

Белорусский национальный технический университет

Факультет информационных технологий и робототехники

Кафедра «Робототехнические системы»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

«Робототехнические системы»

_____ А.В. Бородуля

_____ 30 апреля _____ 2025г.

СОГЛАСОВАНО

Заместитель декана

факультета информационных
технологий и робототехники

_____ Б.А. Бадак

_____ 30 апреля _____ 2025г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«Объекты автоматизации в энергетике»

для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических
процессов и производств» профилизации «Автоматизация технологических
процессов и производств в энергетике»

Составитель: старший преподаватель Гутич И.И.

Рассмотрено и утверждено
на заседании совета факультета
информационных технологий и
робототехники

30 апреля 2025 г., протокол № 10

Перечень материалов

1. Теоретический раздел

- 1.1. Конспект лекций по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике»**

2. Практический раздел

- 2.1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике»**

3. Раздел контроля знаний

- 3.1. Вопросы к итоговой аттестации по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике»**
- 3.2. Перечень тем рефератов, контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов**
- 3.3. Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении промежуточной аттестации в форме зачета**
- 3.4. Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении текущей аттестации в форме реферата**

4. Вспомогательный раздел

- 4.1. Учебная программа по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике»**
- 4.2. Перечень учебников и учебно-методических пособий, Интернет- ресурсов по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике»**

Пояснительная записка

ЭУМК по учебной дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике» составлен для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике».

Основными задачами ЭУМК являются: формирование базовых понятий в области автоматизации и энергетики, формирование знаний по принципам функционирования теплоэнергетических и энергетических установок, использующих энергию традиционных, нетрадиционных (возобновляемых) источников генерации, а также способы выработки, передачи, распределения и использования этой энергии, взаимосвязи энергетики и окружающей среды.

Целями создания ЭУМК является теоретическая и практическая подготовка специалистов в области энергетики, оказание методической помощи студентам в систематизации учебного материала в процессе

подготовки к текущей аттестации по учебной дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике», освобождение лектора и обучаемых от необходимости механического переписывания большого объема информации и возможность сосредоточить основное внимание студентов на практические задания.

Материалы ЭУМК дают возможность планировать и осуществлять самостоятельную работу студентов, обеспечивают рациональное распределение учебного времени по темам учебной дисциплины.

Содержание разделов соответствует образовательным стандартам высшего образования данной специальности.

Информационные материалы, включенные в ЭУМК, могут быть полезны студентам, инженерам и преподавателям, занимающихся изучением производства, распределения и потребления энергии.

Особенности структурирования и подачи учебного материала

Теоретическая часть включает в себя курс лекций по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике» в виде тематических лекций.

Практическая часть содержит методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике» с перечнем контрольных вопросов и заданий к каждой работе.

Раздел контроля знаний содержит вопросы к зачету; перечень тем рефератов, контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов; критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении промежуточной аттестации в форме зачета; критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении текущей аттестации в форме реферата.

Вспомогательный раздел содержит учебную программу по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике»; перечень основной и дополнительной литературы, ссылки на полезные интернет - ресурсы.

Для удобства навигации при переходах между структурными частями ЭУМК используется технология гиперссылок.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК

Материалы данного электронного учебно-методического комплекса рекомендуется использовать в следующей последовательности:

- изучить лекционный материал выбранного раздела. Знакомство с разделами рекомендуется проводить в порядке их следования (теоретический раздел ЭУМК);
- изучить список рекомендуемой литературы, ознакомиться с содержанием представленных учебных пособий и интернет - ресурсов (вспомогательный раздел ЭУМК);
- используя гиперссылки, перейти от изучаемого теоретического раздела к соответствующей тематике практического раздела ЭУМК. С

распределением тем и часов практических занятий можно ознакомиться в учебной программе дисциплины, используя учебно - методическую карту учебной дисциплины;

- провести самоконтроль, используя вопросы/задания по данной тематике, приведенные в разделе контроля знаний;

- подготовить реферат по предложенной или самостоятельно выбранной теме в разделе контроля знаний;

- ознакомиться с вопросами к зачету (раздел контроля знаний) и критериями оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении промежуточной аттестации в форме зачета, при проведении текущей аттестации в форме реферата (раздел контроля знаний).

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Обозначения и сокращения

<u>Тема 1.</u> Введение. Основные понятия, термины и определения, условные обозначения в области автоматизации энергетики.....	10
<u>Тема 2.</u> Энергетика. Общие сведения.....	15
<u>Тема 3.</u> Энергия, ее виды и способы преобразования.....	20
<u>Тема 4.</u> Источники генерации электрической и тепловой энергии: виды и принципы работы.....	30
<u>Тема 5.</u> Распределение электрической и тепловой энергии.....	39
<u>Тема 6.</u> Качество электроэнергии. Основные показатели качества электроэнергии.....	44
<u>Тема 7.</u> Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления.....	54

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Обозначения и сокращения. Термины и определения.

[Практическое занятие №1](#)

Основные цели и задачи реализации государственной политики в области энергосбережения Республики Беларусь. Современное состояние энергетики РБ.....

.....	63
<u>Практическое занятие №2</u>	
Топливо-энергетические ресурсы.....	67

[Практическое занятие №3](#)

Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: тепловые электростанции

.....	73
<u>Практическое занятие №4</u>	
Гидроэлектростанции: выработка электроэнергии, классификация, принцип действия	82

[Практическое занятие №5](#)

Источники генерации электрической и тепловой энергии: атомные электростанции.....

.....	94
<u>Практическое занятие №6</u>	
Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: альтернативная генерация.....	101

[Практическое занятие №7](#)

Электрические сети: классификация, компоненты, задачи. Тепловые сети: классификация, компоненты, задачи.....

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Вопросы к итоговой аттестации по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике».....	116
Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы	

студентов.....	116
Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении промежуточной аттестации в форме зачета.....	117
Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении текущей аттестации в форме реферата.....	117

4.ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учебная программа по дисциплине	118
Перечень учебников и учебно-методических пособий, интернет- ресурсов	130

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Кафедра «Робототехнические системы»

Составитель И.И. Гутич

ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Курс лекций

для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация
технологических процессов и производств» профилизации
«Автоматизация технологических процессов и производств в
энергетике»

2025г.

Обозначения и сокращения, используемые в представленном материале

АРМ – автоматизированное рабочее место;
АС – автоматизированная система;
АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электроэнергии;
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;
БД – база данных;
ИБП – источник бесперебойного питания;
ИК – измерительный канал;
ИО – информационное обеспечение;
ИС – измерительная система;
КВС – корпоративная вычислительная сеть;
КС – канал связи;
ЛВС – локальная вычислительная сеть;
НМХ – нормируемые метрологические характеристики;
ПК – персональный компьютер;
ПО – программное обеспечение;
РУП-облэнерго – областная энергосистема;
РЭС – районные электрические сети;
СУБД – система управления базами данных;
ТЗ – техническое задание;
ТН – измерительный трансформатор напряжения;
ТТ – измерительный трансформатор тока;
УСПД – устройство сбора и передачи данных;
ФЭС – филиал электрических сетей;
ЦСОД – центр сбора и обработки данных;
ЭО – энергоснабжающая организация.

Тема 1. Введение. Основные понятия, термины и определения, условные обозначения в области автоматизации энергетики

Автоматизация в энергетике – это комплекс технических и программных средств, который обеспечивает оптимальную работу технологического оборудования, контроль и мониторинг работы всей энергетической системы. Автоматизация энергетических систем - сложный, многоуровневый процесс, продиктованный современными требованиями к производству. Объекты, связанные с поставками электричества и тепла, требуют особого внимания с точки зрения обеспечения безопасности и предотвращения аварийных ситуаций. На энергокомпаниях лежит ответственность за непрерывность снабжения энергоресурсами населения, промышленности, социальной инфраструктуры.

С целью повышения эксплуатационной надежности, долговечности и эффективности работы энергетического оборудования, для решения задач диспетчерского, производственно-технологического и организационно-экономического управления, объекты автоматизации в энергетике оснащаются автоматизированными системами.

Энергетика – крайне важная для экономики страны отрасль, она должна обеспечивать стабильное и надежное энергообеспечение потребителей [1].

1.1. Автоматизация в энергетике: основные функции и задачи

Внедряемые системы на объектах энергосистемы выполняют все стандартные функции, необходимые для автоматизированных систем:

- *учет и контроль.* Ход технологических процессов контролируется с помощью сигналов, поступающих с датчиков, которые измеряют технологические параметры, такие как расход, давление, уровень, ток электродвигателей, потребление электроэнергии и т. п. Передаются данные о состоянии механизмов («включено», «отключено», «открыто», «закрыто»). Информация появляется на рабочем месте оператора в виде диаграмм и графиков. Возможности системы позволяют вести учет израсходованных энергоресурсов по видам и потребителям, контролировать время работы оборудования (для планирования ремонта), анализировать технико-экономические показатели, обнаруживать утечки и повреждения. Полученную информацию и расчетные значения можно использовать в алгоритмах управления. При нарушениях технологического процесса, несанкционированных изменениях в составе работающего оборудования и возникновении неисправностей предусмотрена сигнализация с указанием времени и причины срабатывания;
- *дистанционное управление;*
- *обработка данных установившихся режимов для различных эксплуатационных целей;*
- *защита и блокировка.* Защита оборудования в нештатных ситуациях и обеспечение безопасности обслуживающего персонала. Алгоритмы блокировок запретят выполнение действий, нарушающих технологический процесс, а алгоритмы защит предотвратят развитие нештатных ситуаций путем своевременного отключения подачи энергоресурсов;

- *формирование базы данных, хранение и документирование информации (ведение суточной ведомости, ведомости событий, архивов);*
 - *контроль параметров качества электроэнергии;*
- и т.п. [1]

1.2. Преимущества использования автоматизации в энергетике

Одним из ключевых условий рентабельности объекта энергетики является его энергоэффективность. В случае внедрения автоматизации в систему энергетики появляется возможность осуществлять полный контроль над генерацией и потреблением ресурсов, а также экономить затраты на энергоносители.

Значительно уменьшить затраты и потери при производстве и распределении энергоресурсов возможно благодаря основным технологическим процессам.

Распределение между потребителями. При наличии нескольких потребителей распределение энергетических потоков между ними часто производится без учета изменения соотношения нагрузок в течение суток и сезона работы. Если непрерывно регулировать распределение потоков энергоресурсов, можно значительно повысить энергоэффективность. При большом количестве потребителей регулирование целесообразно производить не по каждому потребителю, а в нескольких узловых точках. Данные для системы регулирования (расход, давление, температура энергоносителей) можно получать из систем коммерческого и технического учета.

Транспортировка. Расчетно-диагностическая обработка значений технологических параметров в трубопроводах и линиях передачи энергии во всех узлах и важных промежуточных точках поможет оперативно обнаруживать:

- утечки энергоносителя;
- повреждения теплоизоляции;
- отложения в трубопроводах;
- забивание фильтров;
- отклонение технологических показателей качества энергоносителей.

Производство. Используя данные по транспортировке и распределению энергоресурсов можно своевременно и качественно регулировать, а в аварийных ситуациях – снижать до безопасного уровня или прекращать производство энергоносителей. Применение для автоматизации производства современных программно-технических комплексов позволяет внедрять более современные системы автоматического регулирования сложных технологических установок (котлов, компрессоров, турбин и т. п.).

Максимальный экономический эффект от автоматизации производства достигается при использовании алгоритмов группового управления мощностью энергетических установок.

Таким образом, можно сделать вывод, что в первую очередь автоматизация энергетики решает следующие задачи: предотвращение опасных и аварийных ситуаций, повышение безопасности и улучшение условий труда персонала на предприятии, обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения, повышение энергетической эффективности, снижение потерь и увеличение сроков эксплуатации основного оборудования [1].

1.3. Термины и определения, условные обозначения в области автоматизации энергетики:

Объект энергосистемы – отдельная установка или совокупность территориально или функционально выделенных электро- и (или) теплоустановок энергосистемы (электростанции, котельные, электросети, теплосети, подстанции, линии электропередач, теплопункты).

Субъект энергосистемы - административная единица, отвечающая за деятельность элементов энергосистемы (электростанции, котельные, РЭС, ФЭС, областные энергосистемы).

Потребители – юридическое или физическое лицо, электрическая или тепловая сеть, электрические или тепловые приемники, которые присоединены к сетям энергоснабжающей организации и осуществляют пользование электрической энергией (мощностью).

Энергоснабжающая организация – это поставщик, оказывающий услуги по поставке электрической энергии потребителям, электрические сети которого непосредственно присоединены к сетям энергоснабжающей организации.

Объекты учета – это объекты энергосистемы или потребителей с приборным учетом электроэнергии.

Потери электроэнергии – это потери, обусловленные технологическими и социальными причинами.

Качество электроэнергии – это показатели, характеризующие свойства электроэнергии, соответствующие требованиям технических нормативно-правовых актов, определенных в договоре электроснабжения.

Приборы учета электроэнергии – это средства приборного учета, подлежащие метрологической аттестации (измерительные трансформаторы тока, измерительные трансформаторы напряжения, электрические счетчики).

Измерительные системы – это совокупность функционально объединенных мер измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других ТСА, размещенных в разных точках контролируемого объекта с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойства этого объекта, выработки измерительных сигналов в разных целях и представление результатов измерений в виде отчетов.

Точка учета электроэнергии – точка линии электропередачи, выбранная для технического или расчетного учета (точка учета может как совпадать, так и не совпадать с точкой измерения). Значения энергии в точки измерения и точки учета могут отличаться на величину расхода электроэнергии на технологические нужды в линии между двумя точками.

Средства измерений – технические средства, предназначенные для измерений, имеющие нормативные метрологические характеристики, воспроизводящие единицу физической величины, размер которой принимает неизменной.

Цифровой измерительный канал – это измерительный канал, на выходе которого результат измерения представлен в виде цифрового результата (например, ЦИК – это канал для измерения электроэнергии, содержащий цифровой счетчик с цифровым табло и цифровым интерфейсом).

Вторичные энергетические ресурсы – энергия побочных и промежуточных продуктов, отходов производства (потерь), получаемых в технологических агрегатах

и установках, технологических процессах, функциональное назначение которых не связано с ее производством, не используемая в самих агрегатах, установках, процессах.

Местные топливно-энергетические ресурсы – существующие в природе, добытые (произведенные) на территории Республики Беларусь ископаемые виды топлива, произведенная из них энергия, а также возобновляемые источники энергии;

Норма расхода топливно-энергетических ресурсов – величина потребления топлива, тепловой, электрической энергии на производство единицы продукции (работ, услуг) определенного качества, измеряемая в условных (натуральных) единицах. При выполнении работ, оказании услуг, не связанных с производством продукции, к нормам расхода топливно-энергетических ресурсов приравниваются предельные уровни потребления топливно-энергетических ресурсов, необходимые для выполнения таких работ, оказания таких услуг.

Потребители топливно-энергетических ресурсов – юридические и физические лица, в том числе индивидуальные предприниматели, потребляющие один или несколько видов топливно-энергетических ресурсов.

Производители топливно-энергетических ресурсов – юридические лица и индивидуальные предприниматели, производящие один или несколько видов топливно-энергетических ресурсов.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов – использование топливно-энергетических ресурсов, направленное на исключение необоснованного их расхода, с применением наиболее целесообразных их видов.

Топливо-энергетические ресурсы – совокупность всех природных и полученных в результате преобразований видов топлива и энергии.

Энергетическая эффективность (энергоэффективность) – характеристика, отражающая отношение полученного эффекта от использования топливно-энергетических ресурсов к затратам топливно-энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта.

Энергосберегающее мероприятие – мероприятие, результатом реализации которого является более эффективное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов.

Энергосбережение – организационная, практическая, научная, информационная и другая деятельность субъектов отношений в сфере энергосбережения, направленная на более эффективное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов.

Возобновляемые источники энергии – энергия солнца, ветра, тепла земли, естественного движения водных потоков, древесного топлива, иных видов биомассы, биогаза, а также иные источники энергии, не относящиеся к невозобновляемым.

Государственная энергоснабжающая организация – государственное юридическое лицо, осуществляющее производство, передачу, распределение и сбыт электрической энергии.

Государственные энергетические сети – совокупность находящихся в государственной собственности устройств, предназначенных для генерации, передачи и распределения электрической энергии потребителям.

Использование возобновляемых источников энергии – процесс, включающий заготовку (добычу), транспортировку, хранение, подготовку к

использованию, переработку или иную трансформацию возобновляемых источников энергии, а также производство из них электрической энергии.

Невозобновляемые источники энергии – источники энергии, накопленные в природе в виде ископаемых ресурсов: угля, нефти, газа, торфа, горючих сланцев, а также иные источники энергии, которые в новых геологических условиях практически не образуются.

Производители энергии из возобновляемых источников энергии – юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие производство электрической энергии с использованием установок по использованию возобновляемых источников энергии в целях энергетического обеспечения своей хозяйственной деятельности и (или) ее последующей реализации.

Установка по использованию возобновляемых источников энергии – технологическое оборудование или комплекс технологического оборудования по производству либо приему (получению), преобразованию, аккумулированию и (или) передаче электрической энергии, производимой из возобновляемых источников энергии [2-5].

Источники:

1. Автоматизация в энергетике – энергоэффективность предприятия: [Электронный ресурс] // AP-N. URL: <https://ap-n.com/avtomatizacija-v-jenergetike>.
2. Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии. Общие технические требования: СТБ 2096-2023. — Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2024. — 2 с.
3. Электроэнергетика. Основные термины и определения: СТБ 2574-2020. — Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2020.
4. О возобновляемых источниках энергии: Закон Республики Беларусь № 204-З. — Минск: Совет Республики Национального собрания Республики Беларусь, 2010.
5. Об энергосбережении: Закон Республики Беларусь № 111-З. — Минск: Совет Республики Национального собрания Республики Беларусь, 2021.

Тема 2. Энергетика. Общие сведения

Энергетика – область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов.

Целью энергетики является обеспечение производства энергии путём преобразования первичной природной энергии во вторичную, например в электрическую или тепловую энергию. При этом производство энергии чаще всего происходит в несколько стадий:

- получение энергетических ресурсов, примером может послужить добыча, переработка и обогащение ядерного топлива;
- передача ресурсов к энергетическим установкам, например, доставка газа, угля, мазута на тепловую электростанцию;
- преобразование с помощью электростанций первичной энергии во вторичную, например, химической энергии угля в электрическую и тепловую энергию;
- передача вторичной энергии потребителям, например, по линиям электропередачи.

2.1. Электроэнергетика – это подсистема энергетики, охватывающая производство электроэнергии на электростанциях и её доставку потребителям по линиям электропередачи. Центральными её элементами являются электростанции, которые принято классифицировать по виду используемой первичной энергии и виду применяемых для этого преобразователей. Преобладание того или иного вида электростанций в определённом государстве зависит в первую очередь от наличия собственных ресурсов. Электроэнергетику принято делить на традиционную и нетрадиционную (альтернативную).

Традиционная электроэнергетика

Характерной чертой традиционной электроэнергетики является её давняя и хорошая освоенность, она прошла длительную проверку в разнообразных условиях эксплуатации. Основную долю электроэнергии во всём мире получают именно на традиционных электростанциях. Традиционная электроэнергетика делится на несколько направлений:

Тепловая энергетика

В этой отрасли производство электроэнергии осуществляется на тепловых электростанциях (ТЭС), использующих для этого химическую энергию топлива. Они делятся на:

- паротурбинные электростанции, на которых энергия преобразуется с помощью паротурбинной установки;
- газотурбинные электростанции, на которых энергия преобразуется с помощью газотурбинной установки;
- парогазовые электростанции, на которых энергия преобразуется с помощью парогазовой установки.

Воздействие ТЭС на окружающую среду в большей степени зависит от вида сжигаемого топлива. Наиболее чистыми видами считаются газ различного происхождения и нефть. Топливными ресурсами, наиболее загрязняющими окружающую среду, являются торф, бурый уголь и горячие сланцы.

В целях снижения пагубного влияния к процессу выработки энергии на ТЭС предъявляются требования по охране окружающей среды (более подробную информацию смотри в Тема 4.).

Гидроэнергетика

В этой отрасли электроэнергия производится на гидроэлектростанциях (ГЭС), использующих энергию водного потока. ГЭС преобладает в ряде стран, а в Республике Беларусь преобладают мини ГЭС (более подробную информацию смотри в Тема 4.).

Ядерная энергетика

Отрасль, в которой электроэнергия производится на атомных электростанциях (АЭС), использующих для этого энергию управляемой цепной ядерной реакции деления, чаще всего урана и плутония. Мировыми лидерами по производству электроэнергии на АЭС являются США, Франция и Япония.

В 2020 году в Беларуси ввели в эксплуатацию первую на территории республики атомную электростанцию. Она состоит из двух энергоблоков суммарной электрической мощностью до 2400 МВт. БелАЭС расположена в 18 километрах от города Островец Гродненской области. В качестве топлива используется обогащенный уран. Благодаря строительству и успешной работе АЭС Республика Беларусь почти перешла на полное самообеспечение энергетическими ресурсами (более подробную информацию смотри в Тема 4.).

Альтернативная энергетика

Большинство направлений альтернативной энергетики основаны на вполне традиционных принципах, но первичной энергией в них служат либо источники локального значения, например ветряные или геотермальные, либо источники находящиеся в стадии освоения, например топливные элементы или источники, которые могут найти применение в перспективе, например термоядерная энергетика. Характерными чертами альтернативной энергетики является её экологическая чистота, чрезвычайно большие затраты на капитальное строительство.

Направления альтернативной энергетики:

- ветроэнергетика;
- солнечная энергетика;
- малые гидроэлектростанции;
- геотермальная энергетика;
- биоэнергетика;
- установки на топливных элементах;
- водородная энергетика;
- термоядерная энергетика.

Локальная или малая энергетика

Чаще всего так называют электростанции мощностью до 30 МВт с агрегатами единичной мощностью до 10 МВт. К ним можно отнести как экологичные виды энергетики, перечисленные выше, так и малые электростанции на органическом топливе, такие как дизельные электростанции, газопоршневые электростанции, газотурбинные установки малой мощности на дизельном и газовом топливе.

К объектам малой энергетики относятся источники электрической или тепловой энергии, использующей котельные, теплонасосные, паро- и газотурбинные, дизель- и газогенераторные установки единичной мощностью до 6 МВт; к объектам нетрадиционной энергетики - возобновляемые и нетрадиционные источники электрической и тепловой энергии, использующие энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнца, редуцируемого природного газа, биомассы (включая древесные отходы) и твердых бытовых отходов. Малая и нетрадиционная энергетика предназначены для решения одной и той же задачи - непосредственного удовлетворения бытовых и производственных нужд населения в электрической и тепловой энергии на базе местных энергоресурсов.

Малая энергетика представлена в основном высокоэкономичными блок-ТЭЦ, оборудованными паротурбинными, газотурбинными и парогазовыми установками мощностью до 6000 кВт, обеспечивающими выработку электроэнергии по теплофикационному циклу с минимальными удельными расходами топлива. 1 МВт установленной мощности на таких ТЭЦ при 5000 часов использования этой мощности дает экономию в размере 800-900 тонн условного топлива в год. В расчете на 1 Гкал присоединенной тепловой нагрузки для ПТУ экономия топлива составляет порядка 300 т у.т./год, для высокотемпературной ГТУ - 800 т у. т./год, для ПГУ - 1400 т у. т./год.

В настоящее время малые ТЭЦ обретают свои преимущества. Кроме высокой экономичности, их важными достоинствами являются быстрота сооружения, небольшие единовременные капиталовложения. Прежде всего они рассматриваются как источники экономии энергоресурсов. Но при быстром развороте потенциала малой энергетики она может существенно смягчить дефицит мощности в энергосистеме, что исключительно актуально для Беларуси [4].

Электрические сети

Электрическая сеть – совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их линий электропередачи, предназначенная для передачи и распределения электрической энергии. Электрическая сеть обеспечивает выдачу мощности электростанций, её передачи на расстояние, преобразование электрических параметров на подстанциях и её распределение по территории до непосредственных потребителей электроэнергии. Электрические сети современных энергосистем являются *многоступенчатыми*, то есть электроэнергия претерпевает большое количество преобразований на пути от источников электроэнергии к её потребителям. Также для современных электрических сетей характерна *многорежимность* – разнообразие загрузки элементов сети в течение суток и в течение года, а также разнообразие режимов, возникающих при выводе различных элементов сети в плановый ремонт и при их аварийных отключениях.

Эти и другие характерные черты современных электросетей делают их структуры и конфигурации весьма сложными и различными [1].

2.2. Теплоэнергетика

Жизнь современного человека связана с широким использованием не только электрической, но и тепловой энергии. Для того, чтобы человек чувствовал себя комфортно дома, на работе, в любом общественном месте, все помещения должны отапливаться и снабжаться горячей водой для бытовых целей. Так как это напрямую связано со здоровьем человека, в развитых государствах пригодные температурные условия в различного рода помещениях регламентируются санитарными правилами и стандартами. Такие условия могут быть реализованы в большинстве стран мира только при постоянном подводе к объекту отопления (теплоприёмнику) определённого количества тепла, которое зависит от температуры наружного воздуха, для чего чаще всего используется горячая вода с конечной температурой у потребителей около 70—90 °С. Также для различных технологических процессов промышленных предприятий может требоваться так называемый производственный пар с давлением 1—3 МПа. В общем случае снабжение любого объекта теплом обеспечивается системой, состоящей из:

- источника тепла, например, котельной;
- тепловой сети, например, из трубопроводов горячей воды или пара;
- теплоприёмника, например, батареи водяного отопления.

Тепловые сети

Тепловая сеть – сложное инженерно-строительное сооружение, служащее для транспортировки тепла с помощью теплоносителя, воды или пара, от источника, ТЭЦ или котельной, к тепловым потребителям.

От коллекторов прямой сетевой воды с помощью магистральных теплопроводов горячая вода подаётся в населённые пункты. Магистральные теплопроводы имеют ответвления, к которым присоединяется разводка к тепловым пунктам, в которых находится теплообменное оборудование с регуляторами, обеспечивающими снабжение потребителей тепла и горячей воды. Тепловые магистрали соседних ТЭЦ и котельных для повышения надёжности теплоснабжения соединяют перемычками с запорной арматурой, которые позволяют обеспечить бесперебойное теплоснабжение даже при авариях и ремонтах отдельных участков тепловых сетей и источников теплоснабжения [1].

2.3. Энергетические системы

Энергетическая система (энергосистема) – в общем смысле совокупность энергетических ресурсов всех видов, а также методов и средств для их получения, преобразования, распределения и использования, которые обеспечивают снабжение потребителей всеми видами энергии. В энергосистему входят системы электроэнергетическая, нефте- и газоснабжения, ядерной энергетики и другие. Обычно все эти системы объединяются в масштабах страны в единую энергетическую систему, в масштабах нескольких районов — в объединённые энергосистемы. Объединение отдельных энергоснабжающих систем в единую систему также называют межотраслевым топливно-энергетическим

комплексом (ТЭК), что обусловлено прежде всего взаимозаменяемостью различных видов энергии и энергоресурсов.

Часто под энергосистемой в более узком смысле понимают совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, которые соединены между собой и связаны общими режимами непрерывных производственных процессов преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии, что позволяет осуществлять централизованное управление такой системой. В современном мире снабжение потребителей электроэнергией производится от электростанций, которые могут находиться вблизи потребителей или могут быть удалены от них на значительные расстояния. В обоих случаях передача электроэнергии осуществляется по линиям электропередачи. Однако в случае удалённости потребителей от электростанции передачу приходится осуществлять на повышенном напряжении, а между ними сооружать повышающие и понижающие подстанции. Через эти подстанции с помощью электрических линий электростанции связывают друг с другом для параллельной работы на общую нагрузку, также через тепловые пункты с помощью теплопроводов, только на гораздо меньших расстояниях связывают между собой ТЭЦ и котельные. Совокупность всех этих элементов называют энергосистемой [2].

Энергетическая отрасль Беларуси является наиболее стабильно работающим комплексом белорусской экономики. Это одна из приоритетных отраслей народного хозяйства, которой принадлежит ключевая роль в стабильном развитии страны. Ее развитие определяется стратегией государства и рядом программ, обеспечивающих последовательное достижение установленных приоритетов при поддержке и гарантиях на государственном уровне [3].

Источники:

1. Энергетика: [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика>.
2. Основы современной энергетики / А. Д. Трухня. В 2-х томах. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. Энергетика: [Электронный ресурс] // Invest in Belarus. URL: <https://investinbelarus.by/docs/Energy.pdf>.
4. Белорусский опыт развития малой и нетрадиционной энергетики: [Электронный ресурс] // SPWR. URL: <https://spwr.by/stati/beloruskiy-opyt-razvitiya-maloy-i-netraditsionnoy-energetiki.html>.

Тема 3. Энергия, ее виды и способы преобразования

Энергетические проблемы всегда находились в центре повышенного внимания человека, поскольку энергия – это неперенное условие любой деятельности, но особенно большое значение эти проблемы приобретают со времени широкого применения технических устройств, приводимых в движение различными источниками энергии.

Если взять за основу энергетический подход, то можно выделить следующие основные этапы в истории человечества соответственно смене способов получения энергии.

Первый этап – от возникновения человека до эпохи промышленной революции – характеризуется непосредственным использованием естественных источников энергии. Это мускульная сила самого человека, затем прирученных им животных, и несколько позже сюда добавляется использование людьми силы падающей воды и движущихся слоев воздуха. Данный этап насчитывает многие сотни тысяч лет. Например, ветер дует в паруса и перемещает судно по водной поверхности. Или поток воды приводит в движение жернова мельницы и заставляет их перемалывать зерно в муку и т. д.

Новая эпоха в применении энергии наступает с того времени, когда совершается преобразование одного вида движения в качественно другое, позволяющее получить гораздо больший полезный результат по сравнению с исходным количеством энергетического импульса. Например, совершается подогрев воды, и энергия перегретого пара приводит в движение шатуны колес транспорта. Здесь возникает промежуточное звено преобразования одного вида движения (химической энергии горения) в другой (термодинамическую энергию пара), и получаемый затем механический процесс (движение маховика и вращение колес) многократно превосходит по количеству производимой работы первоначальный энергетический источник. Массовое применение подобного вида энергетических устройств позволило получить колоссальный результат в производственной сфере.

Промышленная революция обусловила новые темпы развития общества, во много раз превысившие прежние.

Однако самое главное и динамичное в развитии общества началось на следующем, третьем этапе использования энергии, когда в этот процесс оказалось включено новое звено, связанное с иным типом управления энергетическим потоком.

Получение энергии в мире непрерывно растет, удваиваясь каждые 5–7 лет. При этом более 80 % современной энергетики является топливной, использующей ископаемое углеводородное топливо. Топливная энергетика выполнила огромной важности задачу – обеспечила выход значительной части человечества на высокий жизненный уровень, а целый ряд стран, располагающих большими запасами ископаемого топлива, сделала богатыми.

Получила развитие и возобновляемая энергетика, в основе которой лежит использование масс воды и воздуха, использование перепадов температуры в результате неравномерного разогрева поверхности планеты и, наконец, прямое использование солнечных лучей с помощью фотоэлементов, а также различных концентраторов и накопителей солнечной радиации.

Немалым источником энергии является использование той биомассы, которая накапливается в виде отходов производственной и бытовой деятельности человека.

Топливная энергетика давно рассматривалась как временный этап в истории человечества, но ее пределы было принято связывать с исчерпаемостью запасов топлива в земных недрах, а это считалось далекой перспективой, отстоящей от нашего времени на многие десятки и даже сотни лет, если принимать во внимание запасы каменного угля.

Однако экологический кризис выдвинул на первый план те пределы, которые никогда раньше не принимались во внимание, – условия обеспечения климатической стабильности.

Справедливости ради следует заметить, что предпринимаются попытки предложить различные варианты снижения вредных выбросов, которые дает традиционная энергетика: совершенствуется техника очистки загрязняющих выбросов из труб энергоустановок, улучшается качество топлива путем удаления входящих в него вредных примесей, большие успехи достигнуты в деле перехода на энергосберегающие технологии и т. д. Все это позволило заметно снизить уровень химических загрязнений. Однако каждый следующий процент улавливаемых загрязнений обходится все дороже.

В каких бы формах ни выступало топливо, используемое для получения энергии, оно всегда повлечет за собой при сжигании такие неизбежные следствия, как загрязнение окружающей среды.

Поэтому необходимо найти другие источники энергии, которые обладали бы следующими важнейшими качествами: практически не иссякали бы со временем, давали бы поток энергии достаточной плотности и мощности, чтобы удовлетворить растущие потребности человечества, и не оказывали бы вредного воздействия на окружающую среду. Достаточно хорошо известны источники энергии, отвечающие первому требованию. Это солнечная радиация, геотермальное тепло, гидроэнергия, энергия ветра, приливов волн[1].

Виды энергии и способы ее преобразования

Понятие «энергия» определяется как мера различных форм движения материи и как мера перехода движения материи из одной формы в другую. Соответственно, виды и типы энергии различают по формам движения материи. Человек имеет дело с различными видами энергии. По сути, весь технологический процесс есть преобразование одних видов энергии в другие. В процессе прохождения технологического тракта энергия многократно преобразуется из одного вида в другой, что ведет к уменьшению ее полезного количества из-за потерь и рассеяния в окружающей среде.

Сегодня человечество знакомо со следующими видами и типами энергии:

- механическая
- электрическая
- химическая
- тепловая
- световая
- ядерная
- термоядерная

Кроме того, известны и другие виды энергии, названия которых имеют не физический, а описательный смысл, такие как ветровая энергия, или геотермальная энергия. В подобных случаях физическая форма характера энергии подменяется названием ее источника. Поэтому правильно говорить скорее о механической энергии ветра, энергии потока ветра, или тепловой энергии геотермальных источников[3].

Механическая энергия

Наиболее часто встречающаяся нам в повседневной жизни – механическая энергия. Это энергия непосредственного взаимодействия и движения физических тел и их частей. В рамках Механики (раздела Физики), механическую энергию подразделяют на потенциальную (для покоящихся тел) и кинетическую (для движущихся). Суммарно потенциальная и кинетическая энергия системы тел составляют полную механическую энергию для этой системы тел. Механическая энергия широко известна Человеку с древнейших времен и применяется в таких устройствах, как: стрела, копье, нож, топор, праща, баллиста, повозка, маятник, журавль, ветряная мельница, водяное колесо, парус, гончарный круг, часы, и другие самые разнообразные механизмы... Приведем примеры наиболее распространенных и используемых источников механической энергии: ветер, течение рек, приливы и отливы морей и океанов, сельскохозяйственные животные, и сам человек. Зачастую механическая работа используется как промежуточный этап при выработке электроэнергии. Преобразование механической энергии в электрическую энергию осуществляется генераторами тока. В генераторе происходит превращение вращательного движения вала в электричество. Для вращения вала применяют следующие источники механической энергии: течение рек, океанские и морские приливы-отливы, ветер. Однако основное количество генераторов тока по-прежнему работает на тепловых станциях. Здесь химическая энергия ископаемого топлива преобразуется в тепловую энергию пара, которая затем превращается в электрическую энергию тока – универсальный стандарт, удобный для использования и передачи на большие расстояния.

Электрическая энергия

Электрическая энергия – энергия движущихся по электрической цепи электронов (электрического тока). Электрическая энергия применяется для получения механической энергии с помощью электродвигателей и осуществления механических процессов обработки материалов: дробления, измельчения, перемешивания; для проведения электрохимических реакций; получения тепловой энергии в электронагревательных устройствах и печах; для непосредственной обработки материалов. Этот вид энергии является наиболее совершенным, благодаря следующим факторам:

- возможности получения ее в больших количествах вблизи месторождений горючих ископаемых или водных источников;
- удобству транспортировки на дальние расстояния с относительно небольшими потерями;
- способности трансформации в другие виды энергии;
- отсутствию загрязнения окружающей среды;

- возможности создания принципиально новых технологических процессов с высокой степенью автоматизации и роботизации производства.

Электрическая энергия широко известна человеку из повседневной жизни. Это энергия, заключенная в электромагнитном поле. В рамках Электродинамики (Раздела Физики), электромагнитная энергия включает в себя и такие виды энергии, как электрическая и магнитная. Электромагнитная энергия известна и используется людьми издревле. Человечество издавна знакомо с естественными источниками электромагнитной энергии, такими как: молнии, космические электромагнитные волны, магнитное поле Земли, некоторые виды рыб. Однако Человек пока не умеет эффективно использовать естественные источники электрической энергии в своих целях. Исключение, пожалуй, составляет только компас, использующий линии магнитного поля Земли, а также полупроводниковые преобразователи электромагнитных волн. Поэтому эта энергия обычно получается из других видов энергии путем использования устройств - преобразователей. Сегодня для производства электрической энергии применяют: гальванические элементы (химическая энергия), генераторы электрической энергии (механическая, химическая, ядерная энергия), солнечные батареи (световая энергия), топливные элементы (химическая энергия).

Электрический ток, как явление переноса электромагнитной энергии, широко применяется в современной цивилизации для передачи энергии на расстояния. Использование свойств электрического тока, электрических и электромагнитных полей лежит в основе большей части современных технологий. Именно поэтому большинство преобразований энергии, получаемой человеком из различных источников, сводится к получению «универсальной» электрической энергии. Однако до сих пор не существует эффективных методов хранения больших запасов электрической энергии.

Тепловая энергия

Тепловая энергия – энергия неупорядоченного (хаотического) движения и взаимодействия молекул веществ. Тепловая энергия, получаемая чаще всего при сжигании различных видов топлива, широко применяется для отопления, проведения многочисленных технологических процессов (нагрева, плавления, сушки, выпаривания, перегонки и т.д.).

Световая энергия

Световая энергия знакома всем людям всех времен с самого рождения. С древности известны такие источники световой энергии, как Солнце, Луна и Звезды, костер, факел, хемилюминесцентные животные и растения. В настоящее время Солнце продолжает оставаться основным и главнейшим источником энергии на Земле вообще и световой энергии в частности. Все живое на Земле существует только благодаря лучистой энергии солнечного света. Если учесть, что Солнце освещает только половину поверхности земного шара, можно подсчитать, что за секунду оно посылает на нашу планету энергию, которая выделилась бы при сгорании 40 млн. т каменного угля! Крупнейшая в мире электростанция могла бы выработать такое количество энергии лишь за 30 лет. Без солнечного света Земля стала бы обледенелым, безжизненным космическим телом. На Земле нет других в какой-то мере сравнимых с солнечным светом источников энергии.

На Землю падает лишь около четырех десятиллиардных долей энергии, излучаемой Солнцем. А вся его энергия образуется в результате термоядерных процессов. Масса солнечного вещества непрерывно превращается в энергию. При этом 1 г массы равнозначен энергии, выделяющейся при сгорании 20 000 т угля. Масса Солнца превращается в энергию в термоядерном процессе. Энергию этого гигантского «термоядерного реактора» доставляет на Землю свет.

Свет – это поток энергии. Световая энергия может передаваться по-разному, в частности колебательными процессами. Можно рассматривать свет как электромагнитное излучение, такое же, как радиоволны, но волны его гораздо короче.

Таким образом, из всех доступных в настоящее время человечеству видов энергии, энергия световых волн, и ее основной источник – Солнце – являются безусловными лидерами по доступному объему и запасам.

Помимо непосредственного действия лучистой энергии, Солнце приносит и тепловую энергию, разогревая поверхность Земли и атмосферу. Таким образом, световая энергия Солнца является первопричиной появления таких источников механической энергии, как ветер и течение рек, таких источников химической энергии, как нефтяные, газовые, угольные, торфяные месторождения, леса, луга и поля, морская растительность и т.п.

Не относящимися напрямую к Солнцу, можно назвать такие источники энергии, как приливы-отливы морей и океанов, вызываемых движением Луны, урановые месторождения (ядерная энергия), и пока не применяемый в промышленности термоядерный синтез. Однако световая энергия не является первичной энергией. В первооснове энергетических преобразований всегда оказывается реакция ядерного синтеза, происходящая на Солнце и звездах. Все остальные виды и источники энергии представляют собой лишь дальнейшее преобразование этой первичной реакции.

На сегодняшний день человек широко использует не только естественную солнечную световую энергию, но и искусственно получает ее из других видов энергии: электромагнитной, механической, химической. Однако использование солнечных батарей (преобразователей электромагнитных волн) до сих пор ограничено экваториальными районами Земли. Естественную световую энергию Солнца успешно используют для нагрева воды (тепловая энергия), преобразования в электрическую энергию, выращивания сельскохозяйственных культур (химическая энергия).

Магнитная энергия

Постоянные магниты, хотя и обладают запасом энергии, отдают ее весьма неохотно, так что нет нужды как-то специально называть эту энергию. Однако электрический ток создает вокруг себя протяженные, сильные магнитные поля. Как только ток выключается, магнитное поле исчезает, «сжимается», и в цепь выделяется значительное количество энергии не из батареи, а из магнитного поля. Это и есть магнитная энергия. Происходит это в течение короткого периода времени «замирания» тока.

Термоядерная энергия

Солнце - ближайшая к нам звезда — раскалено в недрах до 10—13 млн. градусов. А вещества в Солнце в тысячи раз больше, чем во всех планетах солнечной системы. Современная наука доказала: под ослепительным наружным покровом, непрерывно идут превращения атомных ядер, и это сопровождается колоссальным выделением энергии. Это и есть термоядерная энергия — энергия, выделяющаяся благодаря реакции термоядерного синтеза. В раскаленном веществе Солнца очень много водорода. Но не обычного газа, а водородной плазмы: она состоит не из целых атомов, а из атомных осколков—ядер и электронов. При колоссальной температуре солнечных глубин частицы водородной плазмы испытывают весьма быстрое и энергичное беспорядочное движение. Ядра при этом с разгона налетают друг на друга. Иногда столкновение бывает таким сильным, что ядра преодолевают взаимное электрическое отталкивание (они ведь все заряжены положительно), тесно сближаются и сливаются воедино. Тогда из двух ядер обычного («легкого») водорода, т. е. из двух протонов, получается ядро тяжелого водорода — дейтрон. Вместе с тем вылетают прочь отходы реакции — электрон и нейтрино. Так в результате реакции синтеза освобождается термоядерная энергия.

Поняв жизнь Солнца, разгадав энергетические источники звезд, ученые наметили себе цель: зажечь такой же могучий звездный огонь и на Земле! Воссоздать в земной промышленной установке управляемый, послушный человеческой воле термоядерный процесс. Добиться этого — значит получить практически неиссякаемый источник термоядерной энергии. Ведь водородом наша планета очень богата (этот элемент входит в состав воды). Даже если научиться сжигать в термоядерных реакторах менее распространенный в природе тяжелый водород (на Солнце тяжелый водород воспламеняется особенно легко), то и тогда каждая кружка обычной воды станет равноценна бочке бензина! Наконец, есть еще одно замечательное термоядерное горючее — так называемый сверхтяжелый водород. В природе его, правда, почти нет, но его можно получать методами современной химии — в ядерных реакторах из легкого изотопа лития, которого немало в земной коре. Смесь тяжелого водорода и сверхтяжелого будет, видимо, наиболее подходящим горючим для получения термоядерной энергетики будущего. Как же решается эта великая проблема? Сейчас главная задача ученых — нагреть вещество до таких сверхвысоких температур, при которых начнется энергетически выгодная термоядерная реакция. Как рассчитали физики, в земных условиях для этого потребуется куда более высокая температура, чем в недрах Солнца. Причем термоядерное горючее надо «поджечь» без взрыва, иначе процесс выйдет из-под контроля.

Промышленный, управляемый термоядерный реактор будет самой замечательной энергетической установкой из всех изобретенных человеком. Научившись «сжигать воду» в искусственном солнце, мы получим источник топлива, равноценный 500 океанам, в которых вместо воды была бы нефть! Трудно даже вообразить себе, к какому бурному прогрессу приведет это индустрию, сельское хозяйство, науку. Получив изобилие термоядерной энергии, человек сможет осуществить самые дерзкие мечты, вплоть до кардинального преобразования Земли, ее природы, ее климата.

Химическая энергия

Химическая энергия - это энергия, «запасенная» в атомах веществ, которая высвобождается или поглощается при химических реакциях между веществами. Химическая энергия либо выделяется в виде тепловой энергии при проведении экзотермических реакций (например, горении топлива), либо преобразуется в электрическую в гальванических элементах и аккумуляторах. Эти источники энергии характеризуются высоким КПД (до 98%), но низкой емкостью. Химическая энергия известна каждому современному человеку и широко используется во всех сферах деятельности. Она известна Человечеству с самых давних времен и всегда применялась как в быту, так и на производстве. Наиболее распространенными устройствами, использующими химическую энергию, являются: камин, печь, горн, домна, факел, газовая горелка, ракета, самолет, автомобиль. Химическая энергия применяется в производстве медикаментов, пластика, синтетических материалов, и т.п.

Наиболее применяемыми источниками химической энергии являются: нефтяные месторождения (нефть и ее производные), газоконденсатные месторождения (природный газ), угольные бассейны (каменный уголь), болота (торф), леса (древесина), а также поля (зеленые растения), луга (солома), моря (водоросли), и т.п. Химические источники энергии являются «традиционными», однако их использование оказывает влияние на климат планеты. При нормальном функционировании экосистемы, солнечная световая энергия преобразуется в форму химической, и хранится в ней на протяжении продолжительного времени. Обычно химическая энергия, выделившаяся в результате разрыва высокоэнергетических и образования низкоэнергетических химических связей, выделяется в окружающую среду в виде тепловой энергии. Любой процесс, связанный с горением, имеет в своей основе энергию химического взаимодействия органического (реже минерального) вещества и кислорода. Современное промышленное высокотехнологичное «горение» осуществляется в двигателях внутреннего сгорания и газовых турбинах, в плазменных генераторах и топливных элементах. Однако такие устройства, как турбины и двигатели внутреннего сгорания между сырьем (химической энергией) и конечным продуктом (электрической энергией) имеют посредника – тепловую энергию. К великому сожалению ученых и инженеров, КПД тепловых машин довольно мал – не более 40%. Ограничения на дальнейший рост КПД наложены не материалами, а самой природой. 40% - это предельный КПД тепловой машины и дальше его увеличить невозможно.

Топливный элемент производит непосредственное преобразование энергии химических связей в электрическую энергию. В некотором роде то же самое делает и плазменный генератор. Однако, и в том и в другом случае, часть энергии все равно теряется в виде выделяющегося тепла и рассеивается. Возможности решения проблемы рассеяния тепла пока не существует, что снижает КПД любой самой хорошей преобразующей установки.

Химические взаимодействия лежат в основе механической энергии движения тел людей и животных. Человек питается растениями и животными, получая из них энергию химических связей, которая сформировалась благодаря фотосинтезу. Таким образом, первоисточником для химической энергии является лучистая солнечная энергия, или, фактически, энергия ядерного синтеза от процессов, происходящих на Солнце [3].

Электромагнитная энергия

Во многих случаях электрическая и магнитная энергии тесно связаны друг с другом, каждую из них можно рассматривать как «оборотную сторону» другой. Переменные токи создаются переменными электрическими полями и образуют вокруг себя переменные магнитные поля. Во время радиопередачи в антенне создаются переменные токи, которые порождают электрические и магнитные поля, обладающие электрической и магнитной энергией, или, как мы предпочитаем говорить, электромагнитной энергией. Но эти поля не просто пульсируют около антенны. Часть их отрывается и улетает в виде потока электромагнитных волн, которые, двигаясь со скоростью света, уносят с собой электромагнитную энергию. Таким образом, мы представляем себе электромагнитные волны в виде движущихся полей, переносящих энергию. Когда они достигают принимающей антенны, то наводят в ней слабые переменные токи с электрическими и магнитными полями, которые в конечном итоге превращают большую часть энергии волн в слабый нагрев проводов приемника. При поглощении света происходит нагревание, поэтому мы говорим, что свет тоже переносит энергию. Известно, что и невидимый свет - как инфракрасное излучение, так и ультрафиолетовые лучи - представляет собой потоки электромагнитных волн. Вместе с радиоволнами мы объединяем их под общим названием излучение. Излучение переносит энергию в форме энергии электромагнитной волны. Когда излучение поглощается, энергия излучения преобразуется в другие формы, чаще всего в теплоту [3].

Энергия волн

Энергия, переносимая волной может быть огромна. Пример тому – Мировой Океан. Морские волны способны крушить корабли, выбрасывать на берег огромные камни, выплескивать воду в высоко поднятые водоемы, создавая запас потенциальной энергии. Хотя в таких волнах вода и движется, каждая ее частичка не уходит слишком далеко. Она получает свое движение от соседних частиц и передает его следующей частице. Волны представляют примеры сложных и непрерывных взаимных переходов кинетической и потенциальной энергий, каждая из которых передается с характерной волновой скоростью. Источник потока энергии большинства океанских волн — это ветер, который гонит их. Нагретая земля постоянно подпитывает энергию ветра, а первоисточником всего является энергия излучения Солнца.

Звуковые волны, распространяющиеся в воздухе, также осуществляют перенос энергии. Следующие друг за другом попеременные сжатия и разрежения слоев воздуха образуют звуковые волны и немного изменяют скорости молекул. Чередующиеся изменения кинетической энергии молекул воспринимаются нами как распространяющиеся волны. Эти изменения складываются в небольшой суммарный эффект, который и составляет энергию звуковых волн. Детали изменения энергии звуковых волн довольно сложны, и многое здесь вам придется принять на веру. Если кто-то в помещении громко крикнет, он сообщит воздуху слабое дополнительное движение, распространяющееся со скоростью звука. А когда крик замрет, его энергия превратится в нагревание стен комнаты, которые поглотили звук.

Электромагнитные волны, в свою очередь, переносят энергию во многом подобно волнам на воде или звуковым волнам. Их энергию называют энергией излучения, или просто излучением [3].

Ядерная энергии

Ядерная энергия – энергия, локализованная в ядрах атомов радиоактивных веществ. Она высвобождается при делении тяжелых ядер (ядерная реакция) или синтезе легких ядер (термоядерная реакция).

Бытует и старое название данного вида энергии – атомная энергия, однако это название неточно отображает сущность явлений, приводящих к высвобождению колоссальных количеств энергии, чаще всего в виде тепловой и механической.

Применение ядерной энергии в современном мире оказывается настолько важным, что, если бы мы завтра проснулись, а энергия ядерной реакции исчезла, мир, таким как мы его знаем, пожалуй, перестал бы существовать. Мирное использование источников ядерной энергии составляет основу промышленного производства и жизни таких стран, как Франция и Япония, Германия и Великобритания, США и Россия.

Республика Беларусь также стала ядерной державой и использует мирный атом в своих целях. С момента включения в объединенную энергосистему первого энергоблока (3 ноября 2020 года) БелАЭС суммарно выработала к 2024г. - 37,5 млрд. кВтч электроэнергии, что позволило заместить свыше 10 млрд. куб.м. природного газа. Беларусь полностью отказалась от импорта электрической энергии. Снижена зависимость республики от импортируемого природного газа.

БелАЭС содействует широкому внедрению современных технологий. Готовится к реализации целый ряд инновационных проектов - в промышленности, науке, ядерной медицине. Безусловным преимуществом строительства атомной станции стало также развитие города атомщиков Островца и Островецкого района. Здесь построены новые школы, детские сады, больница, физкультурно-оздоровительный комплекс, центр культуры [2].

Основное применение мирная ядерная энергия находит в основном, на таких объектах, как заводы, перерабатывающие предприятия, и т.п. Именно энергоемкие производства, удаленные от источников дешевой электроэнергии (вроде гидроэлектростанций) задействуют ядерные станции для обеспечения и развития своих внутренних процессов. Аграрные современные регионы и города нуждаются в атомной энергии для развития. В плюсы ядерной энергии мы можем смело записать все то, к чему мы привыкли. К минусам –проблемы ядерных отходов, деградации пахотных площадей.

Гравитационная энергия

Гравитационная энергия - энергия, обусловленная взаимодействием (тяготением) массивных тел, она особенно ощутима в космическом пространстве. В земных условиях, это, например, энергия, «запасенная» телом, поднятым на определенную высоту над поверхностью Земли – энергия силы тяжести.

Энергия сыграла решающую роль в развитии цивилизации. Снабжение общества энергией необходимо для: обогрева помещений, обеспечения передвижения, выпуска необходимых нам товаров, поддержания работоспособности различных машин, механизмов, приборов, приготовления пищи, освещения, поддержания жизнедеятельности и т.д.

Эти примеры применения энергии можно разделить на три большие группы:

- энергия питания. Она дороже других видов энергии: пшеница в перерасчете на Джоули гораздо дороже, чем уголь. Питание дает тепло для

поддержания температуры тела, энергию для его движения, для осуществления умственного и физического труда;

- энергия в виде тепла для обогрева домов и приготовления пищи. Она дает возможность жить в различных климатических условиях и разнообразить пищевой рацион человека;
- энергия для обеспечения функционирования общественного производства. Это энергия для производства товаров и услуг, физического перемещения людей и грузов в пространстве, для поддержания работоспособности всех систем коммуникаций. Затраты этой энергии на душу населения значительно выше, чем затраты энергии на питание.

Динамика развития цивилизации такова, что с каждым годом человечеству требуется все больше энергии для своего существования и развития. Несмотря на наличие большого количества энергоресурсов и использование человечеством различных видов энергии, скорость потребления энергетических ресурсов заметно превышает возможности их возобновления природой. Это в первую очередь касается невозобновимых природных ресурсов. Потребности человека растут, людей становится все больше и это вызывает гигантские объемы производства энергии и темпы роста ее потребления. Сегодня традиционные источники энергии (различные топлива, гидроресурсы) и технологии их использования уже не способны обеспечивать требуемый уровень энерговооруженности общества, потому что это невозобновляемые источники. И хотя разведанные запасы природных топлив очень велики, проблема истощения природных кладовых при нынешних и прогнозируемых темпах их разработки переходит в реальную и недалекую перспективу. Другим фактором, ограничивающим значительное увеличение объемов выработки энергии за счет сжигания топлива, является все возрастающее загрязнение окружающей среды отходами энергетического производства. А ведь количество вырабатываемой в год электроэнергии исчисляется сотнями и тысячами миллиардов киловатт-часов. В ядерной энергетике возникают экологические проблемы другого рода. Они связаны с необходимостью исключить попадание ядерного горючего в окружающую среду и надежным захоронением ядерных отходов, что при современном уровне развития техники и технологий связано с большими трудностями. Не менее вредным является и тепловое загрязнение окружающей среды, способное привести к глобальному потеплению климата Земли, таянию ледников и повышению уровня мирового океана.

Природа каждого из этих источников энергии неодинакова, различны и способы их применения и использования. Вместе с тем им свойственны и общие черты, и в частности малая плотность потока генерируемой энергии, обуславливающая необходимость ее аккумуляирования и резервирования [3].

Источники:

1. Век глобализации. Выпуск №2 / Э. В. Гирусов. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. РУП «Белорусская атомная электростанция»: [Электронный ресурс] // БелАЭС. URL: <https://belaes.by/ru/>.
3. Курс лекций по энергосбережению: [Электронный ресурс] // Физический факультет БГУ. URL: <https://fsc.bsu.by/wp-content/uploads/2016/02/kurs-lektsij-po-e-nergoberezhniyu.docx>

Тема 4. Источники генерации электрической и тепловой энергии. Виды и принципы работы

4.1. Традиционные источники производства энергии

Электрическая станция – совокупность установок, оборудования и аппаратуры, используемых непосредственно для производства электрической энергии, а также необходимые для этого сооружения и здания, расположенные на определённой территории. В зависимости от источника энергии различают:

- тепловые электростанции (ТЭС), использующие природное топливо;
- атомные электростанции (АЭС), использующие ядерную энергию;
- гидроэлектростанции (ГЭС), использующие энергию падающей воды запруженных рек;
- нетрадиционные (иные) электростанции, использующие ветровую, солнечную, геотермальную и другие виды энергий.

В нашей стране производится и потребляется огромное количество электроэнергии. Она почти полностью вырабатывается тремя основными типами электростанций: тепловыми, атомной и мини гидроэлектростанциями. В Беларуси основная часть электроэнергии производится на тепловых электростанциях.

Тепловые электростанции

Принципиальная схема тепловой электростанции представлена на рис. 4.1. Стоит иметь в виду, что в ее конструкции может быть предусмотрено несколько контуров – теплоноситель от тепловыделяющего контура может не идти сразу на турбину, а отдать свое тепло в теплообменнике теплоносителю следующего контура, который уже может поступать на турбину, а может передавать свою энергию следующему контуру. Также в любой электростанции предусмотрена система охлаждения отработавшего теплоносителя, чтобы довести температуру теплоносителя до необходимого для повторного цикла значения.

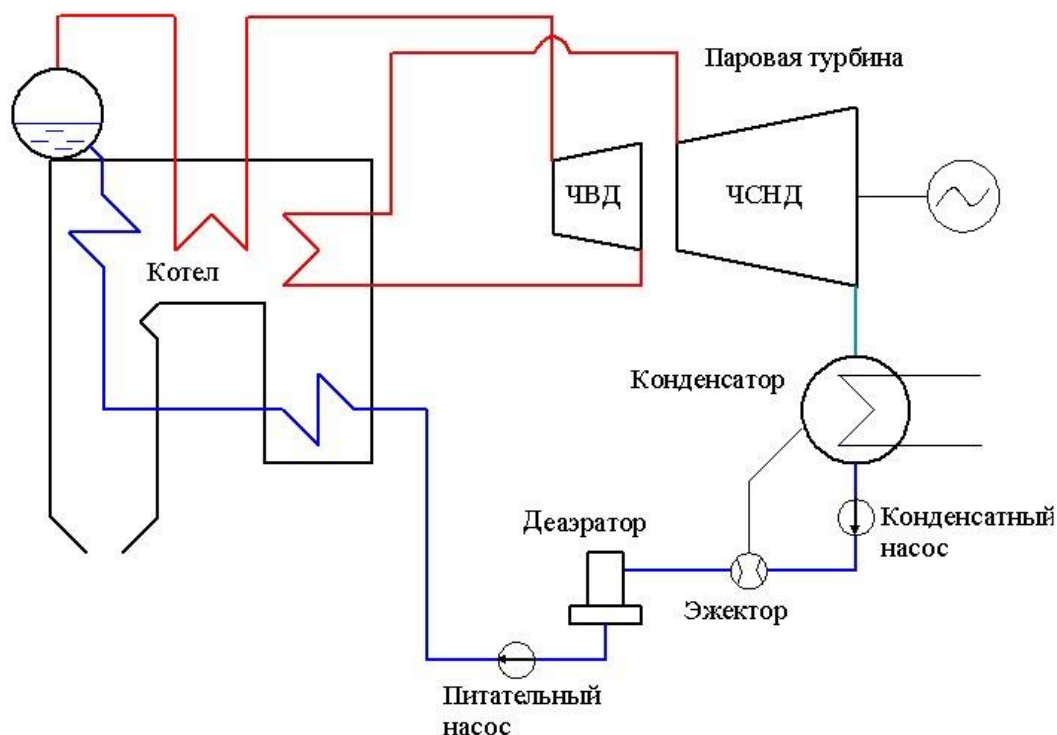


Рисунок 4.1. Принципиальная схема ТЭС

Если поблизости от электростанции есть населенный пункт, то тепло отработавшего теплоносителя используется для нагрева воды системы отопления домов или горячего водоснабжения, а если нет, то излишнее тепло отработавшего теплоносителя просто сбрасывается в атмосферу в градирнях или в водоем (пруд, озеро, река) охладитель.

ТЭС вырабатывают электрическую энергию в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива. В основном на большинстве ТЭС используют тепловые паротурбинные установки (ПТУ), на которых тепловая энергия используется в парогенераторе для получения водяного пара высокого давления, приводящего во вращение ротор паровой турбины, соединённый с ротором электрического генератора (обычно синхронного генератора). В качестве топлива на таких ТЭС используют уголь, мазут, природный газ, лигнит, торф, сланцы. ТЭС с ПТУ имеющие в качестве привода электрогенераторов конденсационные турбины и не использующие тепло отработавшего пара для снабжения тепловой энергией внешних потребителей, называются конденсационными электростанциями (КЭС или ГРЭС). ТЭС с ПТУ, оснащенные теплофикационными турбинами и отдающие тепло отработавшего пара промышленным или коммунально-бытовым потребителям, называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ).

ТЭС с приводом электрогенератора от газовой турбины называются ТЭС с газотурбинными установками (ГТУ). В камере сгорания ГТУ сжигают газ или жидкое топливо; продукты сгорания с температурой 750...900 °С поступают в газовую турбину, вращающую электрогенератор. КПД таких ТЭС обычно составляет 26...28 %, мощность – до нескольких сотен МВт. ТЭС с ГТУ обычно применяются для покрытия пиков электрической нагрузки.

ТЭС бывают с парогазотурбинной установкой (ПГУ), состоящей из паротурбинного и газотурбинного агрегатов. КПД такой станции может достигать

42...43 %. ГТУ и ПГУ также могут отпускать тепло внешним потребителям, т. е. работать как ТЭЦ. Тепловые электростанции используют широко распространенные топливные ресурсы, относительно свободно размещаются и способны вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний. Их строительство ведется быстро и связано с меньшими затратами труда и материальных средств. Но у ТЭС есть существенные недостатки. Они используют невозобновимые ресурсы, обладают низким КПД (30...35 %), оказывают крайне негативное влияние на экологическую обстановку.

Первостепенную роль среди тепловых установок играют конденсационные электростанции (КЭС). Они тяготеют и к источникам топлива, а также к потребителям и поэтому очень широко распространены. Чем крупнее КЭС, тем дальше она может передавать электроэнергию, т. е. по мере увеличения мощности возрастает влияние топливноэнергетического фактора. ТЭЦ (теплоэлектроцентрали) представляют собой установки по комбинированному производству электроэнергии и теплоты. Их КПД доходит до 70 % против 32...38 % на КЭС. ТЭЦ привязаны к потребителям, т. к. радиус передачи теплоты (пара, горячей воды) составляет 15...20 км. Максимальная мощность ТЭЦ меньше, чем КЭС [1].

Атомная электростанция (АЭС) – электростанция, в которой атомная (ядерная) энергия преобразуется в электрическую. Генератором энергии на АЭС является атомный реактор. Тепло, которое выделяется в реакторе в результате цепной реакции деления ядер некоторых тяжёлых элементов, затем так же, как и на обычных тепловых электростанциях (ТЭС), преобразуется в электроэнергию. В отличие от ТЭС, работающих на органическом топливе, АЭС работает на ядерном горючем (в основном ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu). Установлено, что мировые энергетические ресурсы ядерного горючего (уран, плутоний и др.) существенно превышают энергоресурсы природных запасов органического топлива (нефть, уголь, природный газ и др.). Это открывает широкие перспективы для удовлетворения быстро растущих потребностей в топливе. Кроме того, необходимо учитывать всё увеличивающийся объём потребления угля и нефти для технологических целей мировой химической промышленности, которая становится серьёзным конкурентом тепловых электростанций. Несмотря на открытие новых месторождений органического топлива и совершенствование способов его добычи, в мире наблюдается тенденция к относительному увеличению его стоимости. Это создаёт наиболее тяжёлые условия для стран, имеющих ограниченные запасы топлива органического происхождения. Очевидна необходимость быстрее развития атомной энергетики, которая уже занимает заметное место в энергетическом балансе ряда промышленных стран мира.

Принципиальная схема АЭС с ядерным реактором, имеющим водяное охлаждение, приведена на рис. 4.2.

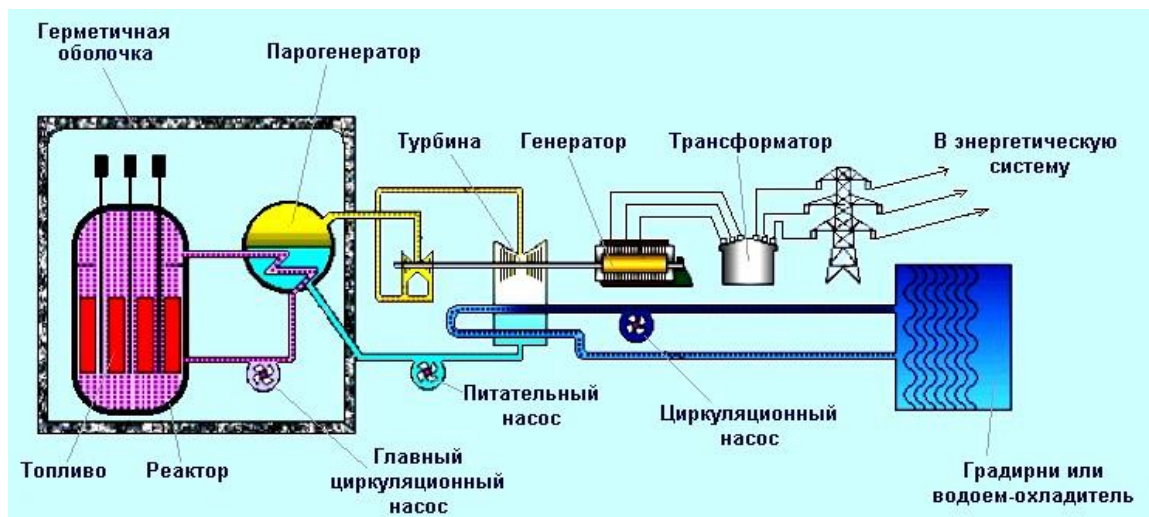


Рисунок 4.2. Принципиальная схема АЭС с ядерным реактором, имеющим водяное охлаждение [1]

Тепло, выделяющееся в активной зоне реактора, отбирается водой (теплоносителем) 1-го контура, которая прокачивается через реактор главным циркуляционным насосом. Нагретая вода из реактора поступает в теплообменник (парогенератор), где передаёт тепло, полученное в реакторе, воде 2-го контура. Вода 2-го контура испаряется в парогенераторе, и образующийся пар поступает в турбину. Наиболее часто на АЭС применяются 4 типа реакторов на тепловых нейтронах:

- водо-водяные с водой в качестве замедлителя и теплоносителя;
- графито-водные с водяным теплоносителем и графитовым замедлителем;
- тяжеловодные с водяным теплоносителем и тяжёлой водой в качестве замедлителя;
- графито-газовые с газовым теплоносителем и графитовым замедлителем.

Выбор преимущественно применяемого типа реактора определяется главным образом накопленным опытом в реакторостроении, а также наличием необходимого промышленного оборудования, сырьевых запасов и т. д.

При правильной эксплуатации АЭС – наиболее экологически чистый источник энергии. Их функционирование не приводит к возникновению «парникового» эффекта, выбросам в атмосферу в условиях безаварийной работы, и они не поглощают кислород. К недостаткам АЭС можно отнести трудности, связанные с захоронением ядерных отходов, катастрофические последствия аварий и тепловое загрязнение используемых водоемов [1].

Гидроэлектростанции (ГЭС) являются весьма эффективными источниками энергии. Они используют возобновимые ресурсы – механическую энергию падающей воды. Необходимый для этого подпор воды создается плотинами, которые воздвигают на реках и каналах. Гидравлические установки позволяют сокращать перевозки и экономить минеральное топливо (на 1 кВт·ч расходуется примерно 0,4 т угля). Они достаточно просты в управлении и обладают очень высоким коэффициентом полезного действия (более 80 %). Себестоимость этого типа установок в 5...6 раз ниже, чем ТЭС, и они требуют намного меньше

обслуживающего персонала. Размещение ГЭС во многом зависит от природных условий, например характера и режима реки. Схема работы ГЭС представлена на рис. 4.3. В горных районах обычно возводятся высоконапорные ГЭС, на равнинных реках действуют установки с меньшим напором, но большим расходом воды.

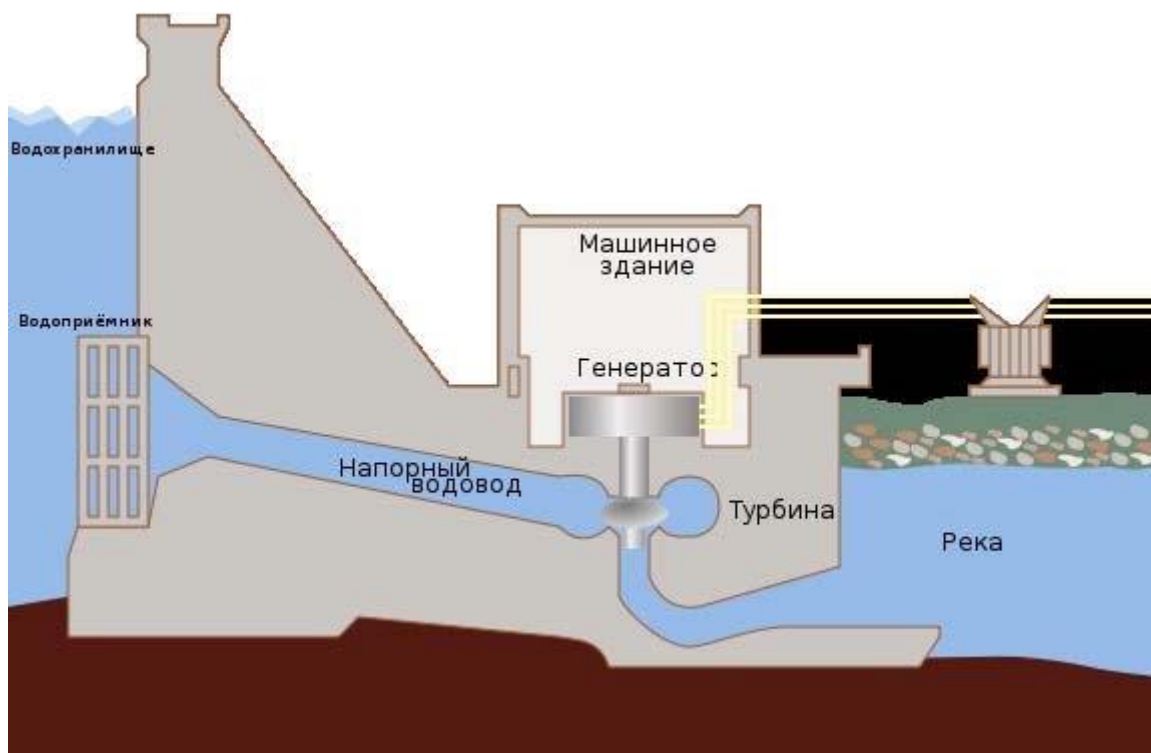


Рисунок 4.3. Схема работы ГЭС [1]

Для создания напора поперёк русла реки сооружают плотину, чтобы накопить воду в водохранилище и сконцентрировать перепад уровня воды на сравнительно небольшом участке (по ширине плотины). Как правило, непосредственно к плотине примыкает здание ГЭС, в котором располагается основное оборудование – гидроагрегаты (в машинном здании) и устройства автоматического контроля и управления работой ГЭС.

Подвод воды к гидравлическим турбинам осуществляется по напорным водоводам. Вращение рабочего колеса гидротурбины под напором падающей воды передаётся на вал гидрогенератора, вырабатывающего электрический ток. На открытой площадке рядом со зданием ГЭС или в отдельном здании обычно сооружают повышающую трансформаторную подстанцию ГЭС с распределительными устройствами [1].

4.2. Нетрадиционные источники производства энергии (ветроэлектростанции, солнечные электростанции, геотермальные электростанции и т. д.)

К нетрадиционным возобновляемым источникам энергии обычно относят солнечную, ветровую и геотермальную энергию, энергию морских приливов и волн, биомассы (растения, различные виды органических отходов), низкопотенциальную энергию окружающей среды. В эту категорию также принято относить малые ГЭС (мощностью до 30 МВт при мощности единичного агрегата не

более 10 МВт), которые отличаются от традиционных – более крупных – ГЭС только масштабом.

Указанные источники энергии имеют как положительные, так и отрицательные свойства. К положительным относятся повсеместная распространенность большинства их видов, экологическая чистота. Эксплуатационные затраты по использованию нетрадиционных источников не содержат топливной составляющей, т. к. энергия этих источников относительно бесплатная.

Отрицательные качества – это малая плотность потока (удельная мощность) и изменчивость во времени большинства источников энергии. Первое обстоятельство заставляет создавать большие площади энергоустановок, «перехватывающие» поток используемой энергии (приемные поверхности солнечных установок, площадь ветроколеса, протяженные плотины приливных электростанций и т. п.). Это приводит к большой материалоемкости подобных устройств, а, следовательно, к увеличению удельных капиталовложений по сравнению с традиционными энергоустановками. Правда, повышенные капиталовложения впоследствии окупаются за счет низких эксплуатационных затрат.

Говоря о производстве электроэнергии, следует заметить, что она представляет собой весьма специфический вид продукции, который должен быть потреблен в тот же момент, что и произведен. Ее нельзя отправить «на склад», как уголь, нефть или любой другой продукт или товар, поскольку фундаментальная научно-техническая проблема аккумулирования электроэнергии в больших количествах пока не решена, и нет оснований полагать, что она будет решена в обозримом будущем.

Для малых автономных ветровых и солнечных энергоустановок возможно и целесообразно применение электрохимических аккумуляторов, но при производстве электроэнергии за счет этих нерегулируемых источников в промышленных масштабах возникают трудности, связанные с невозможностью постоянного сопряжения производства электроэнергии с ее потреблением (с графиком нагрузки). Достаточно мощная энергосистема, включающая также ветроэлектрические установки (ВЭУ) или ветроэлектростанции (ВЭС) и солнечные электростанции (СЭС), может компенсировать изменения мощности этих станций. Однако при этом (во избежание изменений параметров энергосистемы, прежде всего частоты) доля нерегулируемых электростанций не должна превышать, по предварительной оценке, 10...15 % (по мощности).

Что же касается «бесплатности» большинства видов нетрадиционных возобновляемых источников энергии, то этот фактор нивелируется значительными расходами на приобретение соответствующего оборудования. В результате возникает некоторый парадокс, состоящий в том, что бесплатную энергию способны использовать главным образом богатые страны.

Различные виды нетрадиционных возобновляемых источников энергии находятся на разных стадиях освоения. Как это ни парадоксально, наибольшее применение получил самый изменчивый и непостоянный вид энергии – ветер. Суммарная мировая установленная мощность крупных ВЭУ и ВЭС, по разным оценкам, составляет от 10 до 20 ГВт. Кажущийся парадокс объясняется тем, что удельные капиталовложения в ВЭУ ниже, чем при использовании большинства

других видов НВИЭ. Растет не только суммарная мощность ветряных установок, но и их единичная мощность, превысившая 1 МВт.

Второе место по объему применения занимает геотермальная энергетика. Суммарная мировая мощность ГеоТЭС составляет не менее 8 ГВт. Они вполне конкурентоспособны по сравнению с традиционными топливными электростанциями. Однако ГеоТЭС географически привязаны к месторождениям парогидротерм или к термоаномалиям, которые распространены отнюдь не повсеместно, что ограничивает область применения геотермальных установок. Наряду с ГеоТЭС широкое распространение получили системы геотермального теплоснабжения.

Далее следует солнечная энергия. Она используется в основном для производства низкопотенциального тепла для коммунально-бытового горячего водоснабжения и теплоснабжения. Преобладающим видом оборудования здесь являются так называемые плоские солнечные коллекторы.

Все активнее идет преобразование солнечной энергии в электроэнергию. Здесь используются два метода – термодинамический и фотоэлектрический, причем последний лидирует с большим отрывом.

Не менее интенсивно развивается использование энергии биомассы. Последняя может конвертироваться в технически удобные виды топлива или использоваться для получения энергии путем термохимической (сжигание, пиролиз, газификация) и (или) биологической конверсии. При этом используются древесные и другие растительные, а также органические отходы, в том числе городской мусор, отходы животноводства и птицеводства. При биологической конверсии конечными продуктами являются биогаз и высококачественные экологически чистые удобрения. Это направление имеет значение не только с точки зрения производства энергии. Пожалуй, еще большую ценность оно представляет с позиций экологии, т. к. решает проблему утилизации вредных отходов.

В последние годы наблюдается возрождение интереса к созданию и использованию малых ГЭС. Они получают во многих странах все большее распространение на новой, более высокой технической основе, связанной, в частности, с полной автоматизацией их работы при дистанционном управлении.

Гораздо меньше развито мировое практическое применение приливной энергии. Еще менее развито использование энергии морских волн [1].

4.3. Графики электрических нагрузок

Графики нагрузок, характеризующие работу как потребителей, так и источников электроэнергии, представляют собой диаграммы в прямоугольных осях координат, где по оси абсцисс откладывается время, в течение которого показывается изменение нагрузки, а по оси ординат – соответствующие данному моменту времени нагрузки, обычно в виде активной, реактивной или полной (кажущейся) мощностей. Чаще всего строят суточные, месячные, сезонные и годовые графики нагрузок. При построении так называемых ступенчатых графиков нагрузок (рис. 4.4) считают, что нагрузка в интервале между двумя измерениями остается постоянной. Площадь годового графика нагрузки по продолжительности представляет собой в определенном масштабе потребляемую (отдаваемую) за год энергию (кВт·ч), а площадь суточных графиков – энергию, потребляемую (отдаваемую) за сутки (кВт·ч).

Годовые графики нагрузки дают возможность определить оптимальное количество и мощность агрегатов электростанции или трансформаторов подстанции, уточнить режимы их работы, выявить возможные сроки их планово-предупредительных ремонтов. Графики также дают возможность приближенно рассчитать годовую потребность в электроэнергии, годовые потери в сетях, трансформаторах и других элементах установки. По графикам нагрузки определяется ряд технико-экономических показателей для действующих или вновь проектируемых электроустановок, таких, как средняя (среднесуточная, среднемесячная или среднегодовая) нагрузка электростанции или подстанции, число часов использования установленной мощности, коэффициент заполнения графика, коэффициент использования установленной мощности.

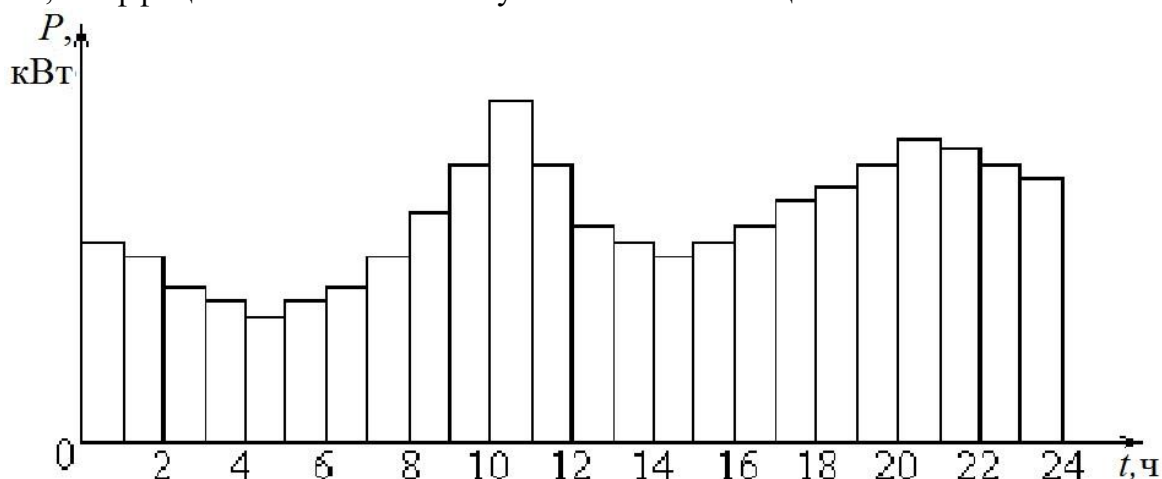


Рисунок 4.4. Суточный ступенчатый график активной нагрузки

Графики нагрузки предназначены для следующих целей:

- для определения времени пуска и остановки агрегатов, включения и отключения трансформаторов;
- определения количества выработанной (потребленной) электроэнергии, расхода топлива и воды;
- ведения экономичного режима электроустановки;
- планирования сроков ремонтов оборудования;
- проектирования новых и расширения действующих электроустановок;
- проектирования новых и развития существующих энергосистем, их узлов нагрузки и отдельных потребителей электроэнергии.

Чем равномернее нагрузка генераторов, тем лучше условия их работы, поэтому возникает так называемая проблема регулирования графиков нагрузки, проблема их выравнивания. При этом следует иметь в виду, что целесообразно по возможности более полно использовать установленную мощность электростанций.

Для регулирования графиков нагрузки используют различные способы, в том числе:

- подключение сезонных потребителей;
- подключение нагрузки ночью;
- увеличение числа рабочих смен;
- смещение начала работы смен и начала работы предприятий;

- разнос выходных дней;
- введение платы как за активную, так и за реактивную энергию;
- уменьшение перетоков реактивной мощности по сети;
- объединение районных энергосистем.

Суточный график нужен для оперативного регулирования и планирования балансов электроэнергии и мощности до нескольких суток.

Недельный:

- определение готовности работы оборудования.
- управление режимами с учетом недельной неравномерности;
- проведение текущих осмотров ревизий текущих ремонтов.

Годовой:

- планирование хозяйственной деятельности;
- планирование капитального ремонта;
- планирование обеспечения топливом;
- планирование товарно-ценовой деятельности [1].

Источники:

1. Общая энергетика: учебное пособие / В. И. Полищук, Ю. С. Боровиков. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.
2. РУП «Белорусская атомная электростанция»: [Электронный ресурс] // БелАЭС. URL: <https://belaes.by/ru/>.
3. Беларусь и устойчивое развитие: альтернативные источники энергии: [Электронный ресурс] // RLST. URL: <https://rlst.by/2023/04/18/belarus-i-ustojchivoe-razvitie-alternativnye-istochniki-energii/>.

Тема 5. Распределение электрической и тепловой энергии

Электроснабжение промышленных, коммунальных и других потребителей производится от электрических станций, вырабатывающих электроэнергию.

Электрические станции могут находиться вблизи потребителей либо удалены на значительные расстояния. В обоих случаях передача и распределение электрической энергии осуществляется по проводам электрических линий. Накапливать электрическую энергию в больших количествах сегодня практически нельзя, поэтому с помощью современных автоматических средств управления постоянно поддерживается равновесие между вырабатываемой и потребляемой электрической энергией. Когда потребители удалены от электрических станций, передачу электроэнергии осуществляют на повышенном напряжении. Тогда между электрической станцией и потребителями сооружаются повышающие и понижающие (преобразовательные) подстанции.

Тепловые электростанции выгодно располагать вблизи залежей топлива.

Крупные электрические станции связываются с центрами нагрузок линиями электропередачи (ЛЭП) высокого напряжения. Исключение могут представлять отдельные промышленные электрические станции небольшой мощности или теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). ТЭЦ могут быть и крупными, но располагаются они вблизи потребителей, т.к. передача пара и горячей воды обычно осуществляется на относительно небольшие расстояния.

Совокупность электростанций, линий электропередач, подстанций и тепловых сетей, связанных в одно целое общностью режима и непрерывностью процесса производства и распределения электрической и тепловой энергии, называется **энергетической системой (энергосистемой)**.

Часть энергетической системы, состоящая из генераторов, распределительных устройств, повысительных и понизительных подстанций, линии энергетической сети и приемников электроэнергии, называется **электроэнергетической системой (ЭЭС)**.

К объектам по производству электрической (тепловой) энергии относятся все генерирующие источники независимо от установленной мощности со следующей классификацией:

- электростанции высокого давления;
- электростанции среднего давления;
- генерирующие источники с использованием возобновляемых видов энергии;
- котельные.

К объектам по передаче электроэнергии относятся электросетевые объекты передающей электрической сети. К объектам по распределению электроэнергии относятся электросетевые объекты распределительной электрической сети. К объектам по передаче и распределению тепловой энергии относятся объекты тепловой сети, включающие в себя совокупность трубопроводов и устройств, предназначенных для передачи тепловой энергии.

В простейшем случае тепловая и электрическая энергия вырабатываются раздельно – соответственно в котельной и на так называемой конденсационной электростанции (паротурбинной, газотурбинной, парогазотурбинной), использующих для этого какое-либо органическое топливо (твердое, жидкое,

газообразное). При этом котельная располагается в зоне теплопотребления, а электростанция – на значительном удалении от потребителя энергии по условиям ее топливоснабжения, наличия необходимого источника технического водоснабжения, а также вредного воздействия на окружающую природную среду (воздух, вода, почва). При раздельном производстве энергоносителей тепловая энергия обычно вырабатывается с коэффициентом полезного использования энергии сжигаемого топлива (или КПД установки), равным порядка 90%, а электроэнергия, даже на современных паротурбинных электростанциях, – с КПД около 43%. Причем последний показатель может быть достигнут в термодинамическом цикле с закритическими начальными параметрами пара (давление 24 МПа, температура 560°C), однократным промежуточным перегревом пара, развитым регенеративным подогревом питательной воды, весьма низкими конечными параметрами отработавшего пара (0,03 бар – температура насыщения 24°C), если при этом в качестве топлива используется природный газ.

В зависимости от конкретных условий и технического уровня источников энергии комбинированное производство электрической и тепловой энергии по сравнению с раздельным ее производством может экономить до 30% топлива, что очень важно для рационального использования первичного энергоресурса в энергетике [2].

5.1. Общие сведения об электрических сетях

Электрическими сетями называются части электроэнергетической системы, состоящие из подстанций и линий электропередачи постоянного и переменного тока различных напряжений. Электрическая сеть служит для передачи и распределения электрической энергии от места ее производства к местам потребления. Важными характеристическими свойствами ЭЭС являются: одновременность процессов производства, распределения и потребления электрической энергии (выработка электрической энергии жестко определяется ее потреблением и наоборот).

Преобразование и передача энергии происходит с потерями энергии во всех элементах ЭЭС. Необходимо своевременно развивать ЭЭС, ее рост должен опережать рост потребления энергии. Отдельные энергетические системы связываются между собой электрическими сетями и это объединение их называется объединенной энергетической системой (ОЭС). ОЭС могут охватывать значительные территории и даже всю страну.

В настоящее время применяются стандартные номинальные (междуфазные) напряжения трехфазного тока частот 50 Гц в диапазоне 6-1150 кВ, а также напряжения 0,66; 0,38(0,22) кВ. [1].

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, включающая в себя: подстанции, распределительные пункты, воздушные (ВЛ) и кабельные линии (КЛ) электропередачи, токопроводы.

По функциональному назначению сети подразделяются на системообразующие, питающие и распределительные.

Системообразующими называются сети, предназначенные для объединения электростанций и энергосистем на параллельную работу (сети 330 кВ и выше). Питающие – сети, в которых электроэнергия передается от подстанций системообразующей сети или от шин 110...220 кВ крупных электростанций к

центрам питания распределительных сетей на большие расстояния. Распределительными называются сети, предназначенные для распределения электроэнергии между электроприемниками. К ним относятся городские и сельские электрические сети, а также сети промышленных предприятий. Центры питания таких сетей, как правило, расположены на небольшом расстоянии от большого количества электроприемников.

Номинальные напряжения электрических сетей. Для сетей переменного тока стандартный ряд номинальных напряжений: 220/127, 380/220, 660/380 В; 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750, 1150 кВ. У напряжений до 1000 В в числителе указано линейное, а в знаменателе – фазное напряжение. Выше 1000 В указывается только линейное напряжение. Системы напряжений 220/127 В, 3 кВ и 150 кВ при проектировании на перспективу не используются. Система 380/220 В применяется для питания большинства промышленных и бытовых потребителей. Напряжение 660/380 В используется в промышленности и при разработке полезных ископаемых.

Классы напряжений 6 и 10 кВ применяются для распределения электроэнергии на промышленных предприятиях, а также в сельскохозяйственных и городских сетях. Преимущественно используется напряжение 10 кВ. Напряжение 20 кВ имеет малое распространение; 35, 110 и 220 кВ – напряжения питающих сетей. Напряжения 330, 500, 750 и 1150 кВ используются для создания системообразующих сетей и для передачи электроэнергии на большие расстояния. Напряжения 330, 500 и 750 кВ применяются также для выдачи мощности на крупных ЭС.

В зависимости от номинального напряжения все сети подразделяются на сети низкого напряжения (до 1000 В), сети высокого напряжения (от 1000 В до 220 кВ включительно) и сети сверхвысокого напряжения (330 кВ и выше). При увеличении номинального напряжения сети возрастает стоимость электрооборудования. С другой стороны, при снижении напряжения увеличиваются потери мощности и энергии, т. к. возрастает ток при той же передаваемой мощности. Напряжение, при котором затраты имеют минимум, называется рациональным. Рациональное напряжение зависит от длины линий и передаваемой мощности [3].

5.2. Общие сведения о тепловых сетях

Тепловая сеть (теплосеть) — совокупность устройств (включая центральные тепловые пункты, насосные станции), предназначенных для передачи тепловой энергии, теплоносителя от источников тепловой энергии до теплопотребляющих установок.

Тепловые сети подразделяются:

- по своему назначению на:
 - магистральные;
 - распределительные.
- по виду теплоносителя на:
 - водяные;
 - паровые;
 - сети сбора и возврата конденсата (конденсатопроводы).

Магистральная тепловая сеть – тепловая сеть от источников тепловой энергии до центрального теплового пункта, контрольного пункта учета тепла или задвижки на ответвлении от магистральной тепловой сети к распределительной тепловой сети

(при отсутствии центрального теплового пункта и (или) контрольного пункта учета тепла).

Распределительная тепловая сеть – тепловая сеть от центрального теплового пункта и (или) контрольного пункта учета тепла на магистральной тепловой сети до индивидуального теплового пункта здания или сооружения, а также от задвижки на ответвлении от магистральной тепловой сети до индивидуального теплового пункта здания или сооружения.

Водяные тепловые сети делятся на закрытые и открытые в зависимости от способа подачи тепловой энергии к местным системам горячего водоснабжения.

В закрытой системе вода в местную систему горячего водоснабжения поступает из питьевого водопровода и подогревается в водоводяных подогревателях, установленных на вводе тепловой сети в каждое здание или группу зданий. В открытой системе вода для местной системы горячего водоснабжения отбирается непосредственно из тепловой сети на вводе ее в каждое здание или группу зданий.

Водяные тепловые сети по способу исполнения делятся на одно-, двух-, трех- и четырехтрубные.

Однотрубные водяные тепловые сети применяются для централизованной подачи воды на горячее водоснабжение или технологические процессы при установке у всех потребителей местных баков-аккумуляторов горячей воды.

Двухтрубные водяные тепловые сети являются основными для совместной подачи тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых районов и промышленных потребителей.

Трехтрубные водяные сети имеют два подающих трубопровода и один общий обратный. Четырехтрубные водяные тепловые сети имеют два двухтрубных трубопровода: один для подачи тепловой энергии на отопление и вентиляцию, второй – для подачи тепловой энергии на горячее водоснабжение или на технологические процессы.

Паровые тепловые сети (паропроводы) делятся на паропроводы перегретого и насыщенного пара. У отдельных потребителей, расходующих пар более низкого давления на вводе паровой сети, предусмотрены редукционные или редукционно-охладительные установки.

Конденсатопроводы подразделяются на сборные и напорные. Конденсат от теплообменников (потребителей пара) по сборным конденсатопроводам подается к сборным бакам конденсатных насосных, откуда по напорным конденсатопроводам подается к теплоисточнику.

Способ прокладки тепловых сетей – надземный и подземный. Подземный делится на канальную прокладку тепловой сети в полупроходных, проходных и непроходных каналах, туннелях и бесканальную. Трубопроводы тепловой сети всех видов прокладки должны иметь тепловую изоляцию [2].

Источники:

1. Общие сведения о передаче и распределении электроэнергии: [Электронный ресурс] // KGEU LMS. URL: <https://lms.kgeu.ru/mod/resource/view.php?id=78200>.

2. Теплоснабжение и тепловые сети: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-53 01 04 "Автоматизация и управление

теплоэнергетическими процессами" / Л. А. Тарасевич. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2017.

3. Общая энергетика: учебное пособие / В. И. Полищук, Ю. С. Боровиков. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. — 201 с.

Тема 6. Качество электроэнергии. Основные показатели качества электроэнергии

Качество электрической энергии – это степень соответствия ее параметров их установленным значениям. Параметр электрической энергии — величина, количественно характеризующая какое-либо свойство электрической энергии.

Показатель качества электрической энергии – величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам. Норма качества электрической энергии — установленное предельное значение показателя качества электрической энергии.

Потребители работают эффективно лишь при определенном качестве электроэнергии, которое оценивается показателями качества, нормированными ГОСТ 13109 — 87 для электрических сетей общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются приемники или потребители электрической энергии [1].

Показатели качества электрической энергии (ПКЭ) разделяют на две группы: основные и дополнительные. Основные ПКЭ определяют свойства электрической энергии, характеризующие ее качество. Дополнительные ПКЭ представляют собой формы записи основных ПКЭ, используемые в других нормативно-технических документах.

К основным ПКЭ относят отклонение напряжения, размах изменения напряжения, дозу колебаний напряжения, коэффициент несинусоидальности кривой напряжения, коэффициент n -й гармонической составляющей, коэффициент обратной последовательности напряжения, коэффициент нулевой последовательности напряжения, отклонение частоты, длительность провала напряжения, импульсное напряжение.

К дополнительным ПКЭ относят коэффициент амплитудной модуляции, коэффициент небаланса междофазных напряжений, коэффициент небаланса фазных напряжений [1].

Отклонение напряжения

Отклонения напряжения от номинальных значений происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей; изменения мощности компенсирующих устройств; регулирования напряжения генераторами электростанций и на подстанциях энергосистем; изменения схемы и параметров электрических сетей.

Отклонение напряжения определяется разностью между действующим U и номинальным значениями напряжения $U_{ном}$, В:

$$\delta U = U - U_{ном}$$

или, %

$$\delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100$$

Установившееся отклонение напряжения δU_y , равно, % :

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} 100$$

где – установившееся (действующее) значение напряжения за интервал усреднения.

В электрических сетях однофазного тока действующее значение напряжения определяется как значение напряжения основной частоты $U_{(1)}$ без учета высших гармонических составляющих напряжения, а в электрических сетях трехфазного тока – как действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты $U_{1(1)}$.

Стандартом нормируются отклонения напряжения на выводах приемников электрической энергии. Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения равны соответственно ± 5 и ± 10 % от номинального значения напряжения и в точках общего присоединения потребителей электрической энергии должны быть установлены в договорах энергоснабжения для часов минимума и максимума нагрузок в энергосистеме с учетом необходимости выполнения норм стандарта на выводах приемников электрической энергии в соответствии с нормативными документами.

Колебания напряжения

Колебания напряжения вызываются резким изменением нагрузки на рассматриваемом участке электрической сети, например, включением асинхронного двигателя с большой кратностью пускового тока, технологическими установками с быстропеременным режимом работы, сопровождающимися толчками активной и реактивной мощности – такими как, привод реверсивных прокатных станов, дуговые сталеплавильные печи, сварочные аппараты и т.п.

Колебания напряжения характеризуются двумя показателями:

- 1) размахом изменения напряжения δU_t ;
- 2) дозой фликера F_t .

Размах изменения напряжения δU_t вычисляют по формуле, %

$$\delta U_t = \frac{(U_i - U_{i+1})}{U_{ном}} 100$$

где U_i, U_{i+1} – значения следующих один за другим экстремумов (или экстремума и горизонтального участка) огибающей среднеквадратичных значений напряжения, в соответствии с Рис.6.1.

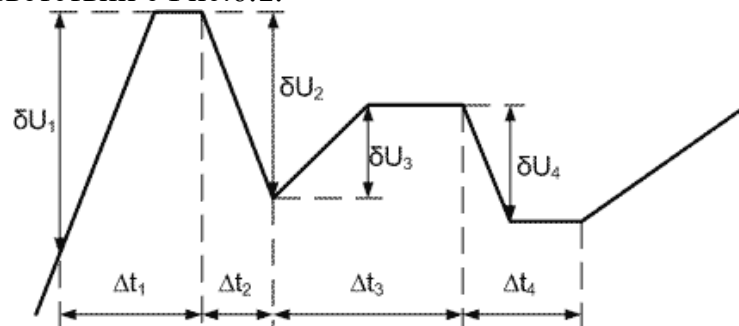


Рисунок 6.1. Колебания напряжения

Частота повторения изменений напряжения $F_{\delta U_t}$, (1/с, 1/мин) определяется по выражению:

$$F_{\delta U t} = \frac{m}{T}$$

где m – число изменений напряжения за время T ;

T – интервал времени измерения, принимаемый равным 10 мин.

Если два изменения напряжения происходят с интервалом менее 30 мс, то их рассматривают как одно.

Интервал времени между изменениями напряжения равен:

$$\Delta t_{i,i+1} = t_{i,i+1} - t_i$$

Оценка допустимости размахов изменения напряжения (колебаний напряжения) осуществляется с помощью кривых зависимости допустимых размахов колебаний от частоты повторений изменений напряжения или интервала времени между последующими изменениями напряжения.

КЭ в точке общего присоединения при периодических колебаниях напряжения, имеющих форму меандра (прямоугольную) (см. рис 7.2) считают соответствующим требованиям стандарта, если измеренное значение размаха изменений напряжения не превышает значений, определяемых по кривым Рис. 6.2 для соответствующей частоты повторения изменений напряжения $F_{\delta U t}$, или интервала между изменениями напряжения $\Delta t_{i,i+1}$.

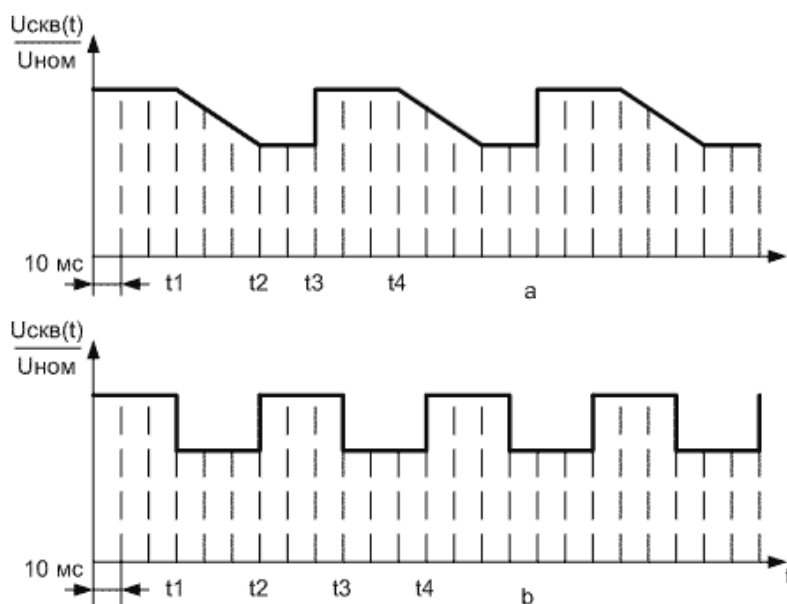


Рисунок 6.2. Колебания напряжения произвольной формы (а) и имеющие форму меандра (б)

Предельно допустимое значение суммы установившегося отклонения напряжения δU и размаха изменений напряжения $\delta U t$ в точках присоединения к электрическим сетям напряжением 0,38 кВ равно $\pm 10\%$ от номинального напряжения.

Доза фликера – это мера восприимчивости человека к воздействию колебаний светового потока, вызванных колебаниями напряжения в питающей сети, за установленный промежуток времени.

Стандартом устанавливается кратковременная (P_{st}) и длительная доза фликера (P_{Lt}) (кратковременную определяют на интервале времени наблюдения, равном 10 мин, длительную на интервале – 2 ч). Исходными данными для расчета

являются уровни фликера, измеряемые с помощью фликерметра - прибора, в котором моделируется кривая чувствительности (амплитудно-частотная характеристика) органа зрения человека. В настоящее время в Российской Федерации началась разработка фликерметров для контроля колебаний напряжения.

КЭ по дозе фликера соответствует требованиям стандарта, если кратковременная и длительная дозы фликера, определенные путем измерения в течении 24 ч или расчета, не превышают предельно допустимых значений: для кратковременной дозы фликера – 1,38 и для длительной – 1,0 (при колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра) .

Предельно допустимое значение для кратковременной дозы фликера в точках общего присоединения потребителей электроэнергии, располагающих лампами накаливания в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение, равно 1,0, а для длительной - 0,74, при колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра.

Несинусоидальность напряжения

В процессе выработки, преобразования, распределения и потребления электроэнергии имеют место искажения формы синусоидальных токов и напряжений. Источниками искажений являются синхронные генераторы электростанций, силовые трансформаторы, работающие при повышенных значениях магнитной индукции в сердечнике (при повышенном напряжении на их выводах) преобразовательные устройства переменного тока в постоянный и ЭП с нелинейными вольт - амперными характеристиками (или нелинейные нагрузки).

Искажения, создаваемые синхронными генераторами и силовыми трансформаторами, малы и не оказывают существенного влияния на систему электроснабжения и на работу ЭП. Главной причиной искажений являются вентильные преобразователи, электродуговые сталеплавильные и руднотермические печи, установки дуговой и контактной сварки, преобразователи частоты, индукционные печи, ряд электронных технических средств (телевизионные приемники, ПЭВМ), газоразрядные лампы и др. Электронные приемники электроэнергии и газоразрядные лампы создают при своей работе невысокий уровень гармонических искажений на выходе, но общее количество таких ЭП велико.

Из курса математики известно, что любую несинусоидальную функцию $f(at)$ (например, см. Рис.6.3), удовлетворяющую условию Дирихле можно представить в виде суммы постоянной величины и бесконечного ряда синусоидальных величин с кратными частотами. Такие синусоидальные составляющие называются гармоническими составляющими или гармониками. Синусоидальная составляющая, период которой равен периоду несинусоидальной периодической величины, называется основной или первой гармоникой. Остальные составляющие синусоиды с частотами со второй по n-ую называют высшими гармониками.

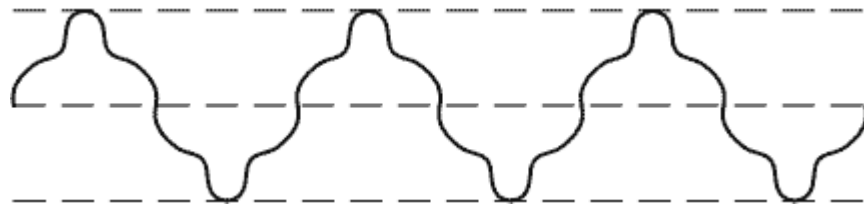


Рисунок 6.3. Несинусоидальность напряжения

Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения.

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U определяется по выражению, %

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} 100$$

где $U_{(n)}$ – действующее значение n -ой гармонической составляющей напряжения, В;

n – порядок гармонической составляющей напряжения,

N – порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения, стандартом устанавливается $N=40$;

$U_{(1)}$ – действующее значение напряжения основной частоты, В.

Допускается K_U определять по выражению, %

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{ном}} 100$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, В.

Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения равен, %

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

Допускается $K_{U(n)}$ вычислять по выражению, %

$$K_{u(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(ном)}} 100$$

Для вычисления необходимо определить уровень напряжения отдельных гармоник, генерируемых нелинейной нагрузкой.

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке сети находят из выражения:

$$U_{(n)} = \frac{I_{(n)} n U_{нп} U_{ном}}{S_K}$$

где $I_{(n)}$ – действующее значение фазного тока n -ой гармоники;

$U_{\text{нп}}$ – напряжение нелинейной нагрузки (если расчетная точка совпадает с точкой присоединения нелинейной нагрузки, то $U_{\text{нп}} = U_{\text{ном}}$);

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети;

$S_{\text{к}}$ – мощность короткого замыкания в точке присоединения нелинейной нагрузки.

Для расчета $U_{(n)}$ необходимо предварительно определить ток соответствующей гармоники, который зависит не только от электрических параметров, но и от вида нелинейной нагрузки.

Несимметрия напряжения

Наиболее распространенными источниками несимметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения являются такие потребители электроэнергии, симметричное многофазное исполнение которых или невозможно, или нецелесообразно по технико - экономическим соображениям. К таким установкам относятся индукционные и дуговые электрические печи, тяговые нагрузки железных дорог, выполненные на переменном токе, электросварочные агрегаты, специальные однофазные нагрузки, осветительные установки.

Несимметричные режимы напряжений в электрических сетях имеют место также в аварийных ситуациях – при обрыве фазы или несимметричных коротких замыканиях.

Несимметрия напряжений характеризуется наличием в трехфазной электрической сети напряжений обратной или нулевой последовательности, значительно меньших по величине соответствующих составляющих напряжения прямой (основной) последовательности.

Несимметрия трехфазной системы напряжений возникает в результате наложения на систему прямой последовательности напряжений системы обратной последовательности, что приводит к изменениям абсолютных значений фазных и междуфазных напряжений (Рис.6.4.).

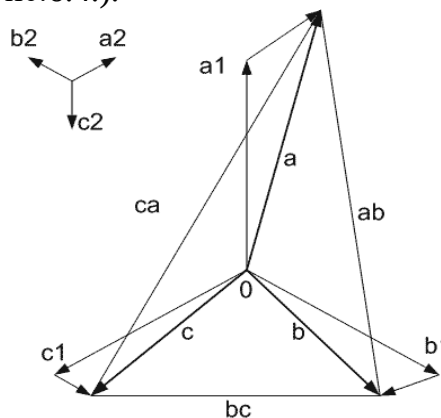


Рисунок 6.4. Векторная диаграмма напряжений прямой и обратной последовательности

Помимо несимметрии, вызываемой напряжением системы обратной последовательности, может возникать несимметрия от наложения на систему прямой последовательности напряжений системы нулевой последовательности. В результате смещения нейтрали трехфазной системы возникает несимметрия фазных

напряжений при сохранении симметричной системы междуфазных напряжений (Рис.6.5.).

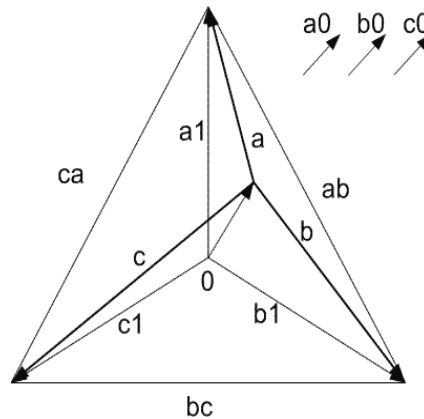


Рисунок 6.5. Векторная диаграмма напряжений прямой и нулевой последовательности

Несимметрия напряжений характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности равен, %

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

где $U_{2(1)}$ — действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В;

$U_{1(1)}$ — действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Допускается K_{2U} вычислять по выражению, % :

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{ном.мф}} 100$$

где $U_{ном.мф}$ — номинальное значение междуфазного напряжения сети, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности равен, %:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} 100$$

где $U_{0(1)}$ — действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В.

Допускается K_{0U} вычислять по формуле, %

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{ном.ф}} 100$$

где $U_{ном.ф}$ — номинальное значение фазного напряжения, В.

Измерение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности проводят в четырехпроводной сети.

Относительная погрешность определения K_{2U} и K_{0U} по формулам (3.15) и (3.16) численно равна значению отклонений напряжения $U_{1(1)}$ от $U_{ном}$.

Нормально допустимое и предельно допустимое значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности в точке общего присоединения к электрическим сетям равны 2,0 и 4,0 %

Нормированные значения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям с номинальным напряжением 0,38 кВ также равны 2,0 и 4,0 %

Отклонения частоты

Отклонение частоты – разность между действительным и номинальным значениями частоты, Гц

$$\Delta f = f - f_{ном}$$

или, %

$$\Delta f = \frac{f - f_{ном}}{f_{ном}} 100$$

Стандартом устанавливаются нормально и предельно допустимые значения отклонения частоты равные $\pm 0,2$ Гц и $\pm 0,4$ Гц соответственно.

Провал напряжения

К провалам напряжения относится внезапное значительное изменение напряжения в точке электрической сети ниже уровня 0,9, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд (Рис. 6.6).

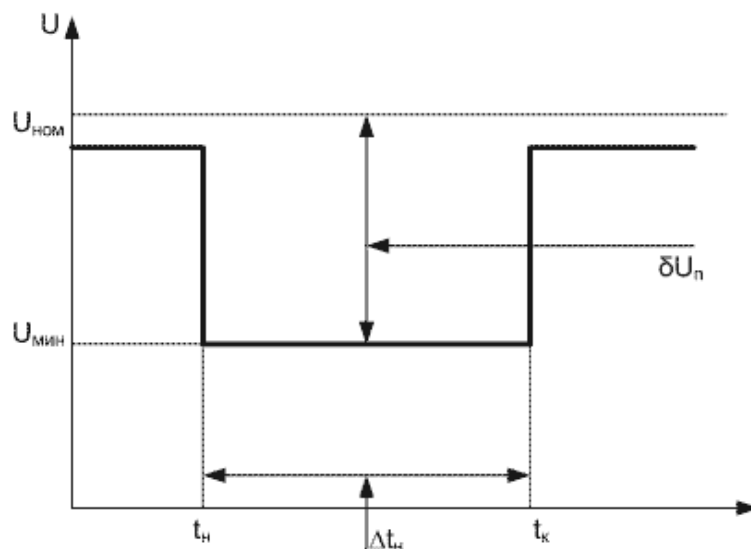


Рисунок 6.6. Провал напряжения

Характеристикой провала напряжения является его длительность - Δt_n , равная:

$$\Delta t_n = t_k - t_n$$

где t_n и t_k – начальный и конечный моменты времени провала напряжения.

Провал напряжения характеризуется также глубиной провала напряжения – разностью между номинальным значением напряжения и минимальным действующим значением напряжения, выраженной в единицах напряжения или в процентах от его номинального значения. Провал напряжения вычисляется по выражениям

$$\delta U_n = U_{ном} - U_{мин}$$

или, %

$$\delta U_n = \frac{U_{ном} - U_{мин}}{U_{ном}} 100$$

Предельно допустимое значение длительности провала напряжения в электрических сетях напряжением до 20 кВ включительно равно 30 с. Длительность автоматически устраняемого провала напряжения в любой точке присоединения к электрическим сетям определяется выдержками времени релейной защиты и автоматики.

Импульс напряжения и временное перенапряжение

Искажение формы кривой питающего напряжения может происходить за счет появления высокочастотных импульсов при коммутациях в сети, работе разрядников и т.д. Импульс напряжения - резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня. Величина искажения напряжения при этом характеризуется показателем импульсного напряжения (Рис.6.7).

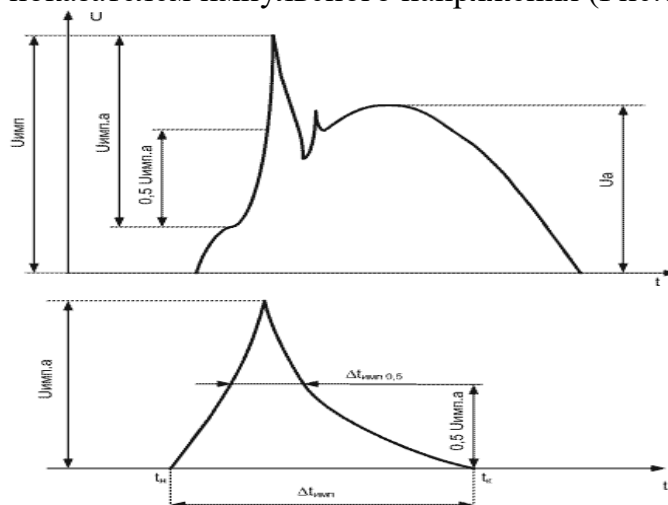


Рисунок 6.7. Параметры импульсного напряжения

Импульсное напряжение в относительных единицах равно:

$$\delta U_{имп} = \frac{U_{имп}}{\sqrt{2} U_{ном}}$$

где $U_{имп}$ – значение импульсного напряжения, В.

Амплитудой импульса называется максимальное мгновенное значение импульса напряжения. Длительность импульса - это интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.

Показатель - импульсное напряжение стандартом не нормируется.

Временное перенапряжение – повышение напряжения в точке электрической сети выше $1,1 U_{ном}$ продолжительностью более 10 мс, возникающие в системах электроснабжения при коммутациях или коротких замыканиях (Рис. 6.8.).

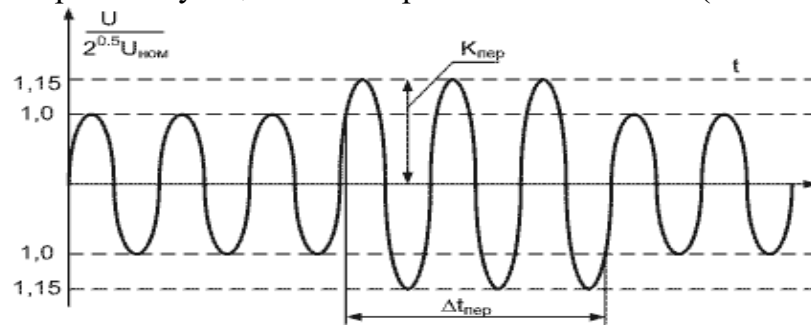


Рисунок 6.8. Временное перенапряжение

Временное перенапряжение характеризуется коэффициентом временного перенапряжения ($K_{перU}$): это величина, равная отношению максимального значения огибающей амплитудных значений напряжения за время существования временного перенапряжения к амплитуде номинального напряжения сети.

$$K_{перU} = \frac{U_{aMax}}{\sqrt{2}U_{ном}}$$

Длительностью временного перенапряжения называется интервал времени между начальным моментом возникновения временного перенапряжения и моментом его исчезновения.

$$\Delta t_{пер.U} = t_{к пер} - t_{н пер}$$

Коэффициент временного перенапряжения стандартом также не нормируется.

В среднем за год в точке присоединения возможны около 30 временных перенапряжений.

При обрыве нулевого проводника в трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ, работающих с глухозаземленной нейтралью, возникают временные перенапряжения между фазой и землей. Уровень таких перенапряжений при значительной несимметрии фазных нагрузок может достигать значений междуфазного напряжения, а длительность нескольких часов.

Источники:

1. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления": для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / И. И. Гутич. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021.

2. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. — Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997.

Тема 7. Автоматизированные системы контроля и учёта энергопотребления (АСКУЭ)

АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учёта энергопотребления – автоматизированная измерительная система, содержащая технические и программные средства для дистанционного измерения, сбора, передачи, хранения, накопления, обработки, анализа, отображения, документирования и распространения результатов потребления электроэнергии в территориально-распределённых точках учёта (измерения), расположенных на объектах энергосистемы и/или потребителей.

Современная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет, как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя. С этой целью, как поставщики, так и потребители создают на своих объектах АСКУЭ.

При наличии современной АСКУЭ промышленное предприятие полностью контролирует весь свой процесс энергопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, минимизируя свои энергозатраты.

Приборный учет электроэнергии - это процесс непосредственного изменения в точках учета на объектах электроэнергетики и потребителей посредством приборов учета электроэнергии, количеств электроэнергии, ее мощности и (или) качества, а также сбора, хранения, накопления, обработки, регистрация отображения и распространения изменяемой информации по средствам средств приборного учета электроэнергии.

Объект энергосистемы – отдельная установка или совокупность территориально или функционально выделенных электро- и (или) теплоустановок энергосистемы (электростанции, котельные, электросети, теплосети, подстанции, линии электропередач, теплопункты).

Субъект энергосистемы – административная единица, отвечающая за деятельность элементов энергосистемы (электростанции, котельные, РЭС, ФЭС, и областные энергосистемы).

Потребители – юридическое или физическое лицо, электрическая или тепловая сеть, электрические или тепловые приемники, которые присоединены к сетям энергоснабжающей организации и которая осуществляет пользования электрической энергией (мощностью).

Тарифы на электрическую энергию (мощность) – это системы ценовых ставок, по которым осуществляются расчеты за электрическую энергию.

Энергоснабжающая организация – это поставщик, оказывающий услуги по поставке электрической энергии потребителям, электрические сети которого непосредственно присоединены к сетям энергоснабжающей организации.

Объекты учета – это объекты энергосистемы или потребителей с приборным учетом электроэнергии.

Потери электроэнергии – это потери, обусловленные технологическими и социальными причинами.

Качество электроэнергии – это показатели, характеризующие свойство электроэнергии, соответствующие требованиям технических нормативно-правовых актов, определенных в договоре электроснабжения.

Приборы учета электроэнергии – это средства приборного учета, подлежащие метрологической аттестации (измерительные трансформаторы тока, измерительные трансформаторы напряжения, электрические счетчики).

Измерительные системы – это совокупность функционально объединенных мер измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других ТСА, размещенных в разных точках контролируемого объекта с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойства этому объекту, выработки измерительных сигналов в разных целях и представление результатов измерений в виде отчетов.

Коммерческий учет электроэнергии – это учет вырабатываемой, передаваемой, распределяемой, отпускаемой или потребляемой электроэнергии для оплаты субъектами рынка электроэнергии.

Технический учет электроэнергии – это учет вырабатываемой, передаваемой, распределяемой, отпускаемой электроэнергии субъектами энергосистемы и потребителями для контроля и технических целей.

Средства учета электроэнергии – это ТСА, к которым относится: первичные средства (измерительные трансформаторы тока и напряжения, электросчетчики) и вторичные средства (специализированные системы учета (УСПД, контроллеры, сумматоры и компьютеры со специализированным прикладным ПО)).

Точка учета электроэнергии – точка линии электропередачи, выбранная для технического или расчетного учета (точка учета может как совпадать, так и не совпадать с точкой измерения), а значения энергии в точки измерения и точки учета могут отличаться на величину расхода электроэнергии на технологические нужды в линии между двумя точками.

Средства измерений – технические средства, предназначенные для измерений, имеющие нормативные метрологические характеристики, воспроизводящие единицу физической величины, размер которой принимает неизменной.

Цифровой измерительный канал – это измерительный канал, на выходе которого результат измерения представлен в виде цифрового результата.

Виды автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии:

- коммерческого учёта;
- технического учёта;
- цифровые;
- нецифровые.

Коммерческим или расчетным учетом называют учет поставки/потребления энергии предприятием для денежного расчета за нее (соответственно приборы для коммерческого учета называют коммерческими, или расчетными).

Техническим или контрольным учетом называют учет для контроля процесса поставки/потребления энергии внутри предприятия по его подразделениям и объектам (соответственно используются приборы технического учета).

АСКУЭ коммерческого и технического учета могут быть реализованы как отдельные системы или как единая система.

Цифровая АСКУЭ – цифровая измерительная система, использующая в качестве основного средства измерения в составе каждого своего информационно-измерительного канала электронный счетчик со встроенной в него цифровой базой данных и внешним доступом к ней по цифровому интерфейсу и/или цифровому табло.

В нецифровых АСКУЭ используются индукционные нецифровые счетчики электроэнергии (на данный момент крайне редко используются, устарели).

Цели создания АСКУЭ:

- обеспечение в условиях применения сложных тарифов по электроэнергии обоюдывыгодного режимного взаимодействия снабжающей организации и любого промышленного предприятия, бытового потребителя на основе точных, достоверных и оперативных данных АСКУЭ;
- повышение эффективности энергопотребления и энергосбережения за счёт дистанционной автоматизации электроучёта в реальном масштабе времени, включая всех значимых внутренних потребителей;
- обеспечение точных и своевременных отчётов по электроэнергии между поставщиками, абонентами и субабонентами;
- оперативное определение баланса электроэнергии и мощности по предприятию и его структурам с выявлением потерь и контролем качества электроэнергии;
- круглосуточный контроль за состоянием средств учёта электроэнергии, обеспечивающий их работоспособность, своевременного ремонта и замены.

Задачи АСКУЭ:

- измерение, сбор, обработка, накопление, отображение, документирование и распределение достоверной, защищённой и узаконенной информации об электропотреблении в каждой точке электрического учёта по всей инфра- и интроструктуре предприятия;
- обеспечение обоснованного выбора текущего режима электропотребления, в условиях альтернативности тарифов, а также финансовых расчётов за потреблённую электроэнергию по выбранному тарифу;
- обеспечение контроля и регулирования электропотребления в рамках выбранного тарифа;
- оперативное прогнозирование и планирование электропотребления предприятия, потребителя;
- контроль в реальном времени за электропотреблением и снижением за счёт оперативных организационно-технических мероприятий доли электроэнергии в себестоимости продукции;
- ведение архивов информации об электропотреблении, обработка данных и формирование отчётов, решение комплекса задач, связанных с оперативным управлением, режимным взаимодействием и прогнозом нагрузок.

Типовая АСКУЭ представляет собой как правило трёхуровневую цифровую систему (Рис 7.1.), количество уровней АСКУЭ зависит от особенностей и инфраструктуры объектов учёта.

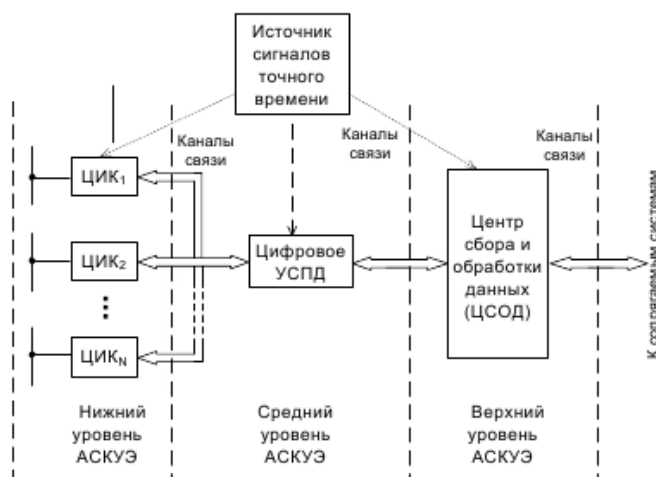


Рисунок 7.1. Структура типовой АСКУЭ

Структура типовой АСКУЭ:

Нижний уровень АСКУЭ должен включать электронные счетчики электроэнергии и мощности с цифровым интерфейсом, устройство контроля показателей качества электроэнергии (УКПКЭ), измерительные трансформаторы тока и напряжения с их первичными цепями и соединительными линиями от клемм вторичных цепей трансформаторов до клемм цепей питания измерительных элементов счетчиков и УКПКЭ.

В составе среднего уровня АСКУЭ должны использоваться устройство сбора и передачи данных (УСПД) со встроенным программным обеспечением. Необходимость использования на среднем уровне УСПД определяется в каждом конкретном случае проектами АСКУЭ. Не требуется устанавливать УСПД и организовывать средний уровень АСКУЭ (вариант двухуровневой АСКУЭ) в том случае, если на объекте учета используется только один электронный счетчик электроэнергии, обеспечивающий функции УСПД по обмену информацией с верхним уровнем АСКУЭ, или функции УСПД по обмену числовыми результатами измерений обеспечиваются одним из группы электронных счетчиков. Допускается организация среднего уровня АСКУЭ с построением двух уровней УСПД по принципу «ведущий-ведомые» (вариант четырехуровневой АСКУЭ).

Верхний уровень АСКУЭ должен организовываться путем создания центра сбора и обработки данных (ЦСОД) с использованием ПК, серверов сбора данных, серверов БД, средств организации ЛВС и (или) КВС и программного обеспечения, выполняющего преобразование числовых результатов измерения.

Структура построения ЦСОД в каждом конкретном случае определяется сложностью организационной структуры субъекта и объекта учета и может организовываться путем создания однопользовательских или многопользовательских ЦСОД на базе существующих или вновь создаваемых ЛВС или КВС.

Связь между уровнями АСКУЭ должна осуществляться по проводным и (или) беспроводным каналам связи, обеспечивающим сбор и обмен числовых результатов измерения.

В АСКУЭ допускается возможность передачи ряда числовых результатов измерений (мгновенных значений, усредненной мощности, некоторых показателей качества электроэнергии и других) в системы оперативно-диспетчерского управления.

Периодичность и объемы передаваемых ЧРИ должны определяться на этапе разработки проектов АСКУЭ.

Допускается возможность передачи числовых результатов измерений АСКУЭ в существующие автоматизированные системы управления предприятиями. Эта возможность должна быть проработана на этапе разработки проектов АСКУЭ [1].

Источники:

1. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления": для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / И. И. Гутич. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Кафедра «Робототехнические системы»

Составитель И.И. Гутич

ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Методические указания к практическим занятиям

для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике»

Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место;
 АС – автоматизированная система;
 АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электроэнергии;
 АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;
 БД – база данных;
 ГИС – гибкая измерительная система;
 ИБП – источник бесперебойного питания;
 ИК – измерительный канал;
 ИС – измерительная система;
 КС – канал связи;
 ЛВС – локальная вычислительная сеть;
 РУП-облэнерго – областная энергосистема;
 РЭС – район электрических сетей;
 СУБД – система управления базой данных;
 ТН – измерительный трансформатор напряжения;
 ТТ – измерительный трансформатор тока;
 УСПД – устройство сбора и передачи данных;
 ФЭС – филиал электрических сетей;
 ЭО – энергоснабжающая организация.

Термины и определения

Электроэнергетика – сфера экономики Республики Беларусь, включающая в себя совокупность производственных и иных имущественных объектов, принадлежащих на праве собственности или иных законных основаниях различным лицам и непосредственно используемых в процессе производства, передачи и сбыта электрической энергии, и самих лиц, осуществляющих указанные виды деятельности, а также комплекс экономических и иных взаимоотношений, возникающих в процессе их осуществления.

Субъекты электроэнергетики – юридические (или физические) лица, осуществляющие деятельность в сфере электроэнергетики, включая производство электрической и тепловой энергии, продажу и поставку энергии, энергоснабжение потребителей, предоставление услуг по передаче и сбыту энергии, оперативно-диспетчерскому управлению, организации рынка энергии и ее коммерческому учету.

Энергосистема – территориально-распределенная система энергообъектов и административных структур, связанных общностью режима функционирования и управления в непрерывном процессе производства, передачи, трансформирования, распределения и поставки электрической и тепловой энергии потребителям.

Объект энергосистемы – совокупность территориально или функционально выделенных электро- и/или теплоустановок энергосистемы или отдельная установка

(электростанции, котельные, электросети, теплосети, подстанции, теплопункты, линии электропередачи, теплопроводы и т.д.).

Субъект энергосистемы – административная единица энергосистемы, отвечающая за деятельность территориально или функционально выделенных организационно-структурных элементов энергосистемы. К субъектам энергосистемы, в частности, относятся электростанции, котельные, теплосети, районы электрических сетей (РЭС), филиалы электрических сетей (ФЭС), областные энергосистемы (РУП-облэнерго).

Энергоснабжающая организация – поставщик, осуществляющий услуги поставки электрической энергии (мощности) потребителям, электрические сети которых непосредственно присоединены к сетям энергоснабжающей организации.

Потребитель – юридическое или физическое лицо, электрическая или тепловая сеть и электрические или тепловые приемники которого присоединены к сетям энергоснабжающей организации и который осуществляет пользование электрической энергией (мощностью) и/или тепловой энергией (мощностью). Потребитель, как правило, одновременно является и покупателем электроэнергии.

Точка учета электроэнергии – точка линии перетока, выбранная для технического или расчетного учета (точка учета может как совпадать, так и не совпадать с точкой измерения, а значения энергии в точке измерения и точке учета могут отличаться на величину потерь электроэнергии в линии между этими двумя точками).

Автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) – система электронных программно-технических средств для автоматизированного, в реальном масштабе времени дистанционного измерения, сбора, передачи, обработки, отображения и документирования процесса выработки, передачи или потребления энергоресурсов по заданному множеству пространственно распределенных точек их измерения, принадлежащих энергообъектам субъекта энергосистемы или потребителя.

Практическое занятие №1. Основные цели и задачи реализации государственной политики в области энергосбережения Республики Беларусь. Современное состояние энергетики Республики Беларусь

1.1. Цель занятия

1. Изучить цели устойчивого развития РБ, а именно ЦУР 7 «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех».
2. Изучить основные цели и задачи реализации государственной политики в области энергосбережения Республики Беларусь.
3. Обсудить современное состояние энергетики РБ, используя тематические информационные порталы.

В 2021 году Белорусская энергетическая система отметила 90 лет со дня своего создания. Сегодня белорусская энергетика – это важнейшая, базовая, высокотехнологичная отрасль народного хозяйства, которая обеспечивает эффективную деятельность всех остальных отраслей и субъектов экономики [1].

Энергетическая отрасль Беларуси является наиболее стабильно работающим комплексом белорусской экономики. Это одна из приоритетных отраслей народного хозяйства, которой принадлежит ключевая роль в стабильном развитии страны. Ее развитие определяется стратегией государства и рядом программ, обеспечивающих последовательное достижение установленных приоритетов при поддержке и гарантиях на государственном уровне.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) страны обеспечивает функционирование всех её отраслей и устойчивое социально-экономическое развитие страны и включает в себя системы добычи, транспорта, хранения, производства и распределения основных видов энергоносителей: природного газа, нефти и продуктов её переработки, твёрдых видов топлива, электрической и тепловой энергии.

Долгосрочной целью развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Беларуси является удовлетворение потребностей экономики и населения страны в энергоносителях на основе их максимально эффективного использования при снижении нагрузки на окружающую среду. Директивой Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 года № 3 "О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства" установлено, что обеспечение энергетической безопасности должно осуществляться путем развития собственной энергосырьевой базы, диверсификации топливно-энергетических ресурсов по видам и странам, снижения энергоёмкости валового внутреннего продукта.

Сегодня Беларусь является членом (партнером) многих интеграционных объединений, в цели которых заложено совместное решение геополитических, технологических, экономических, экологических и других вопросов в области ТЭК.

Выполняя достигнутые договоренности, Беларусь выступает надежным партнером в области транзита энергетических ресурсов, является активным участником в вопросе снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу,

достигла высоких показателей в области рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

В Беларуси построена первая атомная электростанция суммарной мощностью двух энергоблоков 2400 МВт. Реализация проекта позволяет повысить энергетическую безопасность страны, уменьшить долю природного газа в энергетическом балансе и сократить выбросы парниковых газов. Реализуется комплекс мероприятий по интегрированию Белорусской АЭС в энергосистему.

В Беларуси имеется развернутая производственная инфраструктура организаций торфяной промышленности Минэнерго и топливоснабжающих организаций. В общем топливно-энергетическом балансе доля торфа составляет около 1,9%, что позволяет ежегодно замещать порядка 450 млн кубических метров импортируемого природного газа. Наша страна находится на первом месте в мире по объемам производства торфяных брикетов.

24 февраля 2021 г. Правительством Республики Беларусь утверждена (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 №103) Государственная программа «Энергосбережение» на 2021 – 2025 годы (далее – Госпрограмма).

Госпрограмма разработана с целью обеспечения сдерживания роста валового потребления топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР), сближения энергоемкости валового внутреннего продукта (далее – ВВП) Республики Беларусь со среднемировым значением этого показателя, а также максимально возможного вовлечения в топливный баланс страны собственных ТЭР, включая возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Стратегическими целями деятельности в области энергосбережения на период до 2026 г. будут являться:

- снижение энергоемкости (ВВП) к 2026 г. не менее чем на 7 % к уровню 2020 г. при темпах роста ВВП в период 2021 – 2025 годы 121,5 %;
- достижение к 2026 г. доли местных ТЭР к валовому потреблению ТЭР не менее 16,5 %, что способствует наряду с использованием атомной энергии достижению нормативного уровня энергетической самостоятельности страны.

В соответствии с поставленными целями Госпрограмма содержит две подпрограммы: «Повышение энергоэффективности» и «Развитие использования местных топливно-энергетических ресурсов, включая возобновляемые источники энергии», основными задачами которых определены получение экономии ТЭР в объеме 2,5 – 3 млн тонн условного топлива и достижение доли ВИЭ не менее 8 % в 2025 г.

Основными мерами по достижению поставленных целей и задач госпрограммы является реализация комплекса мероприятий по энергосбережению органами госуправления и регионами, в том числе в рамках международных проектов, строительству энергоисточников на местных видах топлива, включая ВИЭ, внедрение системы энергоменеджмента и ежегодное снижение удельных расходов ТЭР на производство продукции (работ, услуг), включая производство тепловой и электрической энергии.

Дальнейшее повышение энергоэффективности будет обеспечиваться в первую очередь за счет реализации следующих основных направлений энергосбережения:

- осуществление дальнейшей модернизации и технического перевооружения производств с внедрением современных наукоемких, ресурсо-, энергосберегающих технологий, оборудования и материалов, в том числе повышение эффективности технологических процессов с углублением автоматизации и электрификации промышленного производства;
- внедрение организационных и технических энергосберегающих мероприятий, направленных на увеличение потребления электрической энергии с уменьшением потребления первичного углеводородного топлива;
- максимальное увеличение использования низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов, в том числе за счет внедрения абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов в промышленном и энергетическом секторах, компрессионных электрических для нужд отопления и горячего водоснабжения;
- повышение эффективности работы действующих энергетических мощностей на основе использования инновационных энергоэффективных технологий с выводом из эксплуатации физически и морально устаревшего оборудования с обязательным внедрением, с учетом технической и экономической целесообразности, систем утилизации теплоты уходящих дымовых газов;
- повышение эффективности теплоснабжения путем оптимизации схем теплоснабжения населенных пунктов с ликвидацией неэффективных теплоисточников или децентрализацией теплоснабжения с ликвидацией длинных и незагруженных паро- и теплотрасс, возможного внедрения, с учетом технической и экономической целесообразности, локальных современных автоматизированных электрических источников тепловой энергии, в том числе тепловых насосов, для нужд отопления и горячего водоснабжения;
- оптимизация потребления тепловой энергии путем поэтапного проведения комплексной тепловой модернизации эксплуатируемого многоквартирного жилищного фонда с привлечением средств собственников жилья;
- развитие производства электротранспорта, комплектующих и зарядной инфраструктуры для него;
- развитие сегмента электромобилей, гибридных автомобилей и зарядной сети, электрификация городского пассажирского транспорта с целью замещения использования углеводородного топлива;
- активное информационное обеспечение реализации Государственной программы и пропаганды энергосбережения;
- максимально возможное вовлечение в топливно-энергетический баланс страны собственных ТЭР, включая возобновляемые источники энергии и др.

В 2021-2025 годах в рамках реализации Госпрограммы предусматривается ввод в эксплуатацию порядка 650 МВт энергетических мощностей на древесном топливе, что позволит увеличить объем использования местных ТЭР на порядка 180,3 тыс.

тонн условного топлива и, соответственно, снизить потребление импортируемого природного газа на 156,8 млн куб м [2].

Энергетика в цифрах [3] (на 01.01.2025г.)

Электроэнергетика в Республике Беларусь:

- более 200 тыс. км протяженность распределительных сетей;
- 1,4 тыс. МВт новых генерирующих мощностей введено в строй в стране за последние 5 лет;
- до 600 МВт выросла установленная мощность возобновляемых источников энергии за последние 6 лет;
- около 18,5 млрд кВт*ч электроэнергии БелАЭС.

Газовая отрасль:

- около 67 тыс. км общая протяженность газовых сетей;
- 3,7 млн газифицированных квартир в стране;
- более 2,5 тыс. промышленных предприятий являются потребителями природного газа;
- 100 % сетей газоснабжения оцифрованы.

Торфяная отрасль:

- около 2 млн тонн торфа добывается ежегодно;
- порядка 450 млн. куб. м газа позволяет ежегодно замещать использование торфа;
- 1-е место в мире по объемам добычи торфа;
- 1-е место в мире по объемам производства торфяных брикетов [3].

1.2. Контрольные вопросы

1. Что означает обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным источникам энергии?
2. Назовите основные цели и задачи реализации государственной политики в области энергосбережения.
3. С помощью интернет-источников определите основные достижения развития энергетики РБ на современном этапе развития.

1.3. Используемые источники

1. Энергетика в Беларуси: [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь, 2025. URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/energetika>
2. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 №103): [Электронный ресурс] // Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. URL: <https://gosstandart.gov.by/approved-state-program-energy-saving-for-2021-2025-years>
3. Энергетика в цифрах: [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Республики Беларусь, 2025. URL: <https://minenergo.gov.by/press/energetika-v-tsifrakh>

Практическое занятие №2. Топливо-энергетические ресурсы

2.1. Цель занятия

1. Изучить понятие «Энергетические ресурсы».
2. Изучить виды энергетического топлива.
3. Изучить закон Республики Беларусь «Об энергосбережении».

Согласно Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении», *Принят Палатой представителей 11 декабря 2014 года. Одобрен Советом Республики 18 декабря 2014 года.* Изменения и дополнения: Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» от 24 мая 2021 г. № 111-З, источником энергии являются энергетические ресурсы.

Энергетические ресурсы – это материальные объекты, в которых сосредоточена энергия, пригодная для практического использования человеком. Энергетическим ресурсом называют любой источник энергии, естественный или искусственно активированный.

Энергетические ресурсы – носители энергии, которые используются в настоящее время или могут быть полезно использованы в перспективе.

Топливо-энергетические ресурсы – совокупность всех природных и полученных в результате преобразований видов топлива и энергии;

Местные топливо-энергетические ресурсы – существующие в природе, добытые (произведенные) на территории Республики Беларусь ископаемые виды топлива, произведенная из них энергия, а также возобновляемые источники энергии;

Потребители топливо-энергетических ресурсов – юридические и физические лица, в том числе индивидуальные предприниматели, потребляющие один или несколько видов топливо-энергетических ресурсов;

Производители топливо-энергетических ресурсов – юридические лица и индивидуальные предприниматели, производящие один или несколько видов топливо-энергетических ресурсов;

Рациональное использование топливо-энергетических ресурсов – использование топливо-энергетических ресурсов, направленное на исключение необоснованного их расхода, с применением наиболее целесообразных их видов.

Энергетические ресурсы классифицируются согласно следующей схеме (рис.2.1).

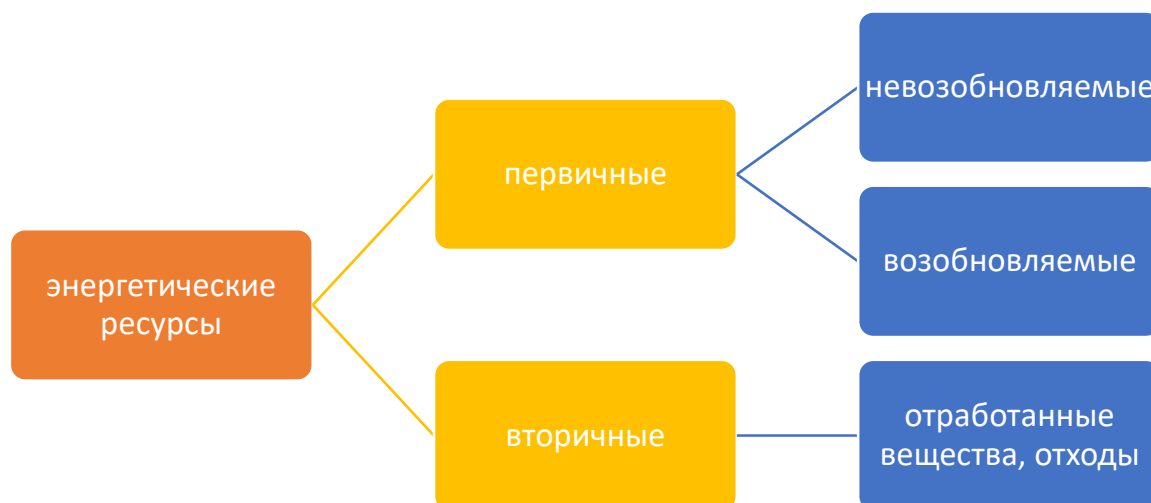


Рисунок 2.1 — Структура энергетических ресурсов

Первичные природные энергоресурсы – естественно образовавшиеся в результате геологического развития Земли или проявляющиеся через космические связи (излучение Солнца), делятся на **невозобновляемые** (уголь, нефть, природный газ, сланцы, торф) и **возобновляемые** (энергия рек, солнечная радиация, энергия приливов, биотопливо). К **возобновляемым** относят ресурсы, восстанавливаемые природой (земля, растения, животные и т.д.), к **невозобновляемым** – ресурсы, ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся (нефть, уголь и другие запасы недр).

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии в виде побочного продукта основного производства и не применяемая в этом энергетическом процессе. К данному виду ресурсов относятся: бытовые и промышленные отходы, горячие отработанные теплоносители, отработанные горючие органические вещества, отходы сельскохозяйственного производства [1].

Одна из классификаций природных ресурсов – классификация по признаку истощаемости, в соответствии с которой энергетические ресурсы разделяют на **исчерпаемые и неисчерпаемые** (рис.2.2). В свою очередь, истощаемые можно разделить на **возобновляемые и невозобновляемые**.

К **неисчерпаемым** относятся космические, климатические, водные ресурсы.

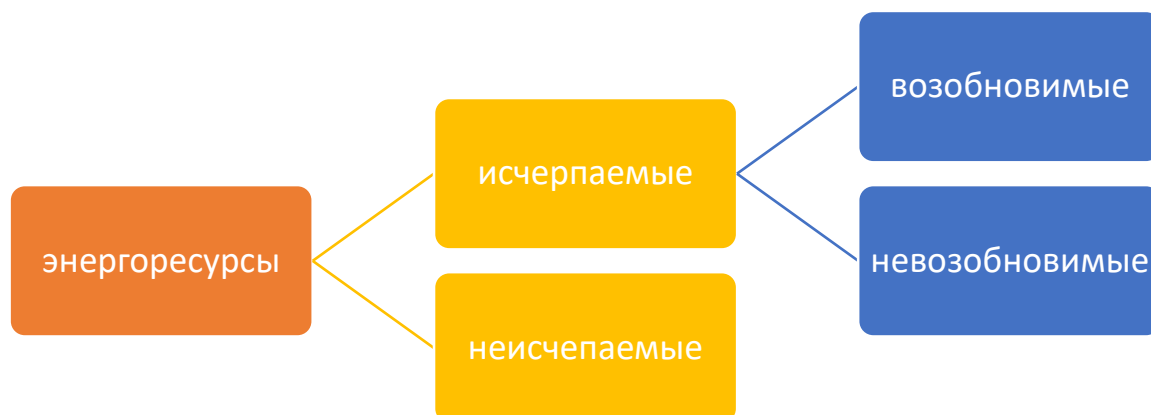


Рисунок 2.2 — Исчерпаемые и неисчерпаемые энергоресурсы

Все неисчерпаемые источники энергии считаются возобновляемыми.

По сути, не существует неисчерпаемых энергоресурсов. Рано или поздно они иссякнут. Так, например, через 4.5 миллиарда лет наша звезда Солнце перейдет в очередную свою стадию эволюции и превратится в белый карлик. Такой переход именуется вспышка сверхновой звезды. При этом в космическое пространство будет излучен огромный поток энергии, который достигнет нашей планеты, уничтожит (сожжет) атмосферу Земли, испарятся океаны, и Земля превратится в безжизненное космическое тело. Однако в сравнении с человеческой жизнью и временем существования человеческой цивилизации такие источники считаются неисчерпаемыми.

Таким образом, возобновляемыми источниками энергии называются источники, потоки энергии которых постоянно существуют или периодически возникают в окружающей среде и не являются следствием целенаправленной деятельности человека.

К возобновляемым энергоресурсам относят энергию:

- солнца
- мирового океана в виде энергии приливов и отливов, энергии волн
- рек
- ветра
- морских течений
- соленую
- морских водорослей
- вырабатываемую из биомассы
- водостоков
- твердых бытовых отходов
- геотермальных источников.

Недостатком возобновляемых источников энергии является низкая степень их концентрации. Но это в значительной степени компенсируется широким распространением, относительно высокой экологической чистотой и их практической неисчерпаемостью. Такие источники наиболее рационально использовать непосредственно вблизи потребителя без передачи энергии на расстояние. Энергетика, работающая на этих источниках, использует потоки энергии, уже существующие в окружающем пространстве, перераспределяет, но не нарушает их общий баланс.

Около 90% используемых в настоящее время энергоресурсов составляет невозобновляемые (уголь, нефть, газ, и т.д.). Это обусловлено их высоким энергетическим потенциалом, относительной доступностью их извлечения. Темпы добычи и потребления этих ресурсов обуславливают энергетическую политику. Наиболее часто используемые в настоящее время энергоресурсы называют **традиционными**, новые виды энергоресурсов, использование которых начато сравнительно недавно – **альтернативными** (энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнца, редуцируемого природного газа, биомассы (включая древесные отходы), сточных вод и твердых бытовых отходов).

В современном природопользовании энергетические ресурсы классифицируют на три группы:

- участвующие в постоянном обороте и потоке энергии (солнечная, космическая энергия и т.д.),
- депонированные энергетические ресурсы (нефть, газ, торф, сланцы и т.д.) и
- искусственно активированные источники энергии (атомная и термоядерная энергии) [2].

2.2. Цели и задачи нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов

Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов осуществляется в целях обеспечения применения при планировании производства продукции (работ, услуг) технически и экономически обоснованного расхода топливно-энергетических ресурсов.

Нормированию расхода топливно-энергетических ресурсов подлежат расходуемые на основные и вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды юридическими лицами топливо, тепловая и электрическая энергия независимо от источников энергообеспечения.

Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов должно основываться на современных достижениях науки и техники в сфере энергосбережения, единых методических и организационных принципах, учитывать требования по эффективному и рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов.

Разработку единых методических и организационных принципов нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов осуществляет уполномоченный республиканский орган государственного управления в сфере энергосбережения.

Нормы расхода топливно-энергетических ресурсов должны:

- разрабатываться на всех уровнях планирования по соответствующей номенклатуре продукции (работ, услуг) на единой методической основе;
- учитывать условия производства, внедрение достижений научно-технического прогресса и энергосберегающих мероприятий;
- способствовать максимально возможному, с учетом экономической целесообразности, эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов, усилению заинтересованности трудовых коллективов в энергосбережении;
- быть взаимоувязанными с другими показателями хозяйственной деятельности;
- систематически пересматриваться с учетом планируемого развития производства продукции (работ, услуг), изменения структуры производства, достижения наиболее экономичных показателей использования топливно-энергетических ресурсов, в том числе в сторону увеличения [1].

2.3. Энергетическое топливо

Так как большинство из традиционных электростанций и источников теплоснабжения выделяют энергию из невозобновляемых ресурсов, вопросы добычи, переработки и доставки топлива чрезвычайно важны в энергетике. В традиционной энергетике используются два принципиально отличных друг от друга видов топлива.

Органическое топливо

В зависимости от агрегатного состояния органическое топливо делится на *газообразное, жидкое и твёрдое*, каждое из них в свою очередь делится на *естественное и искусственное*.

Газообразное

Естественным топливом является природный газ.

Искусственным топливом является:

- генераторный газ;
- коксовый газ;
- доменный газ;
- продукты перегонки нефти;
- газ подземной газификации;
- биогаз;
- синтез-газ.

Жидкое

Естественным топливом является нефть,

искусственным называют продукты его перегонки:

- бензин;
- керосин;
- соляровое масло;
- мазут.

Твёрдое

Естественным топливом являются:

- ископаемое топливо:
 - торф;
 - бурый уголь;
 - каменный уголь;
 - антрацит;
 - горючий сланец;
- растительное топливо:
 - дрова;
 - древесные отходы;
 - топливные брикеты;
 - топливные гранулы.

Искусственным топливом являются:

- древесный уголь;
- кокс и полукокс;
- углебрикеты;
- отходы углеобогащения.

Ядерное топливо

В использовании ядерного топлива вместо органического состоит главное и принципиальное отличие АЭС от ТЭС. Ядерное топливо получают из природного урана, который добывают:

- в шахтах (Франция, Нигер, ЮАР);
- в открытых карьерах (Австралия, Намибия);
- способом подземного выщелачивания (Казахстан, США, Канада, Россия).

Для использования на АЭС требуется обогащение урана, поэтому его после добычи отправляют на обогатительный завод, после переработки на котором 90 % побочного обеднённого урана направляется на хранение, а 10 % обогащается до нескольких процентов (3—5 % для энергетических реакторов). Обогащённый диоксид урана направляется на специальный завод, где из него изготавливают цилиндрические таблетки.

2.4. Контрольные вопросы

1. Энергетические ресурсы: виды, применение ТЭР.
2. Назовите виды энергетического топлива, используемого в РБ.
3. С помощью интернет-источников определите основные места добычи энергетического топлива в Республике Беларусь.

2.5. Используемые источники

1. Закон Республики Беларусь №111-З "Об энергосбережении" (от 24.05.2021г.)
2. Закон Республики Беларусь № 204-З "О возобновляемых источниках энергии" (от 27 декабря 2010 г.)

Практическое занятие №3. Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: тепловые электростанции

3.1. Цель занятия

1. Изучить основные показатели белорусской энергетической системы, используя официальные интернет-источники.
2. Изучить основные сведения о ТЭС: цели, задачи и виды.
3. Изучить технологический процесс производства электроэнергии на ТЭС.

3.2. Белорусская энергетическая система – это сложный комплекс, включающий электростанции, котельные, электрические и тепловые сети, которые связаны общностью режима их работы на территории всей республики (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 — Энергосистема Беларуси

Источник изображения:

https://energobelarus.by/blogs/Energy_dissenting_opinion/19/

В систему ГПО «Белэнерго» по состоянию на 1 января 2023 года входят 68 генерирующих энергоисточников общей установленной мощностью 10 202,496 МВт, в том числе: 42 тепловые электростанции мощностью 8935,391 МВт, включая 12 ТЭС высокого давления мощностью 8283,770 МВт; Белорусская АЭС мощностью 1170 МВт; 24 ГЭС мощностью 88,105 МВт; Новогрудская ВЭС мощностью 9 МВт (6 ветрогенераторов по 1,5 МВт). Выработка электроэнергии источниками ГПО «Белэнерго» составляет 35,400 млрд кВт·ч при годовом потреблении электроэнергии в Республике Беларусь 38,572 млрд кВт·ч.

Протяженность линий электропередачи напряжением 0,4-330 кВ составляет 280,9 тыс. км, тепловых сетей в одноструйном исчислении – 7,715 тыс. км. Функционируют 1360 трансформаторных подстанций (ТП) напряжением 35-750 кВ, 75 193 ТП 6-10/0,4 кВ.

Источник: <https://energyexpo.by/catalog/2023/6640/>

На конец 2023 года установленная электрическая мощность генерирующих источников* Беларуси – 11522 МВт, в том числе: Возобновляемые источники – 632 МВт, из которых: ТЭС, сжигающие биомассу – 141 МВт; ГЭС – 97 МВт; ВЭС – 122 МВт; СЭС – 273 МВт. Невозобновляемые источники – 10890 МВт, из которых: ТЭС, сжигающие органическое топливо – 9720 МВт; АЭС – 1170 МВт

*Используются статистические данные IRENA "Renewable energy statistics 2024" (Июль 2024 года).

Согласно текущему прогнозу Минэнерго к концу 2025 г. потребление электроэнергии в Беларуси вырастет до 44 млрд кВт•ч, а к 2030 г. достигнет отметки 47 млрд. Фактические статистические показатели говорят о том, что данный прогноз вполне реален: потребление электроэнергии в 2023 г. составило 41,1 млрд кВт•ч, а электропотребление в январе-сентябре 2024г. года по сравнению с аналогичным периодом прошлого года увеличилось на 6% и составило 31,7 млрд кВт•ч. Если темпы останутся прежними, то по итогам года есть все шансы выйти на 43,5 млрд кВт•ч.

О росте потребления электричества говорят и следующие факты. В 1-м полугодии 2024 г. потребление населением электричества для отопления и горячего водоснабжения выросло в 1,4 раза и составило 542,6 млн кВт•ч. Для удовлетворения возрастающего спроса на электроэнергию во всех регионах страны идет строительство и модернизация электросетей [1].

До ввода Белорусской АЭС основу энергосистемы страны составляли ТЭС, а основу топливного баланса - природный газ. Примерно половину от установленных генерирующих мощностей составляли конденсационные электростанции или, так называемые, ГРЭС - Государственные районные электростанции, а половину - теплоэлектроцентрали.

Строительство Белорусской АЭС-2400 стало качественно новым этапом развития энергетики Республики и обусловлено, прежде всего, острой необходимостью повысить энергетическую безопасность страны за счет диверсификации топливного баланса.

Ввод АЭС с двумя блоками мощностью около 1200 МВт, предназначенных для работы в базовой части суточного графика нагрузки, меняет режимы работы всех других генерирующих источников, и требует обоснованных решений по оптимизации состава их оборудования в целях снижения затрат. Чрезвычайно актуальным становится обеспечение технической возможности покрытия переменного суточного графика электрической нагрузки с учетом структуры генерации энергосистемы, и выбор установленной мощности источников генерации. Для обеспечения интеграции Белорусской АЭС в энергосистему вводятся **пиково-резервные мощности (ПРМ)**, а также электродотлы на теплоэлектроцентралях [2].

3.3. Тепловые электрические станции

Электрической станцией называется комплекс оборудования и устройств, предназначенных для преобразования энергии природного источника в электрическую энергию и теплоту.

Электрические станции (ЭС) классифицируют по виду используемой природной (первичной) энергии:

- тепловые электрические станции (ТЭС), использующие органическое топливо;
- атомные электростанции (АЭС), использующие атомную энергию;
- электростанции, использующие так называемые возобновляемые источники энергии: гидро-ЭС (ГЭС), в которых электрическая энергия вырабатывается за счет механической энергии воды рек; ветро-ЭС (ВЭС), в которых преобразуется энергия ветра; гелио-ЭС, в которых преобразуется солнечная радиация, а также ЭС, в которых используется геотермальная энергия, энергия биомассы и др.

Тепловая электростанция (ТЭС) – электрическая станция (комплекс оборудования, установок, аппаратуры), вырабатывающая электрическую энергию в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива: уголь, мазут, торф, сланцы, природный газ и т. д.

Тепловые электрические станции можно классифицировать по следующим признакам:

1. По виду отпускаемой энергии:

- конденсационные электрические станции (КЭС), отпускающие только (преимущественно) электрическую энергию;
- теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), отпускающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды).

Централизованное теплоснабжение потребителей с использованием отработавшей теплоты турбин и выработкой электроэнергии на базе теплового потребления называют **теплофикацией**. Турбины соответствующего типа называют теплофикационными.

Таким образом, различают ТЭЦ с комбинированной выработкой электрической энергии и теплоты и энергоисточники с отдельной выработкой этих видов энергии на КЭС в котельных.

2. По виду теплового двигателя:

- с паротурбинными установками (ПТУ) – паротурбинные ТЭС;
- с газотурбинными установками (ГТУ) – газотурбинные ТЭС;
- с парогазовыми установками (ПГУ) – парогазовые ТЭС;
- электростанции с двигателями внутреннего сгорания – дизельные электростанции (ДЭС), газопоршневые электростанции (ГПЭС).

3. По назначению:

- районные электростанции общего пользования: конденсационные электростанции (ГРЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ);

при этом различают отопительные ТЭЦ, отпускающие теплоту с сетевой водой для отопления и горячего водоснабжения населения, и промышленно-отопительные ТЭЦ, отпускающие как теплоту с сетевой водой для отопления и горячего водоснабжения населения, так и пар для нужд предприятий;

- промышленные, входящие в состав производственных предприятий.

4. По технологической структуре тепловой схемы подразделяются на блочные и неблочные (с поперечными связями).

При блочной схеме все основное и вспомогательное оборудование паротурбинной установки не имеет технологических связей с оборудованием другой установки электростанции. На электростанциях на органическом топливе к каждой турбине пар подводится только от одного или двух соединенных с ней котлов. Паротурбинную установку, турбина которой питается паром от одного парового котла, называют моноблоком, при наличии двух котлов на одну турбину – дубли-блоком.

При неблочной схеме ТЭС пар от всех паровых котлов поступает в общую магистраль и лишь оттуда распределяется по отдельным турбинам. Линии, по которым вода подается в паровые котлы (питательные трубопроводы), также имеют поперечные связи.

Блочные ТЭС дешевле неблочных, так как упрощается схема трубопроводов, сокращается количество арматуры. Управлять отдельными агрегатами на такой станции проще, установки блочного типа легче автоматизировать. В эксплуатации работа одного блока не отражается на соседних.

Для паротурбинных установок с промежуточным перегревом пара блочная схема является практически единственно возможной, так как неблочная схема станции в этом случае окажется чрезмерно сложной.

5. По уровню начального давления различают паротурбинные установки:

- низкого давления: до 2,9 МПа;
- среднего давления: 3,9 МПа;
- высокого: 8,8... 12,75... 16,7 МПа;
- сверхкритического: 23,5 МПа и выше [3].

Топливо для ТЭС

Энергетические ресурсы поступают на электростанции в виде топлива - вещества, используемого с целью получения тепловой, механической и электрической энергии.

Топливо можно разделить на две основные группы:

- органическое, выделяющее теплоту в результате химических реакций с окислителем;
- ядерное, способное выделять теплоту при цепных реакциях распада ядер некоторых изотопов тяжелых элементов (урана, плутония).

По способу получения *органическое топливо* подразделяют на природное и искусственное, получаемое в результате переработки природного топлива.

Ископаемое природное топливо – это топливо, накопленное в недрах Земли и являющееся продуктом биохимических и химических превращений органического вещества растений и микроорганизмов, протекавших с различной скоростью в направлении постепенного обуглероживания (углефикации) топлива, т.е. повышения в нем содержания углерода и уменьшения количества кислорода и водорода.

До ввода Белорусской АЭС более 90% электроэнергии в Беларуси производилось за счет сжигания ископаемого топлива.

На ТЭС и котельных сжигается преимущественно природный газ, на долю которого приходится от 90 до 94% суммарного потребления топлива в данном секторе. На втором месте – мазут; его доля в топливном балансе, находится в пределах 2...4%.

В относительно небольших количествах сжигается твердое топливо: в основном дрова, древесные отходы и торф, что предусмотрено государственными программами развития энергетической отрасли.

С вводом АЭС годовой объем закупок природного газа существенно сократился [3].

Технологический процесс производства электроэнергии на ТЭС

Тепловые электростанции, в которых пар полностью используется для получения электроэнергии, называются конденсационными электростанциями (КЭС). Мощные КЭС располагаются вблизи районов добычи топлива, удалены от потребителей электроэнергии, поэтому передача электроэнергии осуществляется при высоких напряжениях (220-750 кВ). Строятся электростанции блоками.

В городах широко используются теплофикационные электростанции или теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). На этих электростанциях пар, частично отработавший в турбине, используется для технологических нужд, а также для отопления и горячего водоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве. Одновременное производство электрической и тепловой энергии снижает затраты на электро- и теплоснабжение по сравнению с отдельным производством электрической и тепловой энергии.

На тепловых электростанциях, для получения из воды большого количества пара под высоким давлением, используют тепло, образуемое в процессе сжигания органического топлива, такого как нефть, газ, уголь или мазут. Пар тут хотя и выступает теплоносителем из эпохи паровых машин, тем не менее он вполне способен вращать турбогенератор.

Пар из котла подается в турбину, с валом которого соединен генератор трехфазного переменного тока. Механическая энергия вращения турбины преобразуется в электрическую энергию генератора и передается потребителям на генераторном напряжении либо на повышенном напряжении через повышающие трансформаторы.

Давление подаваемого к турбине пара составляет порядка 23,5 МПа, при этом его температура может достигать до 560°C.

Вращающийся ротор турбины сопряжен здесь с якорем турбогенератора огромной мощности (несколько мегаватт), который в конечном счете и генерирует электроэнергию на тепловой электростанции.

По энергоэффективности тепловые электростанции в принципе таковы, что преобразование тепла в электроэнергию осуществляется на них с КПД порядка 40%, при том очень большое количество тепла оказывается в худшем случае просто сброшенным в окружающую среду, а в лучшем – сразу же подается в системы отопления и горячего водоснабжения близлежащих потребителей. Таким образом, если высвобождаемое на электростанции тепло тут же используется для теплоснабжения, то КПД такой станции в целом достигает уже 80%, а станция называется теплоэлектроцентралью или ТЭЦ.

Самая обычная турбина генератора тепловой электростанции содержит на своем валу множество колес с лопатками, разнесенных в две отдельные группы. Пар под наиболее высоким давлением – тот, что выбрасывается из котла, он сразу попадает на проточную часть генераторной установки, где и вращает первую группу рабочих колес с лопатками. Далее этот же пар дополнительно подогревается в пароподогревателе, после чего попадает уже на вторую группу колес, работающих при давлении пара ниже.

В итоге турбина, напрямую связанная с ротором генератора, совершает 50 оборотов в секунду (с соответствующей частотой вращается и магнитное поле якоря, пересекающее обмотку статора генератора). Чтобы генератор не нагревался в процессе работы сверх меры, на станции реализована система охлаждения генератора, предотвращающая его перегрев.

Внутри котла тепловой электростанции установлена горелка, на которой сгорает топливо, образуя высокотемпературное пламя. К примеру, сжигаться может угольная пыль с подачей кислорода. Пламя охватывает большую площадь трубопровода сложной конфигурации с движущейся по нему водой, которая, разогреваясь становится паром, вырывающимся наружу под высоким давлением.

Вырывающийся под высоким давлением водяной пар подается на лопатки турбины, передавая ей свою механическую энергию. Турбина вращается, и энергия механическая преобразуется в электрическую. Преодолев систему лопаток турбины, пар направляется в конденсатор, где, попадая на трубы с холодной водой, он конденсируется, то есть снова становится жидкостью – водой. Такая тепловая электростанция называется конденсационной электростанцией (КЭС).

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), в отличие от конденсационных электростанций (КЭС), содержат в своем составе систему отбора тепла у пара, после того как он прошел через турбину и уже поспособствовал выработке электроэнергии.

Пар отбирается с разными параметрами, что зависит от вида конкретной турбины, притом количество отбираемого от турбины пара также регулируется. Отобранный для получения тепла пар конденсируется в сетевых подогревателях воды, где он отдает свою энергию воде из сети, а вода насосами направляется в пиковые водогрейные котельные и тепловые пункты. Далее вода подается в систему тепломagистралей.

При необходимости отбор тепла у пара на ТЭЦ может быть полностью перекрыт, тогда теплоэлектроцентраль превратится в обычную КЭС. Таким образом ТЭЦ способна работать в одном из двух режимов: в тепловом режиме – когда

приоритет на выработку тепла или в электрическом – когда приоритет электричеству, например, летом [4].

Электростанции на базе органического цикла Ренкина

Органический цикл Ренкина (ОЦР) – это термодинамический процесс, схожий с обычным паровым циклом, но с использованием другого носителя для работы турбины.

Эти системы используют вместо воды высокомолекулярные органические жидкости, которые имеют более низкую температуру кипения, что позволяет утилизировать низкопотенциальную энергию. Принято считать, что источник энергии является низкопотенциальным, если его температура не превышает 230-300°C. Органический носитель сжимается и движется в замкнутом контуре с помощью насоса. Он испаряется в трубчатом теплообменнике, поглощая тепловую энергию термального масла первого контура. Термальное масло, как правило, приобретает тепловую энергию от горячих дымовых газов, возникающих при сгорании любого топлива. Органические пары расширяются в специальной турбине, которая приводит в движение электрический генератор, и конденсируются в другом теплообменнике с помощью охлаждающего носителя, например, воды. После этого конденсат снова сжимается с помощью циркуляционного насоса, который закрывает термодинамический цикл.

Ни термальное масло первого контура, ни охлаждающая жидкость не находятся в прямом контакте с органическим носителем. Это ключевая особенность ОЦР-систем. Органический носитель претерпевает все фазные изменения жидкость-пар-жидкость в замкнутом герметичном контуре. Поэтому вся система обладает высокой надежностью и долговечностью.

ОЦР-система позволяет гораздо более эффективно утилизировать дымовые тепловые газы, образованные в результате сгорания биомассы.

ОЦР можно использовать совместно с ГТУ или двигателем внутреннего сгорания (ДВС) для утилизации тепловой энергии продуктов сгорания. Суммарный цикл ГТУ+ОЦР или ДВС+ОЦР является комбинированным циклом с высокой термической эффективностью [3].

Электростанции на базе газопоршневых агрегатов (ГПА)

Газопоршневая электростанция – это система генерации, созданная на основе поршневого ДВС, работающего на природном или другом горючем газе.

ГПА представляет собой ДВС с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием горючей смеси в камере сгорания, использующий в качестве топлива газ. Энергия, выделившаяся при сгорании топлива, в газовом двигателе производит механическую работу на валу, которая используется для выработки электроэнергии генератором электрического тока.

Возможно получение двух видов энергии: тепло и электричество. Этот процесс называется «когенерация». В случае если в электростанциях на базе ГПА используется технология, позволяющая получать ещё и холод (очень актуально для вентиляции, холодоснабжения складов, промышленного охлаждения), то данная технология будет называться «тригенерация».

Для газопоршневой установки (ГПУ) подключается система утилизации тепла выхлопных газов, системы охлаждения и смазки. Возможен отбор тепловой энергии непосредственно с водяной рубашки газового двигателя.

Отбор тепловой мощности из контура охлаждения газового двигателя осуществляется в теплообменнике, с учётом сохранения рабочей температуры охлаждающей жидкости в системе охлаждения силового агрегата. Для этой цели имеются регулирующие клапаны.

Съём тепловой мощности выхлопных газов происходит через другой теплообменник – газожидкостный. Температура производимой воды, отдаваемой потребителю, находится в пределах 65-95°C. Вся сконцентрированная таким образом тепловая энергия, через сборный пункт направляется потребителям. Общий объём тепловой энергии сопоставим с количеством вырабатываемой электроэнергии.

По технологическим потребностям предприятия-потребителя возможно производство пара от газопоршневых установок с заданными параметрами.

Посредством абсорбционной холодильной машины (АБХМ) можно получить хладоноситель с необходимой температурой – воду или незамерзающие растворы.

Для тепличных комплексов можно выдавать значительные объёмы углекислого газа, служащего питанием для растений.

Электричество, тепловая энергия, холод, углекислый газ – процесс одновременного их получения, носит название квадروгенерации.

Вообще, максимальная утилизация тепла, получаемого при выработке электроэнергии – один из главных экономических бонусов и преимуществ строительства газопоршневой электростанции. Потому что из одной единицы газового топлива на самой хорошей электростанции получают примерно 40-45% электричества, а остальная энергия - это в основном тепло.

В целях безопасности обеспечиваемого объекта, в структуру газопоршневой станции интегрируется пиковая котельная, способная при неработающих силовых агрегатах обеспечить должное количество тепловой энергии в любое время года. Как правило, пиковая котельная связана с системой управления газопоршневой электростанции автоматикой. Пиковая котельная должна иметь независимый запас топлива, то есть не связанный с основным – это, например, газ, хранящийся в газгольдере. Также котельная способна сглаживать возможные пики потребления тепловой энергии.

Таким образом, газовые двигатели используются для работы в составе генераторных установок, предназначенных для постоянной и периодической работы (пиковые нагрузки) с комбинированной выработкой электроэнергии и тепла, а также в качестве аварийных источников энергии. Кроме того, они могут работать как в составе холодильных установок, так и для привода насосов и газовых компрессоров [3].

3.4. Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы электростанций, входящих в систему ГПО «Белэнерго». Какова их установленная мощность (используйте официальные интернет источники).

2. Приведите основные различия между конденсационными электростанциями (КЭС) и теплоэлектроцентралями (ТЭЦ).

3.5. Используемые источники

1. Белорусская энергетика: состояние и тренды: [Электронный ресурс] // Экономическая газета выпуск №96 (2790) от 20.12.2024. URL: <https://neg.by/novosti/otkrytj/belorususkaya-energetika-sostoyanie-i-trendy/>
2. Режимы работы и эксплуатация ТЭС [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальностей 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции", 1-53 01 04 "Автоматизация и управление энергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост. С. А. Качан – Минск: БНТУ, 2015.
3. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Тепловые электрические станции» для специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» [Электронный ресурс] // Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции»; сост.: Н. Б. Карницкий, С. А. Качан – Минск: БНТУ, 2022.
4. Как производится электроэнергия на тепловой электростанции (ТЭЦ): [Электронный ресурс] // Школа для электрика. URL: <https://electricalschool.info/spravchnik/poleznoe/2027-kak-proizvoditsya-elektroenergiya-na-teplovoy-elektrostancii.html#:~:text=ElectricalSchool.info>

Практическое занятие №4. Гидроэлектростанции: выработка электроэнергии, классификация, принцип действия

4.1. Цель занятия

1. Ознакомиться с принципами выработки электроэнергии на ГЭУ.
2. Изучить типы гидроэнергетических установок.
3. Отметить роль гидроэлектростанций в системе энергетики.

4.2. Преобразование гидроэнергии в электрическую на различных типах гидроустановок

Гидроэлектростанция (ГЭС) – комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия потока воды преобразуется в электрическую энергию. ГЭС состоит из последовательной цепи гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в механическую энергию вращения, которая, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию [1].

Гидроэнергетическая установка (ГЭУ) предназначена для преобразования механической энергии водного потока в электрическую энергию или, наоборот, электрической энергии в механическую энергию воды.

Гидроэнергетическая установка состоит из гидротехнических сооружений, энергетического и механического оборудования.

Различают следующие основные типы гидроэнергетических установок:

- гидроэлектростанции (ГЭС);
- насосные станции (НС);
- гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);
- комбинированные электростанции ГЭС-ГАЭС;
- приливные электростанции (ПЭС).

По схеме использования водных ресурсов и концентрации напоров ГЭС обычно подразделяют на плотинные (русловые и приплотинные), деривационные с напорной и безнапорной деривацией, комбинированные, гидроаккумулирующие и приливные.

В русловых и приплотинных ГЭС напор воды создаётся плотиной, перегораживающей реку и поднимающей уровень воды в верхнем бьефе. При этом неизбежно некоторое затопление долины реки. В случае сооружения двух плотин на том же участке реки площадь затопления уменьшается. На равнинных реках наибольшая экономически допустимая площадь затопления ограничивает высоту плотины. Русловые и приплотинные ГЭС строят и на равнинных многоводных реках, и на горных реках, в узких сжатых долинах [1].

Гидроэлектростанции

Основными сооружениями ГЭС на равнинной реке являются плотина, создающая водохранилище и сосредоточенный перепад уровней, т. е. напор, и здание ГЭС, в котором размещаются гидравлические турбины, генераторы, электрическое и механическое оборудование. В случае потребности строятся

водосбросные и судоходные сооружения, водозаборы для систем орошения и водоснабжения, рыбопропускные сооружения и т. п.

Вода под действием тяжести по водоводам движется из верхнего бьефа в нижний, вращая рабочее колесо турбины. Гидравлическая турбина соединена валом с ротором генератора. Турбина и генератор вместе образуют гидроагрегат. В турбине гидравлическая энергия преобразуется в механическую энергию вращения на валу агрегата, а генератор преобразует эту энергию в электрическую. Возможно создание на реке каскадов ГЭС.

Крупнейшие гидроэлектростанции находятся в Китае, Бразилии, Венесуэле, США, России и Канаде. Вот некоторые из них:

- ГЭС Три ущелья, Китай

Это самая крупная гидроэлектростанция в мире, которая обогнала бразильско-парагвайскую электростанцию Итайпу. Она находится в китайской провинции Хубэй. Ее строительство длилось 19 лет и было завершено в 2012 году, генерируя 22 500 мегаватт (МВт) электроэнергии. Произведенная электроэнергия снабжает 9 провинций и 2 города, в том числе Шанхай, (рис. 4.1)

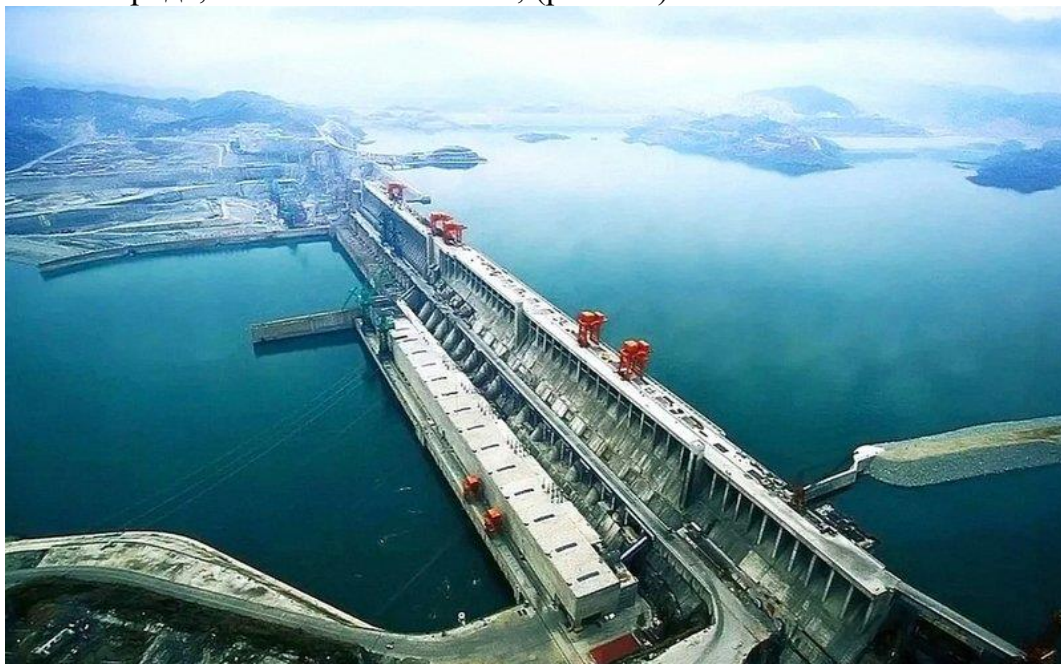


Рисунок 4.1 — ГЭС Три ущелья, Китай

Источник изображения:

<https://www.myenergy.ru/fileadmin/f/pop/objects/DetEn/damb1.jpg>

- ГЭС Итайпу, Бразилия и Парагвай

Является крупнейшей ГЭС в мире по выработке электричества в год. Это чудо инженерной мысли стоимостью более 15 млрд долларов находится на реке Парана на границе Бразилии и Парагвая.

В декабре 1997 года ГЭС Итайпу уступила первое место китайской гидроэлектростанции Три ущелья. Однако, несмотря на бóльшую установленную мощность ГЭС Три ущелья, Итайпу производит бóльшее количество электроэнергии в год из-за более равномерного режима течения реки Парана по сравнению с Янцзы.

На ГЭС установлено 20 генераторов мощностью по 700 МВт каждый. Таким образом, установленная мощность **Итайпу** составляет 14 ГВт, среднегодовая выработка – 95 млрд кВтч. (для сравнения: показатели крупнейшей в России **Саяно-Шушенской ГЭС** – 6,4 ГВт и 26,7 млрд кВтч соответственно), (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 — ГЭС Итайпу, Бразилия и Парагвай

Источник изображения: <https://fea.ru/news/3322>

- ГЭС Силоду, Китай

ГЭС Силоду – третья по мощности (13 860 МВт) ГЭС в мире. Высота НУМ верхнего бьефа составляет 600 м, нижнего – 380 м. Полная ёмкость водохранилища составляет 12,67 км³, полезная ёмкость – 6,46 км³. В ходе сезонного регулирования уровень воды в водоеме может снижаться на 60 м до 540 м (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 — ГЭС Силоду, Китай

Источник информации и изображения: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЭС>

Четвертая по величине гидроэлектростанция – Гури в Венесуэле, за ней следуют Бело-Монте и Тукуруи в Бразилии; Гранд-Вули (США); Сянцзяба (Китай); Саяно-Шушенская ГЭС в России, а первую десятку замыкает гидроэлектростанция в Лонгтане (Китай).

Насосная станция

Насосная станция предназначена для перекачки воды с низких отметок на высокие и транспортировки воды в удаленные пункты.

На насосной станции устанавливаются насосные агрегаты, состоящие из насоса и двигателя. Насосная станция является потребителем электрической энергии.

Насосные станции используются для водоснабжения тепловых и атомных электростанций, коммунально-бытового и промышленного водоснабжения, в ирригационных системах, судоходных каналах, пересекающих водоразделы, и т. п.

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) предназначена для перераспределения во времени энергии и мощности в энергосистеме. Примером крупнейшей гидроаккумулирующей электростанцией является Загорская ГАЭС мощностью 1200 МВт, Россия (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 — Загорская ГАЭС

Источник изображения: <https://skc-m.ru/projects/zagorskaya-gaes/zagorskaya-gaes/>

В часы пониженных нагрузок ГАЭС работает как насосная станция. Она за счет потребляемой энергии перекачивает воду из нижнего бьефа в верхний и создает запасы гидроэнергии. В часы максимальной нагрузки ГАЭС работает как гидроэлектростанция. Вода из верхнего бьефа пропускается через турбины в нижний бьеф, и ГАЭС вырабатывает и выдает электроэнергию в энергосистему. ГАЭС потребляет дешевую электроэнергию, а выдает более дорогую энергию в период пика нагрузки, заполняет провалы нагрузки и снижает пики нагрузки в энергосистеме, позволяет работать агрегатам атомных и тепловых электростанций в наиболее экономичном и безопасном равномерном режиме, резко снижая при этом удельный расход топлива на производство 1 кВт · ч электроэнергии в энергосистеме.

Комбинированные электростанции ГЭС-ГАЭС

ГЭС–ГАЭС вырабатывает электроэнергию в период пика нагрузки за счет притока воды в верхний бьеф и за счет перекаченной из нижнего бьефа в верхний в период провалов нагрузки в энергосистеме.

Реконструкция ГЭС в ГЭС-ГАЭС, как показывает зарубежный опыт, весьма эффективна в энергосистемах, где мала доля ГЭС и ГАЭС.

Например, Зеленчукская ГЭС-ГАЭС – гидроэнергетический объект, объединяющий в одном комплексе сооружений гидроэлектростанцию и гидроаккумулирующую электростанцию, использующий объединённый сток рек Большой Зеленчук, Маруха и Аксаут, перебрасываемых в реку Кубань. Расположена в Карачаево-Черкесии у п. Правокубанский Карачаевского района. Является крупнейшей электростанцией Карачаево-Черкесии и четвёртым по мощности

объектом гидроэнергетики на Северном Кавказе, а также одной из трёх гидроаккумулирующих электростанций России. Обладает самой протяжённой (общей длиной 35,5 км) деривацией среди ГЭС России, а также, по состоянию на 2021 год – третьим по величине напором среди российских гидроэлектростанций (после Зарамагской ГЭС-1 и Гизельдонской ГЭС). Станция участвует в покрытии пиковой части нагрузки Объединённой энергосистемы Юга России, повышая надёжность работы энергосистемы и энергоснабжения потребителей и позволяя тепловым и атомным электростанциям функционировать в наиболее оптимальных режимах (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 — Зеленчукская ГЭС-ГАЭС

Источник изображения:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/ZelHPP_14.jpg/1280px-ZelHPP_14.jpg

Приливные электростанции (ПЭС) преобразуют механическую энергию приливо-отливных колебаний уровня воды в море в электрическую энергию (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 — Кислогубская ПЭС

Источник изображения: <http://lexicon.dobrohot.org/images/5/50/00114956.jpg>

Например, Кислогубская ПЭС – экспериментальная приливная электростанция, расположенная в губе Кислая Баренцева моря, вблизи поселка Ура-Губа Мурманской области. Первая и единственная приливная электростанция России. Гидроагрегаты станции находятся на плотине, пересекающей северную оконечность губы Кислая – узкого фиорда длиной 3,5 км, высота приливов в котором колеблется от 1,1 до 3,9 м. Плотина имеет длину около 30 м и отсекает Кислую губу от Ура-губы, которая непосредственно открывается в море.

Гидротурбины двустороннего действия (работающие как на приливном, так и на отливном течении) [2].

Плотинная схема ГЭС

На ГЭС плотинная схема использования водной энергии обычно выполняется при больших расходах воды и малых уклонах ее свободной поверхности. Посредством плотины подпирается река и создается напор воды H_0 . Подпор воды от плотины распространяется вверх по реке. Разность уровней воды в верховье водохранилища и у плотины равна $H_0 + \Delta h$. Общее падение уровня реки на участке равно H . Часть общего падения уровня реки Δh будет потеряна при движении воды в верхнем бьефе. Сосредоточенный перепад уровней, т. е. напор, будет равен $H_0 = H - \Delta h$.

Плотинная схема в зависимости от напора может быть русловой и приплотинной. Русловой называется такая гидроэлектростанция, в которой здание ГЭС входит в состав напорного фронта. В этом случае здание ГЭС воспринимает

полное давление воды со стороны верхнего бьефа. Русловая ГЭС строится при сравнительно небольших напорах.

Деривационная схема ГЭС

Деривационная схема использования водной энергии обычно выполняется при малых расходах воды и больших уклонах ее свободной поверхности. В деривационной схеме плотина возводится невысокой, лишь обеспечивающей забор воды в деривацию, а напор создается за счет разности уклонов воды в реке и деривации. Деривация может выполняться безнапорной в виде открытого канала или безнапорного туннеля. Чаще деривация бывает напорной в виде напорного туннеля или напорного трубопровода.

В **плотинно-деривационной**, или комбинированной, схеме используются наилучшим образом свойства предыдущих схем. Плотина создает водохранилище, а падение уровня реки ниже плотины используется деривацией. Чем выше по течению реки располагается плотина, тем меньше ее высота, меньше объем водохранилища и затопление территории, но удлиняется деривация и увеличиваются потери в ней напора.

Месторасположение плотины, тип и длина деривации выбираются на основе технико-экономического обоснования.

Для более полного использования падения реки и ее стока возводят каскад гидроэлектростанций, т. е. ряд ГЭС, последовательно расположенных по длине водотока от истока до устья. В составе каскада могут быть русловые, приплотинные или деривационные ГЭС [1].

4.3. Проблемы комплексного использования гидроресурсов

Крупные гидротехнические сооружения, к которым относятся ГЭС, должны работать 200...300 лет. В течение этого срока водный режим будет преобразован не только под влиянием гидросооружений, но и под влиянием антропогенных и природных факторов.

К водохранилищам нет однозначного отношения. С одной стороны, они нужны для социально-экономического развития региона, удовлетворения потребностей в воде, энергии, в борьбе с наводнениями и т. д., а с другой – оказывают отрицательное воздействие на природу и хозяйственную деятельность. Следует отметить, что значительные или заметные изменения в окружающей среде вызывают преимущественно крупные водохранилища.

При проектировании, строительстве и эксплуатации водохранилищ оно должно рассматриваться:

- как склад воды;
- объект, существенно изменяющий исходное качество речной воды (улучшая или ухудшая ее показания);
- акватория, используемая водным транспортом, лесосплавом, рыбным хозяйством, в целях восстановления;
- объект, позволяющий в ряде районов значительно увеличить использование земельных ресурсов (борьба с наводнениями, территориальное перераспределение стока);
- объект, вносящий заметные изменения в природу и хозяйство речных долин, дельт, озер, приустьевых участков морей.

Из сказанного видно, насколько важно правильно оценить качественные изменения речного стока, оценить взаимосвязи природных и антропогенных явлений, обусловленных эксплуатацией водных ресурсов и влияние водных ресурсов на различные сферы жизни.

Гидротехническое строительство, связанное с перераспределением стока, созданием водохранилищ с огромными запасами воды и значительными глубинами, затоплением пахотных угодий и лесов, оказывает влияние на природную среду непосредственно или косвенно. При этом воздействие на окружающую природную среду сказывается как сразу, так и по истечении многих лет.

Проблемы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией крупных гидротехнических сооружений, можно разделить на первичные, предвиденные на стадии проектирования, и вторичные, возникающие как следствие сооружения гидросооружений и водохранилищ.

Кроме того, возникают научно-технические проблемы, как на стадии проектирования и строительства, так и в процессе эксплуатации водохранилищ.

Из первичных проблем можно выделить следующие:

- выбор генеральной схемы использования водных ресурсов;
- обоснование оптимальных параметров гидроузлов и водохранилищ;
- мониторинг водных, земельных и лесных ресурсов в зоне строительства гидроузла;
- эколого-экономическое обоснование подготовки ложа водохранилища под затопление;
- инженерная защита от затопления и подтопления городов, населенных пунктов, отдельных предприятий;
- восстановление на новом месте сельскохозяйственных угодий вместо затопленных водохранилищем;
- рыбохозяйственное освоение водоема, строительство рыбоходов, восстановление естественного воспроизводства рыб;
- транспортное освоение водохранилища: увеличение глубин, устройство убежищ для судов и плотов при штормах; создание новой судовой обстановки, строительство пристаней; перевалка грузов через плотины;
- санитарная подготовка ложа перед затоплением (дезинфекция населенных пунктов, кладбищ, скотомогильников, ликвидация различных вредных загрязнений);
- агролесомелиоративные гидротехнические мероприятия по предотвращению водной и ветровой эрозии в зоне водохранилищ;
- лесосводка и лесочистка ложа перед затоплением, посадка лесных насаждений на новом месте.

Более сложны и взаимосвязаны вторичные проблемы, последствия которых проявляются через многие годы после завершения строительства, их во многих случаях трудно предсказать с достаточной научной обоснованностью. Многие из этих проблем так и остаются неразрешимыми в обозримом будущем.

Вторичные проблемы можно подразделить на экологические и социальные.

Основные экологические проблемы:

- эрозия береговой линии водохранилищ; переформирование берегов, дна, устьевых участков рек, впадающих в водохранилища; формирование баров;
- появление на акватории водохранилищ запасов плавающей древесины вследствие береговой эрозии;
- изменения уровня грунтовых вод;
- изменения температурного режима водной массы и окружающей среды, повышенная влажность, появление интенсивных и продолжительных по времени туманов;
- дополнительные потери воды на испарение;
- изменения качественного состава воды в водохранилище;
- изменения растительного и животного мира;
- нарушения условий нерестилищ рыбы;
- опасность провокации колебания земной коры в связи с сооружением крупных плотин и водохранилищ.

Суммируя перечень первичных и вторичных проблем, можно выделить основные последствия регулирования стока рек гидроузлами, оказывающие положительное или отрицательное влияние на хозяйственную деятельность и окружающую природу:

- изъятие земель под водохранилище и строительные площадки для возведения основных сооружений гидроузла, создания стройбазы и переустройства объектов хозяйства и выноса из зоны затопления, а также в связи с берегопереработкой и подтоплением территории выше критического уровня;
- ухудшение мелиоративного состояния земель в связи с подтоплением водохранилищами;
- увеличение продолжительности затопления земель в верхнем бьефе гидроузлов, особенно в хвостовой части водохранилищ в связи с подпором стока реки;
- сокращение частоты (вероятности) и продолжительности затопления пойменных земель в период весеннего половодья на участке, расположенном в нижнем бьефе гидроузла;
- изменение санитарного состояния реки, физико-химических и медико-биологических свойств воды;
- изменение климатических и ландшафтных условий.

Опыт эксплуатации водохранилищ показал, что при проектировании и эксплуатации недостаточно рассматривать обозначенные проблемы и их последствия только с экономической точки зрения. Необходима комплексная эколого-экономическая оценка последствий создания водохранилищ.

Недостаточно глубокая проработка проблем и отступление от обоснованных проектных решений в период строительства и эксплуатации зачастую приводит не только к огромным материальным убыткам, но и к необратимым экологическим последствиям[1].

4.4. Малая гидроэнергетика

Малая гидроэлектростанция или малая ГЭС (МГЭС) – гидроэлектростанция, вырабатывающая сравнительно малое количество электроэнергии. Общепринятого

для всех стран понятия малой гидроэлектростанции нет, в качестве основной характеристики таких ГЭС принята их установленная мощность. Чаще к малым гидроэлектростанциям относят гидроэнергетические установки, установленная мощность которых не превышает 5 МВт (Австрия, Германия, Польша, Испания и др.). В Латвии и Швеции малыми считают ГЭС с установленной мощностью до 2 МВт, в некоторых других странах – до 10 МВт (Греция, Ирландия, Португалия).

Следует отметить, что у малых ГЭС внутри диапазона мощности

0-30 000 кВт существует дополнительное разделение на подвиды: 0-100 кВт – микро ГЭС; 100-1 000 кВт – мини ГЭС; 1 000-30 000 кВт – собственно малые ГЭС (т.е. название подвида идентично общему названию всего класса).

С целью некоторого классификационного разделения малых ГЭС по признаку напора воды их делят на три группы:

- низконапорные малые ГЭС – напор воды менее 20 м;
- средненапорные малые ГЭС – напор воды в диапазоне 20-75 м;
- высоконапорные малые ГЭС – напор воды превышает 75 м.

Следует подчеркнуть, что отнесение конкретной малой ГЭС к какой-то группе не позволяет делать однозначные выводы о той или иной особенности данной гидростанции (компоновке, типу здания и т.д.). Приведенная классификация служит для общего понимания тех условий и характеристик, которые могут быть у проектируемой малой ГЭС [3].

В Беларуси 53 гидроэлектростанций. Их установленная электрическая мощность – 96,5 МВт. Крупнейшие – Витебская (40 МВт) и Полоцкая (21,6 МВт) ГЭС. По состоянию на 1 января 2024 г. организациями Министерства энергетики эксплуатируются 24 ГЭС установленной мощностью 88,105 МВт. *Источник: <https://minenergo.gov.by/>*

Первая гидроэлектростанция в Республике Беларусь была запущена в 1899 году на реке Ипуть в центре Добруша. Строительство ГЭС было связано с необходимостью снабжения электричеством Добрушской бумажной фабрики. А главным преимуществом при выборе места стала уже существующая в Добруше плотина. Добрушская гидроэлектростанция является низконапорной, как и все белорусские ГЭС. В феврале 2020 года после модернизации Добрушская мини-ГЭС была введена в эксплуатацию. Максимальная ее мощность составляет 450 кВт. На станции установлены три поворотнолопастные турбины с горизонтальным валом и мощностью 135,6 кВт каждая. Расход воды через турбину составляет 6,7 м³/с, напор воды – 2,5 м. Добрушская мини-ГЭС работает в автоматическом режиме и дистанционно управляется операторами из Витебска. На самой станции присутствует дежурный персонал в количестве 2-3 человек для устранения непредвиденных ситуаций. Вырабатываемое количество Добрушской ГЭС электроэнергии напрямую зависит от природных условий. В благоприятный год – 450 кВт. В засушливый год - 300 кВт электроэнергии. Важно отметить, что благодаря современным технологиям, установленным на Добрушской ГЭС, не наносится никакого вреда окружающей среде. Даже обитатели реки могут свободно проходить через турбины станции (рис. 4.7.). *Источник: Учреждение «Редакция газеты «Дняпровец» Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь*



Рисунок 4.7 — Добрушская гидроэлектростанция

Источник изображения: <https://www.ekk.by/files/page/2081/pervaya-ges-v-belarus.jpg>

4.5. Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы гидроэнергетических установок, в чем их ключевые различия?
2. Каковы основные преимущества плотинной и деривационной схем ГЭС?
3. Какие экологические и социальные проблемы могут возникать при строительстве и эксплуатации крупных гидротехнических сооружений?
4. Назовите особенности малых ГЭС, которые делают их перспективными для использования в современных энергосистемах.

4.6. Используемые источники

1. Общая энергетика: учебное пособие / В.И. Полищук, Ю.С. Боровиков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета.
2. Гидроэнергетика: [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/>
3. Постановление министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 16 ноября 2020 г. № 90 «Об утверждении и введении в действие строительных норм СН 3.04.02-2020 Гидротехнические сооружения специального назначения»

Практическое занятие №5. Источники генерации электрической и тепловой энергии: атомные электростанции

5.1. Цель занятия

1. Ознакомиться с принципом работы ядерных реакторов и основными компонентами атомных электростанций, включая их конструкции, технологические процессы и тепловые схемы.
2. Изучить и обсудить вопросы безопасности ядерной энергетики, включая управление ядерным топливом, утилизацию отходов.

Ядерная энергетика (атомная энергетика) – это отрасль энергетики, занимающаяся производством электрической и тепловой энергии путём преобразования ядерной энергии.

Обычно для получения ядерной энергии используют цепную ядерную реакцию деления ядер урана-235 или плутония. Ядра делятся при попадании в них нейтрона, при этом получаются новые нейтроны и осколки деления. Нейтроны деления и осколки деления обладают большой кинетической энергией. В результате столкновений осколков с другими атомами эта кинетическая энергия быстро преобразуется в тепло.

Хотя в любой области энергетики первичным источником является ядерная энергия (например, энергия солнечных ядерных реакций в гидроэлектростанциях и электростанциях, работающих на органическом топливе, энергия радиоактивного распада в геотермальных электростанциях), к ядерной энергетике относится лишь использование управляемых реакций в ядерных реакторах.

Ядерная энергетика остаётся предметом острых дебатов. Сторонники и противники ядерной энергетики резко расходятся в оценках её безопасности, надёжности и экономической эффективности. Опасность связана с проблемами утилизации отходов, авариями, приводящими к экологическим и техногенным катастрофам [1].

Атомная электростанция

Атомная электростанция является сложным комплексом, состоящим из большого числа сооружений, технологически связанных между собой. Очевидно, что прямое назначение АЭС – выработка электроэнергии. Для этого требуется осуществить много различных технологических операций, обеспечить безотказную и безопасную работу сложного оборудования.

Основным элементом АЭС является энергоблок, в котором смонтированы ядерный реактор – «атомный котел», нагревающий воду, и турбогенератор, вырабатывающий электроэнергию. Последовательность процессов такова: нагретая вода превращается в пар, который вращает турбину. Турбина, в свою очередь, вращает ротор-магнит. Электрический ток производится благодаря известному из курса школьной физики явлению электромагнитной индукции – возникновению электродвижущей силы в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур. При вращении ротора-магнита в витках окружающего его статора появляется электрический ток. Остается только «снять» напряжение с обмоток и передать электроэнергию внешним потребителям.

Однако за кажущейся простотой такого описания устройства энергоблока скрывается огромное количество производящих, контролирующих, управляющих установок, приборов, механизмов, которые жестко, продуманно и эффективно связаны в единую технологическую цепочку.

Естественно, для работы такого большого числа механизмов и установок требуются определенные затраты энергии, и на это расходуется часть вырабатываемой станцией электроэнергии. Когда все энергоблоки остановлены, агрегаты АЭС могут питаться электроэнергией от внешних энергоисточников – линий электропередач, таких линий три. Для подстраховки, для того чтобы обеспечить в любой ситуации бесперебойное электроснабжение оборудования АЭС, и в первую очередь, оборудования систем безопасности, имеются резервные дизель-генераторные электростанции (по три на каждый энергоблок) и дополнительно – аккумуляторная электростанция для питания систем управления и защиты (СУЗ).

Для работы энергоблока обязательно необходимы насосные подстанции, обеспечивающие водоснабжение узлов АЭС. Нужны газосборщики-ресиверы, в которых собираются и очищаются газы. Жизненно необходим спецкорпус, в котором производится подготовка свежего топлива и очистка теплоносителя от радиоактивных примесей, и корпус для переработки отходов. Нужно большое количество других механизмов, приборов и устройств, работа которых скоординирована, отлажена и подчинена одной цели — обеспечить эффективный процесс выработки электроэнергии в совершенно безопасных для человека условиях. То есть, атомная электростанция в действительности является подлинным достижением современной научно-технической мысли, целостным организмом, надежная работа которого обеспечивается множеством составных элементов. Добавим, что различные объекты станции соединены закрытыми железобетонными эстакадами, в которых размещены технологические коммуникации [1].

Энергоблок АЭС

Главным сооружением классической АЭС является энергоблок. В его состав входят: реакторное отделение, машинный зал, деаэрационная этажерка (там установлено оборудование, предназначенное для удаления газов из теплоносителя второго контура), помещения электротехнических устройств. Энергоблок проектируется и строится как самостоятельный объект, отвечающий всем требованиям обеспечения надежной, безотказной и безопасной работы смонтированного в нем энергетического и вспомогательного оборудования.

«Сердце» атомной станции – ядерный реактор размещен в герметичной защитной оболочке реакторного отделения, которая защищает его от любых внешних воздействий и препятствует попаданию в окружающую среду радионуклидов в случае аварии. Там же, в герметичной защитной оболочке, размещено и все оборудование главного циркуляционного контура. Реактор и главный циркуляционный контур в сборе образуют замкнутый объем для теплоносителя первого контура.

Кроме оборудования первого контура внутри гермооболочки находятся: оборудование шахт ревизии внутриреакторных устройств, машина перегрузки топлива, полярный кран, оборудование бетонной шахты реактора, включающее в себя, в том числе ряд биологических и температурных защит, бассейны перегрузки и выдержки топлива.

Защитная гермооболочка опирается на железобетонную плиту толщиной 2,4 метра на высоте 13 метров. Диаметр цилиндрической части гермооболочки 45 метров, высота сферической части – 45 метров (верхняя отметка купола – 67,5 метра), толщина железобетонных стен гермооболочки и купола 1,2 метра. Гермооболочка обтянута системой тросов, находящихся внутри стен, с усилием натяжения до 1200 тонн на каждый трос, что обеспечивает исключительную прочность сооружения. Равномерность обтяжки защитной гермооболочки контролируется системой встроенных в нее датчиков, постоянно ведутся мониторинговые работы по определению и оценке геометрии гермооболочки и параметров ее изменения, а также все изменения планово-высотного положения строительных элементов и их частей. До пуска энергоблока проводится проверка прочности и герметичности защитной гермооболочки внутренним избыточным давлением 5 атмосфер. При этом нагрузка на внутреннюю поверхность гермозоны составляла около 600 000 тонн.

В окружающей гермооболочку реактора обстройке размещены блочный щит управления реактором, оборудование систем управления, контроля и защиты энергоблока, устройства вентиляции, фильтры, противопожарное и другое оборудование. В фундаментной части обстройки размещены системы аварийного охлаждения, теплообменники и часть оборудования промежуточного контура, системы подпитки – продувки. С обстройкой реакторного отделения соединяется здание машинного зала и деаэрационного отделения. Здание имеет внушительные размеры. В машинном зале расположены паровая турбина и электрогенератор.

Строительные конструкции энергоблока удовлетворяют всем самым строжайшим требованиям надежности. В частности, оборудование и корпус здания рассчитаны и построены так, что способны без нарушений выдерживать землетрясение в 9 баллов[4].

Тепловая схема

Тепловая схема энергоблоков с реакторами ВВЭР содержит два контура циркуляции теплоносителя. Первый контур является замкнутым, радиоактивным и предназначен для отвода тепла от реактора и передаче его воде второго контура. Он состоит из реактора, парового компенсатора давления и четырех одинаковых петель охлаждения, включающих в себя главные циркуляционные насосы, трубопроводы, парогенераторы, ионообменные фильтры. Теплоносителем первого контура является вода очень высокой чистоты, находящаяся под высоким давлением в 160 атмосфер, что препятствует ее кипению. В воду первого контура добавляется раствор борной кислоты, которая является сильным поглотителем нейтронов и используется для плавного регулирования мощности реактора.

Главными циркуляционными насосами вода прокачивается через активную зону реактора, где она нагревается с 290 до 320 градусов Цельсия за счет тепла, выделяемого в результате ядерной реакции в активной зоне реактора. Каждый из четырех насосов перекачивает за один час 20 000 кубометров воды. Вода первого контура передает свою теплоту воде второго контура через металлические стенки теплообменных трубок в парогенераторе и возвращается в реактор. Таким образом, создан барьер на пути радиоактивных элементов, содержащихся в воде первого контура, которые не могут проникать во второй контур.

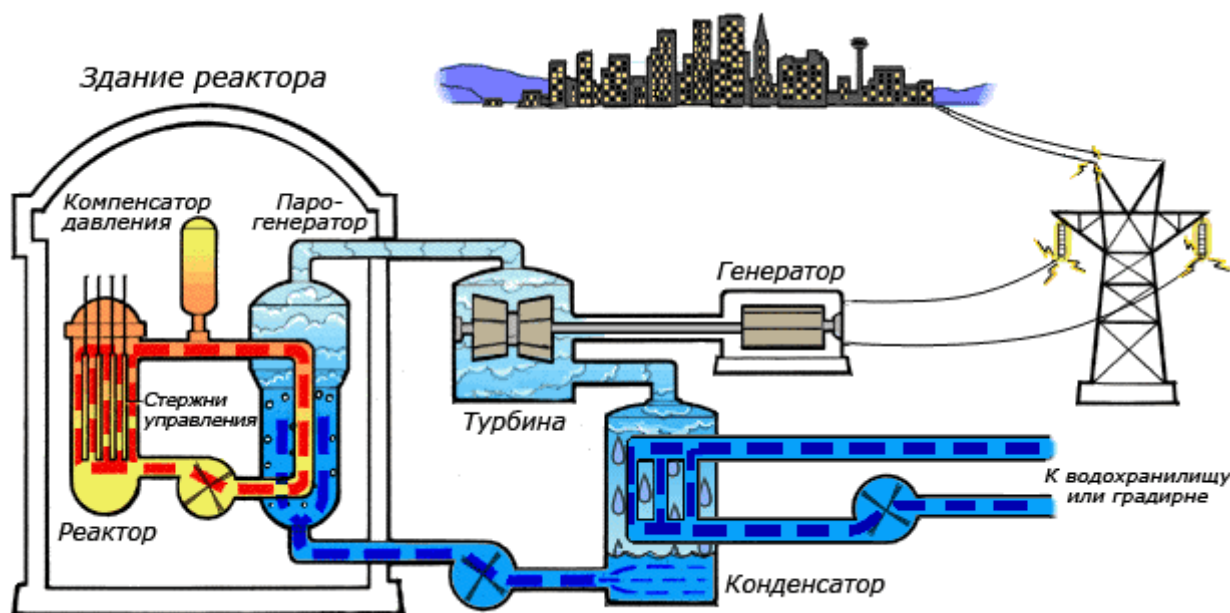


Рисунок 5.1 — Тепловая схема

Источник изображения: <https://obrazovaka.ru/fizika/yadernyy-reaktor-ustroystvo.html>

Второй контур предназначен для выработки пара и передаче его на турбину. Он тоже замкнутый, но нерadioактивный, и включает в себя парогенератор, паропроводы острого пара, турбогенератор мощностью 1030 МВт с конденсационной установкой, насосы и систему регенерации тепла. Парогенераторы выдают насыщенный пар температурой 290 градусов под давлением 64 атмосферы, который подается на паровую турбину, приводящую в движение электрогенератор. Отработавший пар охлаждается в конденсаторах и превращается в воду, которая вновь подается насосом в парогенератор. Охлаждение конденсаторов осуществляется водой, подаваемой насосами из водоема-охладителя.

Подчеркнем, что и первый, и второй контур охлаждения замкнуты [2].

Типы ядерных реакторов

Существует несколько основных типов ядерных реакторов, используемых на атомных электростанциях:

- Реакторы на тепловых нейтронах:
 - Реакторы с водой под давлением (PWR)
 - Кипящие водяные реакторы (BWR)
 - Реакторы на тяжелой воде (PHWR)
- Реакторы на быстрых нейтронах:
 - Реакторы-размножители на быстрых нейтронах (FBR)
- Реакторы на газовом охлаждении:
 - Газоохлаждаемые реакторы (GCR)
 - Реакторы с высокотемпературным газовым охлаждением (HTGR)
- Реакторы на расплавленных солях:
 - Реакторы на расплавленных солях (MSR)

Основные различия между этими типами реакторов заключаются в используемом ядерном топливе, теплоносителе, конструкции активной зоны и системах безопасности.

Реакторы на тепловых нейтронах (PWR, BWR, PHWR) используют замедлители для замедления нейтронов до тепловых энергий, что повышает вероятность деления ядер.

Реакторы на быстрых нейтронах (FBR) работают без замедлителей, используя быстрые нейтроны для деления ядер.

Реакторы с газовым охлаждением (GCR, HTGR) используют газ (обычно углекислый газ или гелий) в качестве теплоносителя, а реакторы на расплавленных солях (MSR) используют расплавленные соли в качестве топлива и теплоносителя.

Каждый тип реактора имеет свои преимущества и недостатки в отношении эффективности, безопасности, стоимости и других факторов, что определяет их применение в различных странах и условиях.

Реакторы на тепловых нейтронах

Преимущества:

- более простая и надежная конструкция;
- накоплен большой опыт эксплуатации;
- относительно низкая стоимость;
- высокая степень безопасности.

Недостатки:

- ограниченный ресурс ядерного топлива (обогащенный уран);
- необходимость в замедлителе нейтронов (вода, тяжелая вода);
- образование большого количества радиоактивных отходов.

Реакторы на быстрых нейтронах

Преимущества:

- возможность использования обедненного урана и плутония в качестве топлива;
- более эффективное использование ядерного топлива;
- меньшее накопление радиоактивных отходов.

Недостатки:

- более сложная и дорогостоящая конструкция;
- необходимость в сложных системах безопасности;
- меньший опыт эксплуатации.

Реакторы на газовом охлаждении:

Преимущества:

- высокая температура теплоносителя, что повышает эффективность;
- меньшее количество радиоактивных отходов;
- более высокая безопасность.

Недостатки:

- более сложная и дорогостоящая конструкция;
- меньший опыт эксплуатации;
- необходимость в специальных материалах для высоких температур.

Реакторы на расплавленных солях:

Преимущества:

- высокая эффективность использования ядерного топлива;
- меньшее накопление радиоактивных отходов;
- повышенная безопасность за счет самозащищенности.

Недостатки:

- сложность конструкции и эксплуатации;
- меньший опыт эксплуатации;
- необходимость в специальных материалах, устойчивых к коррозии расплавленных солей.

Выбор типа ядерного реактора зависит от конкретных требований, условий эксплуатации, доступности ресурсов и других факторов, определяющих оптимальное решение для каждого проекта [3].

Обращение с ядерным топливом

Ядерным топливом для ядерного реактора является вещество, в котором возможна цепная реакция деления ядер. Существует только одно природное ядерное топливо – уран, точнее его изотоп U-235, способный к делению нейтронами и поддержанию цепной реакции (ядерное горючее). Топливо, используемое в реакторах типа ВВЭР, должно содержать примерно 4-4,5 % изотопа U-235, но содержание этого изотопа в добываемом природном уране составляет всего 0,7%, остальные 99,3% – изотоп U-238. Поэтому сначала природный уран «обогащают», повышая процентное содержание U-235. Далее на заводах-изготовителях ядерного топлива прессуются и спекаются таблетки из двуокиси урана с добавлением необходимых компонентов, и производится изготовление ТВЭЛов, из которых собирают тепловыделяющие сборки (ТВС).

Свежее топливо поступает на АЭС в виде ТВС, которые можно перевозить совершенно безопасно – эти сборки перевозят в специальных транспортных контейнерах, разработанных по нормам МАГАТЭ специально для перемещения ТВС с завода-изготовителя на АЭС. В конструкции контейнеров предусмотрены все возможные аварийные ситуации на транспорте. Напомним, что естественная радиоактивность свежего топлива в ТВС достаточно низка – ни облучение людей, ни сколько-нибудь значительное загрязнение местности даже в случае транспортной аварии невозможны. Обращение с топливом, особенно облученным, требует особых мер безопасности. На атомной станции действует специальная система транспортировки и хранения свежего и отработанного топлива. Основные операции с ядерным топливом следующие:

- прием, хранение и подготовка свежего топлива к загрузке в реактор;
- перегрузка топлива в реакторе;
- хранение отработанного топлива;
- отправка отработанного топлива с территории станции.

Каждый пункт в этой последовательности операций выполняется с четким соблюдением временного и технологического режимов, правил техники безопасности.

На атомной станции свежее топливо хранится в узле свежего топлива, расположенном в спецкорпусе. Здесь проводятся все операции с ядерным топливом до момента его загрузки в реактор: прием топлива, входной контроль, хранение (в специальных чехлах), подготовка свежих ТВС к загрузке. Доставка ТВС в реакторное отделение производится в защитных чехлах на специальной внутристанционной платформе.

Отработанное ядерное топливо (ОЯТ) имеет высокую радиоактивность, поэтому все операции по замене отработавших ТВС на свежие, перестановке ТВС внутри активной зоны реактора выполняются с помощью специального механизма – перегрузочной машины под слоем воды, обеспечивающим защиту персонала от гамма-излучения. А хранение отработавших топливных сборок производится внутри герметичной оболочки реакторного отделения в стеллажах бассейна выдержки под защитным слоем воды, содержащей раствор борной кислоты. Это обеспечивает необходимую радиационную защиту и охлаждение тепловыделяющих сборок за счет естественной циркуляции [5].

5.2. Контрольные вопросы

1. Что лежит в основе работы ядерного реактора атомной электростанции?
2. Что такое защитная гермооболочка на атомной электростанции и какую роль она играет в обеспечении безопасности?
3. Каковы различия между реакторами на тепловых нейтронах и реакторами на быстрых нейтронах?
4. Какие меры безопасности предпринимаются при использовании ядерного топлива, и какие изменения происходят с его транспортировкой и хранением?

5.3. Используемые источники

1. Ядерная энергетика: [Электронный ресурс] // Словари и энциклопедии на Академике. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/705542>
2. Как работает атомная станция: [Электронный ресурс] // Машиностроительный дивизион «Росатома». URL: [https://aem-group.ru/mediacenter/informatoriy/atomnaya-elektrostantsiya-\(aes\).html](https://aem-group.ru/mediacenter/informatoriy/atomnaya-elektrostantsiya-(aes).html)
3. Атомные электростанции: технологии, безопасность и перспективы: [Электронный ресурс] // Выставка ЭЛЕКТРО. URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/24008/>
4. Как устроен энергоблок: [Электронный ресурс] // Машиностроительный дивизион «Росатома». URL: <https://aem-group.ru/mediacenter/informatoriy/kak-rabotaet-yadernyyj-reaktor.html>
5. Варианты обращения с отработавшим топливом: [Электронный ресурс] // Международное агентство по атомной энергии. URL: <https://www.iaea.org/ru/temy/varianty-obrashcheniya-s-otrabotavshim-toplivom>

Практическое занятие №6. Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: альтернативная генерация

6.1. Цель занятия

1. Ознакомиться с основными принципами и технологическими процессами выработки электроэнергии с использованием альтернативных источников энергии.
2. Рассмотреть классификацию альтернативных источников энергии.
3. Объяснить роль альтернативных источников энергии в устойчивом развитии энергетической системы.

Основные термины и их определения:

Возобновляемые источники энергии – энергия солнца, ветра, тепла земли, естественного движения водных потоков, древесного топлива, иных видов биомассы, биогаза, а также иные источники энергии, не относящиеся к невозобновляемым;

Государственная энергоснабжающая организация – государственное юридическое лицо, осуществляющее производство, передачу, распределение и сбыт электрической энергии;

Государственные энергетические сети – совокупность находящихся в государственной собственности устройств, предназначенных для передачи и распределения электрической энергии потребителям;

Использование возобновляемых источников энергии – процесс, включающий заготовку (добычу), транспортировку, хранение, подготовку к использованию, переработку или иную трансформацию возобновляемых источников энергии, а также производство из них электрической энергии;

Невозобновляемые источники энергии – источники энергии, накопленные в природе в виде ископаемых ресурсов: угля, нефти, газа, торфа, горючих сланцев, а также иные источники энергии, которые в новых геологических условиях практически не образуются;

Производители установок по использованию возобновляемых источников энергии – юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие производство установок по использованию возобновляемых источников энергии;

Производители энергии из возобновляемых источников энергии – юридические лица и индивидуальные предприниматели, в собственности (хозяйственном ведении, оперативном управлении) которых находятся установки по использованию возобновляемых источников энергии, производящие электрическую энергию в целях энергетического обеспечения своей хозяйственной деятельности и (или) ее последующей реализации;

Установка по использованию возобновляемых источников энергии – технологическое оборудование или комплекс технологического оборудования по производству либо приему (получению), преобразованию, аккумулированию и (или) передаче электрической энергии, производимой из возобновляемых источников энергии;

Утилизация непригодных к эксплуатации установок по использованию возобновляемых источников энергии – снос не подлежащих применению по назначению, хранению, ремонту установок по использованию возобновляемых источников энергии и последующая передача на использование, обезвреживание, захоронение или хранение отходов, образующихся в результате такого сноса, в соответствии с законодательством об обращении с отходами;

Энергия, производимая из возобновляемых источников энергии – электрическая энергия, производимая на установках по использованию возобновляемых источников энергии [1].

В Республике Беларусь экологическим вопросам уделяется пристальное внимание: реализуются государственные программы, совершенствуется законодательство, разрабатываются основополагающие документы в области охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Примером экологических решений является понятие «зеленой» экономики, которое затрагивает 8, 10, 12, 13, 15 цели устойчивого развития Республики Беларусь.

Развитие альтернативных источников энергии в Беларуси – хороший пример «зеленой» экономики.

Суть использования альтернативных источников энергии заключается в том, чтобы снизить зависимость от традиционных источников энергии, таких как нефть, газ и мазут, и сократить их негативное воздействие на окружающую среду.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии» [1], к ним относятся: энергия солнца, ветра, тепла земли, естественного движения водных потоков, древесного топлива, других видов биомассы, биогаза, а также другие источники энергии, которые не относятся к невозобновляемым.

В соответствии с Концепцией энергетической безопасности Республики Беларусь [4], доля объема производства первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению топливно-энергетических ресурсов должна составлять: в 2030 году – 8 %, в 2035 году – 9 %.

Альтернативные источники энергии (**солнечная, ветровая, геотермальная, энергия воды и биомассы**) являются экологически чистыми и неисчерпаемыми. Они не выделяют вредных выбросов в атмосферу, не загрязняют почву и воду и не влияют на изменение климата, что делает их более устойчивыми и эффективными в долгосрочной перспективе.

Использование альтернативных источников энергии также способствует диверсификации энергетического сектора и повышению его безопасности и надежности. Разнообразие источников позволяет снизить риски, связанные с изменением цен на нефть и газ, а также уменьшить вероятность возникновения кризисных ситуаций в энергетической системе.

Кроме того, использование альтернативных источников энергии может иметь экономические выгоды, так как они могут быть более доступными и дешевыми в долгосрочной перспективе, особенно если учитывать стоимость их эксплуатации и обслуживания [4].

Например, в Беларуси активно используется перспективная ветроэнергетика.

Ветроэнергетика

Ветрогенераторы используются для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию. Они работают на основе принципа- ветер, попадая через поверхность лопастей, создает вращательное движение, которое передается на генератор.

Основные компоненты:

- Лопасты – это элементы, которые позволяют ветру создавать вращательное движение. Лопасты могут быть изготовлены из различных материалов, включая стекловолокно, кевлар, углеродное волокно и др. Они могут иметь различные формы и размеры в зависимости от конструкции.
- Вал – это компонент, который передает вращательное движение от лопастей на генератор. Валы могут быть сделаны из различных материалов, включая сталь, алюминий или композитные материалы.
- Генератор – это компонент, который преобразует вращательное движение в электрическую энергию. Генераторы обычно имеют постоянные магниты и катушки, которые работают вместе для создания переменного тока.
- Башня – это компонент, который поддерживает лопасти и генератор на высоте. Башни могут быть различных высот и форм, в зависимости от местности и размеров ветряка.

Когда ветер дует на лопасти ветряка, они начинают вращаться, передавая вращение на вал и генератор. Генератор преобразует механическую энергию в электрическую, которая затем передается в электрическую сеть или хранится в батареях, аккумуляторах. Контроллер управляет направлением лопастей, чтобы максимизировать количество собираемой энергии, а тормозная система контролирует скорость вращения лопастей, чтобы предотвратить повреждение ветряка в случае слишком сильного ветра [2].

На январь 2024 года в Республике Беларусь действуют: 108 ветроэнергетические установки мощностью 122 МВт, крупнейшие ветропарки – РУП «Гродноэнерго» (9 МВт), ООО «Газосиликат-люкс» (9 МВт) [8]. По состоянию на 1 января 2024 г. организациями Министерства энергетики эксплуатируются одна ветроэнергетическая станция установленной мощностью 9 МВт (6 ветрогенераторов по 1,5 МВт каждый) [3].



Рисунок 6.1 — Ветроэнергетические установки

Источник изображения:

https://energoeffect.gov.by/downloads/news/2021_news/2021_2kv/20210616_new11.jpg

Гидроэнергетика

Гидроэлектростанции (ГЭС) работают на основе использования потенциальной энергии воды, накопленной в резервуарах, и ее преобразования в электрическую энергию.

Основные этапы работы гидроэлектростанций:

- **Захват воды:** вода захватывается из реки или потока при помощи специальных заслонок и направляется в резервуар.
- **Регулирование потока:** для поддержания стабильного уровня воды в резервуаре, гидроэлектростанция может использовать системы для регулирования водного потока. К таким системам относятся специальные шлюзы, которые могут открываться и закрываться для контроля потока воды.
- **Перемещение воды:** вода перемещается от резервуара к турбинам ГЭС посредством системы трубопроводов, которые могут быть очень длинными. Это позволяет сохранять высокий уровень потенциальной энергии воды.
- **Преобразование энергии:** когда вода достигает турбины, ее кинетическая энергия используется для приведения турбины во вращение. Турбина в свою очередь вращает генератор, который преобразует механическую энергию в электрическую.
- **Производство электроэнергии:** электрическая энергия, полученная генератором, передается через трансформаторы, которые увеличивают напряжение до уровня, необходимого для передачи по электрической линии. Эта электроэнергия может использоваться для питания местных потребителей, передаваться по электрической сети в другие регионы или храниться в аккумуляторных батареях.
- **Возвращение воды:** после преобразования энергии воды, она возвращается в реку или поток. Как правило, это происходит через систему отвода, которая позволяет управлять скоростью потока воды.
- Гидроэлектростанции имеют ряд преимуществ, таких как возможность гибкого управления их работой, высокая производительность и низкие эксплуатационные затраты.

Несмотря на некоторые недостатки, гидроэлектростанции являются одними из наиболее надежных и эффективных альтернативных источников энергии. Они могут производить большое количество электроэнергии и не выбрасывают в атмосферу углекислый газ и другие вредные вещества, что делает их одними из наиболее экологически чистых источников энергии.

Всего в Беларуси 55 гидроэлектростанций. Их установленная электрическая мощность – 96,5 МВт. Крупнейшие – Витебская (40 МВт) и Полоцкая (21,6 МВт) ГЭС. По состоянию на 1 января 2024 г. организациями Министерства энергетики эксплуатируются 24 ГЭС установленной мощностью 88,105 МВт [3].



Рисунок 6.2 — Витебская ГЭС

Источник изображения:

<https://www.belenergo.by/upload/medialibrary/998/9982833daee6d963e6733580761449d7.jpg>

Солнечная энергия

Солнечные электростанции используют энергию солнечного света для производства электроэнергии. Они состоят из солнечных панелей, которые преобразуют солнечный свет в электрический ток.

Каждая солнечная панель содержит множество солнечных элементов, или фотоэлементов, которые состоят из кремния или других полупроводниковых материалов. Когда фотоэлементы получают солнечный свет, они генерируют электрический ток благодаря фотоэлектрическому эффекту.

Электрический ток собирается в проводах и направляется в инвертор, который преобразует постоянный ток (производимый солнечными панелями) в переменный ток, используемый в электросети. Затем электрический ток направляется в электросеть, где он может быть использован для питания бытовых и промышленных устройств.

Солнечные электростанции могут быть установлены на крышах зданий, на земле или на водной поверхности [2].

В последние годы в Беларуси все большее количество людей переходят на использование солнечных батарей для производства электроэнергии. Это связано с рядом преимуществ, которые предоставляют солнечные батареи. Одним из главных преимуществ является экологическая чистота: солнечные батареи не выделяют вредных веществ и не загрязняют окружающую среду. Кроме того, использование солнечных батарей позволяет снизить затраты на электроэнергию в долгосрочной перспективе, поскольку они работают на бесплатном источнике энергии – солнце. Важно также отметить, что солнечные батареи могут быть использованы практически в любых условиях: как в городских условиях, так и за городом, даже в отдаленных регионах, где нет доступа к сети электроснабжения. Кроме того, установка солнечных батарей может повысить стоимость недвижимости, что делает

их еще более привлекательными для инвесторов. Все эти факторы объясняют растущую популярность солнечных батарей в Беларуси и по всему миру.

Солнечные батареи обладают высокой надежностью, что является их одним из главных достоинств. Их длительный срок службы подтверждается многолетним опытом использования в различных климатических условиях. Более того, современные технологии производства солнечных батарей гарантируют высокий уровень безопасности и отсутствие рисков для окружающей среды.

Кроме этого, важным преимуществом солнечных батарей является их минимальное техническое обслуживание. Не нужно беспокоиться о замене топливных элементов или чистке фильтров. Батареи работают бесшумно и не требуют никакого вмешательства со стороны пользователя.

Наконец, стоит отметить, что солнечные батареи могут эффективно работать даже в условиях пасмурной погоды. Даже при небольшой интенсивности солнечного света они продолжают генерировать электроэнергию, что делает их незаменимым источником энергии в любых условиях [5].

На январь 2024 года в Республике Беларусь действуют: 84 фотоэлектрические станции мощностью 272,7 МВт, крупнейшие – Чериковская ФЭС ООО «Солар Лэнд» (109 МВт), Речицкая ФЭС ПО «Белоруснефть» (56 МВт); [8].



Рисунок 6.3 — Солнечные батареи для дома

Источник изображения: <https://brenergoby/wp-content/uploads/2023/09/preimushhestva-ispolzovaniya-solnechnyh-batarej-v-belarusi-2-600x337.jpg>

Биогазовые комплексы

Республика Беларусь, наравне с западноевропейскими странами, пригодна для развития эксплуатации биогазовых установок и комплексов ввиду большой площади, пригодной для лесной отрасли промышленности; равнинной местности, хорошо развитого распределения мощности и инфраструктуры централизованного теплоснабжения, высокого уровня мясной, мясомолочной, куриной, деревообрабатывающей промышленности, а также технически образованного общества. Опыт использования биогазовых установок в Республике Беларусь позволяет судить о том, что биогаз является перспективным источником

альтернативной энергии. Биогазовые комплексы позволяют вырабатывать электроэнергию из биогаза, получаемого при брожении органических отходов. Биогазовые установки производят электрическую и тепловую энергию, высококачественные удобрения, обеспечивают утилизацию отходов, сокращают выбросы метана в атмосферу. В качестве субстрата для производства биогаза используются отходы, образующиеся в результате содержания животных, такие как навозная жижа или навоз, растительное сырье и органические отходы. Принцип функционирования биогазовой установки прост: с помощью сепарации навозная жижа сгущается от 6 до 10%, вместе с навозом и силосом транспортируется в смеситель, где компоненты перемешиваются. Затем субстрат подвергается процессу ферментации. В ферментере время выдержки составляет 30-45 дней, причем благодаря активности микроорганизмов образуется биогаз. Для предотвращения образования плавающих корок и осадка субстрат постоянно перемешивается. Благодаря этому облегчается выделение образованного газа – биометана. Количество образуемого газа наряду с субстратом зависит от времени выдержки и от рабочей температуры. Биогаз может использоваться во всех известных газовых приборах и машинах. Одним из эффективных способов применения биогаза является комбинированная выработка электрической и тепловой энергии в блочной теплоэлектроцентрали. Биогаз выступает как горючее для дизельного или бензинового двигателя, который для выработки электроэнергии приводит в действие генератор. Образующееся отходящее тепло двигателя используется как тепло для отопления. Выработанная электроэнергия используется для собственных нужд и подается в коммунальные сети [6].

На январь 2024 года в Республике Беларусь действуют:

31 биогазовый комплекс мощностью 40,2 МВт, крупнейший в СПК «Рассвет им. Орловского» (4,8 МВт) [8]



Рисунок 6.4 — Биогазовый комплекс

Источник изображения: https://zviazda.by/sites/default/files/field/image/2_91.jpg

Биогазовая технология в результате биопереработки отходов ферм крупного рогатого скота, свинокомплексов и птицефабрик, отходов пищевых производств обеспечивает:

- получение экологически чистых органических удобрений, лишенных патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, семян сорняков, нитритов и нитратов, специфических запахов;
- улучшение усваиваемости удобрений и повышение урожайности за счет минерализованных фосфора, калия и других биогенных микроэлементов;
- эффективное развитие органического земледелия в стране. Устойчивость производства электроэнергии из биогаза в течение года позволяет покрывать пиковые нагрузки в энергетической сети, в том числе и в случае использования нестабильных возобновляемых источников энергии – например, солнечных и ветровых электростанций.

Где и из чего можно добывать биогаз?

Животноводческие объекты сельскохозяйственных организаций, очистные сооружения городов, полигоны коммунальных отходов, предприятия молочной и пищевой промышленности – вот потенциальные площадки для строительства биогазовых установок. В агропромышленном комплексе кроме отходов животноводства для синтеза биогаза можно также использовать органические отходы: кукурузный или травяной силос, солому зерновых, картофельную мезгу, отходы свеклы в сахарном производстве. По мнению ученых и специалистов, строительство биогазовых установок технически возможно на комплексах по выращиванию крупного рогатого скота с поголовьем свыше 720 голов, свинокомплексах с поголовьем 6 тыс. голов и птицефабриках на 90 тыс. голов. В АПК ежегодно требуется очистить и переработать около 70 млн тонн отходов, в том числе на свиноводческих комплексах — около 5 млн тонн. Биогаз извлекается не только из органических, в том числе растительных отходов, но и на полигонах ТКО. А в нашей стране их действует более 150. Потенциальная энергия, заключенная в отходах, хранящихся на полигонах, равноценна 470 тыс. тонн условного топлива. При их биопереработке в целях получения свалочного газа эффективность составит 20-25 %, что эквивалентно 100-120 тыс. тонн условного топлива.

По данным Государственного кадастра возобновляемых источников энергии, в нашей стране действуют 38 установок по производству биогаза общей электрической мощностью 47,88 МВт.

Биогаз из мусора

Свалочный газ – одна из разновидностей биогаза. Он вырабатывается на полигонах твердых коммунальных отходов. По данным Минприроды, установки по получению биогаза действуют на семи полигонах страны.

На свалках образуются метан и углекислый газ, а также присутствует небольшое количество иных газов, которые улетучиваются в атмосферу и являются одной из причин изменения климата. Однако свалочный газ можно использовать во благо, если оборудовать полигоны комплексами по производству биогаза. В 2013 году в нашей стране только на трех полигонах функционировали такие комплексы.

Теперь самая мощная биогазовая установка, работающая на свалочном газе, действует на Минском полигоне «Северный», а управляет им СЗАО «ТДФ Экотех-Северный».



Рисунок 6.5 — Биогазовая установка, работающая на свалочном газе

Важно отметить, что биогаз можно получать и на законсервированном полигоне. По данным экологов, первые 25 лет после консервации наиболее эффективны с точки зрения объема выработки газа. В небольших объемах его можно добывать в течение 70 лет с момента закрытия полигона [7].

ТЭЦ или мини ТЭЦ на отходах

Отходы производства лесоперерабатывающей промышленности, сельского хозяйства и агропромышленного комплекса – ценный энергетический ресурс, который позволит обеспечить потребности предприятия в электроэнергии и тепле для отопления и технологических процессов. Строительство ТЭЦ или мини ТЭЦ на отходах – решение, которое позволит использовать в качестве топлива отходы от всех предприятий деревообрабатывающей отрасли (ЦБК, фанерные, лесопильные предприятия), а также отходы сельского хозяйства и животноводства. Так, например, широко распространено строительство мини ТЭЦ на древесных отходах.

Среди отходов сельскохозяйственного и деревообрабатывающего производства значительную долю составляет так называемая биомасса – возобновляемый источник энергии для собственной мини ТЭЦ или промышленной котельной.

К таким отходам относятся:

- В деревообрабатывающей отрасли: кора, щепа, опилки, фанерные отходы, торф, обработанные древесные отходы AI-AIV, древесные гранулы.
- В агропереработке: подсолнечная лузга, рисовая шелуха, лузга гречихи, рапс.

Энергетическая утилизация таких отходов – решение, позволяющее предприятиям обеспечить существенную экономию.

На январь 2025 года в Республике Беларусь действуют 11 мини-ТЭЦ на древесном топливе электрической мощностью 100,5 МВт. [8]

6.2. Контрольные вопросы

1. Какие основные виды альтернативных источников энергии используются в РБ?
2. Как работает солнечная электростанция и какими преимуществами обладает?
3. В чем заключается принцип действия ветрогенератора и как его эффективность зависит от условий окружающей среды?
4. Какие особенности имеет использование биомассы в качестве источника энергии и какие проблемы могут возникнуть при её применении?
5. Какие экологические и экономические преимущества имеет использование альтернативных источников энергии в сравнении с традиционными способами выработки электроэнергии?

6.3. Используемые источники

1. Закон Республики Беларусь от 27 декабря 2010 г. № 204-з «О возобновляемых источниках энергии».
2. Беларусь и устойчивое развитие: альтернативные источники энергии: [Электронный ресурс] // Республиканская научно-техническая библиотека, 2023. URL: <https://rlst.by/2023/04/18/belarus-i-ustojchivoe-razvitie-alternativnye-istochniki-energii/>
3. Возобновляемая энергетика: [Электронный ресурс] // БЕЛЭНЕРГО, 2025. URL: <https://www.energo.by/content/investoram/vozobnovlyaemaya-energetika/>
4. Концепцию энергетической безопасности Республики Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.12.2015 № 1084
5. Преимущества использования солнечных батарей в Беларуси: [Электронный ресурс] // Бюро энергорешений, 2023. URL: <https://brenergo.by/preimushhestva-ispolzovaniya-solnechnyh-batarej-v-belarusi/>
6. Марков А.Н. Перспективы и опыт использования биогазовых установок на территории Республики Беларусь: [Электронный ресурс] // БНТУ. URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/29499/699-701.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. Оксана Яновская. Производство биогаза: недорого и экологично: [Электронный ресурс] // «Родная прырода», 2021. URL: <https://zviazda.by/ru/news/20211213/1639379230-proizvodstvo-biogaza-nedorogo-i-ekologichno>
8. Энергия будущего: развитие чистой энергетики в Республики Беларусь: [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности, 2024. URL: https://energoeffect.gov.by/news/news-2024/20240129_news

Практическое занятие №7. Электрические сети: классификация, компоненты, задачи. Тепловые сети: классификация, компоненты, задачи

7.1. Цель занятия

1. Изучить общие сведения об электрических сетях.
2. Изучить общие сведения о тепловых сетях.
3. Ознакомиться с нормативными документами по проектированию сетей.

К объектам по передаче электроэнергии относятся электросетевые объекты передающей электрической сети. К объектам по распределению электроэнергии относятся электросетевые объекты распределительной электрической сети. К объектам по передаче и распределению тепловой энергии относятся объекты тепловой сети, включающие в себя совокупность трубопроводов и устройств, предназначенных для передачи тепловой энергии.

В простейшем случае тепловая и электрическая энергия вырабатываются раздельно – соответственно в котельной и, на так называемой конденсационной электростанции (паротурбинной, газотурбинной, парогазотурбинной), использующих для этого какое-либо органическое топливо (твердое, жидкое, газообразное). При этом котельная располагается в зоне теплопотребления, а электростанция – на значительном удалении от потребителя энергии по условиям ее топливоснабжения, наличия необходимого источника технического водоснабжения, а также вредного воздействия на окружающую природную среду (воздух, вода, почва) [1].

При раздельном производстве энергоносителей тепловая энергия обычно вырабатывается с коэффициентом полезного использования энергии сжигаемого топлива (или КПД установки), равным порядка 90%, а электроэнергия, даже на современных паротурбинных электростанциях, – с КПД около 43%. Причем последний показатель может быть достигнут в термодинамическом цикле с закритическими начальными параметрами пара (давление 24 МПа, температура 560°C), однократным промежуточным перегревом пара, развитым регенеративным подогревом питательной воды, весьма низкими конечными параметрами отработавшего пара (0,03 бар – температура насыщения 24°C), если при этом в качестве топлива используется природный газ.

В зависимости от конкретных условий и технического уровня источников энергии комбинированное производство электрической и тепловой энергии по сравнению с раздельным ее производством может экономить до 30% топлива, что очень важно для рационального использования первичного энергоресурса в энергетике [2].

Общие сведения об электрических сетях

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, включающая в себя: подстанции, распределительные пункты, воздушные (ВЛ) и кабельные линии (КЛ) электропередачи, токопроводы.

По функциональному назначению сети подразделяются на системообразующие, питающие и распределительные.

Системообразующими называются сети, предназначенные для объединения электростанций и энергосистем на параллельную работу (сети 330 кВ и выше). Питающие – сети, в которых электроэнергия передается от подстанций системообразующей сети или от шин 110...220 кВ крупных электростанций к центрам питания распределительных сетей на большие расстояния. Распределительными называются сети, предназначенные для распределения электроэнергии между электроприемниками. К ним относятся городские и сельские электрические сети, а также сети промышленных предприятий. Центры питания таких сетей, как правило, расположены на небольшом расстоянии от большого количества электроприемников.

Номинальные напряжения электрических сетей. Для сетей переменного тока стандартный ряд номинальных напряжений: 220/127, 380/220, 660/380 В; 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750, 1150 кВ. У напряжений до 1000 В в числителе указано линейное, а в знаменателе – фазное напряжение. Выше 1000 В указывается только линейное напряжение. Системы напряжений 220/127 В, 3 кВ и 150 кВ при проектировании на перспективу не используются. Система 380/220 В применяется для питания большинства промышленных и бытовых потребителей. Напряжение 660/380 В используется в промышленности и при разработке полезных ископаемых.

Классы напряжений 6 и 10 кВ применяются для распределения электроэнергии на промышленных предприятиях, а также в сельскохозяйственных и городских сетях. Преимущественно используется напряжение 10 кВ. Напряжение 20 кВ имеет малое распространение; 35, 110 и 220 кВ – напряжения питающих сетей. Напряжения 330, 500, 750 и 1150 кВ используются для создания системообразующих сетей и для передачи электроэнергии на большие расстояния. Напряжения 330, 500 и 750 кВ применяются также для выдачи мощности на крупных ЭС.

В зависимости от номинального напряжения все сети подразделяются на сети низкого напряжения (до 1000 В), сети высокого напряжения (от 1000 В до 220 кВ включительно) и сети сверхвысокого напряжения (330 кВ и выше). При увеличении номинального напряжения сети возрастает стоимость электрооборудования. С другой стороны, при снижении напряжения увеличиваются потери мощности и энергии, т. к. возрастает ток при той же передаваемой мощности. Напряжение, при котором затраты имеют минимум, называется рациональным. Рациональное напряжение зависит от длины линий и передаваемой мощности [3].

Общие сведения о тепловых сетях

Тепловая сеть (теплосеть) — совокупность устройств (включая центральные тепловые пункты, насосные станции), предназначенных для передачи тепловой энергии, теплоносителя от источников тепловой энергии до теплопотребляющих установок.

Тепловые сети подразделяются:

- по своему назначению на:
 - магистральные;
 - распределительные.
- по виду теплоносителя на:
 - водяные;

- паровые;
- сети сбора и возврата конденсата (конденсатопроводы).

Магистральная тепловая сеть – тепловая сеть от источников тепловой энергии до центрального теплового пункта, контрольного пункта учета тепла или задвижки на ответвлении от магистральной тепловой сети к распределительной тепловой сети (при отсутствии центрального теплового пункта и (или) контрольного пункта учета тепла).

Распределительная тепловая сеть – тепловая сеть от центрального теплового пункта и (или) контрольного пункта учета тепла на магистральной тепловой сети до индивидуального теплового пункта здания или сооружения, а также от задвижки на ответвлении от магистральной тепловой сети до индивидуального теплового пункта здания или сооружения.

Водяные тепловые сети делятся на закрытые и открытые в зависимости от способа подачи тепловой энергии к местным системам горячего водоснабжения.

В закрытой системе вода в местную систему горячего водоснабжения поступает из питьевого водопровода и подогревается в водоводяных подогревателях, установленных на вводе тепловой сети в каждое здание или группу зданий. В открытой системе вода для местной системы горячего водоснабжения отбирается непосредственно из тепловой сети на вводе ее в каждое здание или группу зданий.

Водяные тепловые сети по способу исполнения делятся на одно-, двух-, трех- и четырехтрубные.

Однотрубные водяные тепловые сети применяются для централизованной подачи воды на горячее водоснабжение или технологические процессы при установке у всех потребителей местных баков-аккумуляторов горячей воды.

Двухтрубные водяные тепловые сети являются основными для совместной подачи тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых районов и промышленных потребителей.

Трехтрубные водяные сети имеют два подающих трубопровода и один общий обратный. Четырехтрубные водяные тепловые сети имеют два двухтрубных трубопровода: один для подачи тепловой энергии на отопление и вентиляцию, второй – для подачи тепловой энергии на горячее водоснабжение или на технологические процессы.

Паровые тепловые сети (паропроводы) делятся на паропроводы перегретого и насыщенного пара. У отдельных потребителей, расходующих пар более низкого давления на вводе паровой сети, предусмотрены редукиционные или редукиционно-охладительные установки.

Конденсатопроводы подразделяются на сборные и напорные. Конденсат от теплообменников (потребителей пара) по сборным конденсатопроводам подается к сборным бакам конденсатных насосных, откуда по напорным конденсатопроводам подается к теплоисточнику.

Способ прокладки тепловых сетей – надземный и подземный. Подземный делится на канальную прокладку тепловой сети в полупроходных, проходных и непроходных каналах, туннелях и бесканальную. Трубопроводы тепловой сети всех видов прокладки должны иметь тепловую изоляцию [2].

7.2. Контрольные вопросы

1. Назовите стандартный ряд номинальных напряжений сетей переменного тока.
2. Назовите виды тепловых сетей и их назначение.
3. С помощью официальных интернет-источников изучите актуальные нормативные документы по проектированию электрических и тепловых сетей.

7.3. Используемые источники

1. Общие сведения о передаче и распределении электроэнергии:
[Электронный ресурс] // KGEU LMS. URL:
<https://lms.kgeu.ru/mod/resource/view.php?id=78200>.
2. Теплоснабжение и тепловые сети: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Л. А. Тарасевич. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2017.
3. Общая энергетика: учебное пособие / В. И. Полищук, Ю. С. Боровиков. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. — 201 с.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Вопросы к итоговой аттестации по дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике»

1. Автоматизация в энергетике. Функции и задачи.
2. Энергетика. Общие сведения.
3. Виды энергии и основные способы её преобразования.
4. Классификация энергетических ресурсов.
5. Виды энергетического топлива.
6. Традиционная энергетика. Виды. Особенности.
7. Альтернативная энергетика. Виды. Особенности.
8. Источники генерации электрической энергии. Виды и принцип работы.
9. Источники генерации тепловой энергии. Виды и принцип работы.
10. Типы гидроэнергетических установок. Влияние гидроэнергетических установок на экологию.
11. Малые ГЭС. Назначение. Принцип работы.
12. Атомные электростанции (АЭС). Назначение. Принцип работы.
13. Безопасность АЭС.
14. Распределение тепловой и электрической энергии.
15. Электрические сети. Общие понятия.
16. Тепловые сети. Общие понятия.
17. Качество электроэнергии.
18. Основные показатели качества электроэнергии.
19. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии. Цели и задачи.
20. Экологические аспекты энергетики.

Перечень тем рефератов, контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

1. Цели и задачи реализации государственной политики в области энергосбережения Республики Беларусь на современном этапе.
2. Современное состояние энергетики Республики Беларусь.
3. Объекты автоматизации в энергетике.
4. Автоматизация процессов на энергетических объектах.
5. Нетрадиционные (альтернативные) способы получения энергии в Республике Беларусь.
6. Источники генерации электрической энергии Республики Беларусь на примере объекта генерации.
7. Источники генерации тепловой энергии Республики Беларусь на примере конкретного объекта генерации.
8. Электрические сети Республики Беларусь. Особенности. Назначение.
9. Тепловые сети Республики Беларусь. Особенности. Назначение.
10. Малые ГЭС Республики Беларусь.
11. Ветроэнергетика Республики Беларусь.

12. Влияние показателей качества электроэнергии на работу электроустановок.
13. Белорусская АЭС.
14. Перспективы развития атомной энергетики в Республике Беларусь.
15. Экологические аспекты энергетики.

Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении промежуточной аттестации в форме зачета

Зачтено: достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы по учебной дисциплине; использование научной терминологии, грамотное, логическое и правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; освоение основной и дополнительной литературы; умение ориентироваться в основных теориях, направлениях по изучению дисциплины; самостоятельная работа на практических занятиях; участие в круглых столах; подготовка реферата на выбранную тему; участие в групповых обсуждениях.

Не зачтено: недостаточно полный объем знаний в объеме учебной программы; отсутствие знаний по основной литературе; неумение использовать научную терминологию; наличие в ответе грубых логических ошибок; пассивность на практических занятиях и обсуждениях; отказ от ответа; неявка на аттестацию без уважительных причин.

Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении текущей аттестации в форме реферата

Зачтено: содержание реферата соответствует теме. Тема раскрыта достаточно полно, актуальна. Обучающийся владеет материалом, изложенном в реферате.

Не зачтено: реферат не выполнен. Содержание реферата не соответствует тематике, неактуально и содержит много логических ошибок. Обучающийся не владеет материалом, изложенном в реферате.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Белорусский национальный технический университет**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор

Белорусского национального
технического университета_____
С.В. Харитончик_____
19.06.2024г.

Регистрационный № УД-ФИТР45-6/уч.

Объекты автоматизации в энергетике**Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности****6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств»****профилизации Автоматизация технологических процессов и
производств в энергетике**

2024 г.

1. Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 6-05-0713-04-2023 и учебных планов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике».

СОСТАВИТЕЛЬ:

И.И. Гутич, старший преподаватель кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Е.Е. Трофименко, профессор кафедры «Техническая физика» Белорусского национального технического университета, кандидат физико – математических наук;

П.А. Созонов, ведущий инженер ООО «ИнноТехСолюшнс».

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета (протокол №_10_ от _06.05.2024г.)

Заведующий кафедрой _____ А.В. Бородуля

Методической комиссией факультета информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета (протокол №__9__ от _30.05.2024г.)

Председатель методической комиссии _____ С.В. Васильев

Научной библиотекой БНТУ _____ Т.И. Бирюкова

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (протокол №__6__ секции №1 от __19.06.2024г. _____)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике» разработана для специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике».

Целью изучения дисциплины является теоретическая и практическая подготовка специалистов в области автоматизации энергопотребления: видами и способами получения тепловой, электрической энергии, видами электрических и тепловых станций, использованием природных ресурсов, традиционных и нетрадиционных источников энергии, взаимосвязи энергетики и окружающей среды.

Основными задачами дисциплины является формирование знаний по принципам функционирования теплоэнергетических и энергетических установок, использующих энергию традиционных, нетрадиционных возобновляемых источников, а также способы использования этой энергии.

Данная дисциплина базируется на общенаучных и специальных дисциплинах: физика, электротехника, схемотехника.

В результате освоения дисциплины «Объекты автоматизации в энергетике» студент должен

знать:

- основные физические явления, связанные с получением электрической и тепловой энергии;
- способы получения электрической и тепловой энергии;
- устройство теплоэнергетических установок, основное и вспомогательное оборудование электростанций, принципы работы;

уметь:

- применить полученные знания, навыки и умения в последующей профессиональной деятельности;
- использовать нормативно-правовые документы в своей профессиональной деятельности;

иметь навык:

- ведения дискуссии на научные и производственные темы в области автоматизации технологических процессов и производств в сфере энергетики.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

СК-9. Знать задачи технологического управления энергохозяйствами предприятий и гражданских зданий, как объектов внедрения систем учета энергопотребления.

Согласно учебному плану для очной (дневной) формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 72 ч., из них аудиторных - 36 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Очная (дневная) форма получения высшего образования						
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации	Форма промежуточной аттестации
2	4	18	-	18	Реферат	зачет

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение

Основные понятия, термины и определения, условные обозначения в области автоматизации энергопотребления. Нормативно –правовая база.

Тема 2. Энергетика

Энергетика. Основные цели и задачи реализации государственной политики в области энергопотребления Республики Беларусь. Современное состояние энергетики.

Тема 3. Энергия, ее виды и способы преобразования

Энергия. Назначение и использование. Общая характеристика способов получения энергии. Топливо-энергетические ресурсы.

Тема 4. Источники генерации электрической и тепловой энергии: виды и принципы работы

Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: тепловые электростанции, гидроэлектростанции, альтернативная генерация.

Тема 5. Атомные электростанции

Выработка энергии, классификация, принцип действия атомных электростанций.

Тема 6. Распределение электрической и тепловой энергии

Назначение электрических и тепловых сетей. Электрические сети: классификация, компоненты, задачи. Тепловые сети: классификация, компоненты, задачи.

Тема 7. Качество электроэнергии

Качество электроэнергии. Основные показатели качества электроэнергии.

Тема 8. Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления(АСКУЭ)

Компоненты системы АСКУЭ. Цели и задачи системы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Количество часов СР	Форма контроля знаний
1	2	3	4	5	6	7
	4 семестр					
1.	Введение	2		-	-	
2.	Энергетика	2		-	2	
	Практическое занятие №1. Основные цели и задачи реализации государственной политики в области энергосбережения Республики Беларусь		2	-	2	Круглый стол
3.	Энергия, ее виды и способы преобразования	2		-	2	
	Практическое занятие №2. Топливно-энергетические ресурсы		2	-	2	Реферат
4.	Источники генерации электрической и тепловой энергии: виды и принципы работы	4		-	2	

	Практическое занятие №3. Выработка энергии, классификация, принцип действия источников генерации: тепловые электростанции		4	-	6	Реферат
	Практическое занятие №4. Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: гидроэлектростанции		2	-	4	Реферат
	Практическое занятие №5. Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: альтернативная генерация		4	-	4	Реферат
5.	Атомные электростанции	2		-	2	
	Практическое занятие №6. Выработка электроэнергии, классификация, принцип действия источников генерации: атомные электростанции		2	-	2	Реферат
6.	Распределение электрической и тепловой энергии	2		-	2	
	Практическое занятие №7. Электрические сети: классификация, компоненты, задачи. Тепловые сети: классификация, компоненты, задачи		2	-	2	Круглый стол
7.	Качество электроэнергии	2		-	2	
8.	Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления (АСКУЭ)	2		-	2	
	Итого за семестр	18	18		36	зачет
	Всего аудиторных часов	36				

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Основы энергосбережения и нетрадиционные источники энергии : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» и 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / С. П. Кундас. – Минск: БНТУ, 2020.
2. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления" [Электронный ресурс]: для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Робототехнические системы"; И. И. Гутич. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2021.
3. Назаров, В.И. Системы регулирования теплоэнергетических процессов на ТЭС и АЭС: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции"; 1-43 01 08 "Проектирование и эксплуатация атомных электрических станций"; 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / В. И. Назаров; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции". – Минск: БНТУ, 2021.
4. Производство, транспорт и потребление электроэнергии [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 06 "Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент" / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение"; сост.: В. Б. Козловская, М. Л. Протасеня, Т. М. Ярошевич. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2019.

Дополнительная литература

5. Учет, контроль и регулирование энергоресурсов [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 06 "Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО "Энергосбережение и возобновляемые источники энергии"; сост.: С. В. Климович, И. В. Янцевич. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2017.

6. Холкин, Д.В. Люди цифры: шесть взглядов на новую энергетику / Дмитрий Владимирович Холкин. – Москва: [б. и.], 2020. – 173 с.
7. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальностей: 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции", 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост.: А. Г. Герасимова, С. А. Качан. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2017.
8. Технические средства автоматизированных систем управления [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности: 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост. А. Л. Буров. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2017.
9. Фурсанов, М. И. Расчеты технологического расхода (потерь) электроэнергии на ее транспорт в электрических сетях энергосистем: учебно-методическое пособие / М. И. Фурсанов, А. А. Золотой, В. В. Макаревич; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электрические системы". – Минск: БНТУ, 2018.
10. СТБ 2096-2023 Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии. Общие технические требования.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- подготовка и выступление студентов по подготовленному реферату в группе;
- проведение круглых столов по отдельным темам;
- выступление студента на конференции по подготовленному материалу;
- сдача зачета по дисциплине.

Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении промежуточной аттестации в форме зачета

Зачтено: достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы по учебной дисциплине; использование научной терминологии, грамотное, логическое и правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и

профессиональных задач; освоение основной и дополнительной литературы; умение ориентироваться в основных теориях, направлениях по изучению дисциплины; самостоятельная работа на практических занятиях; участие в круглых столах; подготовка реферата на выбранную тему; участие в групповых обсуждениях.

Не зачтено: недостаточно полный объем знаний в объеме учебной программы; отсутствие знаний по основной литературе; неумение использовать научную терминологию; наличие в ответе грубых логических ошибок; пассивность на практических занятиях и обсуждениях; отказ от ответа; неявка на аттестацию без уважительных причин.

Критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении текущей аттестации в форме реферата

Реферат.

Зачтено: содержание реферата соответствует теме. Тема раскрыта достаточно полно, актуальна. Обучающийся владеет материалом, изложенном в реферате.

Не зачтено: реферат не выполнен. Содержание реферата не соответствует тематике, неактуально и содержит много логических ошибок. Обучающийся не владеет материалом, изложенном в реферате.

Примерная тематика рефератов

1. Энергопотребление и его роль в развитии человеческого общества.
2. Виды ТЭР, органические топлива и их мировые запасы, топливно-энергетический баланс.
Мировые тенденции в использовании различных видов топлива, изменения в последние годы и прогноз потребления до 2030 года.
3. Тепловые электрические станции (ТЭС) Республики Беларусь.
4. Атомная электрическая станция (АЭС) Республики Беларусь.
5. Тепловые схемы АЭС - устройство и принцип действия.
6. Плюсы и минусы атомной энергетики.
7. Гидроэлектростанции (ГЭС) Республики Беларусь.
8. Мировая практика получения и использования гидроэнергии.
9. Основные потребители тепловой энергии.
10. Электрические сети, классификация.
11. Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). Виды ВЭР.
12. Примеры и перспективы использования ВЭР на предприятиях.
13. Воздействие ТЭС на окружающую среду.
14. Воздействие АЭС на окружающую среду.
15. Автоматизация ТЭС.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

16. Автоматизация энергопотребления.
17. Объекты автоматизации в энергетике.
18. Современное состояние энергетики РБ.
19. Назначение и использование энергии различных видов.
20. Нетрадиционные способы получения энергии в РБ.
21. Источники генерации электрической энергии РБ.
22. Источники генерации тепловой энергии РБ.
23. Электрические сети РБ.
24. Тепловые сети РБ.
25. Малые ГЭС РБ.
26. Ветроэнергетика РБ.
27. Влияние показателей качества электроэнергии на работу электроустановок.
28. Белорусская АЭС.
29. Перспективы развития атомной энергетики в РБ.
30. Экологические аспекты энергетики.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- выполнение индивидуальных заданий;
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по выбранным темам;
- составление тематической подборки литературных источников;
- работа с нормативными документами в предметной области;
- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола заседания кафедры)
Согласование не требуется	Кафедра «Робототехнические системы»		Содержание данной учебной программы не требует согласования с другими учебными дисциплинами специальности. Протокол № ____ от

ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНИКОВ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОСОБИЙ, ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»

Основная литература

1. Основы современной энергетики: в 2-х томах / А. Д. Трухня. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Век глобализации. Выпуск №2 / Э. В. Гирусов. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. Общая энергетика: учебное пособие / В. И. Полищук, Ю. С. Боровиков. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.
4. Теплоснабжение и тепловые сети: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Л. А. Тарасевич. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2017.
5. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления" для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / И. И. Гутич. — Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021.
6. Режимы работы и эксплуатация ТЭС [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальностей 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции", 1-53 01 04 "Автоматизация и управление энергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост. С. А. Качан – Минск: БНТУ, 2015.
7. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Тепловые электрические станции» для специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» [Электронный ресурс] // Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции»; сост.: Н. Б. Карницкий, С. А. Качан – Минск: БНТУ, 2022.

Дополнительная литература

8. Автоматизация в энергетике – энергоэффективность предприятия: [Электронный ресурс] // AP-N. URL: <https://ap-n.com/avtomatizacija-v-jenergetike>.
9. Энергетика: [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика>.
10. Энергетика: [Электронный ресурс] // Invest in Belarus. URL: <https://investinbelarus.by/docs/Energy.pdf>.
11. Белорусский опыт развития малой и нетрадиционной энергетики: [Электронный ресурс] // SPWR. URL: <https://spwr.by/stati/beloruskiy-opyt-razvitiya-maloy-i-netraditsionnoy-energetiki.html>.
12. РУП «Белорусская атомная электростанция»: [Электронный ресурс] // БелАЭС. URL: <https://belaes.by/ru/>.

13. Курс лекций по энергосбережению: [Электронный ресурс] // Физический факультет БГУ. URL: <https://fsc.bsu.by/wp-content/uploads/2016/02/kurs-lektsij-po-e-nergosberezheniyu.docx>.
14. Беларусь и устойчивое развитие: альтернативные источники энергии: [Электронный ресурс] // RLST. URL: <https://rlst.by/2023/04/18/belarus-i-ustojchivoe-razvitie-alternativnye-istochniki-energii/>.
15. Общие сведения о передаче и распределении электроэнергии: [Электронный ресурс] // KGEU LMS. URL: <https://lms.kgeu.ru/mod/resource/view.php?id=78200>.
16. Производство электрической энергии: [Электронный ресурс] // Energo.by. URL: <https://energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/proizvodstvo-elektricheskoy-energii/>.
17. Производство тепловой энергии: [Электронный ресурс] // Energo.by. URL: <https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/proizvodstvo-teplovoy-energii/>.
18. Энергетика в Беларуси: [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь, 2025. URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/energetika>
19. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 №103): [Электронный ресурс] // Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. URL: <https://gosstandart.gov.by/approved-state-program-energy-saving-for-2021-2025-years>
20. Энергетика в цифрах: [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Республики Беларусь, 2025. URL: <https://minenergo.gov.by/press/energetika-v-tsifrakh>
21. Как производится электроэнергия на тепловой электростанции (ТЭЦ): [Электронный ресурс] // Школа для электрика. URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/2027-kak-proizvoditsya-elektroenergiya-na-teplovoy-elektrostantsii.html#:~:text=ElectricalSchool.info>
22. Гидроэнергетика: [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/>
23. Ядерная энергетика: [Электронный ресурс] // Словари и энциклопедии на Академике. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/705542>
24. Как работает атомная станция: [Электронный ресурс] // Машиностроительный дивизион «Росатома». URL: [https://aem-group.ru/mediacenter/informatsiy/atomnaya-elektrostantsiya-\(aes\).html](https://aem-group.ru/mediacenter/informatsiy/atomnaya-elektrostantsiya-(aes).html)
25. Атомные электростанции: технологии, безопасность и перспективы: [Электронный ресурс] // Выставка ЭЛЕКТРО. URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/24008/>
26. Как устроен энергоблок: [Электронный ресурс] // Машиностроительный дивизион «Росатома». URL: <https://aem-group.ru/mediacenter/informatsiy/kak-rabotaet-yadernyyj-reaktor.html>

27. Варианты обращения с отработавшим топливом: [Электронный ресурс] // Международное агентство по атомной энергии. URL: <https://www.iaea.org/ru/temy/varianty-obrashcheniya-s-otrabotavshim-toplivom>
28. Возобновляемая энергетика: [Электронный ресурс] // БЕЛЭНЕРГО, 2025. URL: <https://www.energo.by/content/investoram/vozobnovlyaemaya-energetika/>
29. Преимущества использования солнечных батарей в Беларуси: [Электронный ресурс] // Бюро энергорешений, 2023. URL: <https://brenergo.by/preimushhestva-ispolzovaniya-solnechnyh-batarej-v-belarusi/>
30. Марков А.Н. Перспективы и опыт использования биогазовых установок на территории Республики Беларусь: [Электронный ресурс] // БНТУ. URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/29499/699-701.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
31. Оксана Яновская. Производство биогаза: недорого и экологично: [Электронный ресурс] // «Родная прырода», 2021. URL: <https://zviazda.by/ru/news/20211213/1639379230-proizvodstvo-biogaza-nedorogo-i-ekologichno>
32. Энергия будущего: развитие чистой энергетики в Республики Беларусь: [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности, 2024. URL: https://energoeffect.gov.by/news/news-2024/20240129_news
33. . Измерительная система: [Электронный ресурс] // Экнис-Инжиниринг. URL: http://eknis.net/uploads/files/emcos_zhkh.pdf
34. Матрица – производство систем энергоучета: [Электронный ресурс] // ООО «Матрица», 2025. URL: <http://matritca.ru/2-uncategorised>
35. PLC || Меркурий. Описание на устройство сбора данных по сетям Меркуры: [Электронный ресурс] // ГК Новые технологии, 2025. URL: <https://mercury.nt-rt.ru/images/manuals/mercuryPLC.pdf>
36. Схемы включения приборов учета: [Электронный ресурс] // Филиал «ЭНЕРГОСБЫТ». URL: <https://www.energosbyt.by>

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

37. Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии. Общие технические требования: СТБ 2096-2023. — Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2024.
38. Электроэнергетика. Основные термины и определения: СТБ 2574-2020. — Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2020.
39. О возобновляемых источниках энергии: Закон Республики Беларусь № 204-З. — Минск: Совет Республики Национального собрания Республики Беларусь, 2010.
40. Об энергосбережении: Закон Республики Беларусь № 111-З. — Минск: Совет Республики Национального собрания Республики Беларусь, 2021.

41. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. — Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997.
42. Постановление министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 16 ноября 2020 г. № 90 «Об утверждении и введении в действие строительных норм СН 3.04.02-2020 Гидротехнические сооружения специального назначения»
43. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.12.2015 № 1084