

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ВВЕДЕНИЕ В ПРОФЕССИЮ

сборник учебно-методических материалов

для направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Благовещенск, 2017

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

Составители: Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г.

Введение в профессию: сборник учебно- методических материалов для направления подготовки
13.03.02. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра энергетики, 2017

© Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г., составление

Содержание

1. КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	3
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ	23
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ	28
4. ПЕРЕЧЕНЬ И ТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ФОРМ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	30
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37

1. КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

В данном сборнике учебно-методических материалов (УММ) предложен краткий конспект лекций по данному курсу; методические рекомендации по проведению практических занятий и самостоятельной работы студентов; показан перечень программных продуктов, реально используемых в практической деятельности студентов; даны указания по применению современных информационных технологий; приведены комплекты заданий для оценки качества знаний по дисциплине; контрольные вопросы к зачету.

По данной дисциплине не предусмотрены лабораторные занятия, курсовые работы (проекты), контрольные работы.

Целью данного курса является изучение основных сведений по выбранной профессии. Уделено внимание производству, передаче и распределению электроэнергии: генерирующим и преобразовательным устройствам, линиям электропередачи, потребителям и приемникам электрической энергии, средствам автоматизации и защиты систем электроснабжения. Даются представления о качестве электрической энергии и резервах ее экономии на предприятиях и объектах электроэнергетики.

Задачи изучения дисциплины - освоение студентами основного энергетического оборудования электрических станций и подстанций, линий электропередач переменного и постоянного тока, понижающих и преобразовательных подстанций, категорий потребителей электрической энергии; виды режимов работы электроэнергетических систем, автоматизации процесса выработки электроэнергии на электростанциях; общие сведения о системах измерения, контроля, сигнализации и управления ЭЭС; принципы преобразования, передачи и распределения электрической энергии, представления о качестве электрической энергии и резервах ее экономии.

Теоретической базой дисциплины «Введение в профессию» являются полученные ранее общие знания по физике, электроэнергетики и ее истории, на базе которых формируются представления о современных системах электроснабжения, о составляющих ее элементах, включая основное электрооборудование современных предприятий и о перспективном прогрессивном развитии систем электроснабжения объектов (по отраслям).

Тема 1. Приемники электрической энергии

Курс «Введение в профессию» является одним из важнейших при подготовке бакалавра по направлению «Энергетика и электротехника». Его влияние на студента-первокурсника мало знающего о своей профессии очень велико. В этом курсе студент получает *представление обо всех разделах энергетики* и их взаимосвязях, об энергетических системах и основных, происходящих в них процессах преобразования, передачи и потребления электроэнергии. О принципах работы и конструктивном выполнении энергетических установок, о современном состоянии и перспективах развития энергетики.

Энергетика рассматривается как одна из подсистем единой глобальной системы функционирования человеческого общества, включающей, так же подсистемы, окружающую среду и различные отрасли хозяйства.

Понятие «энергетика» и «энергетическая наука» употребляется давно, однако и в настоящее время вкладываемый в них смысл нельзя считать установившемся.

Под *энергетикой* или *энергетической системой* следует понимать совокупность больших естественных (природных) и искусственных (созданных человеком) систем, предназначенных для получения, преобразования. Распределения и использования в народном хозяйстве энергетических ресурсов всех видов.

Под *энергетической наукой* понимается система знаний о свойствах и взаимодействиях энергетических потоков и влияние их на человеческое общество в социальном, экономическом и научно-техническом планах и влиянии на окружающую среду.

Энергетика представляет собой большую систему, призванную способствовать реорганизации человеческого общества на основе научно-технического прогресса и развития всего народного хозяйства.

Энергетика, являясь большой системой, состоит из отдельных подсистем, связанных между собой таким образом, что раздельное рассмотрение подсистем невозможно без учета их взаимного влияния и обратных связей.

Изучение курса «Введение в профессию» относится к первому этапу подготовки инженера. *Роль инженера* в современном обществе очень велика. Инженеры могут и должны непосредственно превращать науку в производительную силу общества. Используя ее достижения для повышения производительности труда и качества ее продукции в сфере материального производства.

В системе электроснабжения объектов можно выделить три вида электроустановок:
по производству электроэнергии – электрические станции;
по передаче, преобразованию и распределению электроэнергии – электрические сети и подстанции;
по потреблению электроэнергии в производственных и бытовых нуждах – приемники электроэнергии.

В зависимости от выполняемых функций, возможностей обеспечения схемы питания от энергосистемы, величины и режимов потребления электроэнергии и мощности, особенностей правил пользования электроэнергией потребителей электроэнергии принято делить на следующие основные группы:

- промышленные и приравненные к ним;
- производственные сельскохозяйственные;
- бытовые;
- общественно-коммунальные (учреждения, организации, предприятия торговли и общественного питания и др.).

К промышленным потребителям приравнены следующие предприятия: строительные, транспорта, шахты, рудники, карьеры, нефтяные, газовые и другие промыслы, связи, коммунального хозяйства и бытового обслуживания.

Промышленные потребители являются наиболее энергоемкой группой потребителей электрической энергии.

Каждая из групп потребителей имеет определенный режим работы. Так, например, электрическая нагрузка от коммунально-бытовых потребителей с преимущественно осветительной нагрузкой отличается большой неравномерностью в различное время суток. Днем нагрузка небольшая, к вечеру она возрастает до максимума, ночью она резко падает и к утру вновь возрастает. Электрическая нагрузка промышленных предприятий более равномерна в течение дня и зависит от вида производства, режима рабочего дня и числа смен.

Требования, предъявляемые к надежности электроснабжения от источников питания, определяются потребляемой мощностью объекта и его видом.

Приемники электрической энергии в отношении обеспечения надежности электроснабжения разделяются на несколько категорий. Первая категория – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный экономический ущерб, повреждение дорогостоящего оборудования, расстройство сложного технологического процесса, массовый брак продукции. Примером электроприемников первой категории в промышленных установках могут быть электроприемники насосных станций противопожарных установок, системы вентиляции в химически опасных цехах, водоотливных и подъемных установок в шахтах и т. п. В городских сетях к первой категории относят центральные канализационные и водопроводные станции, АТС, радио и телевидение, а также лифтовые установки высотных зданий. Допустимый интервал продолжительности нарушения электроснабжения для электроприемников первой категории не более 1 мин.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа (нулевая категория) электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы для жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования. Например, к электроприемникам нулевой категории относятся операционные помещения больниц, аварийное освещение. Вторая категория- электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовым недоотпускам продукции, массовым простоям рабочих, механизмов. Допустимый интервал продолжительности нарушения электроснабжения для электроприемников второй категории не более 30 мин.

Примером электроприемников второй категории в промышленных установках являются приемники прокатных цехов, основных цехов машиностроения, текстильной и целлюлозно-бумажной промышленности. Школы, детские учреждения и жилые дома до пяти этажей и т. п. обычно относят к приемникам второй категории.

Третья категория- все остальные электроприемники, не подходящие под определение первой и второй категорий. К этой категории относятся установки вспомогательного производства, склады неответственного назначения.

Электроприемники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, при отключении одного из них переключение на резервный должно осуществляться автоматически. Согласно определению ПУЭ независимыми источниками питания являются такие, на которых сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках, питающих эти электроприемники. Согласно ПУЭ к независимым источникам могут быть отнесены две секции или системы шин одной или двух электростанций или подстанций при соблюдении следующих условий:

- каждая из этих секций или систем шин питается от независимых источников;
- секции шин не связаны между собой или же имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций шин.

Для электроснабжения электроприемников особой группы должен предусматриваться дополнительный третий источник питания, мощность которого должна обеспечивать безаварийную остановку процесса.

Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать от двух независимых источников питания, переключения можно осуществлять не автоматически.

Электроснабжение электроприемников третьей категории может выполняться от одного источника при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта и замены поврежденного оборудования, не превышают одних

Промышленность потребляет основную долю электрической энергии. Нужно отметить, что за последнее время удельное потребление электрической энергии промышленностью значительно снизилось за счет быстрых темпов развития других отраслей народного хозяйства (сельского хозяйства, транспорта) и увеличения потребляемой ими электроэнергии.

Заметно увеличилось потребление *электроэнергии коммунально-бытовыми приборами и установками*. В самой промышленности произошло увеличение доли производства средств потребления, что даже сказалось на перераспределении удельных потреблений электроэнергии.

Электрификация сельского хозяйства во многом определяется специфическими условиями этой отрасли, выражающимися в распространении производства на обширных территориях, низкой концентрации труда, сезонности и др.

В сельском хозяйстве электрическая энергия применяется для самых различных нужд: обогрева помещений в парниковых хозяйствах, электромашинного орошения и т.д.

Большое количество электрической энергии потребляет *электрифицированный железнодорожный транспорт*. В настоящее время важнейшие магистральные артерии в нашей стране электрифицированы. Переход на электрическую тягу позволил повысить пропускную способность за счет увеличения скорости движения поездов, снизить себестоимость перевозок, повысить экономию топлива и т.д.

Для электрификации железнодорожного транспорта используется как постоянный, так и переменный ток.

Электрическая энергия в быту расходуется во все возрастающих количествах. По мере развития электротехнической промышленности создаются более совершенные бытовые приборы, которые находятся в наличии в каждой семье.

Потребление электрической энергии промышленными предприятиями, транспортом, электробытовыми приборами, меняется как в течении суток, так и в течении года. В утренние часы, когда начинают работу предприятия, включается освещение в квартирах, потребление электроэнергии значительно возрастает, т.е. *наступает утренний максимум нагрузки*. Днем нагрузка уменьшается. Вечером нагрузка достигает максимальных величин.

Тема 2. Преобразование электрической энергии

Виды электрических станций: тепловая электрическая станция (ТЭС), гидроэлектростанция (ГЭС), атомная электрическая станция (АЭС), приливная электростанция (ПЭС), гидроаккумулирующая станция (ГАЭС), теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), тепловая конденсационная электрическая станция и др.

Станции в своем названии содержат указание на то, какой вид первичной энергии, в какую вторичную энергию на них преобразуется. Например, ТЭС преобразует тепло (первичную энергию) в электрическую энергию (вторичную), ГЭС – механическую энергию движения воды в электрическую, АЭС – атомную энергию в электрическую и др.

Тепловые конденсационные электрические станции (КЭС).

На тепловых электростанциях энергия сжигаемого топлива преобразуется в котле в энергию водяного пара: приводящего во вращение турбоагрегат (паровую турбину, соединенную с генератором). Механическая энергия вращения преобразуется генератором в электрическую. Топливом для электростанций служат уголь, торф, горючие сланцы, а так же газ и мазут. В отечественной энергетике на долю КЭС приходится до 60% выработки электроэнергии.

Основными особенностями КЭС являются: удаленность от потребителей электроэнергии, что определяет в основном выдачу мощности на высоких и сверхвысоких напряжениях, и блочный принцип построения электростанции. Мощность современных КЭС обычно такова: что каждая из них может обеспечить электроэнергией крупный район страны. Отсюда еще одно название э/станций этого типа - ГРЭС.

Энергоблок представляет как бы отдельную электростанцию со своим основным и вспомогательным оборудованием и центром управления - блочным щитом. Связей между соседними энергоблоками по технологическим линиям обычно не предусматривается. Построение КЭС по блочному принципу дает определенные технико-экономические преимущества, которые заключаются в следующем:

- облегчается применение пара высоких и сверхвысоких параметров вследствие более простой системы паропроводов, что особенно важно для освоения агрегатов большой мощности;
- упрощается и становится более четкой технологическая схема электростанции, вследствие чего увеличивается надежность работы и облегчается эксплуатация;
- уменьшается, а в отдельных случаях может вообще отсутствовать тепломеханическое оборудование;
- сокращается объем строительных и монтажных работ;
- уменьшаются капитальные затраты на сооружение электростанции;
- обеспечивается удобное расширение электростанции, причем новые энергоблоки при необходимости могут отличаться от предыдущих по своим параметрам.

Технологическая схема КЭС состоит из нескольких систем: топливоподачи; топливоприготовления; основного пароводяного контура вместе с парогенератором и турбиной; циркуляционного водоснабжения; водоподготовки; золоулавливания и золоудаления и, наконец, электрической части станции.

Механизмы и установки, обеспечивающие нормальное функционирование всех этих элементов, входят в так называемую систему собственных нужд станции (энергоблока).

Наибольшие энергетические потери на КЭС имеют место в основном пароводяном контуре, а именно в конденсаторе, где отработавший пар, содержащий еще большее количество тепла, затраченного при парообразовании, отдает его циркуляционной воде. Тепло с циркуляционной водой уносится в водоемы, т.е. теряется. Эти потери в основном определяют к.п.д. электростанции, даже для самых современных КЭС не более 40-42%.

Электроэнергия, вырабатываемая электростанцией, выдается на напряжение 110-750 кВ, и лишь часть ее отбирается на собственные нужды через трансформатор собственных нужд, подключенный к выводам генератора.

Генераторы и повышающие трансформаторы соединяют в энергоблоки и подключают к распределительному устройству высокого напряжения, которое обычно выполняется открытыми (ОРУ). Варианты расположения основных сооружений могут быть различными.

Современные КЭС оснащаются в основном энергоблоками 200-800 МВт. Применение крупных агрегатов позволяет обеспечить быстрое наращивание мощностей электростанции, приемлемые себестоимость электроэнергии и стоимость установленного киловатта мощности станции.

Современные КЭС весьма активно воздействуют на окружающую среду: на атмо- гидро- и литосферу. Влияние на атмосферу складывается в большом потреблении воздуха для горения топлива и в выбросе значительного количества продуктов сгорания. Это в первую очередь газообразные окислы углерода: серы: азота: ряд которых имеют очень высокую активность. Летучая зола, прошедшая через золоуловители загрязняет воздух.

КЭС загрязняет гидросферу большими массами теплой воды: сбрасываемыми из конденсаторов турбин: а так же промышленными стоками, хотя они проходят тщательную очистку.

Для литосферы влияние КЭС оказывается не только в том: что для работы станции извлекаются большие массы топлива, отчуждаются и застраиваются земельные угодья, но и в том: что требуется много места для захоронения больших масс золы и шлака.

Теплофикационные теплоцентрали (ТЭЦ).

Этот вид электростанций предназначен для централизованного снабжения промышленных предприятий и городов электроэнергией и теплом. Являясь: как и КЭС, тепловыми электростанциями, они отличаются от последних использованием тепла " отработавшего " в турбинах пара для нужд промышленного производства, а так же для отопления, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения. При такой комбинированной выработке электроэнергии и тепла достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, т.е. выработкой электроэнергии на КЭС и получением тепла от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением тепла и электроэнергии. В целом на ТЭЦ производится около 25% всей электроэнергии вырабатываемой в России?

Особенности технологической схемы ТЭЦ Части схемы, которые по своей структуре подобны таковым для КЭС, здесь не указаны. Основное отличие заключается в специфике пароводяного контура и способе выдачи электроэнергии.

Специфика электрической части ТЭЦ определяется расположением электростанции вблизи центров электрических нагрузок. В этих условиях часть мощности может выдаваться в местную сеть непосредственно на генераторном напряжении. С этой целью на электростанции создается обычно генераторное распределительное устройство (ГРУ). Избыток мощности выдается в энергосистему на повышенном напряжении.

Существенной особенностью ТЭЦ является также повышенная мощность теплового оборудования по сравнению с электрической мощностью электростанции. Это обстоятельство определяет больший относительный расход электроэнергии на собственные нужды, чем на КЭС.

Размещение ТЭЦ преимущественно в крупных промышленных центрах, повышенная мощность теплового оборудования в сравнении с электрическим повышают требования к охране окружающей среды.

Гидроэлектростанция (ГЭС)

Один из важнейших способов получения электрической энергии основан на использовании водной энергии. Гидроэнергетика-отрасль техники и прикладная наука, соединяющая в себе элементы гидротехники и энергетики. В ней изучаются как способы получения электрической энергии, так и гидротехнические сооружения, необходимые для получения электрической энергии на основе использования водной энергии.

Гидроэлектростанция (ГЭС) - основной объект гидроэлектроэнергетики, она представляет собой неразрывную систему гидротехнических сооружений и оборудования для получения электрической энергии из воды. Гидроэлектростанции по-прежнему занимают особо важное место в современных энергетических системах, выполняя главную роль по регулированию параметров в нестационарном режиме, а также покрывая наиболее неравномерную часть графиков нагрузки. Кроме того, низкая стоимость товарной продукции ГЭС весьма положительно сказывается на ценообразовании электроэнергии на рынке её сбыта.

Главными преимуществами ГЭС являются:

- гидроэнергия возобновима (пока существует река);
- низкая стоимость электроэнергии (на порядок ниже, чем на ТЭС или АЭС);
- высокая маневренность (увеличение или уменьшение вырабатываемой гидроагрегатом энергии производится в течение нескольких секунд увеличением или уменьшением подачи воды к агрегату); маневренная (пиковая) энергия (мощность) особенно ценна, так как идет на покрытие пиков потребления энергии и является аварийным резервом энергосистем;

- относительная экологическая чистота;

- экономия трудовых ресурсов; замена действующих в России ГЭС на ТЭС и АЭС потребовала бы дополнительно 500 тыс. рабочих (с учетом шахтеров, добывающих топливо, железнодорожников, это топливо транспортирующих), для малонаселенных районов Сибири и Дальнего Востока экономия трудовых ресурсов особенно важна.

Главные недостатки ГЭС:

- потери плодородных земель, затопляемых водохранилищами наибольшие потери плодородных земель характерны для низко и средне напорных гидроузлов равнинных рек европейской части страны. В условиях Сибири и Дальнего Востока потери (в основном леса) в результате затоплений существенно ниже. В горных условиях (Кавказ, Памир, Алтай, Саяны) эти потери минимальны;

- водохранилища иногда приводят к ухудшению качества воды. Это обусловлено снижением скорости движения воды в водотоке и связанным с этим уменьшением естественной способности к самоочищению;

- создание водохранилищ без соответствующих компенсационных мероприятий наносит урон рыбному хозяйству. Плотины являются препятствием для миграции проходной и полу проходной рыбы. Затопление естественных нерестилищ, сильные изменения уровня воды в водохранилищах создают трудности для размножения рыб.

- негативному влиянию водохранилищ предписывается и то, что гидроэлектростанции становятся толчком для строительства в непосредственной близости от источника энергии и воды территориально-промышленных комплексов, вредные сточные воды которых создают исключительно высокую техногенную нагрузку на воды водохранилища. Примером могут служить все Волжские и Братское водохранилища.

Главным недостатком электрической энергии является практическая невозможность ее накопления и складирования. Современные электрические аккумуляторы еще не обладают необходимой емкостью. Электрическая энергия потребляется сразу после того, как производится. Этим она отличается от любого товара.

- создание крупных водохранилищ изменяет климат региона. Зима становится мягче, а лето прохладнее.

Крупная ГЭС- это не только источник электрической электроэнергии. Появление крупной ГЭС существенно влияет на природную среду региона, а также оказывает благотворное преобразующее влияние на состояние экономики и социальную сферу.

В 60-80 годы XX века наметился некоторый спад в строительстве крупных гидроузлов. Однако, в 90-е годы спад во многих странах был преодолен. Например, в Китае, где одновременно строятся 70 плотин высотой более 15 метров, и где сооружается самая крупная ГЭС мира «Три ущелья» мощностью 18,2 млн. кВт.

Советский Союз долгие годы занимал лидирующее положение в мировой гидроэнергетике. В свое время Красноярская и Саяно-Шушенская ГЭС были самыми мощными в мире. После распада СССР лидирующее позиции России и стран СНГ были утрачены. В настоящее время Саяно-Шушенская и Красноярская ГЭС занимают соответственно шестое и седьмое место в мире.

Номер п/п	Наименование ГЭС	Страна	Установленная мощность тыс. кВт	Примечание
1	Три ущелья	Китай	18200	Строится
2	Итайпу	Италия	12600	Действующая
3	Грэнд-Кули	США	10830	Действующая
4	Гури	Венесуэла	10300	Действующая
5	Тукуруи	Бразилия	8000	Действующая
6	Саяно-шушенская	Россия	6400	Действующая
7	Красноярская	Россия	6000	Действующая
8	Ла Гранте	Канада	5328	Действующая
9	Черчил-Фулз	Канада	5225	Действующая

Крупнейшие ГЭС России

Река	Наименование ГЭС	Мощность МВт	Река	Наименование ГЭС	Мощность МВт
Енисей	Саяно-Шушенская Майнская	6721	Волга	Волжская	2541
	Красноярская	6000	Буряя	Бурейская	2000
Ангара	Братская	4500	Волга	Саратовская	1315
	Усть-Илимская	4320	Зяя	Зэйская	1290
	Богучанская	4000	Кама	Нижекамская	1248

Атомные электростанции

Атомные электростанции (АЭС) относятся к тепловым электрическим станциям, однако из-за ряда специфических особенностей выделяются в самостоятельную группу. Первая в мире атомная станция была пущена в 1954 году, а сейчас работают Белоярская, Нововоронежская, Ленинградская, Кольская и другие АЭС, которые постепенно будут вытеснять электростанции, работающие на органическом топливе. Коэффициент полезного действия атомных электростанций пока невысок – 20 – 30 %.

Устройство, в котором происходит процесс деления ядер с выделением теплоты, называют атомным реактором. На АЭС применяют несколько видов реакторов: водоводяные энергетические ВВЭР-440, ВВЭР-1000, РБМК-1500, а также на быстрых нейтронах.

Схема атомной электростанции показана на рис. Для регулирования скорости процесса выделения теплоты (его замедления) в атомных реакторах применяют графитовые стержни. Теплота, выделяемая при получении ядерной энергии, передается в реакторе 1 охлаждающему теплоносителю (например, обычной воде, диоксиду углерода, гелию), который с помощью реакторного насоса 9 пропускается через специальный теплообменник 2, а затем с помощью насоса 8 перекачивается в парогенератор 3. Здесь вода превращается в пар, поступающий в турбину 4. На одном валу с турбиной находится генератор (турбогенератор 5), от которого

электроэнергия подается в электрическую сеть. Реактор 1 и промежуточный теплообменник 2 являются источниками радиоактивного излучения, опасного для жизни.

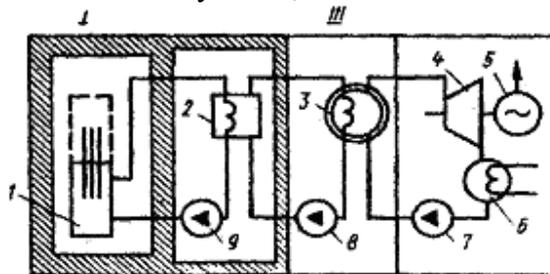


Рисунок – Схема атомной электростанции

Для приема электроэнергии, вырабатываемой электростанциями, ее преобразования и электроснабжения потребителей передачи электроэнергии из одного энергорайона в другой служат электрические сети и их подстанции. В зависимости от характера потребителей, расположения и мощности электростанции в данном районе, конфигурации, длины и напряжения электрических сетей, атмосферных и других условия электрические подстанции имеют различное назначение и разнообразное оборудование.

Электроустановка – это совокупность машин, аппаратов, линий электропередачи и вспомогательных устройств, предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Основное электрооборудование электрических станций и подстанций: синхронные генераторы, силовые трансформаторы и автотрансформаторы, синхронные и статические компенсаторы.

На современных электростанциях применяются *синхронные генераторы* трехфазного переменного тока. Первичными двигателями для них являются паровые турбины или гидротурбины. В первом случае это *турбогенератор*, а во втором – *гидрогенератор*.

Паровые турбины, являются первичными двигателями, наиболее экономичны при высоких скоростях.

Большинство *турбогенераторов* быстроходные, т.е. имеют максимальное число оборотов 3000. Если бы наши электроустановки были рассчитаны на частоту 60 Гц, то номинальное число оборотов соответственно увеличилось бы до 3600.

Генераторы небольших мощностей, соединенные с дизелями и другими поршневыми машинами, изготавливаются на 750 – 1500 об/мин.

Гидрогенераторы большой и средней мощности выполняются с вертикальным валом, в верхней части которого располагается генератор, а в нижней – гидротурбина. Мощность гидротурбины и ее скорость определяются величиной напора и расхода воды. Гидрогенераторы при больших мощностях изготавливаются на 60 – 125 об/мин, т.е. они являются тихоходными машинами.

Силовые трансформаторы и автотрансформаторы предназначены для преобразования электроэнергии переменного тока с одного напряжения на другое. Наибольшее распространение получили трехфазные трансформаторы, так как потери в их на 12 – 15 % ниже, а расход активных материалов и стоимость на 20 – 25 % меньше, чем в группе трех однофазных трансформаторов такой же суммарной мощности.

Однофазные трансформаторы применяются, если невозможно изготовление трехфазных трансформаторов необходимой мощности или затруднена их транспортировка.

Мощный трансформатор высокого напряжения представляет собой сложное устройство, состоящее из большого числа конструктивных элементов, основными из которых являются: магнитная система (магнитопровод), обмотки, изоляция, выводы, бак, охлаждающее устройство, механизм регулирования напряжения, защитные и измерительные устройства, тележка.

Силовые трансформаторы являются основным электрическим оборудованием электроэнергетических систем, обеспечивающим передачу и распределение

электроэнергии на переменном трехфазном токе от электрических станций к потребителям. С помощью трансформаторов напряжение повышается от генераторного до значений, необходимых для электропередач системы (35... 750 кВ), а также многократное ступенчатое понижение напряжения до значений, применяемых непосредственно в приемниках электроэнергии (0,22...0,66 кВ).

В справочных данных на трансформаторы приводятся: тип, номинальная мощность, номинальные напряжения обмоток, потери мощности холостого хода и короткого замыкания, напряжение короткого замыкания, ток холостого хода.

На повышающих и понизительных подстанциях применяют трехфазные или группы однофазных трансформаторов с двумя или тремя отдельными обмотками. В зависимости от числа обмоток трансформаторы разделяются на двухобмоточные и трехобмоточные. Двухобмоточные трансформаторы номинальной мощностью больше 25 МВ-А выполняются с расщепленной обмоткой вторичного напряжения 6... 10 кВ. Обмотки высшего, среднего и низшего напряжений принято сокращенно обозначать соответственно ВН, СН, НН.

В настоящее время применяются трансформаторы следующих стандартных номинальных мощностей: 25,40, 63, 100, 160,250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300, 10 000, 16 000, 25 000, 32000, 40 000, 63 000, 80 000, 160 000 кВ • А.

Условные обозначения типов трансформаторов состоят из букв, которые обозначают:

первые буквы: О - однофазный, Т - трехфазный;

последняя буква: Н - выполнение одной обмотки с устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН);

Р - трансформатор с расщепленной обмоткой низшего напряжения;

Т - трехобмоточный трансформатор;

М, Д, ДЦ, С, З - система охлаждения трансформаторов.

В настоящее время трансформаторы выполняются с переключением ответвлений обмотки без возбуждения (ПБВ) и с переключением ответвлений обмотки под нагрузкой - РПН.

Переключение без возбуждения осуществляется после отключения всех обмоток от сети при помощи ответвлений обмотки ВН или СН. Трехфазные понижающие трансформаторы мощностью 25... 80 000 кВ • А напряжением до 35 кВ включительно имеют четыре ответвления ($\pm 2 \times 2,5$ %) номинального напряжения. Понижающие трансформаторы напряжением 10 и 220 кВ имеют ответвления для ПБВ только в трехобмоточном исполнении на обмотках СН при напряжении 38,5 кВ.

Трансформаторы с воздушным охлаждением называются сухими (С). Изготавливаются мощностью до 1600 кВ -А включительно для установки в закрытых помещениях. Преимущество сухих трансформаторов заключается в их пожаробезопасности и сравнительной простоте конструкции.

Естественное масляное охлаждение (М) применяется для трансформаторов мощностью до 6300 кВ-А.

При мощности трансформаторов 10000 кВ-А и более применяется масляное охлаждение с воздушным дутьем (Д). Обдувание поверхности радиаторов позволяет увеличить теплоотдачу на 50% и более. В настоящее время трансформаторы снабжаются системой дутьевого охлаждения при помощи вентиляторов.

Масляное охлаждение с принудительной циркуляцией (Ц) позволяет значительно увеличить отвод тепла. К баку масляного трансформатора подключают центробежный насос, который прогоняет горячее масло через воздушный или водяной охладитель.

На трансформаторах мощностью 63 МВ • А и более используют две системы охлаждения ДЦ.

Трансформаторы с охлаждением негорючим жидким диэлектриком совтолом (Н) изготавливаются мощностью до 2500 кВ-А включительно.

Буква 3 обозначает, что трансформатор без расширителя и защита осуществляется с помощью азотной подушки.

Пример условного обозначения трансформатора ТРДН -40 000/110: трехфазный трансформатор с расщепленной обмоткой НН, масляным охлаждением, дутьем и естественной циркуляцией масла, РПН, номинальной мощностью 40 000 кВ · А, напряжением 110 кВ.

Важным параметром подключения трансформатора к сети является группа и схема соединений его обмоток. *Группой соединений* называют угловое (кратное 30°) смещение векторов между одноименными вторичными и первичными линейными напряжениями холостого хода трансформатора. Возможны четыре схемы соединения силовых трансформаторов: звезда Y, звезда с выведенной нейтралью Y_Н, треугольник А, зигзаг Z. Группа соединений указывается числами от 0 до 12. Например, 11 соответствует углу 330°.

На электрических станциях и подстанциях наибольшее распространение получили следующие схемы и группы соединений двухобмоточных трансформаторов:

звезда - звезда с выведенной нейтралью Y/Y_Н - 12;

звезда - треугольник Y/Д - 11;

звезда с выведенной нейтралью - треугольник Y_Н/А - 11.

В трехобмоточных трансформаторах наиболее часто применяются соединения: звезда - звезда с выведенными нейтральями - треугольник Y/Y_Н/А- 11, 12.

Автотрансформаторы применяются при небольших коэффициентах трансформации (менее 2), при которых они более экономичны, чем трансформаторы. Кроме того, автотрансформаторы применяются в сетях напряжением 220 кВ и выше для регулирования напряжения (линейные регуляторы).

Автотрансформаторы с первичным напряжением ВН 220 кВ имеют номинальные мощности 32, 63, 125 и 200 МВ-А.

Маркировка автотрансформаторов начинается с буквы А, например, АДЦТН - 2000000/220 обозначает автотрансформатор трехфазный с масляным охлаждением с принудительной циркуляцией и дутьем, трехобмоточный, с РПН, номинальной мощностью 200 000 кВ-А, напряжением 220 кВ.

Трехфазные трехобмоточные автотрансформаторы изготавливаются с соединением обмоток ВН (220 кВ) и СН (110 кВ) в звезду и добавочной обмотки НН (6,3...38,5 кВ) в треугольник.

Преобразовательные агрегаты

Преобразовательные агрегаты предназначены для питания:

- электролизных установок цветной металлургии и химической промышленности;
- дуговых вакуумных и графитировочных электропечей;
- установок для электрохимической обработки металлов и гальваностегии;
- цеховых сетей постоянного тока, от которых питаются электроприводы, не требующие регулирования подводимого к ним напряжения.

В качестве преобразователей переменного тока в постоянный используются кремниевые выпрямительные агрегаты. Каждый агрегат состоит из трансформатора, одного или двух, или четырех выпрямительных блоков, и другого комплектующего оборудования. Трансформаторы для полупроводниковых агрегатов электролизных установок применяются типа ТДНП -10Ш)... 40 000/10...35 - трехфазные с РПН.

Кремниевые выпрямительные агрегаты для дуговых вакуумных электропечей и графитировочных печей аналогичны выпрямительным блокам агрегатов для электролизных установок. Трансформаторы для выпрямительных агрегатов дуговых вакуумных электропечей применяются типа ТМНПВ - 4000... 12 500/6... 10.

Для питания вакуумных электропечей применяются также параметрические источники тока (ПИТ), главной особенностью которых является высокая точность стабилизации тока нагрузки при емкостном характере коэффициента мощности и при его значении, равном единице. ПИТ состоит из трансформатора, трехфазного резонансного реактора,

конденсаторной установки, выпрямителя и вспомогательных устройств. Разработаны ПИТ на номинальные токи 12,5; 25; 37,5; 50 кА и номинальное напряжение 75 В.

В установках для электрохимической обработки металлов и нанесения различных гальванических покрытий применяют кремниевые преобразовательные агрегаты. Для таких установок требуется регулирование выпрямленного тока в широких пределах, что обеспечивается соответствующим регулированием напряжения. Агрегаты ВАКР и ВАК выполнены на тиристорах и могут работать в режиме автоматического и ручного регулирования выпрямленного напряжения и тока.

Тема 3. Электрические сети промышленных предприятий

Система электроснабжения объекта состоит из питающих, распределительных, трансформаторных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабельных и воздушных сетей, а также токопроводов.

Система электроснабжения может быть выполнена в нескольких вариантах, из которых выбирается оптимальный. При его выборе учитываются степень надежности, обеспечение качества электроэнергии, удобство и безопасность эксплуатации, возможность применения прогрессивных методов электромонтажных работ.

Узловой распределительной подстанцией (УРП) называется центральная подстанция объекта напряжением 35... 220 кВ, получающая питание от энергосистемы и распределяющая ее по подстанциям глубоких вводов на территории объекта.

Главной понижающей подстанцией (ГПП) называется подстанция, получающая питание непосредственно от районной энергосистемы и распределяющая энергию на более низком напряжении (6 или 10 кВ) по объекту.

Подстанцией глубокого ввода (ПГВ) называется подстанция на напряжение 35...220 кВ, выполненная по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении, получающая питание непосредственно от энергосистемы или от УРП. ПГВ обычно предназначается для питания отдельного объекта (крупного цеха) или района предприятия.

Система электроснабжения может быть выполнена в нескольких вариантах, из которых выбирается оптимальный. При его выборе учитываются степень надежности, обеспечение качества электроэнергии, удобство и безопасность эксплуатации, возможность применения прогрессивных методов электромонтажных работ.

Электрические сети внутри объекта выполняются по магистральным, радиальным или смешанным схемам.

Радиальные схемы распределения электроэнергии применяются в тех случаях, когда пункты приема расположены в различных направлениях от центра питания.

Радиальная схема питания обладает большой гибкостью и удобствами в эксплуатации, так как повреждение или ремонт одной линии отражается на работе только одного потребителя.

Магистральные схемы напряжением 6... 10 кВ применяются при линейном («упорядоченном») размещении подстанций на территории объекта, когда линии от центра питания до пунктов приема могут быть проложены без значительных обратных направлений. Магистральные схемы имеют следующие преимущества: лучшую загрузку кабелей при нормальном режиме, меньшее число камер на РП. К недостаткам магистральных схем следует отнести усложнение схем коммутации при присоединении ТП и одновременное отключение нескольких потребителей, питающихся от магистрали, при ее повреждении.

Для выполнения электрических сетей применяются неизолированные (голые) и изолированные провода, кабели, токопроводы.

Голые провода не имеют изолирующих покровов. Их можно прокладывать только в условиях, исключающих случайные прикосновения к ним людей. Прикосновение проводящим предметом к одному или нескольким проводам приведет к замыканию. Наибольшее рас-

пространение голые провода получили на воздушных линиях, расположенных на открытом воздухе. Провода подвешиваются к опорам при помощи изоляторов и арматуры.

Большинство сетей напряжением до 1 кВ внутри помещений выполняются изолированными проводами, т. е. проводами, имеющими изолирующие, а иногда защитные покрытия.

Кабелем называют многопроволочный провод или несколько скрученных вместе изолированных проводов при помещении в общую герметическую оболочку. Силовые кабели предназначены для прокладки в земле, под водой, на открытом воздухе и внутри помещений.

Токопроводом называют устройство, предназначенное для канализации электроэнергии при открытой прокладке в производственных и электротехнических помещениях, по опорным конструкциям, колоннам и фермам зданий. К токопроводам относятся шинные магистрали различного исполнения, которые называются *шинопроводами*.

Материалами для токоведущих частей проводов и кабелей являются медь, алюминий, их сплавы и сталь.

Медь - один из лучших проводников электрического тока, и поэтому необходимые технико-экономические показатели (потери электроэнергии) можно получить при меньших сечениях медных проводов, чем при проводах из других материалов. Твердотянутая медь при температуре +20°C имеет удельное сопротивление $18 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2$ в расчете на 1 км. Медные провода хорошо противостоят влиянию атмосферных условий и большинству химических реагентов, находящихся в воздухе.

Алюминий - худший проводник, чем медь. Его проводимость примерно в 1,6 раза меньше проводимости меди, однако проводимость алюминия все же достаточно высока, чтобы его можно было использовать в качестве токопроводящего материала для проводов и кабелей. Действию атмосферных явлений алюминий противостоит так же хорошо, как и медь.

Стальные провода используются в тех случаях, когда требуется передать небольшую мощность и, следовательно, небольшое сечение, например, в сельских сетях. Стальные провода с большим сопротивлением на разрыв используются для устройства переходов воздушных линий через широкие реки, ущелья и т. п. при длине пролета более 1 км.

Активное и реактивное сопротивление стальных проводов значительно выше, чем проводов из цветного металла, и поэтому область применения этих проводов ограничена. Существенный недостаток стальных проводов - их высокая коррозия. Для повышения коррозионной стойкости стальные провода изготавливают из оцинкованной проволоки.

Тема 4. Защита, управление и автоматизация систем электроснабжения

В условиях эксплуатации возможны повреждения отдельных элементов системы электроснабжения. В ряде случаев повреждение должно быть ликвидировано в течение долей секунды, совершенно очевидно, что человек не в состоянии справиться с такой задачей. Поэтому для определения места повреждения и подачи сигнала на отключение соответствующих выключателей устанавливаются специальные автоматические устройства. Это и есть релейная защита, действующая на отключение. В некоторых случаях выключение и защита совмещаются в одном аппарате (предохранитель, автомат).

Иногда в условиях эксплуатации возникают ненормальные режимы, существование которых допустимо в течение некоторого времени. Нарушение нормального режима в этих случаях может быть ликвидировано действием оперативного персонала. При этом нецелесообразно немедленное отключение элемента электрической сети, а достаточно дать сигнал персоналу. Это осуществляется релейной защитой, действующей на сигнал.

Релейная защита - только часть автоматики, получившая применение в системах раньше других автоматических устройств. Вместе с тем, одна релейная защита не в состоянии обеспечить надежность и бесперебойность электроснабжения. В этом нетрудно убедиться на примере рассмотренных схем электроснабжения. Распределительную

подстанцию в сетях напряжением 6... 10 кВ (см. гл. 6) обычно выполняют в виде двух секций. Каждая питающая линия связана только со своей секцией и обеспечивает питание потребителей только своей секции. Совершенно очевидно, что при повреждении одной из линий и ее отключении соответствующая секция обесточивается, а электроснабжение ее потребителей прекращается. Электроснабжение потребителей может быть восстановлено, если включить секционный аппарат. Эта операция должна быть осуществлена максимально возможно быстро для потребителей первой категории, поэтому в качестве секционного аппарата используется выключатель и для его включения используется устройство автоматики, получившее название *автоматического включения резерва* - АВР.

Опыт эксплуатации воздушных линий электропередач показал, что после быстрого отключения до 70... 90% повреждений самоустраняются, а линия, включенная повторно, остается в работе. И здесь повторное включение осуществляется с помощью автоматики - устройством, получившим название *автоматического повторного включения* - АПВ.

Применительно к релейной защите и автоматике под надежностью понимают свойство этих устройств выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени.

Для обеспечения надежности релейная защита и автоматика должны выполняться при помощи высококачественных и надежно работающих реле и других элементов. Их монтаж должен быть надежным, т. е. таким, при котором исключается обрыв проводов, замыкание между ними, ложное срабатывание от механических сотрясений и др. Существенное значение для надежности имеет правильная эксплуатация защиты и автоматики. Состояние всех устройств защиты и автоматики должно периодически проверяться. Так как каждый элемент может оказаться неисправным, то надежность защиты и автоматики тем выше, чем меньшее число элементов они содержат. Особенно важно уменьшение числа наименее надежных элементов, которыми являются контакты реле. Поэтому для увеличения надежности устройства следует стремиться к его упрощению. Существенное повышение надежности устройств релейной защиты и автоматики может быть достигнуто применением бесконтактных элементов.

Основные принципы действия релейной защиты

Токовые защиты. Защиты, для которых воздействующей величиной является ток, проходящий в месте их включения, получили название *токовых*. Первыми токовыми защитами, и вообще первыми защитами, были плавкие предохранители. В настоящее время, наряду с плавкими предохранителями, широко используют аппараты, получившие название *реле*. Они позволяют выполнять более совершенные защиты. Реле тока являются основными реле токовой защиты. Они приходят в действие при отклонении величины тока в защищаемом элементе от заданного значения. Реле, действующее при возрастании тока, называется *максимальным реле тока*, а реле, реагирующее на снижение этой величины, - *минимальным реле тока*. Токовые защиты выполняют с включением реле на полные фазные токи, а также на симметричные составляющие этих токов. В зависимости от способа обеспечения селективности токовые защиты делятся на максимальные токовые и токовые отсечки

Защиты напряжения. Для защиты напряжения воздействующей величиной является напряжение цепи в месте включения защиты. Основное реле защиты - реле напряжения, которое приходит в действие при отклонении величины напряжения от заданного значения.

Защита, срабатывающая при уменьшении напряжения, называется *минимальной защитой напряжения*. Основным ее реле является минимальное реле напряжения. Защита, предназначенная для действия при превышении напряжением заданной величины, называется *максимальной защитой напряжения*; для ее выполнения используют максимальное реле напряжения. Защиту можно выполнить с включением реле на полные фазные и междуфазные напряжения, а также на симметричные составляющие этих напряжений. Селективное действие защиты напряжения обеспечивается теми же способами, что и у токовых защит.

Токовые направленные защиты. Токовая направленная защита действует в зависимости от величины тока и его фазы по отношению к напряжению на шинах подстанции, где защита

установлена. Защита срабатывает, если ток превысит заданную величину, а его фаза будет соответствовать короткому замыканию на защищаемом элементе. Такое действие обеспечивается включением в схему защиты наряду с реле тока реле мощности, реагирующего на направление мощности КЗ.

Токовые направленные защиты, так же как и ненаправленные, бывают с выдержкой времени и мгновенного действия и могут выполняться реагирующими на полные напряжения и токи фаз или на их симметричные составляющие.

Дистанционные защиты. При КЗ в связи с увеличением тока / в защищаемом элементе и уменьшением напряжения U отношение UI уменьшается по величине. Поэтому защиту от КЗ можно выполнить с учетом изменения величины этого отношения. Такая защита называется *дистанционной*. Основным ее органом является реле сопротивления. Схему защиты выполняют так, что ее выдержка времени находится в зависимости от расстояния между местом установки защиты и точкой КЗ; с увеличением этого расстояния растет и выдержка времени.

Дифференциальные защиты. Дифференциальная защита основана на принципе сравнения токов или фаз токов по концам защищаемого участка или в соответствующих ветвях параллельно соединенных элементов электрической установки. Связь между сравниваемыми токами осуществляется проводами. Дифференциальный принцип позволяет выполнять защиту, как правило, быстродействующей.

Высокочастотные защиты. Высокочастотная защита используется в качестве защиты магистральных линий электропередач. Как и дифференциальная защита, она основана на принципе сравнения между собой однородных электрических величин по концам защищаемой линии. Связь между сравниваемыми величинами осуществляется обычно с помощью токов высокой частоты. В качестве линии связи используется сама защищаемая линия. Высокочастотный принцип позволяет выполнить защиту быстродействующей.

Тема 5. Качество электрической энергии. Экономия электроэнергии на предприятиях

Приемники электроэнергии (ПЭ) и аппараты, присоединенные к электрическим сетям, предназначены для работы при определенных номинальных параметрах: номинальной частоте переменного тока, номинальном напряжении, номинальном токе и т.п. Долгое время основными режимными параметрами, определяющими качество электрической энергии, считались значение частоты в электрической системе и уровни напряжения в узлах сети. Однако, по мере внедрения в технологические производственные процессы электропотребителей, обладающих нелинейными вольт-амперными характеристиками, все чаще приходилось учитывать возможные нарушения симметрии, синусоидальности формы кривой напряжения в трехфазных сетях.

На показатели качества электрической энергии заметное влияние оказывают параметры сетей. Например, напряжение на зажимах ПЭ будет зависеть от протяженности и характера сети, находящейся между источником питания (ИП) и данными ПЭ. Поэтому показатели, связанные с напряжением, являются местными (локальными), имеющими различные значения в точках сети. Частота сети является общесистемным (глобальным) параметром качества электрической энергии.

Опыт проектирования и эксплуатации электрических сетей показывает, что мероприятия по исключению и снижению влияния электрических сетей на показатели качества электроэнергии могут быть весьма дорогими. Поддержание оптимального уровня напряжения на зажимах каждого ПЭ в общем случае нецелесообразно в первую очередь, по экономическим соображениям. Действительно, поскольку ПЭ могут иметь неодинаковые режимы работы и находятся электрически на разном удалении от ИП, то для поддержания оптимального напряжения на зажимах каждого из них необходимо снабдить их индивидуальными регуляторами напряжений. Очевидно, что это слишком дорого. Более выгодным является групповое регулирование напряжения, когда общее регулирующее устройство устанавливается для группы ПЭ. При этом, естественно, номинальное напряжение будет поддерживаться лишь у некоторых из ПЭ, тогда как у остальных напряжение может отклоняться от номинального в большую или меньшую сторону.

Из-за этого в какой-то мере могут ухудшаться технические параметры производственных установок, отрицательно влияя на их экономичность. Однако экономия от замены индивидуального регулирования напряжения правильно выбранным групповым, как правило, перекрывает соответствующее снижение экономичности производства.

В требованиях к качеству электрической энергии, (ГОСТ 32144-2013), указываются технически допустимые пределы отклонений значений от номинальных параметров. Первый у нас в стране государственный стандарт на качество электроэнергии был введен в 1967 г. (ГОСТ 13109 - 67). Он был скорректирован в 1979 и в 1987 гг., а в настоящее время действует новый ГОСТ 32144-2013.

На этапе проектирования сети при нормальных режимах ее работы необходимо рассчитывать показатели качества электроэнергии (ПКЭ) и выбирать наиболее экономичные средства приведения параметров режимов к допустимым пределам (нормам). В условиях эксплуатации в электрической сети должен осуществляться систематический контроль за ПКЭ и соответственно приниматься меры по приведению параметров к допустимым нормам.

Показатели качества электроэнергии

ГОСТ 32144-2013 устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения - ТОП).

Этот ГОСТ устанавливает 11 основных показателей качества электроэнергии (ПКЭ):

- 1) отклонение частоты;
- 2) установившееся отклонение напряжения;
- 3) размах изменения напряжения;
- 4) дозу фликера (мерцания или колебания);
- 5) коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;
- 6) коэффициент и-й гармонической составляющей напряжения
- 7) коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- 8) коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- 9) глубину и длительность провала напряжения;
- 10) импульсное напряжение;
- 11) коэффициент временного перенапряжения;

При определении значений некоторых показателей КЭ используют следующие вспомогательные параметры электрической энергии:

- 1) частоту повторения изменений напряжения;
- 2) интервал между изменениями напряжения;
- 3) глубину провала напряжения;
- 4) частота появления провалов напряжения;
- 5) длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды;
- 6) длительность временного перенапряжения;

Установлены два вида норм ПКЭ: нормально допустимые (норм.) и предельно допустимые (пред.).

Основные сведения о системах электроснабжения, энергосбережении и энергетической безопасности

Статистика показывает, что с ростом потребления энергии на одного жителя в год качество жизни повышается. Уровень жизни также зависит и от эффективности использования энергии. Очевидно, что в странах с более высоким потреблением энергии национальный доход на душу населения также выше (табл. 1).

Таблица 1. Показатели эффективности использования энергии стран со сходными климатическими условиями

Страна	энергоресурсов на душу населения, т у.т.	Эффективность использования энергии, дол. США ВВП/кг у.т (рейтинговый показатель)
США	8,3	3,9(8)
Канада	7,9	3,2(9)
Финляндия	6,5	4,8(7)
Швеция	5,8	5,2 (6)
Франция	4,2	6,7(4)
Россия	4,2	0,5(18)
Германия	4,1	7,7(3)
Дания	3,9	10,0 (2)
Швейцария	3,8	12,2 (1)
Чехия	3,8	1,4 (12)
Ирландия	3,7	6,7 (5)
Эстония	3,2	1,3 (14)
Украина	3,0	0,6(17)
Венгрия	2,6	2,0(10)
Польша	2,6	1,7(11)
Беларусь	2,4	1.1(15)
Литва	2,2	0.9(16)
Латвия	1.6	1,6(18)

Потребность страны в энергии R определяется зависимостью

$$R = EN, \quad (1)$$

где E - годовое потребление энергии на душу населения; N - количество жителей в стране. Национальный доход на душу населения S - пропорционален эффективности использования энергии:

$$S = f E, \quad (2)$$

где f - нелинейный параметр, определяющий эффективность использования энергии. Этот параметр аналогичен коэффициенту полезного действия. Подставив E из (2) в (1), получим

$$R = SN / f. \quad (3)$$

Таким образом, из зависимостей (1) и (3) следует, что потребность страны в энергии может быть удовлетворена или за счет наращивания мощности энергетических установок эффективного использования энергии.

Для решения практических вопросов эффективного использования энергии необходимо знание основных терминов и понятий, связанных с производством, преобразованием, транспортировкой и потреблением энергии, а также непосредственно касающихся энергосбережения. Рассмотрим их с краткими комментариями.

Энергия является мерой способности объекта совершить работу. Известно много видов энергии, например тепловая, механическая, электрическая, излучения, химическая, ядерная, массы. В ряде публикаций теплоту не относят к отдельному виду энергии, а считают лишь формой или способом ее передачи.

Одним из критериев оценки качества энергии принимается доля энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу. Широко распространенные и перспективные источники энергии имеют следующие ориентировочные значения этого критерия:

- теплота сжигаемого топлива - 30-46 %;
- электроэнергия - 95 % и более;
- источники механической энергии: ветровая - 30 %, водных потоков рек - 60 %, волновая и приливная — 65 %;
- тепловые возобновляемые источники - 35 %;
- фотоэлектрические преобразователи - 15 %.

Источники энергии делятся на невозобновляемые (истощаемые) и возобновляемые (неистощаемые).

Невозобновляемые источники энергии - это природные запасы вещества и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. В первую очередь к ним следует отнести ископаемые топлива и продукты их переработки: каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть, природный и попутный газ. Это также отходы некоторых производств: металлургической промышленности, процессов химической и термохимической переработки углеродистого и углеводородного сырья и т.д.

Возобновляемые источники энергии - это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии: Солнца, ветра, тепловой энергии Земли, морей и океанов, рек, биомассы (растений и животных).

Запасы и перспективы использования различных источников энергии определяются энергетическими ресурсами.

Энергетический ресурс - носитель энергии, который используется в настоящее время или может быть использован в перспективе. В настоящее время основными потребляемыми энергетическими ресурсами являются природные топлива и энергия потоков воды, которые представляют собой не что иное, как преобразованную энергию Солнца. Предварительно переработанный, преобразованный энергетический ресурс, непосредственно используемый на стадии конечного потребления, а также природный энергетический ресурс, потребляемый на этой стадии, называются *энергоносителями*. Примеры энергоносителя - природный газ, мазут (котельное топливо), горячая вода и пар в системах центрального теплоснабжения и т. д.

Энергетические ресурсы подразделяют на первичные и вторичные.

Первичный энергоресурс - энергоресурс, который не был подвергнут какой-либо переработке.

Вторичный энергоресурс (ВЭР) - энергоресурс, получаемый в виде побочного продукта основного производства или являющийся таким продуктом. Фактически ВЭР являются отходами производства. Применение ВЭР позволяет значительно повысить эффективность использования энергии.

Топливо-энергетический комплекс, охватывающий получение, передачу, преобразование и использование различных видов энергии и энергетических ресурсов, называется энергетикой.

Энергетика делится на классическую и неклассическую.

Классическая энергетика базируется на использовании ископаемого горючего или ядерного топлива и энергии воды крупных рек (рис.). Она подразделяется на теплоэнергетику, электроэнергетику, ядерную энергетiku и гидроэнергетику.

Неклассическая энергетика включает возобновляемые источники энергии и ВЭР: энергию Солнца (тепловая энергия, превращенная тепловая энергия, кинетическая энергия, фотосинтез), тепловую энергию Земли, энергию планетарного движения (приливы), ВЭР (тепловые, горючие и перепадов давления).

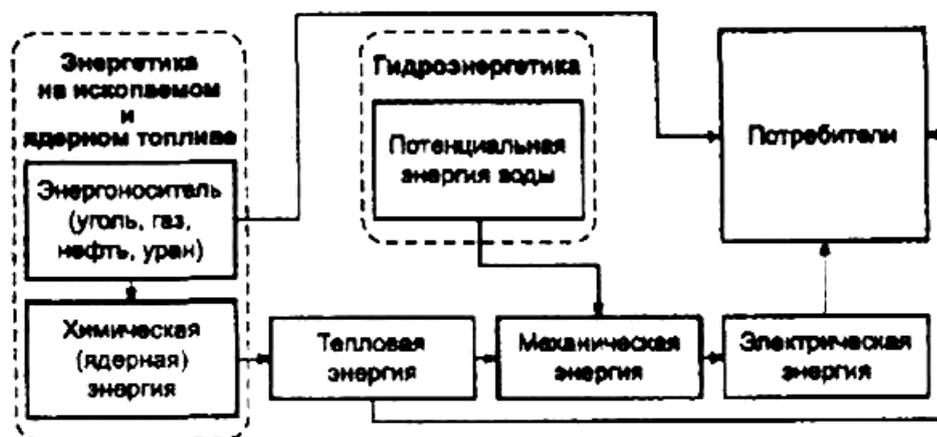


Рисунок – Энергетическая цепочка, основанная на большой энергетике

Энергетические цепочки от источника до конечного потребления энергии включают преобразование энергии в различные виды. Эти процессы и составляют сущность энергетики.

Вместе с тем на каждой стадии производства» передачи и потребления энергии имеются ее потери (чаще всего в виде теплоты), рассеивающейся обратно в окружающую среду.

Решение вопросов уменьшения потерь энергии и ее эффективного использования на всех стадиях составляет сущность энергосбережения.

Энергетический объект – любое сооружение или группа сооружений предназначенные для производства, транспорта, распределения и/или преобразования энергии, а также ее использование для производства продукции.

Энергосберегающая политика государства - правовое, организационное и финансово-экономическое регулирование деятельности в области энергосбережения;

Непроизводительный расход энергетических ресурсов - расход энергетических ресурсов, обусловленный несоблюдением требований, установленных государственными стандартами, а также нарушением требований, установленных иными нормативными актами, технологическими регламентами и паспортными данными для действующего оборудования;

Энергопотребление – физическая величина, отражающая количество потребляемого хозяйственным субъектом энергоресурса определенного качества, которая используется для расчета показателей энергоэффективности.

Энергосбережение - организационная, научная, практическая и информационная деятельность, направленная на эффективное использование энергетических ресурсов и реализуемая с применением технических, экономических и правовых методов. Энергосбережение включает широкий набор взаимосвязанных действий и методов для обеспечения эффективного использования энергии.

Эффективное использование энергии - достижение экономически и социально оправданного уменьшения использования энергетических ресурсов на единицу продукции или услуг при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении требований к охране окружающей природной среды.

Показатель энергоэффективности – абсолютная или удельная величина потребления или потери энергетических ресурсов для продукции любого назначения, установленная государственными стандартами.

Потенциал энергосбережения – объем экономии энергоресурсов на энергетическом объекте, который может дать внедрение соответствующей технологии или реализация энергосберегающего мероприятия.

Экономия энергии - результаты реализации мер, применяемых в целях снижения непроизводительных потерь топлива, электроэнергии, теплоты, механической энергии. Экономия энергии может достигаться пассивными и активными методами.

К пассивным методам, например, относится использование теплоизоляции для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду путем применения материалов и конструкций с малой теплопроводностью и теплопередачей.

Активная экономия энергии - регулирование отпуска теплоты на отопление и кондиционирование воздуха и регулирование нагрузки потребительских установок. Активная экономия энергии также включает утилизацию вторичных энергоресурсов. Экономия энергии может достигаться и за счет организационных изменений и внедрения новых систем, например путем использования установок, процессов, продукции или услуг, требующих меньше энергии для работы или изготовления продукции, чем применявшиеся ранее, без ухудшения качественных характеристик производимых изделий или услуг. Кроме того, может проводиться замещение применяющегося энергоносителя другим с достижением экономической выгоды без ущерба для выпуска конечной продукции. Например, в отдельных случаях замещение технологического пара горячей водой приводит к уменьшению непроизводительных потерь теплоты.

Конечный результат экономии энергии может быть прямым и косвенным.

Прямое энергосбережение связано непосредственно с экономией энергетических ресурсов при производстве, преобразовании и транспортировке энергии.

Косвенное энергосбережение связано с экономией материальных неэнергетических ресурсов при их добыче, переработке и эксплуатации и достигается за счет уменьшения материалоемкости выпускаемой продукции, повышения ее надежности и качества, продления срока службы изделий. Примером косвенного энергосбережения могут служить широко используемые для подавления или уменьшения скорости коррозии металлоконструкций электрохимические методы.

Во всех случаях экономия энергии имеет смысл, если при использовании любого метода или принципа, направленного на ее экономию, влияние на окружающую среду минимально, человек не испытывает неудобств и за счет эффективного использования энергии получена прибыль.

Физико-технический анализ проблемы должен быть дополнен экологическим и экономическим анализом.

Наконец, в процессе преобразования энергии различные юридические и физические лица, связанные с производством, транспортировкой и потреблением: энергии, вступают во взаимные контакты с определенными обязательствами. Ил взаимоотношения регламентируются законодательством и относятся к области права.

Таким образом, для решения проблемы эффективного использования энергии необходимо иметь представление и владеть информацией об основах энергетики, экологии, социальной политики, экономики, менеджмента и права, чтобы» обладая соответствующими знаниями и умениями, реализовывать их на практике.

Одной из составляющих энергетического менеджмента является обеспечение энергетической безопасности развития экономики. Сущность и формы реализации энергетической безопасности во многом зависят от уровня энергетической обеспеченности страны.

Составляющими энергетического менеджмента являются:

Энергоаудит – обследование энергетических объектов с целью выявления энергетической эффективности, определения мер по ее повышению и возможностей их реализации, включающее сбор документальной информации, инструментальное обследование, анализ информации и разработку рекомендаций по энергосбережению.

Сбор документальной информации – сбор данных о потреблении энергоресурсов, выпуске продукции, выполнении работ и оказании услуг, о технологических параметрах, технико-экономических показателях, климатических наблюдениях и других данных, которые необходимо учитывать при расчете эффективности энергетического объекта.

В будущем проблема энергообеспечения экономики приобретет еще большую остроту. Для того чтобы увеличить в несколько раз производство валового национального продукта (ВНП) на душу населения, не достигая при этом порогового показателя в 10-12 тыс. дол. США, можно (по примеру таких государств» как Венгрия, Польша, Эстония и др.) Пойти по пути повышения эффективности использования энергии без значительного возрастания энергопотребления. Но чтобы перейти в категорию стран с уровнем производства ВНП в десятки тысяч долларов США на душу населения, необходимо (как это следует не табл. 1) не только значительно повысить энергоэффективность, но и существенно увеличить энергопотребление.

Энергетическая безопасность – состояние защищенности экономик страны, отдельных регионов, предприятий, граждан от угрозы надежному топливно- и энергообеспечению.

Можно выделить следующие обобщенные факторы повышения энергетической безопасности стран с различным уровнем обеспеченности энергетическими ресурсами:

- Развитие стратегии, методологии оценки и мониторинг энергетической безопасности.
- Модернизация и реструктуризация топливно-энергетического комплекса.
- Расширение списка стран-поставщиков и номенклатуры экспортируемых энергетических ресурсов.
- Повышение надежности функционирования энергетических установок.
- Диверсификация топливно-энергетических ресурсов, использование альтернативных источников энергии.
- Повышение эффективности использования энергии за счет разработки и внедрения

новых технологий и оборудования в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте и социальной сфере.

– Реализация существующего потенциала энергосбережения, включая уменьшение потерь энергии, использование вторичных энергетических ресурсов и т.д.

– Частичная переориентация на собственные топливно-энергетические ресурсы, включая:

- использование местных видов органического топлива;
- развитие энергетических источников на ядерном топливе и (или) совместная эксплуатация блоков АЭС пограничных стран;
- развитие водородной энергетики;
- использование вторичных энергетических ресурсов;
- использование биологических отходов (биотоплива) в промышленных масштабах, для производства электроэнергии и теплоты;
- развитие нетрадиционных возобновляемых энергетических источников на основе энергии Солнца, водных потоков, ветра и геотермальных вод.

– Долевое участие в разработке и эксплуатации и (или) акционирование предприятий энергетического сектора стран-партнеров.

– Разработка совместных со странами-партнерами программ повышения коллективной энергетической безопасности.

В качестве дополнительного критерия энергетической безопасности следует рассматривать наличие национальной информационно-аналитической системы, включая подсистемы мониторинга показателей энергетической безопасности, определения текущих пороговых уровней кризисности состояния энергетической безопасности и составления долгосрочных и среднесрочных прогнозов развития энергетической составляющей экономики.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью закрепления знаний, полученных при изучении теоретического курса. Тематика практических занятий приведена в таблице.

№ п. п.	Наименование темы	Кол-во акад. часов
1.	Обоснование и оценка эффективности использования альтернативных источников энергии в Амурской области.	6
2.	Оценка эффективности распределенной генерации в регионах с малой плотностью электрических нагрузок	6
3.	Проектирование «Умного дома» и «Умного города»	6

На практических занятиях каждому бакалавру выдаются индивидуальные задания, которые выполняются как на занятиях, так и во внеаудиторное время.

В ходе подготовки к практическим занятиям

Для более глубокого усвоения материала полезно решать задачи. Умение решать задачи потребуется и на экзамене. Большинство вузов в билеты устного экзамена, помимо теоретических вопросов, включает одну или несколько задач, и во время экзамена вам, кроме дополнительных теоретических вопросов, может быть предложена задача. Экзаменаторы справедливо считают, что одним из критериев усвоения теории является способность решать задачи.

1. Для подготовки к практическим занятиям используйте конспекты лекций, учебники и учебные пособия, указанные в списке рекомендуемой основной и дополнительной литературы.

2. Просмотрите те вопросы теории, освещающие разбираемую тему.

3. На практических занятиях целесообразно иметь при себе конспекты лекций, учебники и учебные пособия.

4. При выполнении домашних задач внимательно просмотрите решение аналогичных задач, рассматриваемых на учебных занятиях, осмыслите методы и методические приемы, используемые при их решении.

5. Освоив методику решения данного класса задач, приступайте к решению задач.

При этом придерживайтесь следующих правил.

- Решение задач всех разделов удобно начинать с краткой записи условия, где необходимо отразить не только данные числовые значения, но и все дополнительные условия, которые следуют из текста задачи: неизменность или кратность каких-либо параметров, их граничные значения, условия, которые определяются содержанием задачи.

- Очень важно правильно поставить вопрос к задаче.

- Надо проверить, все ли заданные величины в задаче находятся в одной системе единиц.

- Обязательно надо нарисовать рисунок к задаче, на котором следует обозначить те параметры, которые даны, и те, которые нужно найти. Рисунок в большинстве случаев сильно облегчает процесс решения задачи.

- Необходимо обдумать содержание задачи, выяснить, к какому разделу она относится.

- Далее следует записать формулы, соответствующие используемым в задаче законам, не следует сразу искать неизвестную величину; надо посмотреть, все ли параметры в формуле известны.

- Решение задачи чаще всего следует выполнять в общем виде, то есть в буквенных обозначениях.

- Получив решение в общем виде, нужно проверить размерность полученной величины. Для этого в формулу подставить не числа, а размерности входящих в нее величин. Ответ должен соответствовать размерности искомой величины (смотрите в примерах).

- После проверки формулы на размерность следует подставить численные значения входящих в нее величин и произвести расчет.

- Далее нужно проанализировать и сформулировать ответ. Все этапы этих расчетов необходимо кратко отразить в отчете.

При выполнении индивидуальных заданий следует обращаться к сайтам энергетических компаний, пользоваться электрическими схемами электрических станций и электрических сетей Дальневосточного региона. Практические занятия способствуют развитию аналитических и вычислительных способностей, формированию компетенций, на освоение которых направлена данная дисциплина.

Ниже показан пример реализации практического занятия на тему **«Проектирование «Умного города»**.

1. Разработка основных требований к системе электроснабжения города.

До сих пор вопросы рационального построения системы электроснабжения города мы рассматривали в объеме решения частных задач, например выявления технико-экономических особенностей отдельных элементов электроснабжения.

В реальной системе ее элементы представляют одно целое, поэтому выбор рационального построения системы включает совокупность вопросов, в процессе рассмотрения которых должны быть найдены требуемые соотношения между отдельными элементами системы, с тем, чтобы ее суммарные технико-экономические показатели находились в наивыгоднейших пределах, при этом должны быть учтены местные особенности города.

При определении рациональных путей построения системы электроснабжения устанавливаются общие принципы ее выполнения, конфигурация сетей принятых напряжений, размещение подстанций и источников питания, очередность сооружения отдельных элементов системы, выбор схемы электроснабжения (т. е. определение необходимых электрических связей между всеми элементами системы).

Схема электроснабжения города в первую очередь должна базироваться на установленных оптимальных параметрах и уровнях напряжений отдельных элементов системы, а также количестве трансформаций энергии. Она должна учитывать, что некоторые элементы системы электроснабжения города являются одновременно элементами энергетической системы района, т. е. с их помощью может предусматриваться параллельная работа источников питания энергосистемы и осуществление необходимых режимов ее работы.

Следует принимать во внимание, что система предназначена для питания энергией очень большого количества потребителей. При этом выбор схемы электроснабжения города производится независимо от характера потребителей и требуемого уровня надежности питания их приемников энергии. Только суммарная мощность потребителей является критерием, с помощью которого определяется уровень надежности их питания. В частности, совокупность приемников всех категорий мощностью более 10 МВ*А относится к приемникам I категории. Совокупность мощностью от 400 кВА до 10 МВА при выполнении сетей кабелями является приемником II категории (за исключением приемников I категории).

Схема электроснабжения города базируется на заданных источниках питания. Вместе с этим должны быть выбраны, с одной стороны, источники для питания отдельных городских районов и крупных потребителей в виде городских или промышленных подстанций. С другой стороны, должны быть установлены источники, предназначенные непосредственно для питания системы электроснабжения города — районные подстанции энергосистемы.

Основной особенностью электропотребления города является непрерывное увеличение его как за счет естественного роста, так и за счет новых потребителей.

Для представления о темпах роста электропотребления городов можно привести пример электрических сетей Санкт-Петербурга. В частности, за прошлое десятилетие суммарное

электропотребление города увеличилось в 1,7 раза. При этом расход энергии в промышленности возрос в 1,5 раза, для нужд городского транспорта в 1,9 раза, водопровода и канализации в 1,75 и предприятий общественно-коммунального обслуживания всех остальных видов в 1,6 раза. Бытовое электропотребление населения города за указанный период возросло в 2,5 раза. Примерно в этих же размерах увеличивается электрическая нагрузка перечисленных групп городских потребителей. Таким образом, с учетом всех отмеченных характеристик могут быть сформулированы основные требования, которым должна удовлетворять рационально построенная система электроснабжения города.

Прежде всего система должна быть выполнена таким образом, чтобы суммарные приведенные затраты, связанные с ее сооружением и последующей эксплуатацией, были минимальными.

Надежность электроснабжения, создаваемая системой, должна находиться в пределах, регламентируемых правил устройств электроустановок (ПУЭ), который устанавливает объем резервных элементов системы для обеспечения питания потребителей города на полную мощность при различных режимах ее работы. Выбор расчетных режимов производится согласно требованиям соответствующих разделов ПУЭ, учитывающих плановые и аварийные отключения отдельных элементов системы, возможность совпадения этих отключений и т. д.

Система должна обеспечивать питание каждого узла потребителей с общей нагрузкой выше 10 МВА от двух независимых источников с автоматическим вводом резервных элементов и переключением питания с одного источника на другой.

При выборе схемы электроснабжения следует учитывать гибкость системы, т. е. ее приспособляемость к разным режимам распределения мощности, возникающим в процессе работы. Особенно резкое изменение режима работы возникает при внезапных отключениях отдельных элементов системы вследствие аварийного повреждения различного оборудования, кабелей и т. д. Следует считаться с необходимостью отключения элементов системы для ремонтных работ, испытаний, осмотров и других эксплуатационных надобностей.

При определении принципов построения системы электроснабжения города необходимо стремиться к тому, чтобы система обеспечивала потребность в энергии во все возрастающих размерах, имея в виду непрерывный рост нагрузки в течение длительного времени, не требуя каких-либо коренных изменений, как ее отдельных элементов, так и системы в целом. Одновременно с этим, если возникает необходимость из-за увеличения нагрузки после длительного промежутка времени или появления нового оборудования с улучшенными технико-экономическими показателями, система должна иметь возможность быть преобразованной в другую систему электроснабжения. Проектирование системы электроснабжения должно выполняться с выявлением очередности развития на срок не менее 10 лет и возможности последующего ее расширения.

Зарубежные специалисты считают наиболее рациональным сооружение системы отдельными этапами, исходя из увеличения нагрузки в два, три, четыре раза и т. д., не привязывая начало сооружения каждого этапа к календарному сроку, а в зависимости от реальных темпов роста нагрузки. На одном из этапов в случае необходимости может быть предусмотрено преобразование системы электроснабжения по другому принципу.

Существенным требованием является необходимость поддержания мощности короткого замыкания в пределах, допустимых для используемой аппаратуры, на всех стадиях развития системы. Последнее может осуществляться за счет деления системы на части, раздельной работы трансформаторов, использования реакторов и т. д. (в зависимости от этапа развития системы).

При всех расчетных режимах работы системы должно обеспечиваться требуемое качество энергии, подаваемой потребителям.

Требуемый уровень напряжения обеспечивается соответствующим выбором параметров отдельных элементов системы, а также за счет применения специальных мер, например, установки на центре питания (ЦП) трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, использованием конденсаторных установок промышленных предприятий не только для компенсации реактивной мощности, но также для регулирования напряжения и т. п.

Подчеркнем экономическую целесообразность использования средств регулирования напряжения в системе электроснабжения города, так как в этом случае речь идет об использовании средств для значительной совокупности потребителей.

При выборе отдельных элементов системы электроснабжения необходимо стремиться к осуществлению совместного питания различных групп потребителей. Между тем до настоящего времени отмечается использование отдельных элементов системы (линий, подстанций) для обособленного питания потребителей, что определяется различной ведомственной подчиненностью потребителей. Последнее ведет к созданию в сетях необоснованных резервов.

Согласно ПУЭ, вопросы электроснабжения потребителей должны решаться комплексно с учетом состояния энергетики данного района и выявления всех его потребителей. С целью уменьшения в электрических сетях резервов рекомендуется устройство связей между сетями различных ведомств (промышленные предприятия, коммунально-бытовые потребители и т. д.) для взаимного резервирования нагрузок.

Указанные требования определяются целесообразностью использования одних резервных элементов в схемах питания потребителей. Кроме того, разный характер потребления создает условия для более рационального использования одного и того же элемента системы в схеме питания разных потребителей за счет разновременности максимума их нагрузки.

Степень реализации указанных требований, при выполнении системы электроснабжения любого города, определяется местными условиями, которые будут накладывать специфический отпечаток на выполнение, как отдельных элементов, так и системы в целом.

2. Идеальная система электроснабжения города.

Отмеченные в предыдущем параграфе основные требования к рациональной системе электроснабжения города послужили основанием для разработки идеальной системы, которая удовлетворяла бы всем поставленным выше условиям и была практически осуществима.

Решение такой задачи встречается в работах зарубежных авторов. Применительно к крупным и средним городам, в частности, может быть рассмотрена система питания, базирующаяся на использовании только двух напряжений: 110 и 10 кВ. Сеть 110 кВ выполняется в виде кольца, охватывающего город.

Территория города для выбора параметров основных элементов системы рассматривается состоящей из трех частей: центральной, с наибольшей плотностью нагрузки, средней части и окраины города, имеющей наименьшую плотность нагрузки.

Для электроснабжения центральной части города предусматривается сооружение достаточно мощной подстанции 110/10 кВ, питание которой осуществляется за счёт диаметральной электрической связи 110 кВ, проходящей через город.

Источники питания, расположенные на территории города и вне его пределов, отдают энергию непосредственно в кольцо, которое является как бы сборными шинами всех источников питания города. С помощью кольца осуществляется их параллельная работа.

Одновременно с этим за счет городских подстанций 110/10 кВ, расположенных вдоль кольца, в центрах нагрузки отдельных районов города производится отвод энергии в распределительные сети 10 кВ. Количество кольцевых подстанций 110/10 кВ определяется местными условиями, в частности, оптимальной мощностью подстанций, или нагрузкой крупных потребителей.

Для создания наиболее благоприятных условий распределения энергии в системе и осуществления наивыгоднейших режимов ее работы рекомендуется соответствующее чередование по длине кольца 10 кВ присоединений источников питания и понизительных подстанций.

Число линий кольца 110 кВ, а также их конструктивное выполнение определяется местными условиями. На окраинах города оно может быть в виде воздушных линий, что удешевляет систему электроснабжения, диаметральной связь 110 кВ выполняется во всех случаях кабелями.

Общая пропускная способность кольца 110 кВ должна быть такой, чтобы электроснабжение города сохранялось при различных аварийных режимах: при повреждениях и

внезапном выходе из строя отдельных частей системы. Режим работы кольца 110 кВ и схемы кольцевых подстанций, кроме того, учитывают допустимые условия мощности короткого замыкания в распределительных сетях 10 кВ.

Рассматриваемая система на протяжении длительного промежутка времени будет удовлетворять всем отмененным выше условиям и прежде всего возможностям ее дальнейшего расширения без коренной ломки. При этом по мере увеличения нагрузки городских потребителей и появления новых объектов соответствующее развитие системы может производиться разными путями. В частности, пропускная способность сети 110 кВ практически может как угодно увеличиваться за счет увеличения числа линий 110 кВ, т. е. путем многократного повторения кольца 110 кВ. При этом новые линии 110 кВ могут прокладываться по другим трассам города с сооружением дополнительных подстанций 110/10 кВ в центрах нагрузки.

Вместе с этим могут предусматриваться дополнительные диаметральные связи 110 кВ с новыми подстанциями 110/10 кВ, а также подстанции глубокого ввода 110 кВ.

В зависимости нагрузки системы электроснабжения и местных условий ее питание может усиливаться путем подачи энергии от внешних источников питания при более высоком напряжении, например 330 кВ. При этом в узловых пунктах отдельные части кольца 110 кВ соединяются таким образом, чтобы мощность короткого замыкания в каждой точке сети 110 кВ находилась в заданных пределах. В связи с этим каждое кольцо 110 кВ системы по местным условиям может работать независимо одно от другого, и в этом случае имеются как бы две самостоятельные системы электроснабжения, которые связываются между собой только на более высоком напряжении 330 кВ.

По мере роста нагрузки города дальнейшее развитие его системы электроснабжения выполняется за счет создания кольцевой сети 330 кВ и увеличения количества опорных подстанций 330/110 кВ. С развитием сети 330 кВ кольцевая сеть 110 кВ начинает терять свое значение и постепенно преобразуется в распределительную сеть. Ее развитие ограничивается. Усиление пропускной способности системы электроснабжения производится путем размыкания кольцевой сети 110 кВ и заводки ее линий на новые подстанции 330/110 кВ. При этом сеть 110 кВ в системе электроснабжения города начинает выполнять только функцию глубокого ввода. Таким образом, происходит естественный процесс введения в систему более высокого напряжения, что диктуется непрерывным увеличением электрической нагрузки городов.

В рассматриваемых материалах идеальной системе электроснабжения не противопоставляются другие принципы ее осуществления, в связи с чем нельзя вынести суждение об истинной экономической целесообразности идеальной системы. Поставленная задача решена только технически, без экономических обоснований.

Однако необходимо подчеркнуть, что рассматриваемая идеальная система отвечает большей части отмеченных выше требований к электроснабжению города. Кроме того, идеальная система, а также отдельные элементы ее построения находят соответствующее отражение в системах питания современных городов.

Естественно, что существующие системы электроснабжения в той или иной мере отличаются от идеальной системы. Последнее определяется специфическими условиями отдельных городов и в первую очередь условиями увеличения нагрузки их потребителей, количеством и характеристикой источников питания, наличием связей с другими источниками питания и энергосистемой и т. д. Сильное влияние на принципы построения системы электроснабжения оказывают исторические условия развития города.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Одним из основных видов деятельности студента является самостоятельная работа, которая включает в себя изучение лекционного материала, учебников и учебных пособий, публикаций, первоисточников, подготовку индивидуальных заданий, выступления на групповых занятиях, выполнение заданий преподавателя.

В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

Подготовка к самостоятельной работе над лекционным материалом должна начинаться на самой лекции. Умение слушать, творчески воспринимать излагаемый материал - это необходимое условие для его понимания, но недостаточно только слушать лекцию. В процессе лекционного занятия необходимо выделять важные моменты, выводы, анализировать основные положения. Если при изложении материала преподавателем создана проблемная ситуация, пытаться предугадать дальнейший ход рассуждений. Это способствует лучшему усвоению материала лекции и облегчает запоминание отдельных выводов.

Однако, как бы внимательно студент не слушал лекцию, большая часть информации вскоре после восприятия будет забыта. Лекцию необходимо конспектировать. Таким образом, на лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. При этом лекция не должна превращаться в урок-диктант. Не надо стремиться подробно слово в слово записывать всю лекцию, конспектируйте только самое важное. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками.

Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Тетрадь для конспекта лекций также требует особого внимания. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам. Целесообразно отделить поля, где можно бы изложить свои мысли, вопросы, появившиеся в ходе лекции. Полезно одну из страниц оставлять свободной. Она потребуется потом, при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников.

После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. От того насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать.

Перед каждой последующей лекцией рекомендуется просмотреть материал по предыдущей лекции. Опыт показывает, что предсессионный штурм непродуктивен, материал запоминается ненадолго. Необходим систематический труд в течение всего семестра.

Самостоятельная работа по изучению дисциплины делится на аудиторную и внеаудиторную.

Аудиторная самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя. Кроме того, самостоятельная работа под руководством преподавателя подразумевает консультации и помощь при выполнении индивидуального задания, консультации по разъяснению материала, вынесенного на самостоятельную проработку, консультации по выполнению типовых заданий.

Методика самостоятельной работы предварительно разъясняется преподавателем и в последующем может уточняться с учетом индивидуальных особенностей студентов. Преподаватель в начале изучения дисциплины предоставляет обучающимся список учебно-методических материалов. Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций в изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать

собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых проектов и выполнении ВКР.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки рабочей программы, особое внимание уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.

Студентам рекомендуется получить в научной библиотеке университета учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины, либо воспользоваться ЭБС, указанными в рабочей программе. Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия).

Необходимость изучения дополнительной литературы, профессиональных баз данных диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала. Здесь целесообразно пользоваться периодическими изданиями и нормативной литературой по электроэнергетике.

Групповая и индивидуальная консультация

Разъяснение является основным содержанием данной формы занятий, наиболее сложных вопросов изучаемого программного материала. Цель – максимальное приближение обучения к практическим интересам с учетом имеющейся информации и является результативным материалом закрепления знаний. Групповая консультация проводится в следующих случаях:

когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;
с целью оказания помощи в самостоятельной работе.

Групповая консультация может быть проведена в режиме on-line через личные кабинеты обучающихся и преподавателя.

Индивидуальная консультация проводится по запросу обучающегося в виде контактной работы, либо в режиме on-line или off-line через электронную информационно-образовательную среду.

№ п/п	№ модуля дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в акад. часах
1	Приемники электрической энергии.	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию.	2 2 4
2	Преобразование электрической энергии	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию.	2 2 4
3	Электрические сети промышленных предприятий.	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию.	2 2 4
4	Защита, управление и автоматизация систем электроснабжения	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию.	2 2 4
5	Качество электрической энергии, экономия электроэнергии на предприятиях	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию.	2 2
6		Подготовка к зачету	

4. ПЕРЕЧЕНЬ И ТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ФОРМ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Промежуточный контроль знаний студентов по дисциплине предусматривает две контрольные точки в 1 семестре, оценки по которым выставляются на основе информации о выполнении следующих заданий: выполнение рефератов по темам лекционных занятий – 1 контрольная точка; отчет о работе с рекомендуемой литературой и журналами научно-технического направления (посещение читальных залов библиотеки) – 2 контрольная точка. В процессе изучения дисциплины: 5 минутный опрос студентов на каждой лекции. Студент получает зачет в случае знания не менее 75 процентов материала курса и активной работы во время семестра.

Вопросы к зачету

1. Перечислите основные проводниковые материалы.
2. Где применяются электроизмерительные приборы.
3. Какую величину можно измерить при помощи амперметра и вольтметра.
4. Какие классы электроизмерительных приборов вы знаете.
5. Чем характеризуется точность измерения.
6. Перечислите основные методы электрических измерений.
7. От чего зависит сопротивление проводника.
8. Что называется коэффициентом трансформации.
9. Как протекает процесс самовозбуждения генератора.
10. Какое явление называется реакцией якоря.
11. Как подразделяются электроприводы по степени своей автоматизации.
12. Что называется наблюдающим устройством в электроприводе.
13. Что такое полупроводниковые модули.
14. Для чего предназначен автоматический выключатель.
15. Назовите виды силовых коммутационных аппаратов ручного управления.
16. Что такое операционный усилитель и какого его назначение.
17. Какие показатели должны учитываться при выборе электрических аппаратов.
18. Как выбираются плавкие предохранители для защиты цепей электропривода.
19. Какие функциональные блоки включает в себя микропроцессорная система.
20. Что такое операционный усилитель и какого его назначение.
21. Назовите основные этапы развития электрического привода.
22. Что такое одномассовая расчетная схема.
23. Когда возникают переходные режимы.
24. Как определить время пуска двигателя.
25. Какая система электропривода называется замкнутой.
26. Какие серии двигателей выпускаются отечественной промышленностью.
28. Назначение универсальных характеристик двигателей.
29. Назовите способы регулирования скорости электродвигателя.
30. Какие серии асинхронных двигателей выпускаются промышленностью.
31. Какие достоинства и недостатки имеют синхронные двигатели.
32. Что называется вентильным двигателем.
33. Перечислите условия выбора электродвигателя.
34. В чем сущность проверки двигателя по нагреву.
35. Характерные черты развития и совершенствования технологических процессов.
36. Координаты электропривода.
37. Виды обратных связей.
38. Функции систем стабилизации.
39. Аналоговые элементы и устройства управления.

- 40.Преимущества микропроцессорных устройств управления.
- 41.Гибкие автоматизированные системы производства.
- 42.Как измерить сопротивление нагрузки постоянному току.
- 43.Какими методами контролируют температуру электроустановок.
- 44.Какова периодичность поверок электроизмерительных приборов.
- 45.Кто обслуживает электроизмерительные приборы.
- 46.Как подразделяются электрические схемы.
- 47.Каков порядок чтения электрических схем.
- 48.Какие материалы широко применяются в электромонтажном производстве.

Для допуска к зачету достаточными основаниями являются выполнение, сдача и проверка всех индивидуальных заданий.

Студент, не сдавший одной или двух работ (заданий) и допущенный к экзамену в порядке исключения, отвечает также на дополнительные вопросы по теме этих работ (заданий). Для подготовки ответа студенту отводится 40 мин. Для получения удовлетворительной оценки достаточно показать знание основных понятий по теме вопросов. Оценка «хорошо» выставляется студенту, правильно ответившему на основные вопросы билета. Оценка «отлично» выставляется, если, кроме того, студент правильно ответил на дополнительные вопросы по темам, смежным с темами основных вопросов. При этом неправильные ответы на дополнительные вопросы могут служить основанием для снижения оценки до «удовлетворительно», если эти ответы свидетельствуют о слабом понимании материала.

Фонды домашних заданий

Комплект домашних заданий (темы рефератов).

1. Производство электрической энергии на электростанциях.
2. Производство электрической энергии на тепловых электростанциях.
3. Производство электрической энергии на гидроэлектростанциях
4. Производство электрической энергии на атомных электростанциях
5. Альтернативные источники энергии: приливные электростанции.
6. Альтернативные источники энергии: геотермальные электростанции.
7. Альтернативные источники энергии: ветровые электростанции.
8. Альтернативные источники энергии: солнечные электростанции.
9. Основное оборудование электростанций.
10. Основные задачи электрификации.
11. Распределительные устройства и схемы соединений.
12. Электротехнологические промышленные установки. Дать характеристику на конкретном примере.
13. Специальные типы трансформаторов (сварочные, измерительные, автотрансформаторы и т.д).
14. Современные проблемы в электроснабжении пром. предприятий. Энергосбережение. Экологичность.
15. Промышленный электрический транспорт
16. Плазма. Применение в электроэнергетике.
17. Показатели качества электроэнергии.
18. Потери электроэнергии. Основные понятия. Способы уменьшения потерь.
19. История развития электротехники.
20. Схемы электроснабжения пром. предприятий. Классификация, особенности.
21. Электрическое освещение. Классификация источников света и их краткая характеристика.
22. Понятие об автоматизации систем электроснабжения. АВР, АПВ, АЧР.
23. Линии электропередач постоянного и переменного тока.
24. Надежность электроснабжения потребителей электроэнергии.
25. Система учета электроэнергии. Назначение и организация учета.
26. Влияние электроэнергетики на человеческое общество и окружающую среду.

Материалы по контролю качества образования

Вопросы «Блиц-опроса» по темам дисциплины

На лекциях проводится блиц-опрос (текущий контроль) по пройденному материалу, проверка домашнего задания, т.е. обсуждение рефератов (докладов).

План проведения блиц-опроса:

1. Напоминается тема предыдущего занятия;
2. Студентам задается 4 – 5 вопросов по предыдущей теме занятия;
3. Проводится анализ полученных ответов.

Раздел 1. Приемники электрической энергии

1. Классификация приемников электроэнергии.
2. Электрические двигатели. АД, СД, ДПТ.
3. Электротехнологические установки.
4. Электрические печи сопротивления.
5. Электродуговые печи. Индукционные печи. Установки высокочастотного нагрева.
6. Специальные электротермические установки.

Раздел 2. Преобразование электрической энергии

1. Трансформаторы.
2. Схема устройства.
3. Холостой ход и короткое замыкание.
4. Основные паспортные величины.
5. Особенности технического выполнения трансформаторов.
6. Выпрямители.

Раздел 3. Электрические сети промышленных предприятий

1. Категории потребителей электроэнергии.
2. Схемы электроснабжения промышленных предприятий.
3. Конструктивное исполнение сетей систем электроснабжения.
4. КЛ и ВЛ.
5. Шины и токопроводы.

Раздел 4. Защита, управление и автоматизация систем электроснабжения

1. Выбор и обоснование структуры системы автоматического управления электроснабжением объекта.
2. Автоматизированная система контроля и учета энергоносителей (АСКУЭ)

Раздел 5. Качество электрической энергии, экономия электроэнергии на предприятиях

1. Способы экономии электроэнергии на производстве.
2. Виды качества электрической энергии.

Критерии оценки вопросов «Блиц-опроса»:

оценка «отлично» выставляется студенту, если даны правильные ответы на все вопросы;
оценка «хорошо» выставляется студенту, если даны ответы на вопросы с незначительными ошибками;

оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если ответы на вопросы даны со значительными ошибками;

оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если ответы даны с большим числом ошибок, либо совсем не даны ответы

Пример Теста контроля знаний

Проводится для Раздела 3. Электрические сети промышленных предприятий

- 1) Для уменьшения потерь при передаче электроэнергии на дальние расстояния напряжение, снимаемое на выходные электрогенератора
- а) понижается трансформаторной подстанцией
 - б) повышается трансформаторной подстанцией
 - в) другое

2) Согласно закону Джоуля - Ленца

- а) мощность тепловых потерь в проводнике обратно пропорциональна приложенному напряжению и силе протекающего тока
- б) мощность тепловых потерь в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна силе протекающего тока
- в) мощность тепловых потерь в проводнике прямо пропорциональна силе протекающего тока и приложенному напряжению.

3) Какой элемент электрической системы изображен на рисунке 1

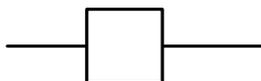


Рисунок 1

- а) выключатель
- б) генератор
- в) двигатель

4) Какой вид электростанций изображен на рисунке 2



Рисунок 2

- а) ветряные электростанции
- б) гидроаккумулирующие электростанции
- в) газотурбинные установки

5) Собственные нужды электростанции это

- а) основное оборудование электростанции
- б) комплекс вспомогательного электрического оборудования электростанции, обеспечивающего бесперебойную работу её основных агрегатов (паровых котлов, турбогенераторов, ядерных реакторов или гидротурбин)
- в) другое

6) По месту размещения подстанции делятся на

- а) открытые, закрытые и проходные
- б) открытые и закрытые
- в) открытые и проходные

7) К потребителям этой группы относятся те, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, опасность для безопасности государства, нарушение сложных технологических процессов и пр.

- а) I категория
- б) II категория
- в) V категория

8) Электроэнергетической системой называется

- а) совокупность электрических станций, линий электропередачи, подстанций, тепловых сетей и приемников, объединенных общим и непрерывным процессом выработки, преобразования, распределения тепловой и электрической энергии
- б) предприятие, на котором вырабатывается электрическая энергия
- в) совокупность электрических станций, линий электропередачи, подстанций и приемников, объединенных общим и непрерывным процессом выработки, преобразования, распределения электрической энергии

9) Ток, пропущенный через организм человека или животного, производит термическое действие. Это

- а) ожоги, нагрев и повреждение кровеносных сосудов
- б) разложение крови, нарушение физико-химического состава
- в) раздражение и возбуждение тканей организма, судороги

10) При работе в режиме перевозбуждения синхронный компенсатор является

- а) генератором активной и реактивной мощности
- б) генератором активной мощности
- в) генератором реактивной мощности

11) Как называются повреждения, возникающие в результате грозových перекрытий изоляции, схлестывания проводов при ветре и сбрасывании гололеда, задевания проводов движущимися механизмами, которые самоликвидируются

- а) неустойчивые
- б) устойчивые
- в) устраняемые

12) Как называется элемент ЭЭС, изображенный на рисунке 3

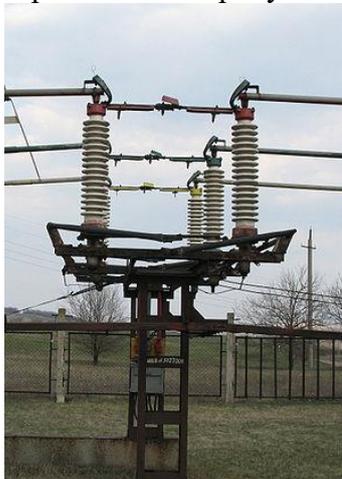


Рисунок 3

- а) короткозамыкатель
- б) выключатель
- в) разъединитель

13) Напор воды у этого вида гидроэлектростанций создается посредством установки плотины, полностью перегораживающей реку, или поднимающей уровень воды в ней на необходимую отметку. Такие гидроэлектростанции строят на многоводных равнинных реках, а также на горных реках, в местах, где русло реки более узкое, сжатое.

- а) плотинные гидроэлектростанции
- б) русловые и приплотинные гидроэлектростанции
- в) деривационные гидроэлектростанции

14) Быстрое восстановления питания потребителей или межсистемных и внутрисистемных связей путем автоматического включения выключателей, отключенных устройствами релейной защиты

- а) АПВ
- б) АВР
- в) АЧР

15) К симметричным коротким замыканиям относят

- а) трехфазное
- б) однофазное и двухфазное
- в) однофазное, двухфазное и двухфазное на землю

16) В каком режиме система переходит из установившегося нормального состояния в другое установившееся с резко изменившимися параметрами

- а) послеаварийный режим
- б) нормальный установившийся режим
- в) аварийный

17) Низковольтными называются сети напряжением

- а) до 1 кВ
- б) до 10 кВ
- в) до 35 кВ

18) Как называется элемент, изображенный на рисунке 4



Рисунок 4

- а) выключатель
- б) трансформатор
- в) компенсатор

19) Предохранители бывают

- а) плавкими и статическими
- б) автоматическими и статическими
- в) плавкими и автоматическими

20) Одно, из главных требований, предъявляемых к устройствам релейной защиты, заключающееся в способности устройства релейной защиты выявить и отключить поврежденный элемент энергосистемы, а не какой-нибудь другой

- а) селективность
- б) чувствительность
- в) надежность

21) Совокупностью электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, состоящую из подстанций и распределительных устройств, соединенных линиями электропередачи, и работающей на определенной территории называется

- а) энергетической системой
- б) электрической сетью
- в) другое

22) Какой элемент электрической системы изображен на рисунке 5

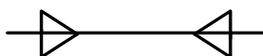


Рисунок 5

- а) воздушная линия
- б) кабельная линия
- в) нагрузка

23) Релейной защитой называется

- а) система устройств, которые производят отключение поврежденных элементов или частей системы и локализируют аварию
- б) предназначены для ликвидации «переходящих» повреждений, например коротких замыканий
- в) другое

24) Силовые трансформаторы и автотрансформаторы предназначены для преобразования электроэнергии

- а) одного напряжения на другое
- б) одного тока на другой
- в) одной мощности на другую

Критерии оценки тестового контроля знаний:

Оценка	Число правильных ответов
5 (отлично)	все
4 (хорошо)	23-19
3 (удовлетворительно)	18- 11
2 (неудовлетворительно)	10 и менее

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Введение в профессию: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 13.03.02. / Сост.: Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова, И.Г. Подгурская - Благовещенск: Изд-во АмГУ, – 2017. http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9665.pdf
2. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика. [Электронный ресурс] : учеб. / Трухний А.Д. [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 472 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72255>
3. Розанов Ю.К., Основы современной энергетики. Том 2. Современная электроэнергетика. [Электронный ресурс] : учеб. / Розанов Ю.К., Старшинов В.А., Серебрянников С.В.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 632 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72256>
4. Мавлютов Р.Р. Введение в профессию [Электронный ресурс]: методические указания по подготовке к практическим занятиям/ Мавлютов Р.Р.— Электрон. текстовые данные.— Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015.— 34 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/44374>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
5. Мировая энергетика – 2050. Белая книга [Электронный ресурс]/ В.В. Бушуев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Энергия, Институт энергетической стратегии, 2011.— 355 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8746>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
6. Бушуев В.В. Энергетика России. Том 1. Потенциал и стратегия реализации [Электронный ресурс]: избранные статьи, доклады, презентации/ Бушуев В.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Энергия, Институт энергетической стратегии, 2012.— 520 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9545>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.