языке C++, а также практические навыки решения математических задач численными методами (решение линейных и нелинейных уравнений, интерполяция, аппроксимация, оптимизация и т.д.).

Однако изучение языков программирования общего назначения при подготовке инженеров в области энергетики не всегда приводит к желаемому результату из-за громоздкости программ, требуемых для решения даже простых нетиповых задач.

Выполнение курсовых и дипломной работ при изучении дисциплин специализации требует сопоставления студентами классических, традиционных и новых методов. Достичь этого можно путем использования передовых платформ и сред программных реализаций. Особую роль в этом играют специализированные пакеты для численных расчётов, системы для моделирования, анализа и принятия решений, универсальные и узкоспециализированные пакеты графической визуализации. Постоянно растущий объем информации требует перехода к принципиально новым технологиям обучения, например, на основе технологий СКА Wolfram Mathematica.

СКА Mathematica, разрабатываемая компанией Wolfram Research, является широко применяемым интегрированным программным комплексом мультимедиа-технологии.

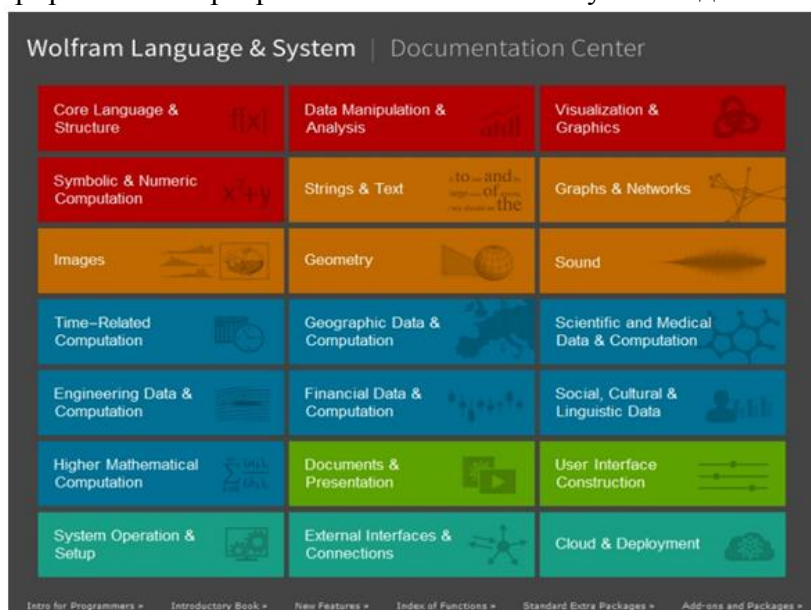


Рисунок 1 – Центр документации языка Wolfram Language

Mathematica признана фундаментальным достижением в области компьютерного проектирования [2]. Система имеет в наличии почти 5000 встроенных функций, которые можно использовать во многих областях технических расчётов (рисунок 1) – все они тщательно интегрированы для совместной работы. Полагаясь на три десятилетия наработок, система Mathematica превосходит по эффективности другие системы технических расчётов, включая задачи машинного обучения и нейронных сетей, обработки изображений, геометрии, теории анализа, автоматизированного управления и обработки данных, визуализации и многих других.

Компания Wolfram Research также активно продвигает формат вычислительных документов CDF (Computable Document Format) в качестве нового способа представления статей, публикаций, учебных пособий, результатов научных исследований, интерактивных книг и учебников [3]. Широкие возможностями печатной верстки и использование устоявшихся математических, технических и инженерных обозначений позволяют создавать документы полиграфического качества (рисунок 2). Включение интерактивных элементов дает возможность напрямую взаимодействовать с учебными пособиями. Благодаря наглядному представлению материалов повышается число каналов восприятия информации, становится возможным объяснение сложных концепций и механизмов простым языком.

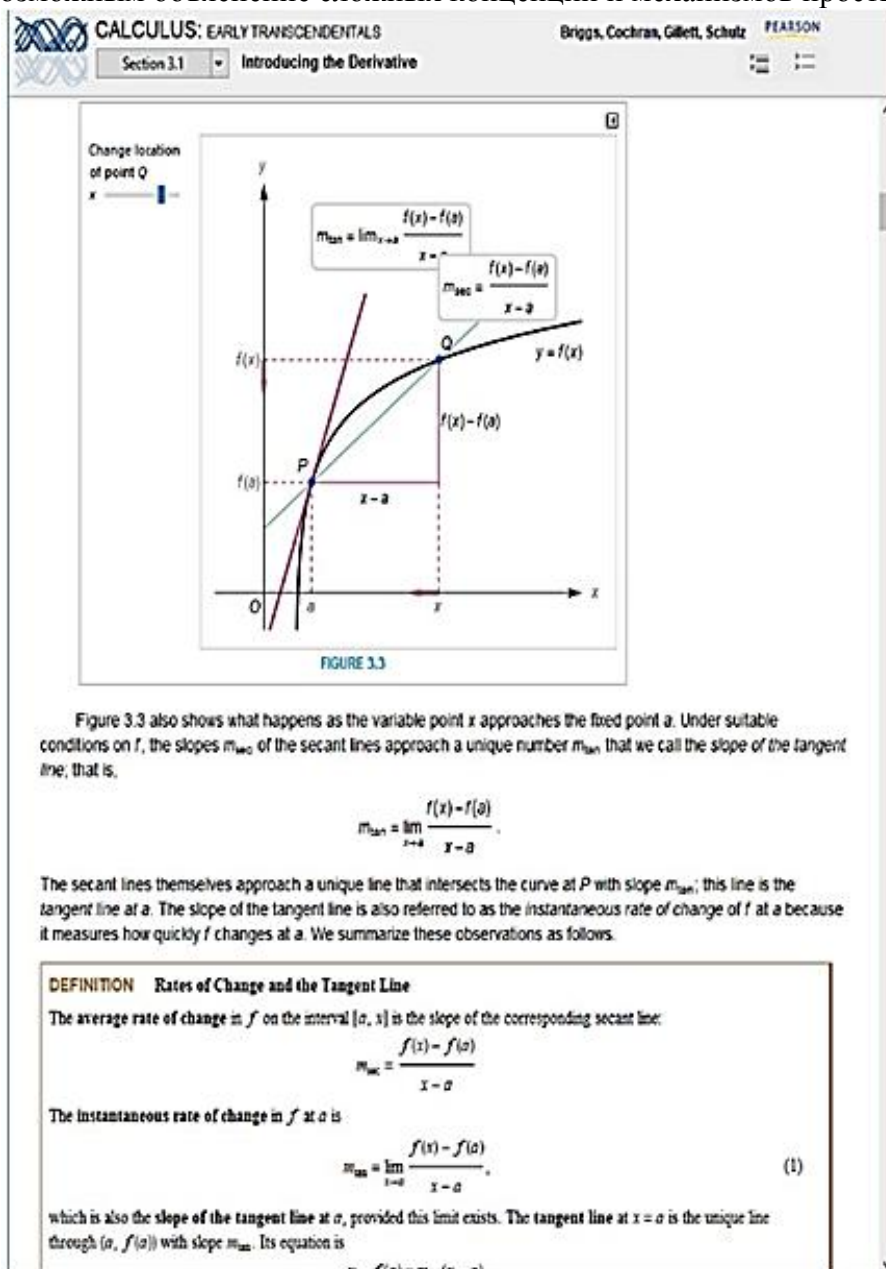


Рисунок 2 – Интерактивный учебник Calculus: Early Transcendentals

Заключение

Система компьютерной алгебры компании Wolfram Research может быть использована для повышения качества подготовки специалистов в области энергетики и управления. Большие возможности и элегантная простота использования систем компьютерной алгебры позволяют эффективно решать большой круг инженерных и практических задач.

Литература

1. Таранчук, В. Б. Основные функции систем компьютерной алгебры: пособие для студентов фак. прикладной математики и информатики / В. Б. Таранчук. – Минск: БГУ, 2013. – 59 с.
2. Голубева Л.Л., Малевич А.Э., Щеглова Н.Л. Компьютерная математика. Символьный пакет Mathematica: курс лекций. – Минск: БГУ, 2005. – 102 с.
3. Таранчук, В.Б. Возможности и средства Wolfram Mathematica для разработки интеллектуальных обучающих систем / В.Б. Таранчук // «Научные ведомости БелГУ»: 2015. № 1 (198) выпуск 33/1, раздел системный анализ и управление, Белгород. - С. 102 – 110.

УДК 621.182.12

Программное обеспечение для проектирования систем ВПУ

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

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

Подготовка инженеров-энергетиков для Белорусской АЭС требует исключительного внимания к преподаванию дисциплин, связанных с экономической, надежной и безопасной эксплуатацией основного и вспомогательного оборудования АЭС. При выполнении курсового проекта «Воднохимический комплекс АЭС-1200 с реактором ВВЭР-1200» по дисциплине «Водоподготовка и воднохимический режим АЭС» было принято решение проектировать ВПУ с использованием программного продукта ROSA. В работе представлены особенности и возможности проектирования интегрированных систем водоподготовки в данном программном продукте, позволяющем оптимально рассчитывать предочистку, дегазацию и схему обессоливания воды с применением мембранных технологий.

Описание программы

Программа ROSA разработана компанией DOW CHEMICAL для расчета обратноосмотических и нанофильтрационных установок с применением мембранных элементов FILMTEC. ROSA позволяет быстро, легко и наглядно выполнять предварительные расчеты показателей работы элементов FILMTEC на основании данных ионного состава исходной воды, предполагаемых технических параметров проектируемой системы.

Программа позволяет:

- 1) спрогнозировать ионный состав пермеата и концентрата в зависимости от выбранных технических параметров, а также основные характеристические показатели (рН, общее солесодержание, индекс насыщения Ланжелье, индекс стабильности Стиффа-Девиса) для каждого элемента выбранной модели;
- 2) рассчитать общее рабочее давление, давление каждого потока воды, давление на каждом рулонном мембранном элементе системы;
- 3) сделать вывод об эффективности работы выбранной схемы;
- 4) рассчитать энергопотребление процесса.

Описание работы в программе

Назначение ВПУ состоит в подготовке добавочной подпиточной воды второго контура АЭС. Подпитка первого контура в расчете не учитывается, так как она мала. Для подпитки используют только обессоленную воду. При использовании мембранных технологий необходимо выбрать две ступени обратного осмоса, а в качестве третьей – фильтры смешанного действия либо электродеионизационную установку. На установки обратного осмоса вода подается предварительно очищенной от грубодисперсных примесей, органики, кремниевой кислоты. Этого можно добиться установкой фильтров механической очистки с последующей ультрафильтрацией.

Для демонстрации возможностей компьютерной программы при проектировании систем ВПУ проведем расчет интегрированной системы ВПУ для двухблочной АЭС-1200 с реактором ВВЭР-1200 в приложении ROSA [1].

Проектирование системы обратного осмоса начинается с заполнения актуальной информации о проекте: *Название проекта (Project Name)*, *Комментарии (Notes)*, *Автор проекта (Analysis By)*, *Компания-разработчик (Company Name)*, *Реагент ионного баланса (Balance Analysis With)*, *Единицы измерения (Unit Set)*, *Единицы измерения температуры (Temperature Unit)*. Обычно для оценки работы обратноосмотических установок необходимо сделать несколько вариантов расчетов с разными параметрами. Создание и переключение между вариантами расчетов производится в графе *Варианты расчета (Project Cases)*. Введем актуальную информацию о проекте как показано на рисунке 1.

На следующем этапе (вкладка *Данные исходной воды (Feedwater Data)*) описываются тип, а также качественные и количественные характеристики исходной воды. Из списка *Typ*

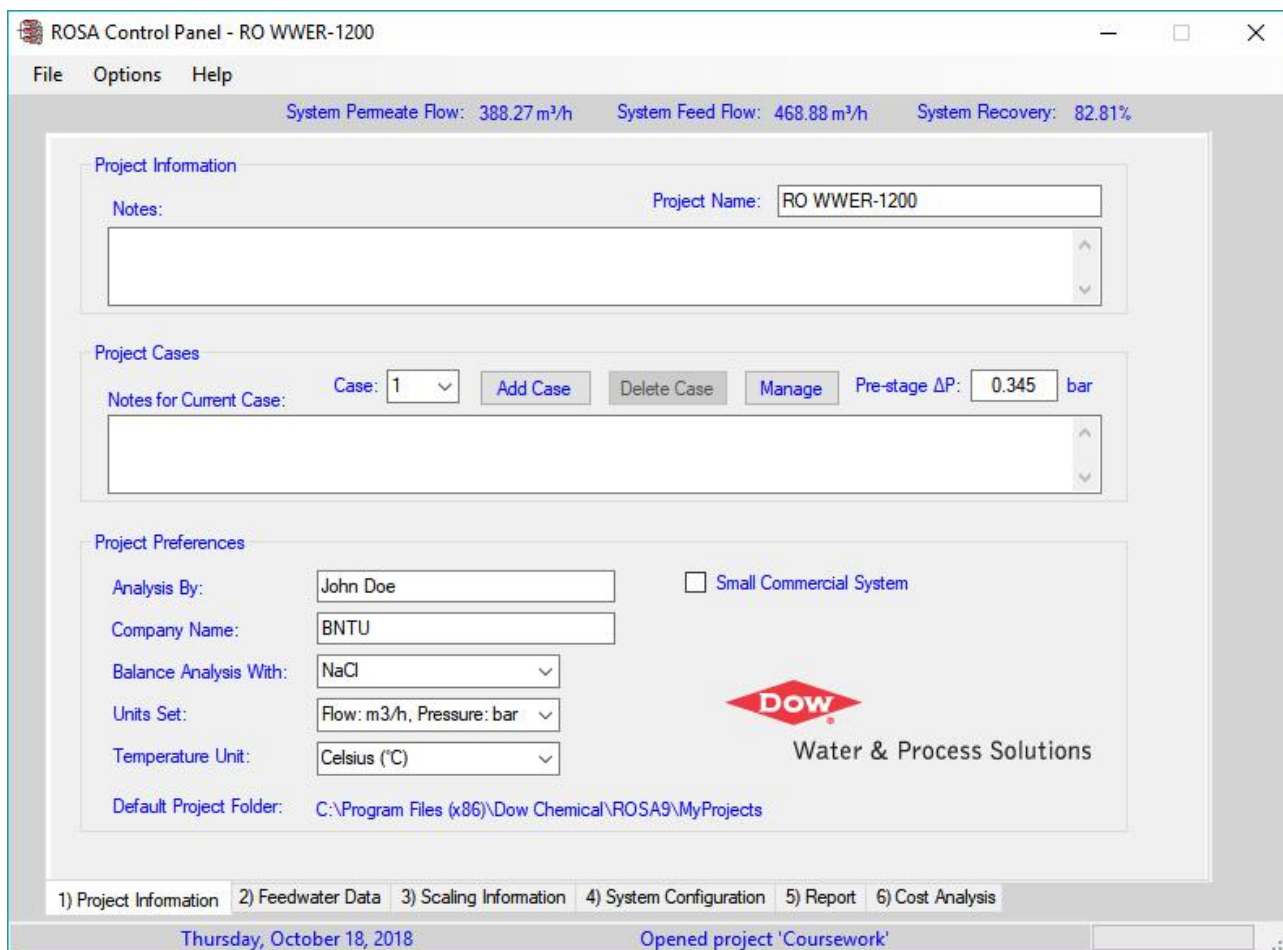


Рисунок 2 – Вкладка «Информация о проекте»

воды (*Water Type*) необходимо выбрать тип источника воды и соответствующий ему индекс плотности ила (*SDI*). Ионный состав воды можно выбрать из встроенной библиотеки (*Открыть библиотеку источников воды (Open Water Profile Library)*) или ввести его вручную, отметив пункт *Указать собственный состав (Specify Individual Solutes)*. Особое внимание следует обратить на уравнение электронейтральности (*Charge Balance*): сумма зарядов катионов (*Cations*) и анионов (*Anions*) должна быть одинаковой, ошибка определения не может превышать 1%. Система ROSA допускает возможность указать два и более источника воды (*Число источников воды (Feed Streams)*) на вход установки обратного осмоса. Для каждого такого источника (*Текущий источник (Feed Number)*) необходимо указать его долю в общем потоке (*Доля источника в потоке (Feed Percentage)*).

Необходимо также задать температуру (*Temperature*) и pH исходной воды в поле *Параметры источника воды (Feed Parameters)*. Значение *Расхода исходной воды (Flow Rate)* рассчитывается автоматически исходя из гидравлического КПД системы обратного осмоса и доли данного источника в потоке. Пример заполнения данных вкладки представлен на рисунке 2.

Далее на вкладке *Предварительное дозирование реагентов (Scaling Information)* производится выбор воздействия на исходную воду: *Без добавления реагентов (No chemicals added)*, *Пользовательское регулирование pH (user-adjusted pH)*, *Ионно-обменное умягчение (Ion-exchange softening)*.

При проектировании систем обратного осмоса необходимо учитывать вероятность обрастания мембран карбонатом кальция. Вероятность данного процесса описывается индексом Ланжелье, отрицательное значение которого исключает возможность засорения мембран. Индекс Ланжелье находится в прямой зависимости от уровня pH.

Отрегулируем коэффициент Ланжелье путем дозирования в воду концентрированного раствора серной кислоты (*Dosing Chemical*).



Рисунок 3 – Вкладка «Данные исходной воды»

Также укажем *Гидравлический КПД (Recovery)* установки обратного осмоса, который является отношением расхода пермеата к расходу исходной воды (формула 1):

$$Recovery = \frac{Q_P}{Q} \cdot 100\% = \frac{Q - Q_C}{Q} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Q – расход исходной воды, м³/ч;

Q_P – расход пермеата, м³/ч;

Q_C – расход концентрата, м³/ч.

Пример заполнения данного окна представлен на рисунке 3.

Последним этапом проектирования системы обратного осмоса является составление конфигурации ступеней установки (вкладка *Конфигурация системы (System Configuration)*) (рисунок 4).

Для начала укажем *Число ступеней (No. Passes)* установки обратного осмоса. Для получения глубоко обессоленной воды применим две ступени очистки. Настройка каждой ступени производится отдельно, переключение между ними выполняется в области *Current Pass*.

Расчет расхода воды, подаваемой на установку, происходит с учетом гидравлического КПД каждой ступени установки и требуемой производительности системы обратного осмоса. Для ввода данных параметров выполним двойное нажатие на одном из следующих полей: *Расход пермеата (Permeate Flow)*, *Гидравлический КПД ступени (Recovery)*, *Расход воды на ступень (Feed Flow)*, *Поток пермеата (Permeate Flux)*. Откроется окно *Расчета расхода (Flow Calculator)*. Отмечаем галочками (*Specify*) параметры, необходимые для расчета (рисунок 5): расход пермеата после второй ступени (требуемая производительность системы),

System Permeate Flow: 388.27 m³/h System Feed Flow: 468.88 m³/h System Recovery: 82.81%

Scaling Calculations Options

No chemicals added
 User-adjusted pH
 Ion-exchange softening

	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.6	5.86	6.68
LSI	-0.203	-2.481	-0.099
Stiff & Davis Index	0.704	-1.652	0.057
TDS (mg/l)	232.52	210.32	1.402
Ionic Strength (molal)	0.004	0.005	0.035
HCO ₃ (mg/l)	146.412	41.882	279.214
CO ₂ (mg/l)	5.121	80.509	80.509
CO ₃ (mg/l)	0.000	0.002	0.014
CaSO ₄ (% Saturation)	0.14	0.92	26.67
BaSO ₄ (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SrSO ₄ (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
CaF ₂ (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SiO ₂ (% Saturation)	9.12	7.99	58.46
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.00050	0.00000	0.00005

Ion-exchange Leakage

Ca Leakage: 0.1 (mg/L)
Mg Leakage: 0 (mg/L)

Recovery and Temperature

Recovery: 85.00 (%)
Temperature: 25.0 °C

Use original feed
 Use adjusted feed

User-adjusted pH

Dosing Chemical: H₂SO₄
pH: 5.86 GO
Concentrate LSI: -0.099 GO

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Thursday, October 18, 2018 Opened project 'Coursework'

Рисунок 4 – Вкладка «Предварительное дозирование реагентов»

гидравлический КПД первой и второй ступени. Нажатием кнопки *Пересчитать (Recalculate)* получим значение расхода подаваемой на первую ступень воды.

Концентрат с первой ступени обратного осмоса представляет собой сильно засоленные воды, не пригодные для дальнейшего использования в ВПУ. Однако для уменьшения объема сточных вод и увеличения экономичности схемы ВПУ, очищенный от ГДП, кремневки и органики концентрат можно использовать для отмывки установок ультрафильтрации. Для дальнейшего уменьшения затрат на собственные нужды можно произвести рециркуляцию концентрата со второй ступени в тракт исходной воды перед первой в двухступенчатых установках обратного осмоса. Программа ROSA позволяет произвести расчет такой системы. Для этого в области *Рециркуляция (Recirculation Loops)* при настройке второй ступени выберем *Подача концентрата второй ступени на первую (Pass 2 Conc to Pass 1 Feed)*. Установим максимальное значение подачи концентрата от второй ступени.

Важным фактором для надёжной работы теплоэнергетического оборудования является отсутствие коррозионноактивных газов (CO₂, O₂, Cl⁻, F⁻) в теплоносителе. Программа ROSA позволяет произвести расчет декарбонизации. Параметрами контроля удаления свободной углекислоты из теплоносителя являются: *Процент удаляемого CO₂ (% Carbon Removal)* или *Остаточное парциальное давление CO₂ (CO₂ Pressure (atm))*. В нашем проекте декарбонизацию будем производить после первой ступени.

На следующем этапе необходимо выбрать мембранный элемент для каждой ступени из встроенного сортамента в зависимости от требуемых характеристик системы. Рассчитав отношение производительности ступени к производительности выбранных изделий, получим необходимое число мембранных элементов. Скомпонуем по несколько элементов. Полученное разбиение внесём в поля *Pressure vessels in each stage* и *Elements in each vessel*. Данные действия необходимо выполнять для каждой ступени отдельно.

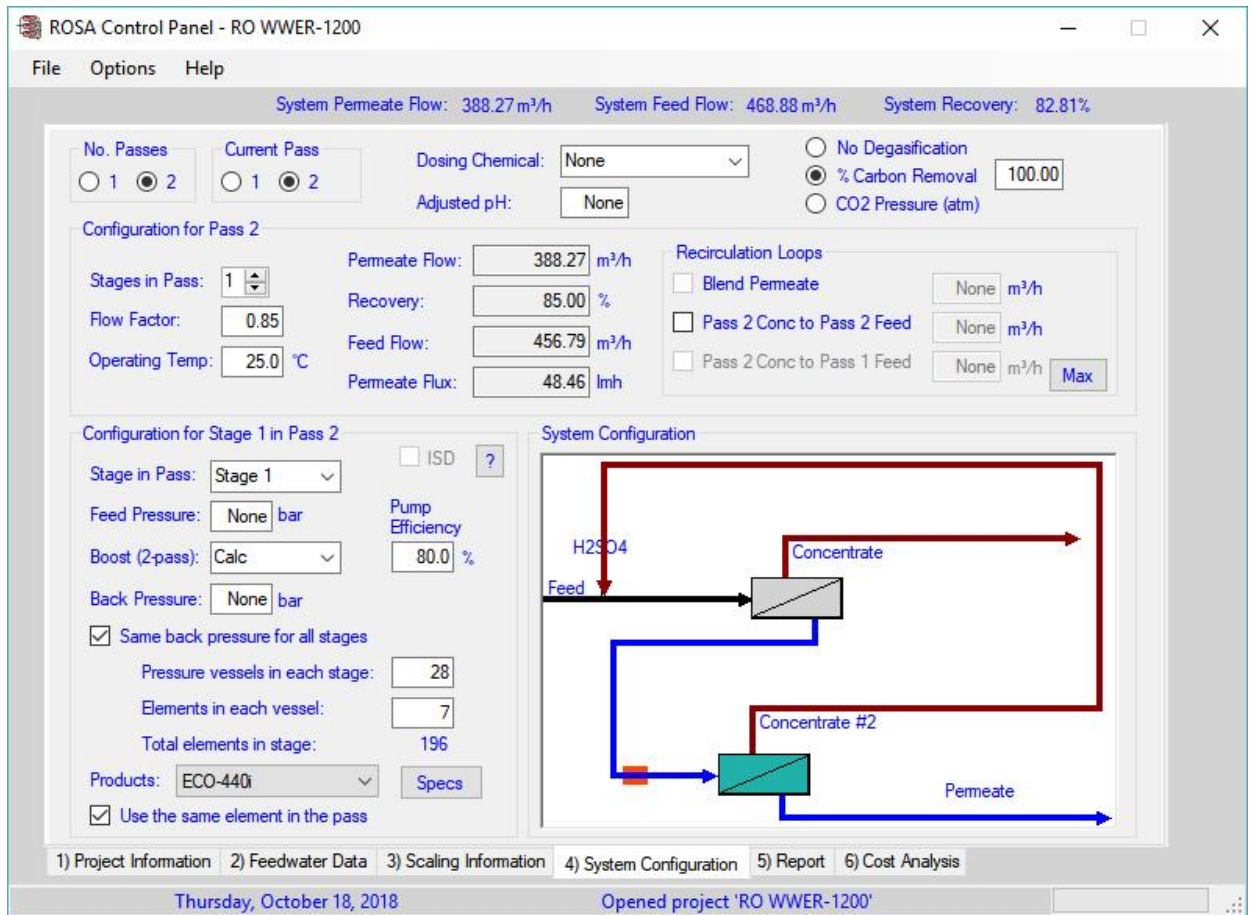


Рисунок 5 – Вкладка «Конфигурация системы»

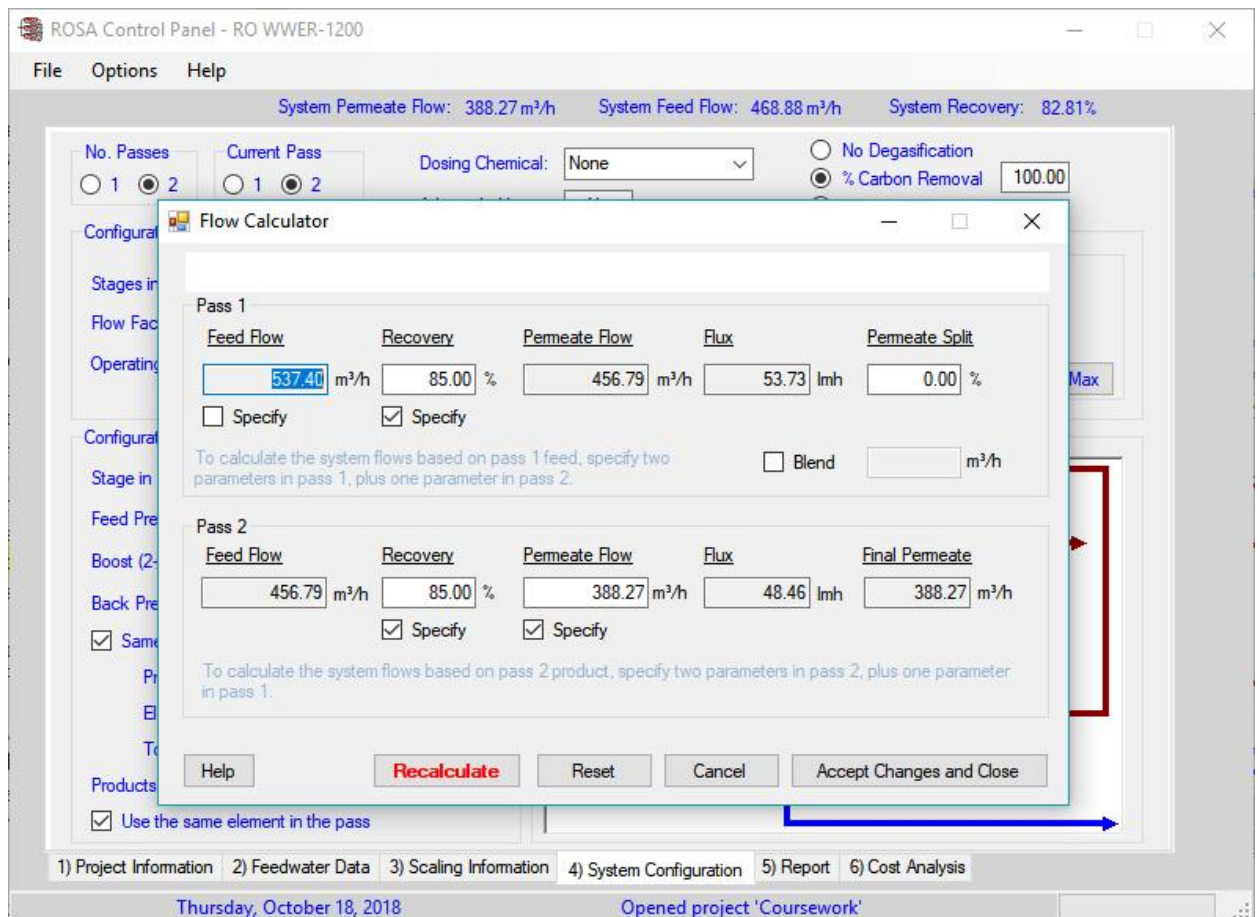


Рисунок 6 – Окно «Расчет расхода»

На заключительном этапе полный расчет системы обратного осмоса оформляется в отчет. Для этого необходимо перейти на вкладку *Report* (рисунок 6). Данный отчет содержит:

- 1) Блок-схему спроектированной установки;
- 2) Качественные и количественные данные о ионном составе воды после каждой ступени очистки;
- 3) Расходы воды в каждом трубопроводе системы;
- 4) Вводимые реагенты и их количество;
- 5) Другие характеристики.

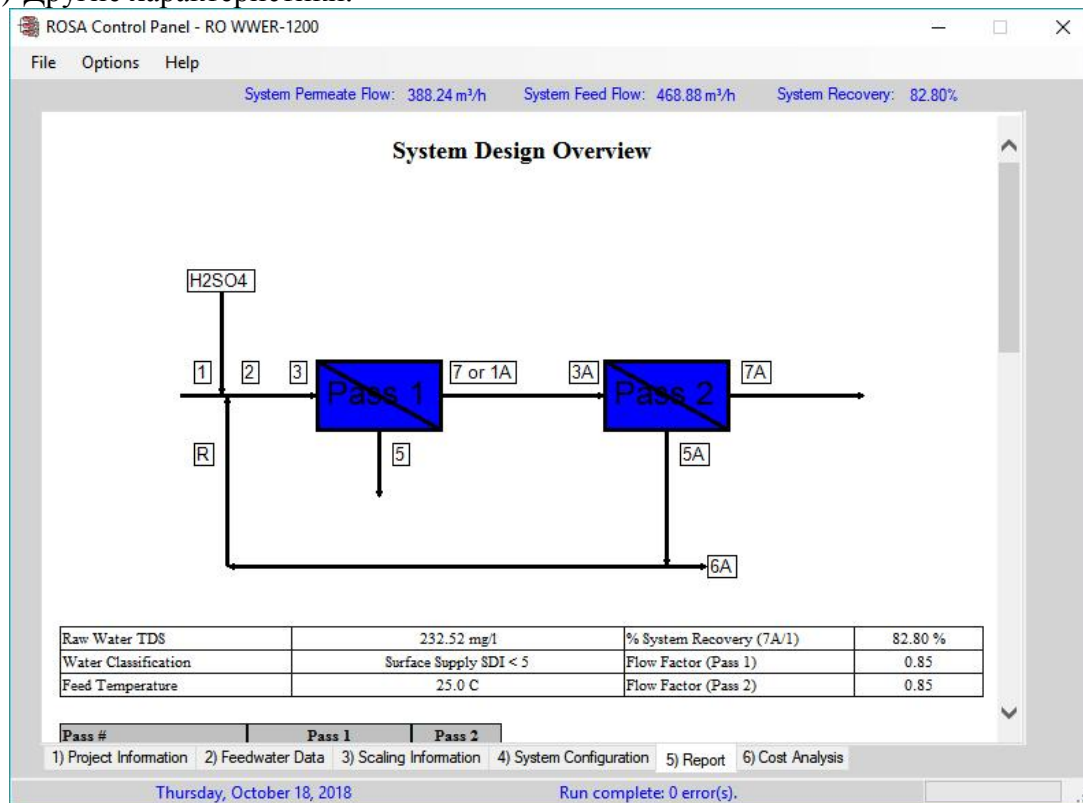


Рисунок 7 – Вкладка «Отчёт»

Пример произведенного расчета доказывает эффективность использования программного обеспечения для автоматизированного проектирования систем водоподготовки. ROSA позволяет произвести расчет интегрированной системы водоподготовки на основе мембранных технологий. Возможность анализа нескольких вариантов конфигурации ВПУ дает возможность в кратчайшие сроки выбрать оптимальную схему обессоливания воды без необходимости выполнения повторных расчетов. Полученная при расчете система позволяет добиться исключительного качества воды, полностью очищенной от катионов и анионов различных солей, растворенных коррозионно-агрессивных газов. Установка систем ЭДИ или ФСД в качестве финального этапа обессоливания в спроектированной ВПУ позволяет гарантировать безопасную эксплуатацию АЭС.

Интуитивный интерфейс, наглядность представления полученных результатов, возможность учета различных факторов при проектировании системы, таких как дозирование дополнительных реагентов, декарбонизация, расчет мощности насосных агрегатов, анализ стоимости и многое другое делает такие программы незаменимыми при расчете и проектировании установок водоподготовки не только в энергетике, но и муниципальном водоснабжении, других отраслях промышленности.

Литература

1. Копылов А.С. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программные расчеты: учеб. пособие для вузов / А.С. Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 222 с.: ил.

УДК 621.165

Расчет эффективности и экономического эффекта от использования сотовых уплотнений на 28-30 ступенях турбины ПТ-60-130/13

Сидорук Ю.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

В паровых турбинах используются четыре вида уплотнений: концевые, промежуточные, диафрагменные и уплотнения рабочей решетки. Концевые уплотнения служат для уплотнения концов валов, выходящих из цилиндров. Промежуточные уплотнения отделяют друг от друга отсеки проточной части с разными направлениями потоков пара в противоточных цилиндрах. Диафрагменные уплотнения препятствуют протечке пара между диафрагмой и валом. Уплотнение рабочей решетки обычно включает надбандажное уплотнение, иногда называемое периферийным, осевое уплотнение и некоторые другие. По конструктивному исполнению уплотнения могут быть лабиринтовыми, сотовыми, графитно-угольные и гидравлические

Применение сотовых уплотнительных сегментов (СУС) (рис. 1) является одним из эффективных методов совершенствования аэродинамики проточных частей паровых турбин, в результате чего обеспечивается повышение экономичности за счет снижения протечки рабочего тела в периферийном зазоре над рабочими лопатками и надежности работы за счет исключения повреждения профильной части рабочих лопаток в случае задевания их вершин о сотовые сегменты.

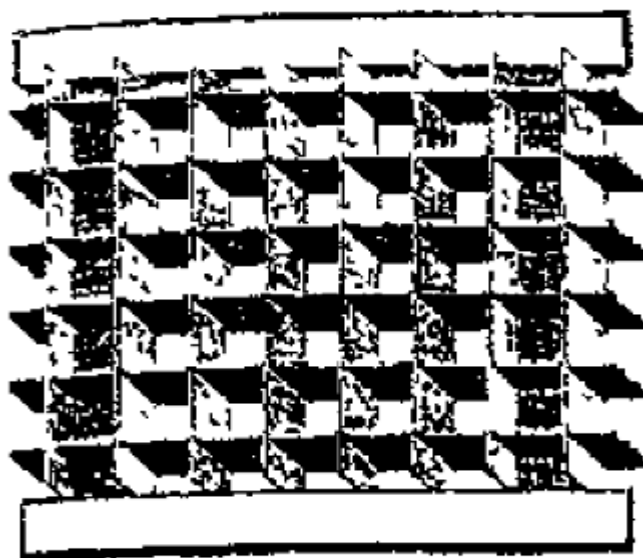


Рисунок 1 – Сотовый уплотнительный сегмент

Основным преимуществом конструкции, предложенной российскими учеными, является меньшая жесткость как по сравнению с традиционно применяемыми конструкциями уплотнений, так и по сравнению с альтернативными вариантами исполнения сотовых уплотнительных сегментов.

Уплотнительные сегменты собраны из уплотнительных пластин толщиной 0,2-0,3 мм. и скрепляющей рамки. Рамка одновременно служит для направления сотового уплотнительного сегмента в пазу козырька.

Габариты сотовых уплотнительных сегментов и их количество определяются наружным диаметром ступени. При этом в сегменте отсутствует кривизна пластин и ребер, а отклонение от цилиндричности (стрелка между хордой и дугой) составляет примерно 0,2 мм, что значительно меньше допустимого отклонения величины радиального зазора.

Готовые сотовые уплотнительные сегменты вставляются в паз уплотнительного кольца-козырька над рабочими лопатками (рис. 2). Кольцо-козырёк изготавливается из двух и более

секторов и прикрепляется к диафрагме или обойме. В районе разъема СУС фиксируются с помощью стопорных пластин.

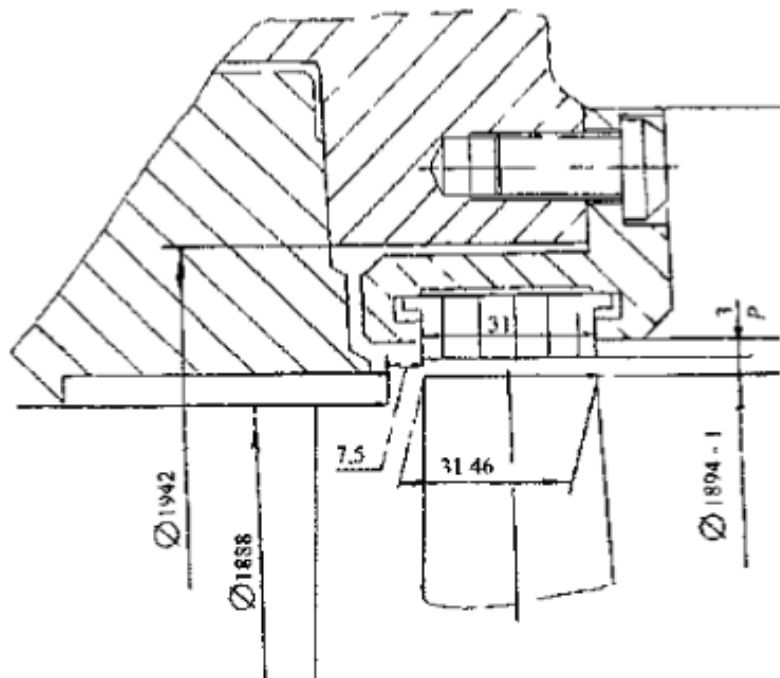


Рисунок 2 – Пример установки сотовых уплотнений над необандажной лопаткой

Наличие сквозных ячеек позволяет использовать сотовые уплотнительные сегменты для интенсификации влагоудаления последних ступеней. Следствием этого будет уменьшение эрозионного износа рабочих лопаток.

Жесткость предлагаемого сотового уплотнительного сегмента во много раз ниже, чем жесткость торца профильной части рабочей лопатки, поэтому в случае задевания рабочих лопаток об СУС повреждения вершин рабочих лопаток исключаются. По этой причине радиальный зазор над торцами рабочих лопаток может быть существенно уменьшен (например, с 3 до 2 мм) в зависимости от геометрии ступени: длины лопатки, периферийного диаметра, цилиндрического или конического обвода.

Эффективность сотовых уплотнений определялась путем сравнительных расчетов величин протечек (потери мощности) через периферийный зазор ступеней для заводских уплотнений и для случая с применением сотовых уплотнений.

Величина протечки через зазор определяется по формуле:

$$G_z = \frac{\mu_z F_z C_{10} \sqrt{\rho_n + \varphi_p^2 (1 - \rho_n) \sin^2 \alpha_{lp}}}{V_{2p}},$$

где G_z - расход через радиальный зазор, кг/сек;

μ_z - коэффициент расхода через зазор;

F_z - площадь радиального зазора, м²;

C_{10} - скорость, соответствующая адиабатному перепаду, срабатываемому периферийным сечением рабочей лопатки;

ρ_n - степень реактивности периферийного сечения рабочей лопатки;

φ_p - коэффициент расхода периферийного сечения направляющей лопатки;

α_{lp} - угол выхода потока из периферийного сечения направляющего аппарата, градус;

V_{2p} - удельный объем пара в периферийном сечении за рабочими лопатками;

Изменение КПД ступени из-за протечки в периферийном сечении рабочей лопатки определяется по формуле:

$$\Delta \eta_n = \frac{\alpha \mu_z R_z D_n \sqrt{\rho_n + \varphi_p^2 \sin^2 \alpha_{lp} (1 - \rho_n)} V_1}{\varphi_{\text{геом}} \varphi_c l_c D_{c.c.} \sin \alpha_{lcp} \sqrt{1 - \rho_{cp}} V_2} \eta_n,$$

α - корректирующий коэффициент, который учитывает взаимодействие основного потока с потоком, протекающим через зазор;

μ_z - коэффициент расхода через радиальный зазор;

R_z - радиальный зазор, мм;

V_1 - удельный объем пара в периферийном сечении за направляющими лопатками, м³/кг;

$\varphi_{\text{геом}}$ - коэффициент, учитывающий соотношение проходных сечений сотовых уплотнений и рабочих лопаток; l_c - высота сопловых лопаток, мм;

$D_{с.с.}$ - средний диаметр сопловых лопаток, мм;

$\eta_{и}$ - окружной КПД ступени.

Изменение мощности ступени из-за протечек в периферийном зазоре определяется по формуле:

$$\Delta N_z = N_{и} \Delta \eta_{и},$$

где $N_{и}$ - окружная мощность ступени, кВт.

Расчет протечек через периферийный зазор над необандажными рабочими лопатками с сотовыми уплотнениями производим из расчета, что сотовое уплотнение рассматривается как лабиринтовое с числом камер, равным числу ячеек сотовой структуры в направлении вдоль оси турбины. Расчет расхода пара через такое уплотнение и соответствующее ему снижение мощности найдем по формуле:

$$G = \pi A_0 b_t E R_z D_p \sqrt{\frac{P_0^2 - P^2}{Z P_0 V_0}},$$

где A_0 - коэффициент расхода через уплотнения;

b_t - коэффициент, учитывающий влияние толщины уплотнения;

E - поправочный коэффициент на число дросселей в уплотнении;

R_z - радиальный зазор, мм;

D_p - диаметр уплотнения, мм;

P, P_0 - статические давления перед и за уплотнением соответственно, кгс/см²

Z - число камер.

Коэффициент расхода через уплотнение определяется по формуле:

$$A_0 = \left(1 - \frac{R_z}{h}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{R_z}{h}\right) \sin(\theta/2)^{-1}},$$

где h - высота сотового уплотнения, мм;

θ - угол наклона СУС (принят равным 90°).

В таблице 1 представлены результаты расчета потерь среды и связанных с этим потерь мощности в 28-30 ступенях турбины ПТ-60-130/13. Из таблицы видно, что применение СУС в 28-30 ступенях позволяет уменьшить потери мощности на 224 кВт, что составляет около 0,35-0,37% мощности турбоагрегата.

Таблица 1 – Результаты расчета потерь через периферийный зазор 28-30 ступеней турбины ПТ-60-130/13

Параметр	Обозначение	Размерность	Исходный расчетный размер				Сотовое уплотнение			
			28	29	30	Суммарные потери, кВт	28	29	30	Суммарные потери, кВт
Расход пара через ступень	$G_{рас}$	кг/сек	38,2	35,4	35,4	-	38,2	35,4	35,4	-
Длина рабочих лопаток	l_p	мм	313	432	665	-	313	432	665	-
Длина направляющих лопаток	l_c	мм	308	391	625	-	308	391	625	-
Средний диаметр $\frac{D_{с.р.}}{D_{с.с.}}$ $\frac{раб.лоп.}{напр.лоп.}$		мм	$\frac{1488}{1487}$	$\frac{1688}{1648}$	$\frac{2000}{1970}$	-	$\frac{1488}{1487}$	$\frac{1688}{1648}$	$\frac{2000}{1970}$	-
Коэффициент расхода через зазор	μ_z	-	0,995	0,995	0,995	-	0,995	0,995	0,995	-
Радиальный зазор	R_z	мм	3,0	3,0	4,0	-	2,0	2,0	3,0	-
Окружной КПД ступени	$\eta_{и}$	-	0,829	0,844	0,828	-	0,829	0,844	0,828	-
Полный перепад на ступень	H_{oi}	Дж/кг	117,7	152,6	142,3	-	117,7	152,6	142,32	-
Окружная мощность ступени	$N_{и}$	кВт	3620	4250	3820	-	3620	4250	3820	-
Степень реактивности на периферии	$\rho_{п}$	-	0,327	0,404	0,628	-	0,327	0,404	0,628	-
Расход среды через радиальный зазор необандажной ступени	G_z	кг/сек	1,99	1,13	0,857	-	0,296	0,228	0,113	-
Потери от утечки через радиальный зазор	$\Delta\eta_{и}$	%	2,92	2,57	1,7	-	0,64	0,544	0,265	-
Снижение мощности ступени из-за утечки среды через зазор	ΔN_z	кВт	105,9	109,3	65,03	280,352	23,33	23,16	10,15	56,64

Экономический эффект от применения сотовых уплотнений состоит из:

- повышение эффективности работы ступеней за счет уменьшения протечек рабочего тела;

- организации оптимальной системы влагоудаления.

Годовой экономический эффект может быть рассчитан по формуле:

$$\mathcal{E} = \tau \Delta N_z C_t,$$

где τ - расчетное число часов работы турбины в год, час;

ΔN_z - повышение мощности модернизируемых ступеней;

C_t - отпускная цена одного кВтч электроэнергии, руб;

$$\mathcal{E} = 4500 \cdot 224 \cdot 0,1188 = 119750,4 \text{ руб.}$$

Литература

1. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода.; под общей редакцией проф., д.т.н. Ю.М. Бродова и к.т.н. В.В. Кортенко; 2-е изд., переработанное и дополненное. Екатеринбург: «Априо», 2010. 488 с.
2. Повышение эффективности эксплуатации паротурбинных установок ТЭС и АЭС. Том 1. Совершенствование паровых турбин / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др. Под ред. Л.А. Хаменка – СПб.: Изд. ПЭИпк, 2001 г. – 340 с.: ил.
3. РТМ 108.020.033-86. Уплотнения лабиринтовые стационарных паровых и газовых турбин и компрессоров.

УДК 621.438 + 621.311

Сервисное обслуживание энергетических газотурбинных установок

Сидорук Ю.С., Трахимович И.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Парогазовые технологии обеспечивают высокую экономичность производства электроэнергии и поэтому получили широкое распространение в мировой энергетике. В Республики Беларусь массовое внедрение газотурбинных установок (ГТУ) началось сравнительно недавно – в последнее десятилетие, в то время как в странах Европы, в США и Японии развитие газотурбинных технологий шло параллельно с паротурбинными, и на сегодняшний день в этих странах опыт эксплуатации и сервисного обслуживания ГТУ составляет около полувека [1].

После ввода ГТУ в эксплуатацию перед владельцем оборудования в короткие сроки встает вопрос его сервисного обслуживания. Для такого высокотехнологичного оборудования, как современные ГТУ, компании-производители предъявляют очень жесткие требования по соблюдению обязательного регламентного обслуживания, чтобы гарантировать его надежную работу [1 - 3].

На сегодняшний день в энергосистеме Беларуси эксплуатируются энергетические ГТУ различных производителей: GE, Alstom, Mitsubishi, Siemens, возможно появление других. Это ГТУ различных поколений и классов; с различиями в конструкциях камер сгорания, горелок, систем защиты ротора и статора турбин от перегрева.

При этом срок между чередующимися инспекциями ГТУ в среднем составляет 8000-12000 эквивалентных часов эксплуатации (ЭЧН), то есть при нормальной эксплуатации один раз в год-полтора для любой модели ГТУ должна проводиться инспекция (рисунок 1).



Рисунок 1 – Средний ремонт ГТУ Оршанской ТЭЦ (инспекция горячего тракта)

По периодичности и объемам работ инспекции (ремонт) делятся на следующие виды [1 - 3].

А-Инспекция - инспекция частей камеры сгорания.

Оценка общего состояния частей камеры сгорания, тракта горячих газов, входа компрессора и лопаток компрессора без разборки турбины с применением специальной техоснастки – бороскопа. В связи с этим инспекция А в инструкциях называется бороскопическая. В ходе этой инспекции определяется фактический объем работ для последующей В или С инспекции; производятся минимальные рекалибровки и регулировки при необходимости; составляется отчет о состоянии двигателя, включающий рекомендации по дальнейшей эксплуатации и обслуживанию. При бороскопической инспекции нет необходимости в разборке блока (возможно только вскрытие части камеры сгорания). Визуальный доступ к лопаточному аппарату осуществляется через лючки для бороскопа в корпусе, а для лопаток впускного направляющего аппарата и последних ступеней турбины доступ осуществляется обычно через лазы в корпусе воздухозаборника и выхлопного диффузора соответственно.

В-инспекция - инспекция тракта горячих газов и камеры сгорания - для разных моделей ГТУ включает разный объем. Для одних моделей она может включать такой же тип проверок (с использованием бороскопа) как и А-инспекция, но в большем объеме. Для других моделей, согласно регламенту, может быть запланирована замена некоторых частей горячего тракта и камеры сгорания. В любом случае объем работ и необходимость замены частей уточняется при проведении инспекции.

С-инспекция - главная инспекция - включает полную разборку и ревизию ГТУ, включая компрессор. Это проверки всех внутренних вращающихся и неподвижных компонентов, а также защитного и контрольного оборудования ГТУ.

Основные узлы после разборки проходят визуальный контроль и, при необходимости, контроль неразрушающими методами. Проводятся запланированные работы по замене и восстановлению частей (часть из которых определяется в процессе проведения визуальных инспекций типа А и В, часть по регламенту). Время простоя при проведении инспекции С может оказаться больше планового.

Для примера на рисунке 2 приведена периодичность обслуживания ГТУ Siemens SGT-600 Минской ТЭЦ-2 [3], а на рисунке 3 - осмотр бороскопом горелочной камеры ГТУ Alstom GT13E2 Минской ТЭЦ-3 [1, 2].

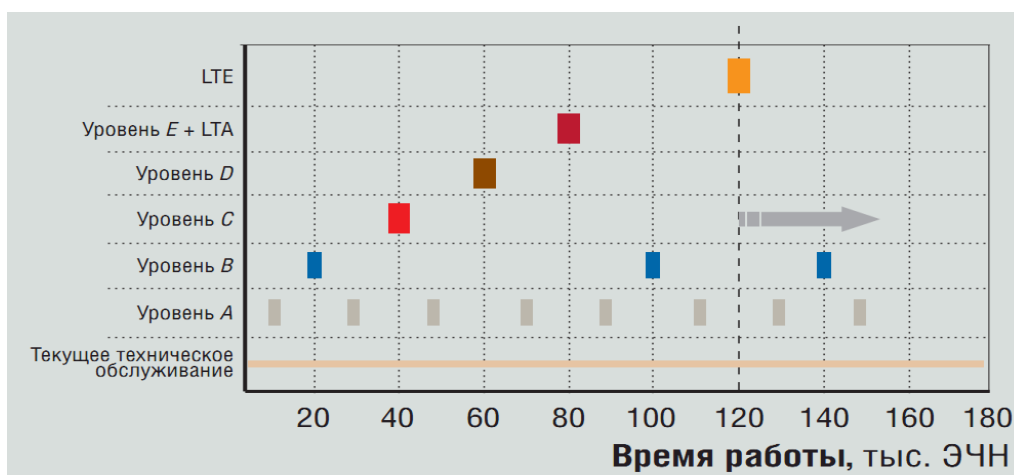


Рисунок 2 – Периодичность обслуживания ГТУ Siemens SGT-600 МТЭЦ-2



Рисунок 3 – Осмотр бороскопом горелочной камеры ГТУ Alstom GT13E2 МТЭЦ-3

Отметим, что для ГТУ жесткость требований производителей к соблюдению регламентного обслуживания обусловлена тем, что точный ресурс безаварийной работы самых ответственных узлов (таких как части камер сгорания, лопаточный аппарат турбин ГТУ, части термобарьерных элементов и покрытий) на сегодняшний день не поддается расчету, поскольку все математические модели, используемые при конструировании данных узлов ГТУ имеют очень большое количество допусков.

Поэтому, например, если производитель требует замену лопатки 1-й ступени через 40000 часов, значит лопатка должна быть заменена даже при отсутствии критических дефектов, поскольку развитие в ней имеющихся повреждений и поведение материала при дальнейшей эксплуатации не поддается моделированию и может быть разрешено только на страх и риск владельца ГТУ.

На всех без исключения ГТУ эксплуатируемых в Республике Беларусь, в разной степени отсутствует достаточный объем технологической документации и специальной оснастки, необходимой для того, чтобы полностью, не обращаясь к заводам-изготовителям, выполнить весь типовой объем работ инспекций ГТУ [1]. Особенно это характерно для ГТУ Siemens, поскольку данная компания-производитель более других стремится монополизировать рынок сервисного обслуживания своего оборудования.

В интересах владельцев ГТУ не быть настолько сильно зависимыми от заводов-изготовителей. В связи с чем рекомендуется на правах покупателей требовать от поставщиков ГТУ обеспечения всем необходимым комплектом документации и специальной оснастки, чтобы в ходе ремонтных работ иметь возможность выбирать тех, кто будет помогать выполнять эти работы, а при желании - выполнять их самостоятельно, как при ремонте паровых турбин. На сегодняшний день у большинства владельцев ГТУ этот выбор существенно ограничен.

Полный комплект ремонтной документации на ГТУ должен, кроме прочего, включать:

- подробное описание технологической последовательности и требований к выполнению необходимых работ при выполнении плановых инспекций, предусмотренных регламентом завода-изготовителя, с указанием инструментов и приспособлений, необходимых для конкретных этапов ремонтных работ и измерений (технологический процесс, технологические инструкции);

- критерии оценки ресурса всех узлов и деталей ГТУ, а также их состояния и пригодности к эксплуатации (критерии дефектовки, технические условия);

- поузловые и сборочные чертежи узлов и частей ГТУ, а также сложных сборных приспособлений для ремонта;

- полный комплект формуляров измерений, которые должны производиться при плановых регламентных инспекциях ГТУ (А, В, С и др.) с описанием всех технических требований завода-изготовителя к измеряемым параметрам;

- перечни необходимых инструментов, приспособлений, расходных материалов, необходимых для выполнения работ по плановому сервисному обслуживанию, которые должны быть подробными и содержать информацию, позволяющую однозначно идентифицировать указанные в перечнях позиции (рыночное наименование, краткие технические характеристики, компанию-изготовитель инструмента или материала);

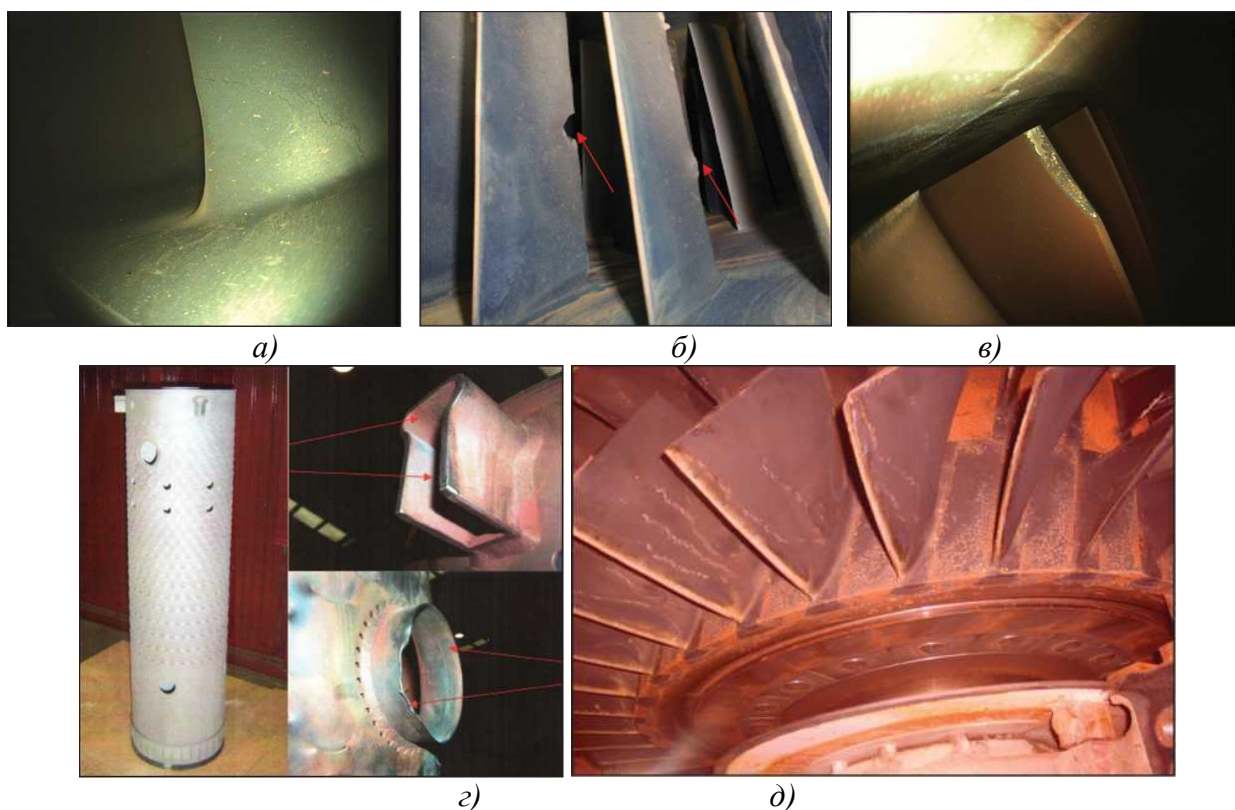
- перечни узлов и деталей, которые должны быть планово заменены при сервисном обслуживании, а также перечни запасных частей, рекомендуемых к постоянному наличию при эксплуатации.

Основные причины возникновения дефектов в элементах ГТУ следующие:

- высокотемпературная коррозия,
- разрушения из-за вибрации,
- термические деформации,
- механический и эрозионный износ.

Характер повреждений, вызываемых указанными причинами, в большинстве случаев позволяет обнаружить их только методами неразрушающего контроля, а устранить - сваркой.

Рассмотрим некоторые характерные повреждения узлов ГТУ [1, 2].



(а), повреждения выходной кромки лопатки компрессора (б), эрозионный износ входной кромки лопаток 1-й ступени турбины (в), износ и деформации «жаровых» труб (г), загрязнение и эрозия лопаток 1-ой ступени компрессора (д)

Рисунок 4 – Повреждения ГТУ: трещина в направляющем аппарате турбины

Трещина в направляющем аппарате турбины (рисунок 4,а) – растрескивание, вызванное термическими циклами «нагрев-остывание». Размер трещины на рисунке превышает допустимые пределы, и данный сегмент должен быть заменен в ближайшее время, независимо от сроков плановой инспекции. Дефект может быть устранен выборкой трещины, последующей сваркой, механической и термической обработкой и нанесением термобарьерного покрытия на заключительном этапе. В последующем отремонтированный сегмент может быть использован для замены аналогичного поврежденного.

Повреждения выходной кромки лопатки компрессора (рисунок 4,б) часто встречается на рабочих лопатках первых ступеней компрессоров ГТУ. Причиной появления подобных

«забоин» является попадание в проточную часть посторонних предметов. Повреждения не превышают допустимые пределы и могут быть устранены при ближайшей плановой инспекции ручной механической обработкой.

Повреждение лопаток 1-й ступени турбины (рисунок 4,в). Состояние рабочих лопаток на снимке характерно для большинства рабочих лопаток 1-х ступеней тракта горячих газов ГТУ, отработавших до очередной С-инспекции, и подлежащих замене. Данное состояние соответствует нормальному износу и вызвано совокупным воздействием указанных выше причин.

Повреждения жаровых труб (рисунок 4,з). Показанные повреждения (оплавление, деформация) патрубков жаровых труб в зоне соединения с трубками перекрестного розжига свидетельствуют о превышении допустимых температур дымовых газов в данной зоне. Причины могут быть различные, но при обнаружении подобных дефектов, они должны быть установлены и устранены в ближайшее время.

Загрязнение и эрозия лопаток 1-й ступени компрессора (рисунок 4,д). Состояние рабочих лопаток на снимке характерно для большинства рабочих лопаток 1-х ступеней компрессоров ГТУ отработавших до очередной С,Д-инспекции. Показанные загрязнения оцениваются как значительные, удаляются при проведении инспекции вручную неабразивным материалом. Подобный уровень загрязнения свидетельствует о неудовлетворительной работе систем комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ).

В заключение отметим, что в настоящее время энергосистема Беларуси несет существенные валютные затраты на сервисное обслуживание ГТУ с использованием услуг зарубежных компаний. Так стоимость услуг специалистов заводов-изготовителей и крупных зарубежных сервисных компаний составляет в среднем 1500-2000 долл. США за день работы. Помимо оплаты услуг ремонтно-технических специалистов затраты на ремонтное обслуживание газотурбинного оборудования включают затрат на приобретение запасных частей и расходных материалов. При этом для обеспечения надежной работы высокотехнологичного оборудования, которым является ГТУ, и гарантированного соответствия всех ее характеристик заявленным заводом-изготовителем при поставке, требуется приобретать только оригинальные запасные части у заводов-изготовителей данного оборудования, а стоимость запасных частей составляет порядка 80-90% от стоимости всех затрат на ремонтно-эксплуатационное обслуживание.

Литература

1. Лабкович Д.В. Опыт сервисного обслуживания энергетических газотурбинных установок в Республике Беларусь // Новости теплоснабжения. - №04 (164) – 2014 // http://www.ntsru.ru/04_2014.html
2. DMEnergy. Сервисное обслуживание ГТУ // <https://dm.energy/ru/servis-gtu#inspection>
3. Сервисная поддержка промышленных газовых турбин Siemens / Герд Уве Шмидель, А.В. Гушин, В.Е. Торжков // Турбины и дизели. – 2007. - № 6 (ноябрь–декабрь). – С. 38 – 42.

УДК 621.165

Комплексный подход к нормализации тепловых расширений турбины

Трахимович И.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Проблемы, связанные с затрудненными перемещениями корпусов подшипников, периодически возникают почти на всех типах многоцилиндровых паровых турбин. В последние 5-10 лет из-за сложившейся в энергетике ситуации, приведшей к частым пускам, остановам и работе на переменных режимах турбин большой единичной мощности, случаи затрудненных перемещений корпусов подшипников участились. Нарушения процесса теплового расширения многоцилиндровых турбин, проявляющиеся в скачкообразном перемещении корпусов подшипников, повышенных, против нормативных, кручениях поперечных ригелей фундаментов (наклонах корпусов подшипников), невозвращении цилиндров в исходное положение после полного остывания турбины, повышенном нагреве колодок упорного подшипника, вызывают увеличение вибрации, износ радиальных и осевых уплотнений цилиндров, поломку соединительных болтов муфт, повреждения подшипников.

Нарушения нормального процесса тепловых расширений приводят к увеличению времени пуска турбины, дополнительным неплановым пускам и остановам, ограничению мощности агрегата, и, как следствие, - к лишним затратам топлива.

В качестве основных причин нарушения нормальной работы систем тепловых перемещений указывают:

- 1) большие силы трения между подошвой корпуса подшипника и фундаментной рамой;
- 2) заклинивание шпоночного соединения “корпус подшипника - продольная шпонка”.

Для нормализации работы систем тепловых расширений различных типов турбин многими организациями предлагался ряд конструктивных и эксплуатационных мер, обобщением которых стал комплекс мероприятий. Опыт работ по нормализации тепловых расширений показал, что выполнение единичных мероприятий не всегда приносит требуемые результаты. С другой стороны, выполнение всего объема рекомендованных мероприятий, гарантирующее устранение причин нарушений, является весьма трудоемкой и дорогостоящей работой.

Для надежного и долговременного исключения причин затрудненных тепловых перемещений корпусов подшипников необходимо:

- обеспечить стабильные характеристики поверхностей скольжения корпусов подшипников с приемлемым коэффициентом трения;
- исключить защемления в поперечных шпоночных соединениях;
- минимизировать усилия, действующие на цилиндры и корпуса подшипников турбины со стороны присоединенных трубопроводов.

Разработаны и внедряются новые материалы и покрытия для снижения и стабилизации сил трения на поверхностях скольжения корпусов подшипников. Среди них, в качестве наиболее перспективных, можно назвать: съемные пластины из композиционных материалов, в которых применяется бронза; различные эпиламирующие составы, наносимые на поверхности скольжения корпусов подшипников. Хорошо зарекомендовало себя и получило широкое распространение использование для снижения сил трения на поверхности скольжения корпусов подшипников металлофторопластового покрытия. Не оправдало себя применение спецпасты ВТИ - ЛМЗ, изготавливаемой из дисульфида молибдена.

Установка металлофторопластового антифрикционного покрытия на скользящей поверхности корпусов подшипников паровых турбин обеспечивает повышение надежности эксплуатации турбины в переходных режимах. Это достигается путем закрепления на скользящей поверхности фундаментной рамы металлофторопластовой ленты, имеющей коэффициент трения 0,1...0,12.

Малая толщина ленты (0,65 мм) позволяет устанавливать ее без дополнительной механообработки поверхностей скольжения. Лента крепится к фундаментной раме.

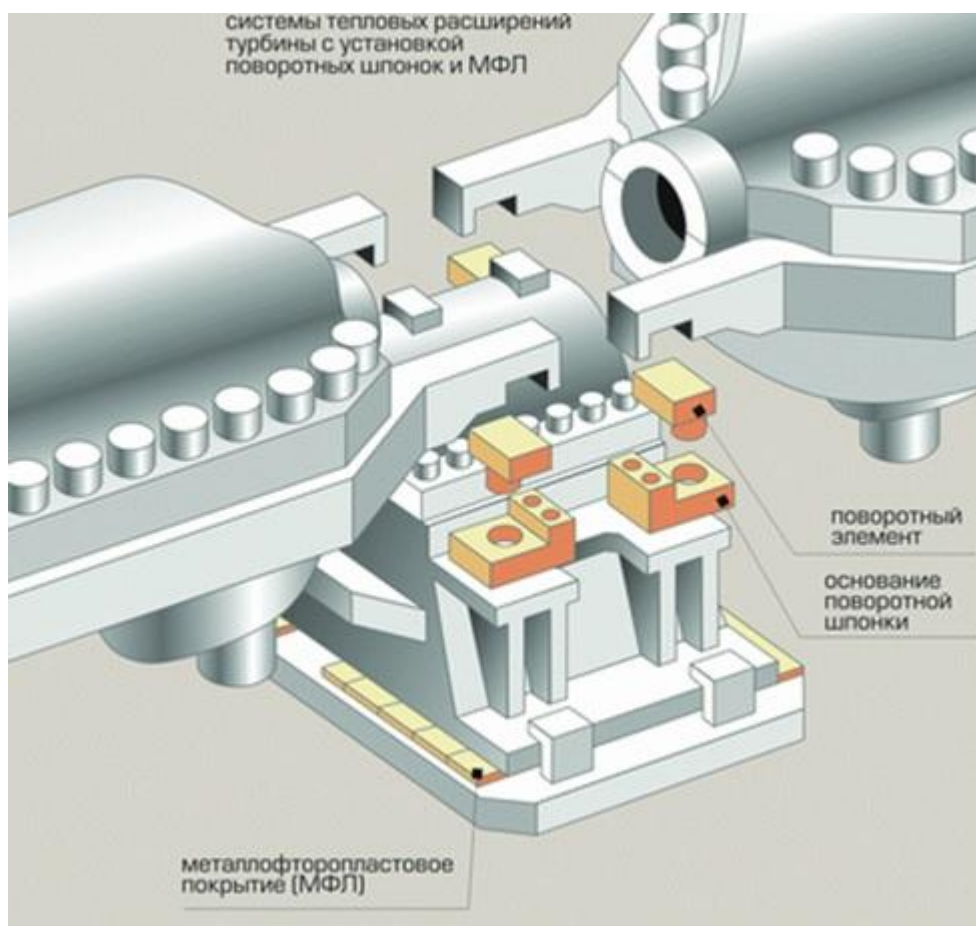
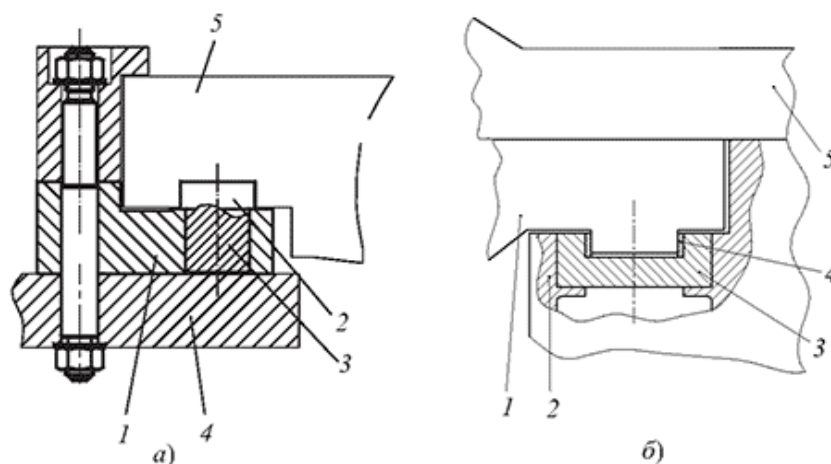


Рисунок 1 – Металлофторопластовое покрытие

Наиболее эффективным способом исключения защемлений в поперечных шпоночных соединениях является замена штатных поперечных шпонок на поворотные поперечные шпонки. Принципиальные схемы поворотных шпонок для различных типов устройств сочленения цилиндров и корпусов подшипников, которые были разработаны российской организацией ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» широко устанавливаются на турбинах различных типов, показаны на рис. 2. Опыт эксплуатации модернизированных турбин (более 20) показал высокую надежность поворотных шпонок. Конструкция поворотной поперечной шпонки допускает свободные угловые перемещения в горизонтальной плоскости лап цилиндров и опорных «крыльев» корпуса подшипников относительно друг друга, сохраняя при этом способность передавать осевые усилия от лап цилиндра на корпус подшипника. При температурных деформациях цилиндров и корпусов подшипников лапа цилиндра вместе с поворотным элементом имеет возможность поворачиваться в горизонтальной плоскости относительно корпуса подшипника, компенсируя изменение положения лапы в горизонтальной плоскости. Для снижения сил трения на контактные поверхности поворотных шпонок могут наноситься твердосмазочные покрытия ВТИ (возможно использование съемных пластин конструкции ВТИ). ВТИ также рекомендована схема определения «осевой податливости» модернизированных узлов сочленения цилиндров и корпусов подшипников.



а - для турбин ЛМЗ и ТМЗ: 1 - основание; 2 - поворотный зуб; 3 - шип; 4 - корпус подшипника; 5 - лапа цилиндра; б - для турбин НПО “Турбоатом”: 1 - лапа с выступом; 2 - корпус подшипника; 3 - диск с пазом; 4 - регулировочные пластины; 5 - опорная лапа
Рисунок 2 – Поворотные поперечные шпонки конструкции российской организации ОАО “Теплоэнергосервис-ЭК”

Поворотные поперечные шпонки, обеспечивая свободные угловые перемещения, обеспечивают и нестесненные поперечные перемещения лап относительно корпусов подшипников.

Анализ результатов исследований, выполненных на турбинах различных типов, показывает, что для турбин, имеющих штатную систему сочленения цилиндров и корпусов подшипников, увеличенная разница поперечных перемещений лап относительно корпуса подшипника может свидетельствовать как о наличии защемлений на одной из лап, так и об увеличении зазоров на поперечных шпонках до значений, обеспечивающих нестесненные перемещения лап относительно корпуса подшипников. Таким образом, диагностировать защемление лап на поперечных шпонках по разнице поперечных перемещений лап нельзя. Защемление лапы на поперечной шпонке наиболее надежно можно определить при непрерывном отслеживании перемещений лап относительно корпусов подшипников. Признаком защемления является отсутствие перемещений одной из лап. Тем не менее, для турбин, оборудованных неподвижными поперечными шпонками, при увеличении разницы поперечных перемещений лап относительно корпуса подшипников, необходимо проводить ремонт или модернизацию поперечных шпоночных соединений. Разница поперечных перемещений лап для турбин, оборудованных поворотными поперечными шпонками, обеспечивающими свободные нестесненные поперечные перемещения лап относительно корпусов подшипников, обусловлена особенностями цилиндра (равномерностью нанесения изоляции, разной толщиной стенок и др.). Соответственно и принятый в настоящее время критерий оценки состояния системы тепловых расширений по разности поперечных перемещений лап относительно корпусов подшипников для турбин, оборудованных поворотными шпонками, неинформативен.

Проведение работ по нормализации тепловых расширений и вибрационного состояния турбоагрегатов показало, что для выявления действительных причин затрудненных перемещений корпусов подшипников и изменения вибрационного состояния необходимо ориентировочно за год до капитального ремонта проводить предремонтные комплексные обследования турбоагрегата. В объем предремонтного комплексного обследования должны входить:

- исследование вибрационного состояния опор турбины на различных режимах ее работы;
- исследование работы системы тепловых расширений турбины;

- обследование системы компенсации тепловых расширений присоединенных трубопроводов.

Совокупность полученных данных позволяет оценить состояние системы тепловых расширений турбины, заблаговременно выявить причины затрудненных перемещений и определить необходимый и достаточный объем ремонтных работ.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- Подход к вопросам исследования и нормализации тепловых расширений турбин должен быть комплексным и включать в себя анализ причин изменения сил трения, появления закусываний в шпоночных соединениях и действия трубопроводов.

- Применение поворотных поперечных шпонок позволяет не только исключить закусывания и пластические деформации в поперечном шпоночном соединении, но и сохранить неизменным влияние присоединенных трубопроводов на работу системы тепловых расширений турбины в течение всего срока эксплуатации.

- Оптимизацию усилий и моментов, действующих на турбину со стороны присоединенных трубопроводов регенеративных и теплофикационных отборов, в большинстве случаев можно выполнить с проведением минимального объема работ без разрезки трубопроводов.

- Для определения необходимого и достаточного объема ремонтных работ по нормализации тепловых расширений необходимо за год до ремонта выполнить комплексное обследование технического состояния турбоустановки.

Литература

1. Исследование системы тепловых расширений турбин “Теплоэнергосервис-ЭК” ХТЗ Рефтинской ГРЭС / Ермолаев В. В., Сосновский А. Ю., Евсеев Я. И., Шкляр А. И. и др. - В сб.: Совершенствование турбин и турбинного оборудования. Екатеринбург: УГТУ -УПИ, 1998.
2. РД 34.30.506-90. Методические указания по нормализации тепловых расширений цилиндров паровых турбин тепловых электростанций. М.: ВТИ, 1991.
3. Трухний А. Д. Стационарные паровые турбины. М.: Энерго-атомиздат, 1990.

УДК 621.3

Модернизация турбины семейства ПТ-60

Харченко К.Г.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Турбина типа ПТ-60-130/13 начала вводиться в эксплуатацию в 1970-х гг. На данный момент, в связи с выработкой паркового ресурса турбины, принято решение о модернизации (реконструкции) турбины с заменой цилиндра высокого давления (ЦВД), увеличение проточной части среднего давления и др. В связи с этим, турбина получила новое обозначение - ПТ-70-12,8/1,2.

Турбина паровая ПТ-70-12,8/1,28 представляет собой результат рекон-струкции турбины ПТ-60-130. После реконструкции получается турбина па-ровая с двумя регулируемыи отборами пара и одним нерегулируемым отбо-ром пара, предназначенная для привода генератора переменного тока и от-пуска тепла и пара для нужд потребителей. Генератор смонтирован на общем фундаменте с турбиной. Номинальная частота вращения ротора турбины 50 с-1 (3000 об/мин). Направление вращения – по часовой стрелке, если смотреть со стороны турбины на генератор.

Турбина имеет один регулируемый отопительный отбор пара с номи-нальным давлением 0,12 МПа (1,2 кгс/см²) и два производственных отбора: нерегулируемый с номинальным давлением 2,9 МПа (30 кгс/см²) и регули-руе-мый с номинальным давлением 1,28 МПа (13 кгс/см²). Диапазон регули-рования давления теплофикационного отбора от 0,07 до 0,245 МПа (от 0,7 до 2,5 кгс/см²). Диапазон регулирования давления производственного отбора от 1,0 до 1,57 МПа (от 10 до 16 кгс/см²). Максимальная величина теплофикаци-онного отбора при номинальном давлении составляет 190 т/ч. Максимальная величина производственного отбора составляет 250 т/ч при давлении в каме-ре отбора 1,28 МПа (13 кгс/см²). Регулирование давления производственного отбора осуществляется клапанами, расположенными на передней части ци-линдра низкого давления. Максимальная величина нерегулируемого произ-водственного отбора при номинальном давлении 2,9 МПа (30 кгс/см²) со-ставляет 100 т/ч.

Рассмотрим конкретнее, в чем заключается модернизация турбины.

1. ЦВД: Модернизацией ЦВД предусматривается замена всех элементов ЦВД на новые, включая ротор и статор.

Новый ЦВД имеет одновенечную регулирующую ступень и 16 ступеней давления и устанавливается с противотоком по отношению к цилиндру низкого давления. Облопачивание ЦВД выполнено левого вращения. Новый ЦВД устанавливается на существующий фундамент с разворотом на 180 градусов.

2. Средняя часть ЦВД: Реконструкция паровпуска части среднего давления, модернизация облопачивания части среднего давления с целью увеличения проходной площади ступеней и модернизация поворотной диафрагмы регулирующей ступени части низкого давления с целью увеличения её плотности

3. Часть низкого давления ЦВД: Исходная проточная часть имеет 4 ступени. Длина последней ступени – 665 мм, торцевая площадь 4,18 м². Первая ступень этого отсека снабжена двухъярусной регулирующей ступенью с поворотным кольцом. Эта ступень обеспечивает поддержание постоянного давления в теплофикационном отбо-ре на различных режимах работы турбины. Диапазон регулирования давле-ния от 0,7 до 2,5 ата.

После реконструкции предполагается сохранить их конструкцию. По-воротная диафрагма регулирующей ступени модернизируется по известной технологии и обеспечит после модернизации высокую плотность. Величина протечки через полностью закрытую диафрагму зависит от перепада давле-ния на нее и составит от 10,6 до 2,8 т/ч в диапазоне давлений от 2,5 до 0,7 ата. При расчетном давлении 1,2 ата величина протечки не превысит 5 т/ч.

4. Также предусматриваться модернизация конденсационной части ПТУ: установка подогревателей сетевой воды в конденсатор с целью минимизации потерь теплоты с

уходящими газами. Для предохранения выхлопа турбины от перегрева на малорасходных режимах также необходимо оборудовать выхлоп системой охлаждения.

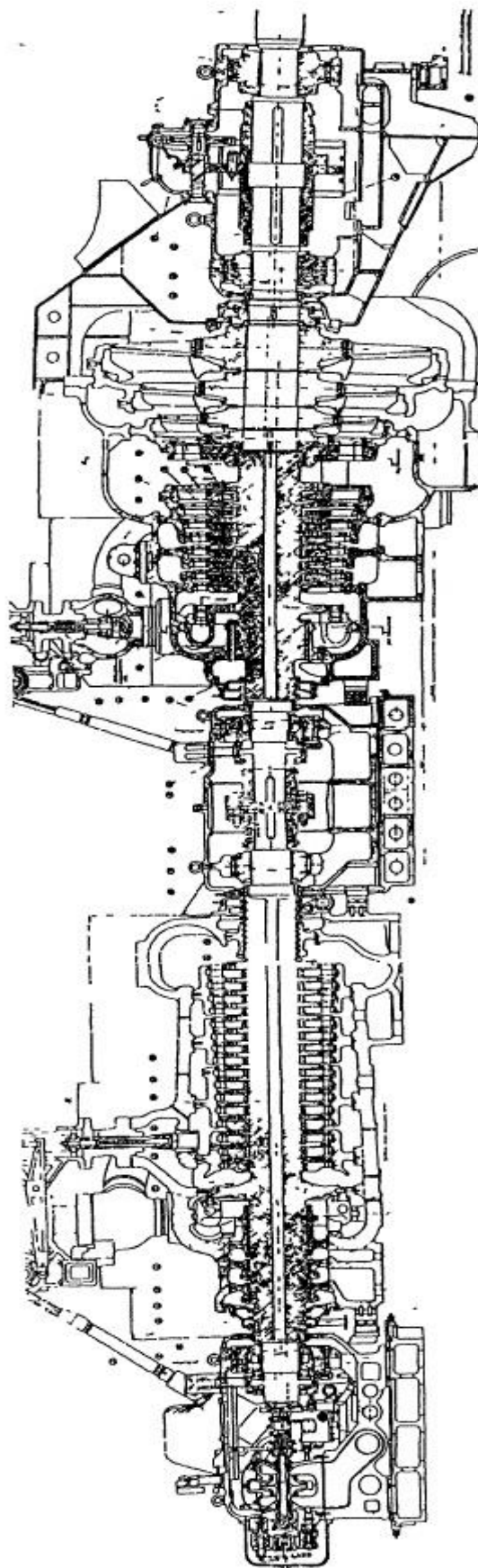


Рисунок 1 – Турбина ПТ 60-130/13

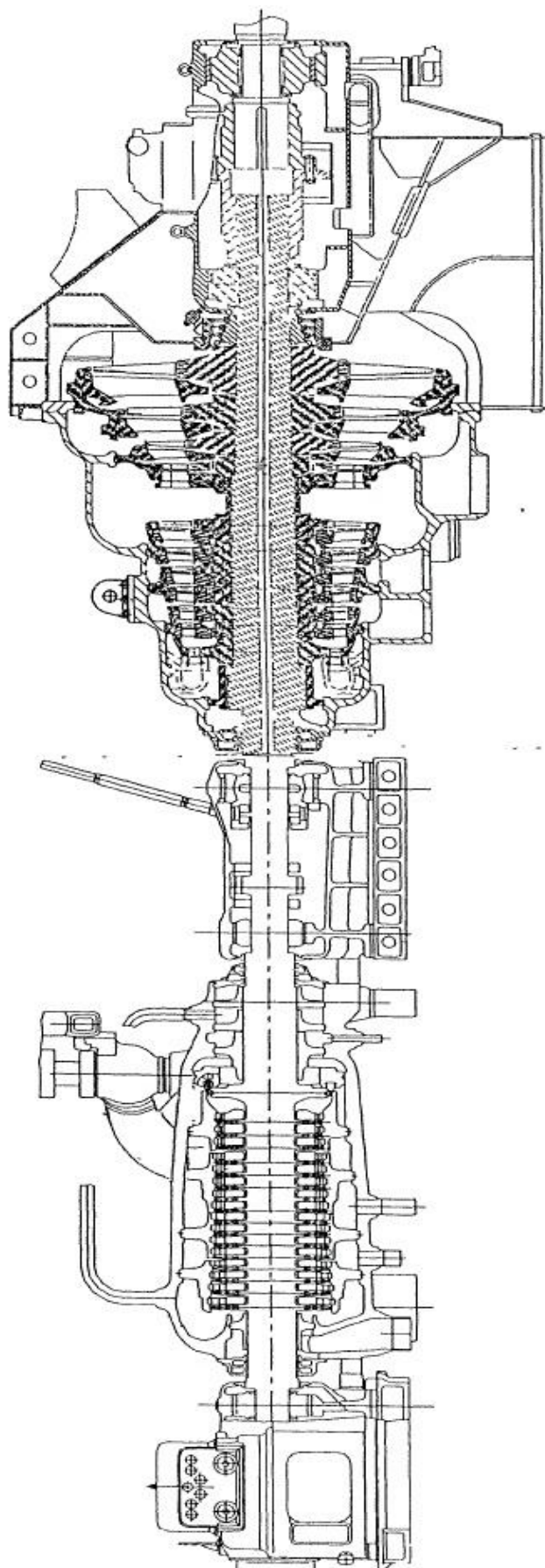


Рисунок 2 – Турбина ПТ 70-12,8/1,28

Таблица 1 – Технические характеристики турбины ПТ-70-12,8/1,28

Технические характеристики	Величина
Мощность номинальная, МВт:	
- Режимов с отборами пара	70
- Конденсационного режима	62
Частота вращения ротора, c^{-1}	50
Начальные параметры пара:	
- давление, МПа абс	12,8
- температура, $^{\circ}C$	550
Максимальный расход свежего пара, т/ч:	
- для режимов с отборами пара	430
- конденсационного режима	270
Максимальная величина нерегулируемого отбора пара с номинальным давлением 2,9 МПа, т/ч	100
Максимальная величина регулируемого производственного отбора пара с номинальным давлением 1,3 МПа, т/ч	250
Диапазон регулирования давления производственного отбора, МПа	1,00...1,57
Максимальный отбор пара на теплофикацию, т/ч	190
Диапазон регулирования давления теплофикационного отбора, МПа	0,07...0,245
Число отборов пара на регенерацию	6
Номинальная температура питательной воды, $^{\circ}C$	233
Температура охлаждающей воды:	
- номинальная, $^{\circ}C$	12
- максимальная, $^{\circ}C$	33
Давление пара в конденсаторе, КПа абс:	
- номинальное	3
- максимальное	12
Расход охлаждающей воды через конденсатор, м ³ /ч	8000
Площадь поверхности охлаждения конденсатора, м ²	3000
Конструктивная схема турбины	1 ЦВД+1 ЦНД
Длина рабочей части рабочей лопатки последней ступени ЦНД, мм	665

УДК 621.165

Сравнительный анализ турбогенераторов с турбинами К-1200-6,8/50 и «Arabelle» для АЭС-2006

Цыганкова С.Д.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

«XXI век – век знания, наукоемких производств, высоких технологий и стремительных инноваций...»

Мурзабеков Ш.М.

На сегодняшний день одними из самых актуальных проблем мировой энергетики остаются энергосбережение и повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в условиях возрастающего энергопотребления, грядущего истощения мировых запасов нефти и газа и, как следствие, обострения конкуренции на рынке ископаемых энергоресурсов. В этих условиях страны, зависимые от нефтегазового импорта, столкнутся с проблемой обеспечения своей энергобезопасности.

Одним из самых перспективных вариантов решения данной проблемы является развитие атомной энергетики – одной из самых молодых и динамично развивающихся отраслей глобальной экономики. Именно мирному атому отведена роль скомпенсировать нехватку топливно-энергетических ресурсов.

31 января 2008 года было подписано постановление Совета Безопасности № 1 «О развитии атомной энергетики в Республике Беларусь», в котором было принято решение о строительстве собственной АЭС на территории нашей страны. В 2009 г. для строительства БелАЭС был выбран проект реактора Санкт-Петербургского «Атомэнергопроекта» АЭС-2006 с реактором типа ВВЭР-1200 [1]. Необходимо отметить, что по данному проекту планировалось также сооружение Балтийской АЭС, строительство которой в 2013 г. было приостановлено [2].

Согласно [3] БелАЭС представляет собой два энергоблока мощностью 1200 МВт каждый и предназначена для выработки электроэнергии как в базовом (базисном) режиме, так и в режиме суточного регулирования. Тепловая схема преобразования и передачи энергии от реактора к турбогенератору двухконтурная. Тепло, получаемое за счёт реакции деления ядерного топлива в активной зоне реактора, передаётся теплоносителю первого контура. Теплоноситель первого контура по четырём циркуляционным петлям ГЦТ поступает в парогенераторы. Пар, произведённый в парогенераторах, поступает на турбину.

В техническом проекте БелАЭС в здании турбины к установке была принята турбина К-1200-6,8/50, предназначенная для непосредственного привода генератора переменного тока типа ТЗВ-1200-2АУХЛЗ.

Стоит отметить, что первоначальный вариант проекта Балтийской АЭС, которая, как уже отмечалось выше, являлась аналогом БелАЭС, также предусматривал установку в здании турбины К-1200-6,8/50 производства филиала ОАО «Силовые Машины» «ЛМЗ» и генератора переменного тока типа ТЗВ-1200-2АУХЛЗ производства филиала ОАО «Силовые Машины» «Электросила». Однако в 2012 г. концерном «Росэнергоатом» по результатам конкурса на поставку турбинного оборудования для строящейся АЭС было принято решение о внесении корректировок в проект Балтийской АЭС: замене турбины К-1200-6,8/50, генератора переменного тока типа ТЗВ-1200-2АУХЛЗ и соответствующего вспомогательного оборудования на турбину «Arabelle», генератор «Gigator» и соответствующее вспомогательное оборудование машинного зала [4].

В связи с этим возникает вопрос: что сподвигло Заказчика строительства – концерн «Росэнергоатом» – внести такие значительные корректировки в проект Балтийской АЭС в условиях, когда часть строительных работ уже выполнена? Отвечая на этот вопрос, произведём сравнительный анализ турбогенераторов для АЭС-2006 с реакторами типа ВВЭР-1200.

Согласно [3] быстроходная турбина К-1200-6,8/50 производства филиала ОАО «Силовые Машины» «ЛМЗ» представляет собой паровую, конденсационную, одновальную турбину с промежуточной сепарацией и двухступенчатым перегревом пара, с рабочей частотой вращения 3000 об/мин, длиной последней лопатки ЦНД 1200 мм, которые изготавливаются из титанового сплава ВТ-6. Парораспределение турбины – дроссельное. Турбина устанавливается в закрытом машинном зале и рассчитана на работу в базовой части графика нагрузок, а также на участие в нормальном и аварийном регулировании мощности энергосистемы (с возможностью покрытия переменной части графиков нагрузок). Данная турбина предназначена для работы на насыщенном паре со следующими параметрами: давление пара перед турбиной 6,8 МПа, температура 283,8 °С.

На рис.1 представлен продольный разрез турбины К-1200-6,8/50.

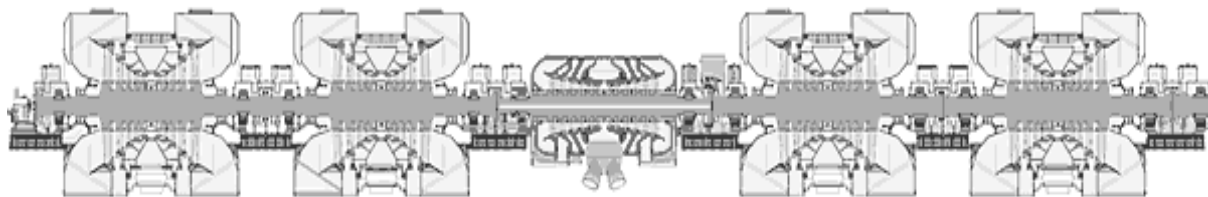


Рисунок 1 – Продольный разрез турбины К-1200-6,8/50

По своему конструктивному исполнению турбина К-1200-6,8/50 напоминает «бабочку», по соотношению числа цилиндров высокого и низкого давления: 2ЦНД+ЦВД+2ЦНД. Симметрия турбины относительно ЦВД позволяет обеспечить равномерное нагружение опор, снижение усилий, приходящихся на патрубки турбины, упрощает компенсацию тепловых расширений паропроводов; позволяет выполнить симметричную обвязку трубопроводами сепараторов-пароперегревателей, обеспечивающую надежную эксплуатацию этих аппаратов. ЦВД имеет 6 ступеней давления в каждом потоке. Из камер отбора за 2, 3 и 5 ступенями каждого из потоков ЦВД предусмотрены отборы пара на регенеративный подогрев питательной воды в ПВД6, ПВД5 и деаэраторе. Из выхлопа ЦВД пар отбирается на ПНД4. Проточная часть ЦНД состоит из 5 ступеней.

На рис.2 представлена принципиальная технологическая схема энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1200 и турбиной К-1200-6,8/50.

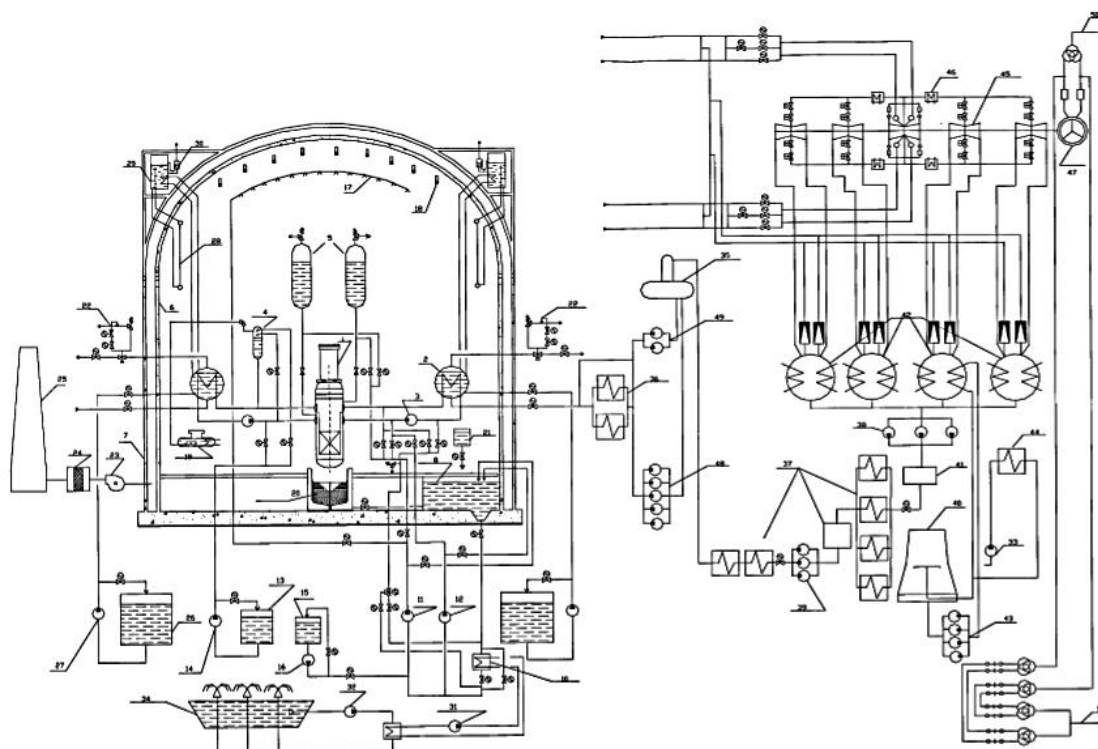


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема энергоблока

На рисунке обозначено: 1 – реактор, 2 – парогенератор, 3 – ГЦН, 4 – компенсатор давления, 5 – ёмкости САОЗ, 6 – защитная оболочка, 7 – наружная защитная оболочка, 8 – бак-приёмник, 10 – теплообменники САОЗ, 11 – насос аварийного впрыска низкого давления, 12 – насос аварийного впрыска высокого давления, 13 – бак запаса борированной воды высокой концентрации, 14 – насос аварийного ввода бора, 15 – бак подачи химреагентов, 16 – насос подачи химреагентов, 17 – спринклерный коллектор, 18 – пассивные рекомбинаторы водорода, 19 – барботёр, 20 – устройство локализации расплава, 21 – бак аварийного запаса щёлочи, 22 – главный паровой арматурный блок, 23 – вентустановка аварийного создания разряжения в кольцевом зазоре, 24 – фильтр, 25 – вентиляционная труба, 26 – бак запаса обессоленной воды, 27 – аварийный питательный насос, 28 – конденсатор СПОТ ГО, 29 – бак СПОТ, 30 – гидрозатвор, 31 – насос промконтура, 32 – насос технической воды ответственных потребителей, 33 – насос технической воды неответственных потребителей, 34 – брызгальный бассейн, 35 – деаэратор 2-го контура, 36 – ПВД, 37 – ПНД, 38 – КЭН 1-й ступени, 39 – КЭН 2-й ступени, 40 – градирня, 41 – БОУ, 42 – конденсаторы, 43 – циркуляционные насосы, 44 – потребители машинного зала, 45 – ЦНД, 46 – ПП, 47 – турбогенератор, 48 – питательные электронасосы, 49 – вспомогательные питательные электронасосы, 50 – энергосистема.

Исходя из рис.2, запишем схему системы регенерации, которая представлена семью ступенями: 4ПНД1 + ПНД2 + ПНД3 + ПНД4 + Д + 2ПВД5 + 2ПВД6.

На рис.3 представлена принципиальная тепловая схема турбины К-1200-6,8/50.

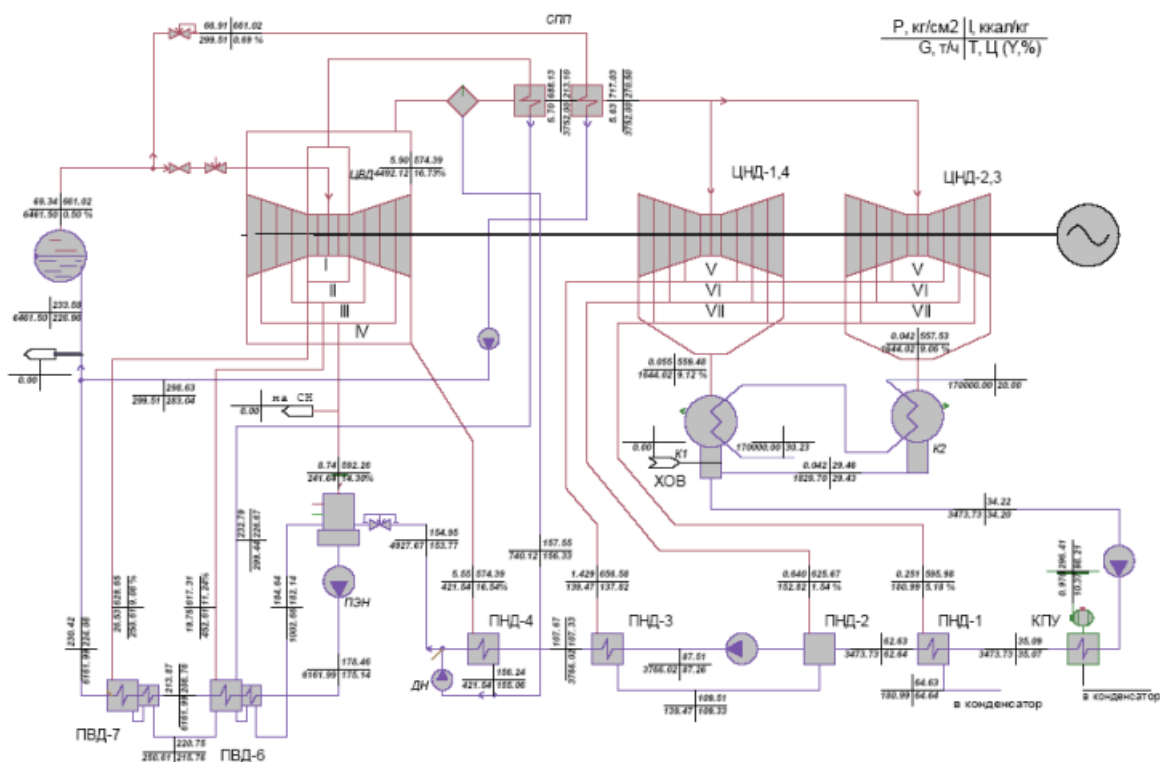


Рисунок 3 – Принципиальная тепловая схема турбины К-1200-6,8/50

Закачка основного конденсата из конденсатора в деаэратор осуществляется конденсатными насосами в два подъема (рис. 2, 3). Подача питательной воды из деаэратора через ПВД в парогенератор осуществляется питательными насосами с электроприводами (4 рабочих + 1 резервный). Закачка конденсата греющего пара второй ступени пароперегревателя СПП осуществляется в основную линию питательной воды высокотемпературным насосом с гидроприводом, слив конденсата греющего пара первой ступени пароперегревателя СПП – в ПВД-5. Подогреватели НД-1, 3 и 4 – поверхностного типа, ПНД-2 – смешивающего типа. ПНД-1 выполнен в 4 корпусах, включенных параллельно друг другу, ПНД-2, 3 и 4 – в одну, а ПВД-5 и 6 в две группы. Все подогреватели НД выполнены без охладителя дренажа, подогреватели ВД – с охладителем. Конденсат греющего пара ПНД-3 сливается в ПНД-2, далее вместе с основным конденсатом откачивается конденсатными насосами второй ступени в тракт основного конденсата. Дренаж ПВД-6 сливается самотеком в ПВД-5 и далее в деаэратор. Конденсат греющего пара ПНД-4 смешивается с сепаратором СПП, и смесь закачивается сливными насосами в линию основного конденсата перед деаэратором.

Необходимо отметить, что масса наиболее тяжёлого монтажного блока (блок трубной системы с трубами) составляет 50600 кг.

В соответствии с [5] конденсационная турбина типа К-1200-6,8/50 является приводом трёхфазного неявнополюсного генератора типа ТЗВ-1200-2АУХЛЗ производства филиала ОАО «Силловые Машины» «Электросила», который является основным источником электрической энергии на АЭС и предназначен для выдачи электрической энергии потребителям энергетической системы по линиям электропередач. Турбогенератор типа ТЗВ-1200-2АУХЛЗ установлен на отметке плюс 15 м машинного зала и представляет собой синхронную машину переменного тока с полным водяным охлаждением. Конструктивное исполнение генератора - закрытое герметичное. Возбуждение генератора осуществляется от бесщеточного возбудителя, сочлененного с валом генератора. Основные характеристики генератора: номинальная мощность – 1200 МВт, напряжение статора – 24 кВ, частота переменного тока – 50 Гц, число фаз обмотки статора – 6. КПД турбоустановки составляет 33 %.

Что касается тихоходной турбины «Arabelle» российско-французского совместного предприятия ООО «Альстом Атомэнергомаш», то также как и К-1200-6,8/50, она представляет

собой паровую, одновальную турбину с промежуточной сепарацией и двухступенчатым перегревом пара [6]. Частота вращения тихоходной турбины «Arabelle» меньше частоты вращения быстроходной турбины К-1200-6,8/50 и составляет 1500 об/мин. Длина последней лопатки ЦНД больше на 230 мм. КПД турбоустановки составляет 37,3 %.

На рис. 4 представлен продольный разрез турбины «Arabelle».

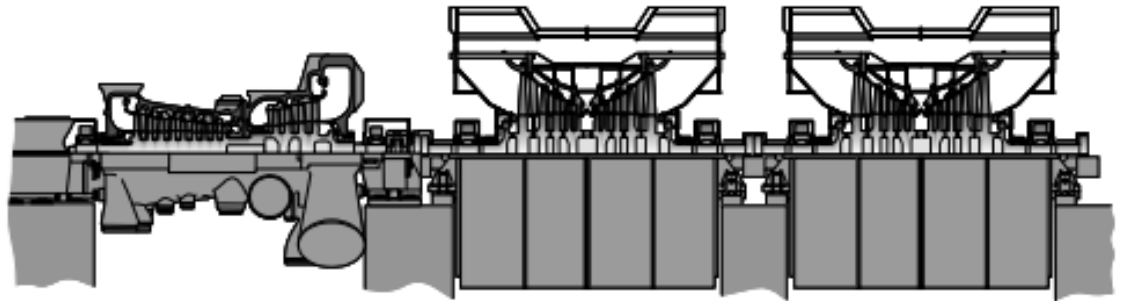
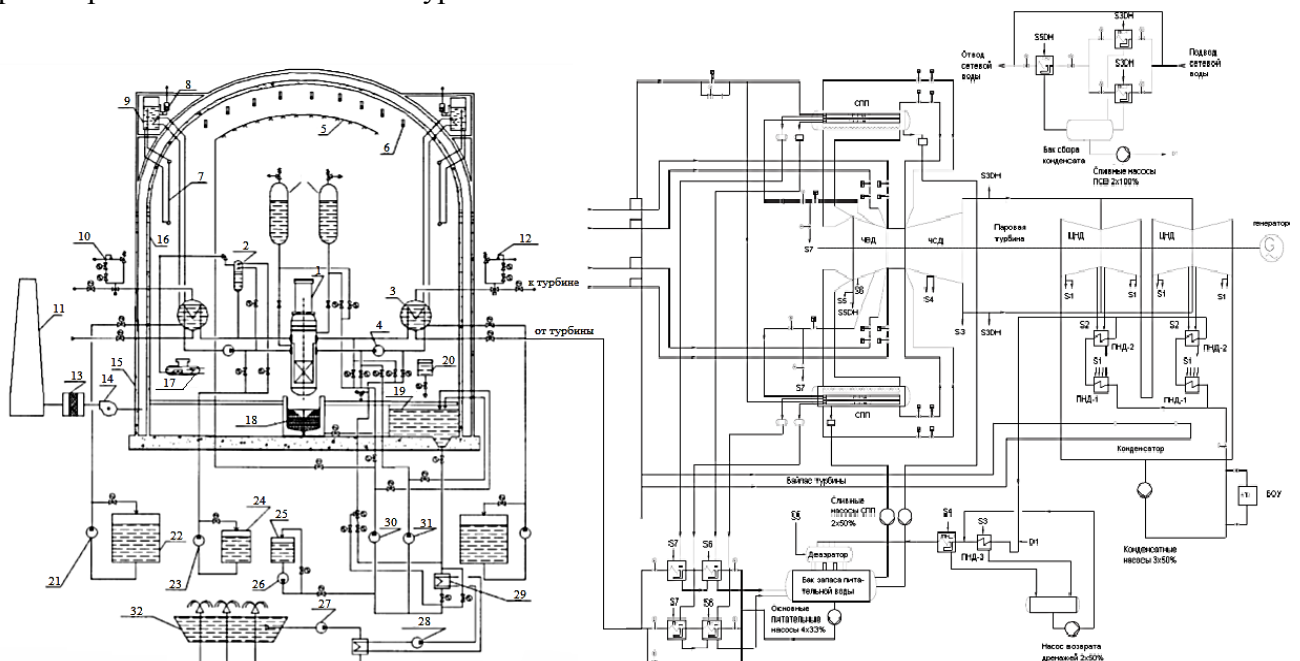


Рисунок 4 – Продольный разрез турбины «Arabelle»

По своему конструктивному исполнению «Arabelle» кардинально отличается от К-1200-6,8/50. Турбина «Arabelle» состоит из одного комбинированного модуля ВСД, содержащего проточные части высокого и среднего давления, установленные в противоположных потоках в одном корпусе, и 2-х двухпоточных модулей ЦНД. Структурную схему можно записать следующим образом: ЦВСД + 2ЦНД. Благодаря совмещенному ЦВСД возможна реализация наиболее эффективной однопоточной схемы расширения пара. Примерно 55% всего располагаемого теплоперепада турбины срабатывается в однопоточной конструкции при максимальном КПД.

На рис. 5 представлена принципиальная технологическая схема энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1200 и турбиной «Arabelle».



1 – реактор, 2 – компенсатор давления, 3 – парогенератор, 4 – ГЦН, 5 – спринклерный коллектор, 6 – пассивные рекомбинаторы водорода, 7 – конденсатор СПОТ ГО, 8 – гидрозатвор, 9 – бак СПОТ, 10 – главный паровой арматурный блок, 11 – вентиляционная труба, 12 – главный паровой арматурный блок, 13 – фильтр, 14 – вентустановка аварийного создания разряжения, 15 – наружная защитная оболочка, 16 – защитная оболочка, 17 – бак-

барботёр, 18 – устройство локализации расплава, 19 – бак приямок (бак запаса борированной воды низкой концентрации), 20 – бак аварийного запаса щёлочи, 21 – аварийный питательный насос, 22 – бак запаса обессоленной воды, 23 – насос аварийного ввода бора, 24 – бак запаса борированной воды высокой концентрации, 25 – бак подачи химреагентов, 26 – насос ввода химреагентов, 27 – насос технической воды ответственных потребителей, 28 – насос промконтура, 29 – теплообменники САОЗ, 30 – насос аварийного впрыска низкого давления, 31 – насос впрыска высокого давления, 32 – брызгальный бассейн.

Рисунок 5 – Принципиальная технологическая схема энергоблока с турбиной «Arabelle»

Исходя из рис. 5, запишем схему системы регенерации, которая также как и К-1200-6,8/50 представлена семью ступенями: 2ПНД1 + 2ПНД2 + ПНД3 + ПНД4 + Д + 2ПВД5+ 2ПВД6. Необходимо отметить, что ПНД-1 и ПНД-2 образуют дуплексный подогреватель, т.е. подогреватели объединены в один корпус. Дуплексные ПНД-1, 2, ПНД-3 и ПНД-4 являются горизонтальными подогревателями поверхностного типа. Дуплексные подогреватели ПНД-1, 2 выполнены в 2 корпусах, включенных параллельно друг другу и установленных на горловине конденсатора, ПНД-3 и ПНД-4 – в одну группу, а ПВД-5 и 6 в две. Все поверхностные подогреватели низкого давления выполнены без охладителей дренажа, кроме ПНД-4, ПВД – с охладителями дренажа. Применена одноступенчатая подача конденсата.

На рис.6 представлена принципиальная тепловая схема турбины «Arabelle».

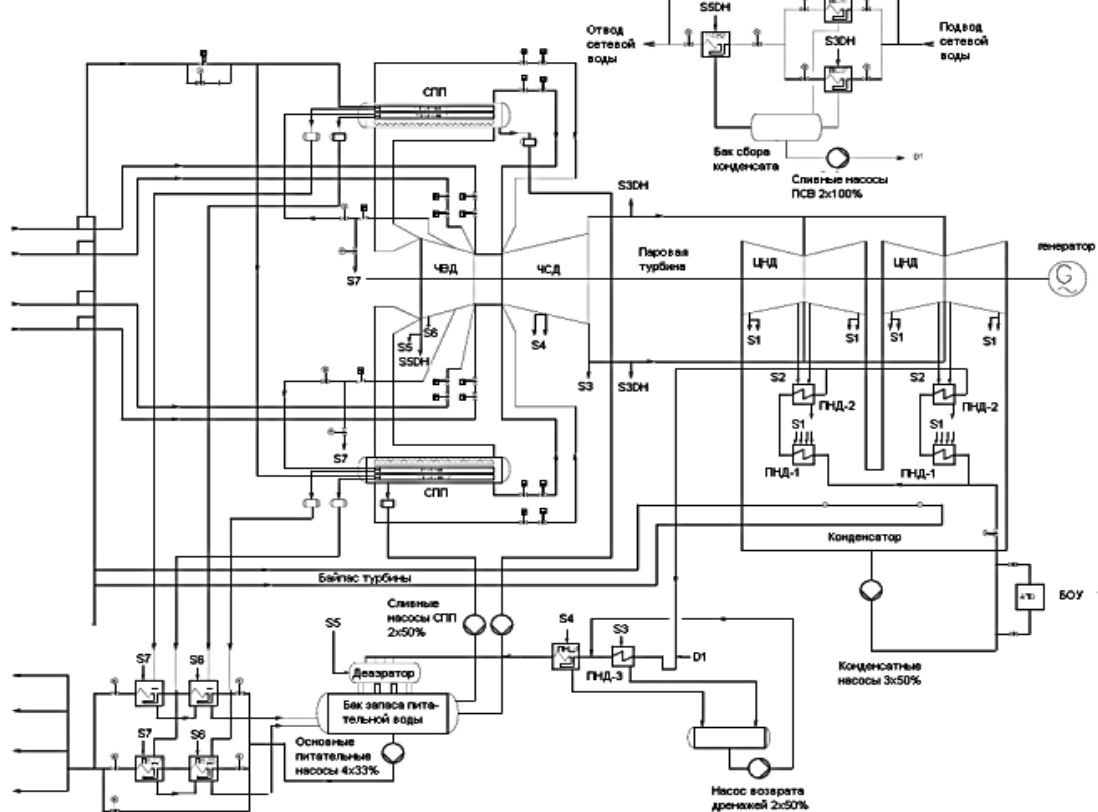


Рисунок 6 – Принципиальная тепловая схема турбоустановки «Arabelle»

Подача питательной воды из деаэратора через ПВД в парогенератор осуществляется насосными агрегатами (3 рабочих + 1 резервный). Каждый насосный агрегат состоит из комплекта насосов: главного питательного насоса и бустерного, создающего подпор питательной воды перед главным насосом. Слив конденсата греющего пара I и II ступени СПП осуществляется в ПВД. При нормальном режиме эксплуатации дренаж ПВД-7 сливается самотеком в ПВД-6, далее в деаэратор. В аварийном режиме – из ПВД-7 и из ПВД-6 в конденсатор. Конденсат греющего пара ПНД-3 и ПНД-4 сливается в бак возврата дренажей,

откуда насосом возврата дренажей закачивается в тракт основного конденсата после ЦНД-3. Из ПНД-1 и ПНД-2 слив конденсата осуществляется напрямую в конденсатор. Каждая ветка слива сепарата СПП имеет отдельный сепаратосборник и сливной насос. Закачка сепарата осуществляется напрямую в деаэратор.

Согласно [6] тихоходная турбина «Arabelle» является приводом четырёхполюсного турбогенератора «GIGATOP» разработки фирмы ALSTOM с диапазоном мощностей от 1200 до 1700 МВт, с водородно-водяным охлаждением (аксиально-радиальная схема вентиляции) и бесщеточной системой возбуждения (бесщеточный возбудитель с вращающимися диодами расположен на конце вала генератора, без дополнительных подшипников), имеющего КПД 99 %. Для предотвращения утечек водорода из корпуса генератора по валу ротора применена система маслоснабжения уплотнения вала.

Основные отличительные особенности турбоустановок сведём в таблицы 1, 2.

Таблица 1 – Требования к габаритам здания турбины

Характеристика	К-1200-6,8/50	«Arabelle»
Ширина здания, м	51,0	60,0
Длина здания, м	121,0	102,0
Отметка пола подвала здания, м	-6,0	-5,0
Отметка нижнего пояса ферм кровли здания, м	+37,0	+41,5

Таблица 2 – Основные отличительные особенности турбоустановок К-1200-6,8/50 и «Arabelle»

Характеристика	К-1200-6,8/50	«Arabelle»
Предприятие-изготовитель	ОАО «Силовые Машины» «ЛМЗ»	ООО «Альстом Атомэнергомаш»
Длина турбины, м	53,0	37,5
Вес турбины, т	2540,0	1655,0
Длина лопатки последней ступени ЦНД, мм	1200,0	1430,0
Тип паровой турбины	быстроходная	тихоходная
Рабочее тело	насыщенный пар	насыщенный пар
Электрическая мощность, МВт	1194,0	1197,0
Давление пара перед турбиной, МПа	6,8	6,7
Частота вращения, об/мин	3000,0	1500,0
Начальная температура пара, °С	283,8	283,9
Длительный срок службы, г.	60	60
Сейсмостойкость, баллы по шкале MSK-64	6	6
Классификация по безопасности	4 (по НП-001-97)	4/3
Конструктивная схема турбины	2ЦНД+ЦВД+2ЦНД	ЦВСД+2ЦНД
Система регенерации	4ПНД1 + ПНД2 + ПНД3 + ПНД4 + Д + 2ПВД5+ 2ПВД6	2ПНД1 + 2ПНД2+ ПНД3 + ПНД4 + Д + 2ПВД5+ 2ПВД6
ПНД1	горизонтальный	дуплексный
ПНД2	смешивающий	
ПНД3	вертикальные	
ПНД4		
ПВД	вертикальные; расположены на одной отметке	горизонтальные; ПВД-7 расположен над ПВД-6
ПЭН	без бустерного насоса 4 рабочих, 1 резервный;	с бустерным насосом; 3 рабочих, 1 резервный
Насосы основного конденсата	2-х ступенчатая подача конденсата	Одноступенчатая подача
СПП	вертикальные; количество – 4; на отм. -6.000;	горизонтальные; количество – 2; на отм. +16.600

Таблица 3 – Основные отличительные особенности генераторов ТЗВ-1200-2АУХЛЗ и «Gigator»

Характеристика	К-1200-6,8/50	«Arabelle»
Предприятие-изготовитель	ОАО «Силовые Машины» «Электросила»	ООО «Альстом Атомэнергомаш»
Привод турбогенератора	К-1200-6,8/50	«Arabelle»
Охлаждение генератора	водяное	водородно-водяное
Система возбуждения	бесщеточная	бесщеточная

Таблица 4 – Вес основного оборудования турбины К-1200-6,8/50 и «Arabelle»

Оборудование	К-1200-6,8/50		«Arabelle»	
	Вес 1 ед., т	Кол.	Вес 1 ед., т	Кол.
Турбина	2540,0	1	1655,0	1
Генератор	600,0	1	819,0	1
Конденсатор	1910,0	1	1420,0	1
СПП	208,0	4	285,0	2
ПНД1	21,6	4	60,0	2
ПНД2	40,0	1	60,0	2
ПВД	104,0	2	58,0	2
Деаэрактор	213,5	1	240,0	1

Исходя из проведенного сравнительного анализа турбоустановок К-1200-6,8/50 и «Arabelle», генераторов электрического тока ТЗВ-1200-2АУХЛЗ и «Gigator» для АЭС с реакторами типа ВВЭР-1200, можно сделать следующие выводы:

1. Тихоходная технология занимает доминирующее положение при уровне мощности более 1000 МВт, что связано, в первую очередь, с более высоким КПД – 37,3% против 33,7% у быстроходной технологии [3].

2. Преимуществами тихоходной технологии над быстроходной являются: способность эффективно работать с достаточно большим объемом низкопотенциального пара, производимого мощными атомными реакторами (более 1000 МВт); сравнительно низкий уровень механических напряжений, что гарантирует надежность эксплуатации и долговечность оборудования.

3. Площадь выхлопа в тихоходной технологии, больше относительно быстроходной за счет применения более длинных лопаток (лопатка последней ступени ЦНД «Arabelle» на 230 мм больше), что ведет к улучшению эксплуатационных показателей тихоходной технологии.

4. Также необходимо отметить уникальность конфигурации турбины «Arabelle», что позволяет реализовать наиболее эффективную однопоточную схему расширения пара.

Кроме того использование турбины «Arabelle» может являться примером диверсификации поставок энергооборудования, что снижает зависимость от поставок такого оборудования из одного источника.

Таким образом, для вновь строящихся АЭС данного типа предлагается использовать турбину «Arabelle», генератор «Gigator» и соответствующее вспомогательное оборудование машинного зала в связи с их более высокой надежностью, безопасностью, долговечностью и энергоэффективностью.

Литература

1. Белорусское телеграфное агентство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://atom.belta.by/ru/dosie_ru/view/stroitelstvo-belorusskoj-aes-xronologija-sobytij-41/. – Дата доступа: 10.10.2018.
2. Атомный эксперт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atomicexpert.com/page254083.html>. – Дата доступа: 11.10.2018.
3. Белорусская атомная электростанция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belaes.by/ru/novosti/item/1353-Parovaja-turbina-dlja-pervogo-energobloka-Belorusskoj-AES-izgotovlena-na-Leningradskom-metallicheskom-zavode.html>. – Дата доступа: 20.10.2018.
4. Форум Россия, США, Европа, Азия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/news9/i0998.htm>. – Дата доступа: 15.10.2018.
5. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реактором ВВЭР-1000 / С.А. Тевлин. – Москва, 2002. – 358 с.
6. Цветков А.М. Разработка турбоустановки 1200 МВт фирмы Alstom для АЭС в России / А.М. Цветков. – Power Russia, 2008 (Москва, Россия). – С. 12–16.

УДК 621.578

Кавитация в центробежных насосах

Эркабаева Е.О., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОНКЕВИЧ Е. В.

Абсолютное давление при входе в рабочее колесо насоса должно быть больше упругости насыщенных паров перекачиваемой жидкости при данной температуре. Если это условие не соблюдено, начинается парообразование, уменьшается производительность насоса; в конце концов происходит разрыв потока жидкости, и насос перестает подавать жидкость. Работа насоса с момента начала парообразования протекает в тяжелых условиях. При длительной работе насоса в таких условиях рабочее колесо разрушается. Кавитация, может происходить не только в рабочем колесе, но и в направляющем аппарате или в спирали, хотя здесь она наблюдается сравнительно редко. Явления кавитации сопровождаются характерным потрескиванием в области всасывания, шумом и вибрацией насоса. Кавитация уменьшает КПД, напор и производительность насоса. При сильном развитии кавитации центробежный консольный насос полностью прекращает работу (срывает подачу). Длительная работа насоса при наличии даже незначительных кавитационных явлений совершенно недопустима. Особенно сильно при кавитации повреждаются детали насосов, если перекачивается вода, содержит твердые включения.

От действия кавитации поверхности деталей становятся шероховатыми и губчатыми, что способствует быстрому истиранию деталей содержащимися в жидкости включениями. В свою очередь твердые частицы, истирая поверхности деталей, содействуют усилению кавитации. Особенно сильно кавитационному разрушению подвержены чугун и углеродистая сталь. Наиболее устойчивы в этом отношении насосы из нержавеющей стали и бронзы. В последнее время в насосостроении, наряду с улучшением качества материалов (использованием высококачественных сталей), начали применять защитные покрытия деталей, наиболее подверженных действию кавитации и истиранию.

В некоторых установках снижение кавитации было достигнуто впуском небольшою количества воздуха во всасывающий патрубок насоса. Это, однако, приводит к уменьшению производительности насоса и снижению вакуумметрической высоты всасывания.

Различают три стадии кавитации:

1) Начальная – сопровождается микрогидравлическими ударами, т.к. размер каверн небольшой.

2) Развитая – сопровождается распределением кавитации на значительную часть сечения потока жидкости и сопровождается сильными гидравлическими ударами.

3) Супер кавитация – распространяется на большую часть сечения потока, что приводит к срыву всасывания и прекращению подачи.

Давление, при котором возникает кавитация, зависит от физических свойств жидкости. На практике жидкость быстро проходит через область пониженного давления и газ не успевает выделиться. В таком случае наблюдается паровая кавитация. Последствием кавитации являются следующие явления:

1. Разрушение – эрозия стенок канала. Если конденсация пузырька происходит на стенке канала или вблизи её, то происходит разрушение поверхности – выщербливание материала стенок канала, называемое кавитационной эрозией. Кавитационная эрозия является наиболее опасным следствием кавитации.

2. Появление шума, треска, ударов и вибрации установки вследствие колебаний жидкости, которые вызваны замыканием полостей, заполненных паром.

3. Уменьшение подачи, напора, мощности и КПД насоса. В лопастных насосах паровая кавитация возникает на тыльных сторонах лопастей вблизи входных кромок, где вследствие местного увеличения скорости потока давление минимально. Давление жидкости на тыльной стороне у входной кромки лопасти зависит от давления во всасывающем патрубке насоса, гидравлических потерь в подводе и местной скорости жидкости.

Давление у входа в насос и в рабочее колесо тем меньше, чем больше высота всасывания и гидравлическое сопротивление во всасывающем трубопроводе и чем меньше давление во всасывающем баке. При достаточно большой высоте всасывания и сопротивлении всасывающего трубопровода или при очень малом давлении во всасывающем баке давление у входа в рабочее колесо становится настолько малым, что возникает кавитация. Кавитация ограничивает высоту всасывания насоса. Значение, на которое полный напор жидкости во входном патрубке насоса превышает напор, соответствующий давлению её насыщенных паров, называется кавитационным запасом.

Известны следующие меры, предохраняющие насос от кавитации:

1) монтажные - снижение гидравлических потерь напора на всасывании путем увеличения диаметра подводящего трубопровода, укорочения его длины, сокращения числа поворотов и других местных сопротивлений, уменьшения высоты всасывания, при перекачке легких нефтепродуктов установка насоса для работы с подпором;

2) конструктивные – установка колес двухстороннего всасывания, предварительное закручивание потока на входе путем установки винтовых колес, шнеков и преднасосов; установка колеса 1-ой ступени с меньшей быстроходности.

Различают три стадии кавитации:

1) Начальная – сопровождается микрогидравлическими ударами, т.к. размер каверн небольшой.

2) Развита – сопровождается распределением кавитации на значительную часть сечения потока жидкости и сопровождается сильными гидравлическими ударами.

3) Супер кавитация – распространяется на большую часть сечения потока, что приводит к срыву всасывания и прекращению подачи.

Литература

1. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций/ Рихтер Л.А.[и др.] — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 216 с.
2. Насосы и вентиляторы: учебник для вузов/ Поляков В.В.. — М.: Стройиздат, 1990. — 336 с.

УДК 621.31; 621.438; 621.452.001.76:620.95

**Энергокомплексы на базе газотурбинных установок с использованием
в качестве топлива бытовых отходов**

Эркабаева Е.О., Швецов И.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Специфическим топливным ресурсом современной цивилизации являются твердые бытовые отходы (ТБО), постоянно образуемые в результате жизнедеятельности человека, а также твердые промышленные отходы (ТПО) лесопромышленной, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности. Фактически ТБО и ТПО являются возобновляемым источником энергии.

В течение года житель города образует около 350 кг ТБО. Для города с миллионным населением это составляет 1 000 000 кг ТБО, образуемых ежедневно, которые необходимо регулярно удалять из жилой зоны города. Аналогичная ситуация имеет место с ТПО, которые также требуется регулярно удалять из промышленной зоны.

Используются два способа обращения с ТБО (ТПО) - это захоронение на специальных полигонах методом санитарной засыпки или сжигание. Естественный процесс гниения биомассы (медленное окисление) на полигоне или ее открытое сжигание (быстрый процесс окисления) являются собой одно и то же звено цепи круговорота веществ в природе. Захоронение на полигоне и последующее содержание полигона являются дорогим мероприятием, выводящим к тому же земли, занятые под полигон, из землепользования на 15...20 лет. Так, для окупаемости полигона стоимость размещения 1 т ТБО в США доходит до 80 долл/т. Примерно такая же стоимость размещения ТБО в Европе [1, 2].

При этом ТБО (ТПО) являются энергоемкими, и при их сжигании выделяется значительная теплота. По данным 1995 г. [1, 2] среднегодовой поэлементный состав ТБО Москвы следующий, %: углерод — 20,41, водород — 2,43, кислород — 15,75, азот — 0,49, сера — 0,15, зола, шлам — 18,77, влага — 41,8. Низшая теплота сгорания (по рабочей массе) составляет 6...7 МДж/кг. Для сравнения, теплота сгорания угля Райчинского месторождения 9,51 МДж/кг, горючих сланцев Капширского месторождения — 5,8 МДж/кг, торфа — 8...10 МДж/кг, древесины — 7,3...10 МДж/кг.

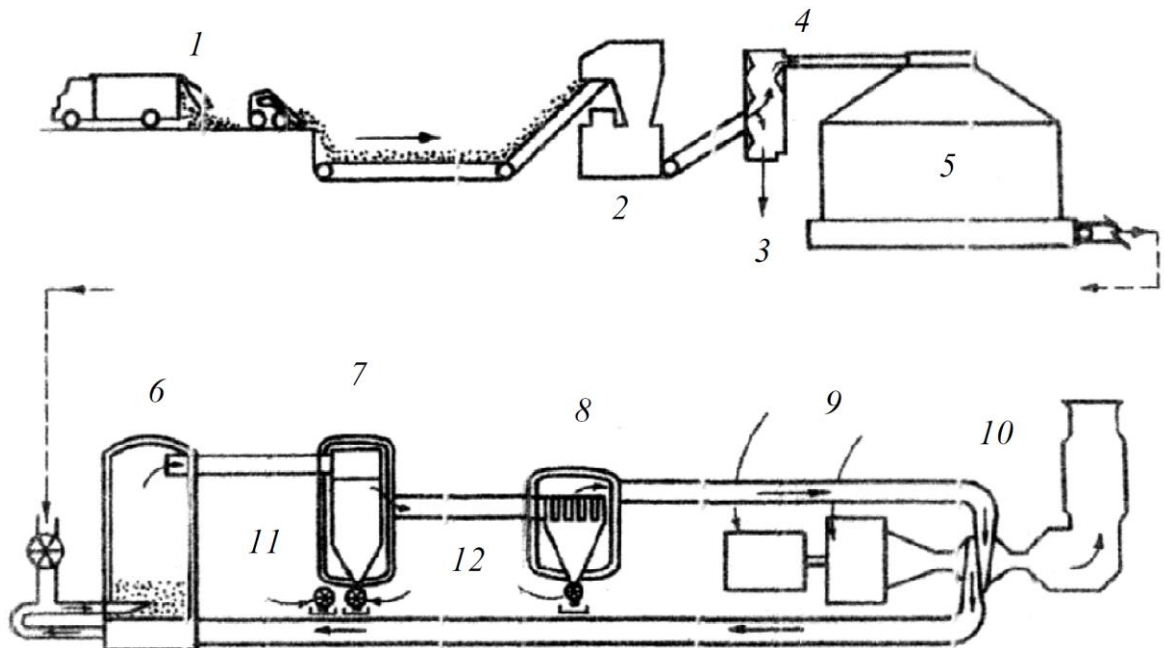
К тому же при управляемом процессе сжигания возможно полностью исключить или свести к минимуму выброс загрязняющих веществ в атмосферу.

Энергетически и экологически целесообразно выстроенный процесс термической переработки ТБО является практически единственным способом одновременного решения энергетической и экологической проблем XXI столетия.

Мусороперерабатывающие предприятия (мусоросжигающие заводы (МСЗ)) используются в разных странах более 60.. 100 лет, сначала как мусоросжигающие предприятия, а позднее как мусоросжигающие паротурбинные ТЭС большой мощности, производящие электричество и тепло. Так, во Франции действуют 134 МСЗ, их которых 60 большой производительности, размещенных в пригороде Парижа, покрывают более 80 % энергопотребления города [3].

Наряду с этим целесообразны экологически «чистые», автоматизированные мусороперерабатывающие энергокомплексы меньшей мощности, размещенные в пределах обслуживаемой территории, которые могут быть созданы на базе газотурбинных установок.

Примером может служить энерготехнологический комплекс CPU-400 (рисунок 1), разработанный по контракту с Национальным исследовательским центром США по охране окружающей среды. Комплекс предназначен для утилизации ТБО на муниципальной территории с населением 400 тыс. человек. Пилотный вариант производительностью 100 т/сут для территории с населением 150 тыс. человек был введен в опытную эксплуатацию в Калифорнии.



1 - двор доставки мусора; 2 - мельница; 3 - отсортированный негорючий материал; 4 - воздушный сепаратор; 5 - контейнер размолотого горючего мусора; 6 - топка с псевдокипящим слоем; 7 - сепаратор инерционного типа, сепарирующий золу и песок (1 ступень очистки); 8 - сепаратор инерционного типа, сепарирующий золу (2 ступень очистки); 9 - генератор; 10 - газовая турбина; 11 - песок; 12 - зола

Рисунок 1 – Принципиальная схема утилизирующего комплекса CPU -400

Технологический процесс обращения с ТБО включает три основных цикла:

- прием и первичная обработка ТБО с выделением горючей фракции и «отсеиванием» негорючих субстанций;
- полное сжигание горючей фракции с выработкой электроэнергии;
- разделение негорючей субстанции методом флотации на группы материалов, реализуемых как вторичное сырье.

Комплекс автоматизирован и может обслуживаться одним оператором.

Энергетическая часть установки состоит из топки с кипящим слоем, двух последовательно включенных в газовый тракт стационарных циклонов и ГТУ с электрогенератором. Воздух для наддува топки с кипящим слоем отбирается от последней ступени компрессора ГТУ. Топливо (горючие фракции ТБО) в топку по пневмотрассе подается из контейнера горючих фракций. Относительно низкая температура процесса сжигания не приводит к образованию оксидов азота термическим путем, а оксиды серы введением присадки выводятся в шлак. Чистота выхлопа допускает размещение CPU-400 в жилой зоне.

В перспективе такой проект может быть оборудован системой дистанционного сбора ТБО: «домовой мусоросборник»-«упаковка ТБО в капсулы», «пневматическая транспортировка от дома до комплекса первичной обработки ТБО».

Товарной продукцией CPU-400 являются электроэнергия и вторичное сырье. Вырабатываемая энергия покрывает около 15 % электропотребления обслуживаемой территории.

Энерготехнологический комплекс CPU-400 является полностью самокупаемой установкой в пределах рабочей площадки и даже приносящей прибыль порядка 20% (без учета налогообложения). А косвенно, с учетом исключения затрат на дальнейшее транспортирование и за размещение ТБО на полигоне (80 долл/т) энерготехнологический комплекс CPU-400 является экономически прибыльным предприятием.

Надежность, работоспособность и экономичность установки в значительной степени зависят от газотурбинного энергопреобразователя, газовая турбина которого работает на дымовых газах, генерированных в топке с кипящим слоем. После топки высоконагретые дымовые газы направляются в циклоны, где подвергаются инерционной очистке от выноса материалов кипящего слоя, зольных частиц и других твердых взвесей. Для предотвращения эрозионного повреждения лопаток турбины пылесодержание дымовых газов понижается до 5 мг/м при размере частиц не более 15 мкм. При высокой температуре работоспособность и надежность циклонов снижаются. Это не позволяет увеличить температуру газа на выходе из топки до температуры современной эффективной ГТУ. Кроме того, в циклонах и на протяженной трассе от топки до турбины происходят потери давления и расхолаживание продуктов сгорания.

Опыт создания и эксплуатации CPU-400 продемонстрировал эффективность использования газотурбинных установок при утилизации ТБО. Однако вследствие отмеченных выше и ряда других недостатков энергоустановки такого типа с прямым сжиганием ТБО дальнейшего развития не получили.

Работы сосредоточились на двухстадийном процессе термической переработке ТБО: сначала газификация с последующим улучшением потребительских свойств генераторного газа (фильтрация твердых взвесей, экстракция дегтя, смолы, масел, химическая обработка с подавлением окислов серы и подобных соединений), а затем сжигание в типовой камере сгорания ГТУ. Товарной продукцией является электроэнергия, тепло и (при наличии сортировальных устройств) вторичное сырье.

Возможно также разделение функций. На обслуживаемой территории производится только газификация ТБО с покрытием энергии на собственные нужды, а электро- и теплофикационная нагрузки покрываются отдельной ГТУ, работающей на генераторном газе производства данной установки [2].

К началу XXI столетия в Европе эксплуатировалось более 15 различных типов газогенераторов коммерческого уровня, работающих на паротурбинную установку. Большинство из них используется в сфере утилизации ТБО и ТПО.

Российская разработка газотурбинного комплекса утилизации ТБО (совместная работа Института проблем химической физики Российской академии наук (ИПХФ), ФГУП ММПШ «Салют» и МГТУ им. Н.Э. Баумана) базировалась на использовании газогенератора разработки ИПХФ, позволяющего газифицировать любое твердое горючее, в том числе высокзолное и высоковлажное. Это газогенератор шахтного типа (рисунок 2) противоточной схемы с газификацией в плотном слое при атмосферном давлении с паровоздушным дутьем и твердым золоудалением.



Рисунок 2 – Газификатор в комплекте со сжигающим устройством на экспериментальной площадке ФГУП ММПШ «Салют»

Особенность технологии - это использование высоко теплоемкостного инерта.

Инерт загружается вместе с ТБО и, проходя последовательно через зоны осушения, пиролиза, восстановления, газификации, охлаждения золы, выполняет функцию аккумулятора, переносящего из зоны в зону аккумулированную теплоту.

Это позволяет реализовать оптимальное по высоте реактора поле температур (рисунок 3) и довести КПД газификации до 95...96 %. Температура в зоне газификации превышает 1500 К, что позволяет газифицировать с обезвреживанием отходы медицинских учреждений. Генераторный газ от зоны реакции поднимается вверх.

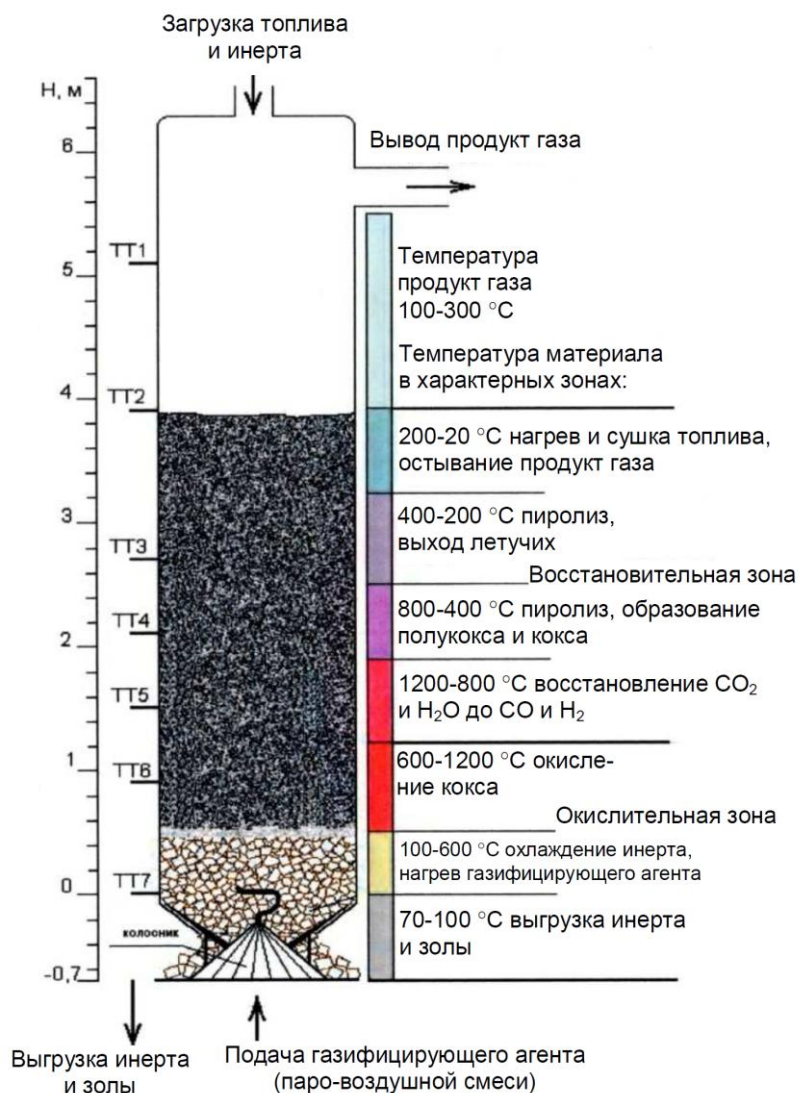


Рисунок 3 – Принципиальная схема газификатора

Проходя через плотные слои свежезагруженного сырья, высушивая его, генераторный газ охлаждается до 330...370 К. За счет эффекта фильтрации происходит первичная сепарация крупных пылевых фракций. Шлак, зола и инерт выводятся через нижний шлюз.

Газогенератор разрабатывался специально для газификации твердых бытовых отходов, но с успехом газифицирует другие виды твердого топлива, в том числе высокосольные с большим влагосодержанием, что является проблематичным для газификаторов с иной технологией газификации. Газификатор прошел экологическую экспертизу.

Аналогичный газификатор (первый образец) с 1998 г. эксплуатируется в г. Лаппеенранта (Финляндия) на производственной территории ОАО «Экогазтек».

Опытная эксплуатация газификатора показала, что при отсутствии специальных фильтров на выхлопе сжигательного устройства экологические показатели газификатора существенно лучше аналогичных показателей мусоросжигательных предприятий, оборудованных фильтрами на выхлопной трубе. Термический режим газификации с использованием высокотеплоемкостного инерта, восстановительной среды и отсутствие золы уноса в генераторном газе практически полностью изменяют условия первичного образования фуранов и диоксинов. Вследствие низкой температуры выхода генераторного газа в значительной степени исключается возможность попадания в генераторный газ возгонов тяжелых металлов.

Рассмотрим две схемы газотурбинного энергопреобразователя к газификатору ИПХФ.

Первая - регенеративная ГТУ традиционной схемы, работающая на генераторном газе, который предварительно прошел стадию подготовки (сухая или мокрая очистка от эрозионно-опасных твердозольных фракций, способных нанести повреждения лопаткам турбины [4]) и компремирован до давления впрыска в камеру сгорания ГТУ (на выходе из газификатора давление газа близко к атмосферному).

Для повышения удельной мощности и КПД ГТУ регенеративного цикла введен двухкаскадный компрессор с промежуточным охлаждением воздуха между каскадами компрессора. Генераторный газ - продукт газификации ТБО характеризуется в 6...10 раз меньшей теплотворной способностью, что требует значительного увеличения расхода топливного газа. В результате массовый расход продуктов сгорания через турбину значительно превысит массовый расход воздуха через компрессор. Требуется увеличение пропускной способности газового тракта турбины или уменьшение массовой производительности компрессора. Ухудшатся условия работы регенератора (рекуперативного типа), поскольку водяной эквивалент продуктов сгорания значительно превысит водяной эквивалент воздуха. При формально предельно высокой степени регенерации фактическая степень утилизации теплосодержания продуктов сгорания (в пределах газотурбинного цикла) оказывается низкой; соответственно реализуется низкий КПД регенеративной ГТУ.

Вторая - ГТУ нетрадиционной схемы с камерой сгорания в газоздушном тракте за турбиной и работой турбины на высокотемпературном чистом воздухе. Воздух после компрессора поступает в высокотемпературный воздухонагреватель, нагревается до проектной температуры входа в турбину, расширяется в турбине и с температурой выхода из турбины подается в камеру сгорания, где участвует в процессе сжигания генераторного газа произвольной запыленности. В схеме исключается проблема эрозионного повреждения лопаток турбины, но вводится проблемный элемент - высокотемпературный воздухонагреватель.

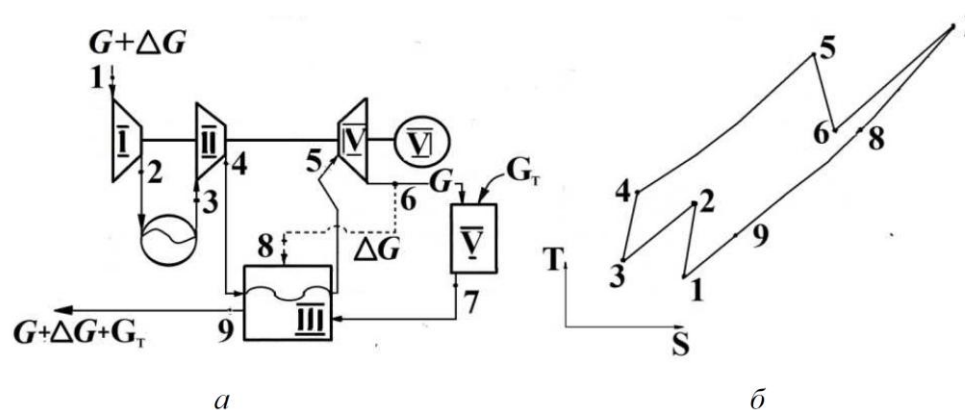
Высокотемпературный воздухонагреватель выполняет функцию регенератора со степенью 1,0 (нагрев воздуха от температуры после компрессора до температуры воздуха на выходе из турбины) и функцию камеры сгорания (нагрев воздуха от температуры входа в камеру сгорания до температуры на входе в турбину).

С учетом температурного напора между греющим газом (продуктами сгорания на выходе из камеры сгорания) и высокотемпературным воздухом на входе в турбину температура продуктов сгорания за камерой сгорания должна превышать температуру перед турбиной. Чем выше температура газа, тем больше температурный напор и меньше поверхность теплообмена высокотемпературного воздухонагревателя.

По оценкам [1] для реализации эффективного газотурбинного энергопреобразователя рассматриваемой схемы возможно ограничиться температурой газа за камерой сгорания 1270...1370 К.

Для повышения степени использования теплосодержания продуктов сгорания большей массы и большей удельной теплоемкости нежели нагреваемый воздух, в МВТУ им. Баумана разработана модифицированная схема ГТУ с камерой сгорания за турбиной и перераспределением газоздушных потоков по тракту ГТУ [1, 4, 4].

Принципиальная схема и термодинамический цикл ГТУ приведены на рисунке 4.



а - схема, б - цикл,

I - компрессор низкого давления, II - компрессор высокого давления, III - воздушный теплообменник, IV - турбина, V - камера сгорания (пунктиром обозначена трасса дополнительного воздуха)

Рисунок 4 – Принципиальная схема и цикл газотурбинной установки

Для невилирования теплосодержания воздуха и продуктов сгорания по воздушному тракту воздухонагревателя в дополнение к основному (соответствующему расчетным условиям полного сгорания генераторного газа при заданных температуре входа воздуха в камеру сгорания и температуре выхода продуктов сгорания из камеры сгорания) пропускается дополнительный расход воздуха, который утилизирует недоиспользованное теплосодержание основного воздуха. Место ввода в газовый тракт теплообменника дополнительного расхода воздуха, отбираемого из воздушного тракта за турбиной, соответствует сечению, в котором температура продуктов сгорания снизится и станет равной температуре воздуха за турбиной.

Ввод дополнительного расхода воздуха в компрессор с последующей работой в турбине, байпасированием камеры сгорания и вводом его после турбины в газовый тракт воздухонагревателя приводит к увеличению мощности и КПД ГТУ за счет более глубокой утилизации теплоты уходящих газов - продуктов сгорания низкокалорийного генераторного газа при газификации ТБО. При температуре перед турбиной 1173 К (при которой в турбине можно использовать неохлаждаемые лопатки) КПД газотурбинной установки может превышать 30% [1].

Литература

1. Иванов В. Л. Газотурбинный двигатель для установки по термической переработке твердых бытовых и промышленных отходов методом газификации / В.Л. Иванов, Т.А. Заживихина // Известия вузов. Сер. Авиационная техника. - 2006. - № 2. - С. 38 - 42.
2. Иванов В.Л. Твердые бытовые отходы как топливо для газотурбинной установки / В.Л. Иванов, Д.А. Скибин // Вестник ПНИПУ «Электротехника, информационные технологии, системы управления» - 2015. - № 15.
3. Иванов В.Л. Газотурбинный энергопреобразователь для установки утилизации твердых бытовых отходов методом газификации // Вестник Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана. - 2012 (Спецвып.). - № 7. - С. 134 - 144.
4. Гуров В.И. Энергопреобразование продукт-газа при утилизации твердых бытовых отходов / В.И. Гуров, В.Л. Иванов, К.Н. Шестаков // Энергия: экономика-техника-экология. - 2009. - № 8. - С. 18 - 22.
5. Универсальная воздушно-турбинная установка: пат. 2395703 РФ / В.Л. Иванов, В.И. Гуров, К.Н. Шестаков, заявл. 25.12.2008.