

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра электроэнергетики и электротехники**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

« \_\_\_\_\_ » декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

**Б1.Б.10**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ  
Электроснабжение**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Стр.

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	4
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	10
4.3 Лабораторные работы.....	53
4.4 Практические занятия.....	53
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	53
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>54</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>54</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>54</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>55</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>56</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических занятий .....	56
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>68</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>68</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>69</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>75</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>76</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование знаний о видах природных источников энергии и способах преобразования их в электрическую и тепловую энергию в различных типах энергетических установок.

## Задачи дисциплины

Изучение способов преобразования энергии и принципиально-технологических схем различных типов энергетических установок.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОК-7	способность к самоорганизации и самообразованию	<b>знать:</b> - методы самостоятельного изучения современных энергетических установок; <b>уметь:</b> - работать с технической литературой; <b>владеть:</b> - навыками самостоятельного изучения типов энергетических установок
ПК-5	готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности	<b>знать:</b> - основные виды энергоресурсов и способы их преобразования в электрическую и тепловую энергию; - основные типы энергетических установок; <b>уметь:</b> - использовать методы оценки основных видов энергоресурсов и их преобразования в электрическую и тепловую энергию; <b>владеть:</b> - навыками анализа технологических схем производства электрической и тепловой энергии

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.10 Общая энергетика относится к базовой части.

Дисциплина Общая энергетика базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Физика, Химия, История отрасли и введение в специальность.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Общая энергетика представляет основу для изучения следующих дисциплин: Электрические машины, Электрические станции и подстанции.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	1	2	72	36	18	-	18	36	-	зачет
Заочная	1	-	72	8	4	-	4	60	-	зачет
Заочная (ускоренное обучение)	1	-	72	6	4	-	2	62	-	зачет

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			2
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	36	10	36
Лекции (Лк)	18	10	18
Практические занятия (ПЗ)	18	-	18
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	36	-	36
Подготовка к практическим занятиям	18	-	18
Подготовка к зачету	18	-	18
<b>III. Промежуточная аттестация зачет</b>	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины, час.	72	-	72
зач. ед.	2	-	2

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Источники энергии</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>1</b>
1.1.	Классификация источников энергии	0.5	0.25	-	0.25

1.2.	Характеристика возобновляемых и невозобновляемых источников энергии	0.75	0.5	-	0.25
1.3.	Современные способы получения энергии	0.75	0.25	-	0.5
<b>2.</b>	<b>Энергетическое топливо</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
2.1.	Классификация топлив	1.25	0.25	-	1
2.2.	Технические характеристики топлив	5.25	0.25	4	1
2.3.	Характеристики отдельных видов топлива	1.5	0.5	-	1
<b>3.</b>	<b>Преобразование энергии</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
3.1.	Основные понятия и определения термодинамики	1.5	0.5	-	1
3.2.	Термодинамические процессы и циклы	6.5	0.5	5	1
3.3.	Основные законы термодинамики	2	1	-	1
<b>4.</b>	<b>Тепловые электростанции</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
4.1.	Конденсационные электростанции	5	1	3	1
4.2.	Теплофикационные электростанции	2.5	0.5	-	2
4.3.	Основное и вспомогательное оборудование тепловых электростанций	1.5	0.5	-	1
<b>5.</b>	<b>Газотурбинные и парогазовые установки</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>
5.1.	Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема	2	1	-	1
5.2.	Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема	2	1	-	1
<b>6.</b>	<b>Атомные электростанции</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>3</b>
6.1.	Устройство и классификация ядерных реакторов	1.5	0.5	-	1
6.2.	Технологическая схема атомной электростанции	2	1	-	1
6.3.	Основные достоинства и недостатки атомных электростанций	1.5	0.5	-	1
<b>7.</b>	<b>Гидроэнергетические установки</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>8</b>
7.1.	Классификация гидроэнергетических установок	1.25	0.25	-	1
7.2.	Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций	4.25	0.25	3	1
7.3.	Классификация гидротурбин	0.75	0.25	-	0.5
7.4.	Малые ГЭС и микро ГЭС	0.75	0.25	-	0.5
7.5.	Насосная станция. Классификация насосных станций	1.25	0.25	-	1
7.6.	Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)	1.25	0.5	-	1
7.7.	Приливные электростанции (ПЭС)	1.5	0.5	-	1
7.8.	Волновые электростанции	1.5	0.5	-	1
7.9.	Перспективы развития гидроэнерге-	1.25	0.25	-	1

	тики в России и в мире				
<b>8.</b>	<b>Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
8.1.	Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество	4.25	0.25	3	1
8.2.	Энергия ветра. Ветроэнергетические установки	1.25	0.25	-	1
8.3.	Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии	1.5	0.5	-	1
8.4.	Водородная энергетика	1.5	0.5	-	1
8.5.	Геотермальная энергетика	1.5	0.5	-	1
<b>9.</b>	<b>Накопители энергии</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
9.1.	Механические накопители энергии	1.5	0.5	-	1
9.2.	Тепловые накопители энергии	1.5	0.5	-	1
9.3.	Электрические накопители энергии	1.5	0.5	-	1
9.4.	Химические накопители энергии	1.5	0.5	-	1
<b>10.</b>	<b>Проблемы современной энергетики</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>3</b>
10.1.	Проблемы энергетики	2	0.5	-	1.5
10.2.	Энергосбережение	2	0.5	-	1.5
	<b>ИТОГО</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Источники энергии</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
1.1.	Классификация источников энергии	2.2	0.2	-	2
1.2.	Характеристика возобновляемых и невозобновляемых источников энергии	2.2	0.2	-	2
1.3.	Современные способы получения энергии	2	-	-	2
<b>2.</b>	<b>Энергетическое топливо</b>	<b>7.4</b>	<b>0.4</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
2.1.	Классификация топлив	2.2	0.2	-	2
2.2.	Технические характеристики топлив	3.2	0.2	1	2
2.3.	Характеристики отдельных видов топлива	2	-	-	2
<b>3.</b>	<b>Преобразование энергии</b>	<b>7.4</b>	<b>0.4</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
3.1.	Основные понятия и определения термодинамики	2.1	0.1	-	2
3.2.	Термодинамические процессы и циклы	3.1	0.1	1	2

3.3.	Основные законы термодинамики	2.2	0.2	-	2
<b>4.</b>	<b>Тепловые электростанции</b>	<b>7.4</b>	<b>0.4</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
4.1.	Конденсационные электростанции	2.3	0.3	1	1
4.2.	Теплофикационные электростанции	2.1	0.1	-	2
4.3.	Основное и вспомогательное оборудование тепловых электростанций	3	-	-	3
<b>5.</b>	<b>Газотурбинные и парогазовые установки</b>	<b>6.2</b>	<b>0.2</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
5.1.	Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема	3.1	0.1	-	3
5.2.	Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема	3.1	0.1	-	3
<b>6.</b>	<b>Атомные электростанции</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
6.1.	Устройство и классификация ядерных реакторов	2.2	0.2	-	2
6.2.	Технологическая схема атомной электростанции	2.1	0.1	-	2
6.3.	Основные достоинства и недостатки атомных электростанций	2.1	0.1	-	2
<b>7.</b>	<b>Гидроэнергетические установки</b>	<b>7.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>
7.1.	Классификация гидроэнергетических установок	0.6	0.1	-	0.5
7.2.	Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций	1.1	0.1	0.5	0.5
7.3.	Классификация гидротурбин	0.6	0.1	-	0.5
7.4.	Малые ГЭС и микро ГЭС	0.5	-	-	0.5
7.5.	Насосная станция. Классификация насосных станций	0.5	-	-	0.5
7.6.	Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)	0.6	0.1	-	0.5
7.7.	Приливные электростанции (ПЭС)	1.1	0.1	-	1
7.8.	Волновые электростанции	1.1	0.1	-	1
7.9.	Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире	1	-	-	1
<b>8.</b>	<b>Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	<b>6.9</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>
8.1.	Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество	1.6	0.1	0.5	1
8.2.	Энергия ветра. Ветроэнергетические установки	1.1	0.1	-	1
8.3.	Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии	1.1	0.1	-	1
8.4.	Водородная энергетика	2	-	-	2
8.5.	Геотермальная энергетика	1.1	0.1	-	1
<b>9.</b>	<b>Накопители энергии</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
9.1.	Механические накопители энергии	1.1	0.1	-	1
9.2.	Тепловые накопители энергии	2.1	0.1	-	2
9.3.	Электрические накопители энергии	2.1	0.1	-	2

9.4.	Химические накопители энергии	1.1	0.1	-	1
<b>10.</b>	<b>Проблемы современной энергетики</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	-	<b>6</b>
10.1.	Проблемы энергетики	3.2	0.2	-	3
10.2.	Энергосбережение	3.2	0.2	-	3
	<b>ИТОГО</b>	<b>68</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>60</b>

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Источники энергии</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	-	<b>6</b>
1.1.	Классификация источников энергии	2.2	0.2	-	2
1.2.	Характеристика возобновляемых и невозобновляемых источников энергии	2.2	0.2	-	2
1.3.	Современные способы получения энергии	2	-	-	2
<b>2.</b>	<b>Энергетическое топливо</b>	<b>6.9</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>
2.1.	Классификация топлив	2.2	0.2	-	2
2.2.	Технические характеристики топлив	2.7	0.2	0.5	2
2.3.	Характеристики отдельных видов топлива	2	-	-	2
<b>3.</b>	<b>Преобразование энергии</b>	<b>6.9</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>
3.1.	Основные понятия и определения термодинамики	2.1	0.1	-	2
3.2.	Термодинамические процессы и циклы	2.6	0.1	0.5	2
3.3.	Основные законы термодинамики	2.2	0.2	-	2
<b>4.</b>	<b>Тепловые электростанции</b>	<b>6.9</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>
4.1.	Конденсационные электростанции	1.8	0.3	0.5	1
4.2.	Теплофикационные электростанции	2.1	0.1	-	2
4.3.	Основное и вспомогательное оборудование тепловых электростанций	3	-	-	3
<b>5.</b>	<b>Газотурбинные и парогазовые установки</b>	<b>6.2</b>	<b>0.2</b>	-	<b>6</b>
5.1.	Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема	3.1	0.1	-	3
5.2.	Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема	3.1	0.1	-	3

<b>6.</b>	<b>Атомные электростанции</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
6.1.	Устройство и классификация ядерных реакторов	2.2	0.2	-	2
6.2.	Технологическая схема атомной электростанции	2.1	0.1	-	2
6.3.	Основные достоинства и недостатки атомных электростанций	2.1	0.1	-	2
<b>7.</b>	<b>Гидроэнергетические установки</b>	<b>7.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>
7.1.	Классификация гидроэнергетических установок	0.6	0.1	-	0.5
7.2.	Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций	1.1	0.1	0.5	0.5
7.3.	Классификация гидротурбин	0.6	0.1	-	0.5
7.4.	Малые ГЭС и микро ГЭС	0.5	-	-	0.5
7.5.	Насосная станция. Классификация насосных станций	0.5	-	-	0.5
7.6.	Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)	0.6	0.1	-	0.5
7.7.	Приливные электростанции (ПЭС)	1.1	0.1	-	1
7.8.	Волновые электростанции	1.1	0.1	-	1
7.9.	Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире	1	-	-	1
<b>8.</b>	<b>Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
8.1.	Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество	2.1	0.1	-	2
8.2.	Энергия ветра. Ветроэнергетические установки	2.1	0.1	-	2
8.3.	Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии	1.1	0.1	-	1
8.4.	Водородная энергетика	2	-	-	2
8.5.	Геотермальная энергетика	1.1	0.1	-	1
<b>9.</b>	<b>Накопители энергии</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
9.1.	Механические накопители энергии	1.1	0.1	-	1
9.2.	Тепловые накопители энергии	2.1	0.1	-	2
9.3.	Электрические накопители энергии	2.1	0.1	-	2
9.4.	Химические накопители энергии	1.1	0.1	-	1
<b>10.</b>	<b>Проблемы современной энергетики</b>	<b>6.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
10.1.	Проблемы энергетики	3.2	0.2	-	3
10.2.	Энергосбережение	3.2	0.2	-	3
	<b>ИТОГО</b>	<b>68</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>62</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### Раздел 1. Источники энергии

#### Тема 1.1. Классификация источников энергии

Под энергоресурсами понимаются материальные объекты, в которых сосредоточена возможная для использования энергия.

Энергия – **количественная оценка различных форм движения материи**, которые могут превращаться друг в друга, – условно подразделяется по видам: химическая, механическая, электрическая, ядерная и т.д.

Из большого разнообразия ресурсов, встречающихся в природе, выделяют основные, **используемые в больших количествах для практических нужд**. К основным энергоресурсам относят **энергию рек, водопадов, различные органические топлива, такие, как уголь, нефть, газ; ядерное топливо – тяжелые элементы урана и тория, а в перспективе — легкие элементы и т.д.**

Энергоресурсы разделяют на возобновляемые и невозобновляемые. К первым относятся те, которые природа **непрерывно восстанавливает (вода, ветер и т.д.)**, а ко вторым — **ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся** (например, каменный уголь, нефть, газ и др.).

Энергия, непосредственно **извлекаемая в природе** (топлива, воды, ветра, тепла Земли, ядерная), называется **первичной**. Энергия, получаемая **после преобразования первичной энергии** на специальных установках — станциях, называется **вторичной** (электрическая, пара, горячей воды и т.д.).

#### Тема 1.2. Характеристика возобновляемых и невозобновляемых источников энергии

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

##### 1.2.1. Невозобновляемые источники энергии

###### 1. Органические топлива (горючие).

*Топливом может быть названо любое вещество, способное при горении (окислении) выделять значительное количество теплоты.* Практическая целесообразность топлива определяется его количественными запасами, удобствами добычи, скоростью горения, теплотворной способностью, возможностью длительного хранения и безвредностью продуктов сгорания для людей, растительного и животного мира и оборудования. Существуют естественные (природные) и искусственные виды топлив.

Горючие топлива бывают органического и неорганического происхождения. Те и другие могут быть твёрдыми, жидкими и газообразными. В энергетике для получения электрической энергии на ТЭС в основном используются топлива органического происхождения. Все виды органического топлива (горючие) представляют собой углеводородные соединения, в которые входят небольшие количества других веществ.

К твёрдому топливу относятся: антрацит, каменный и бурый голь, торф, дрова, сланцы, отходы лесопильных заводов и деревообделочных цехов, а также растительные отходы с/х хозяйственного производства - солома, костра, лузга, чинголак и др. Твёрдые топлива используются в основном на ТЭС для получения электрической энергии, для отопления и технологических нужд промышленности и в незначительной степени для судовых и локомотивных двигателей.

К жидкому топливу относятся нефть, а также различные продукты её переработки: бензин, керосин, лигроин, разнообразные масла и остаточный продукт нефтепереработки - мазут.

К газообразному топливу относятся: природный газ, добываемый из недр земли; попутный нефтяной газ, газообразные отходы металлургического производства (коксовый и доменный газы); крекинговый газ; генераторный газ, получаемый искусственным путём из твердого топлива в особых газогенераторных установках. Газообразные топлива сжигаются на ТЭС для получения электрической и тепловой энергии.

Большая разница значений теплоты сгорания у различных видов топлива затрудняет в некоторых случаях проведение сравнительных расчётов. Поэтому принято понятие *условного топлива*. Условным топливом называется такое топливо, теплота сгорания 1 кг или 1 м<sup>3</sup> которого равна 29 330 Дж. Для перевода действительного топлива в условное пользуются соотношением:

$$\mathcal{E}_k = \frac{Q_n^p}{29330},$$

где  $\mathcal{E}_k$  – калорийный эквивалент, указывающий, какая часть теплоты сгорания условного топлива соответствует низшей теплоте сгорания рассматриваемого топлива.

## **2. Ядерная энергия.**

Ядерная энергия освобождается в виде тепловой в процессе торможения продуктов ядерного деления или синтеза атомных ядер, движущихся с большими скоростями, и поглощения их кинетической энергии веществом теплоносителя.

**Полная энергия связи** - энергия, необходимая для деления ядра на отдельные протоны и нейтроны, или энергия, выделяющаяся при синтезе ядра из отдельных протонов и нейтронов. Чтобы освобождение ядерной энергии началось необходимо подвести некоторую начальную энергию - **энергию активации**.

По способу подведения энергии активации разделяют способы извлечения ядерной энергии: деление ядер нейтронами; цепные реакции деления ядерных топлив.

### **1.2.2. Возобновляемые источники энергии**

#### **1. Теплота недр Земли и толщи морей**

На планете имеются значительные запасы энергии в виде теплоты земных недр. Энергия глубинной теплоты Земли практически неисчерпаема, и её использование весьма перспективно. Земля непрерывно отдаёт в мировое пространство тепло, которое постоянно восполняется за счёт распада радиоактивных элементов. Термальные воды широко применяются для отопления и горячего водоснабжения в ряде стран. Так, столица Исландии - Рейкьявик - почти полностью обогревается теплотой термальных вод.

В перспективе использование разности температур между нагретым воздухом и холодными слоями воды (в тропических морях) или между холодным воздухом и относительно тёплыми слоями воды (в арктических морях).

В настоящее время в России на Камчатке проектируются и создаются геотермальные электростанции (ГеоЭС) на базе Мунтовского геотермального месторождения общей мощностью 300 МВт. Доля энергии, вырабатываемой в России ГеоЭС, в перспективе может быть весьма ощутимой - до 8% от общей выработки энергии на ТЭС, ТЭЦ, АЭС.

#### **2. Солнечная энергия**

Солнце обладает огромными запасами энергии. Рассеиваемая в течение года энергия Солнца оценивается фантастической цифрой -  $3.48 \cdot 10^{30}$  кВт·ч. На поверхность Земли приходит в течение года  $7,5 \cdot 10^{17}$  кВт·ч. Электромагнитная энергия падающего перпендикулярно на верхний слой атмосферы солнечного излучения составляет примерно  $1,35$  кВт/м<sup>2</sup>, но Земли достигает не более 10% этой энергии. Но даже при плотности населения  $200$  чел / км<sup>2</sup> энергия солнечного излучения составляет  $700$  кВт · ч на одного человека.

В связи с малой плотностью потока энергии излучения и его неравномерностью из-за смены дня и ночи, перемены погоды необходимо решать и две трудные задачи: концентрацию солнечной энергии и её накопление.

### **3. Энергия движения воздуха в атмосфере**

Ветер - один из первых источников энергии, освоенных человеком. Запасы ветра в 100 раз превышает запасы гидроэнергии. Мощность ветроустановок в мире увеличилась с 6172 МВт в 1966 г. до 12000 МВт в 1999 г., прогноз на 2015 г. – 36000 МВт. Заметно возрос интерес к использованию энергии ветра в XXI в. и в России.

### **4. Гидроэнергетические ресурсы**

Гидроэнергетические ресурсы на Земле оцениваются в 33 000 ТВт·ч в год, но по техническим и экономическим соображениям из всех запасов доступны от 4 до 25%. Общий гидропотенциал рек России исчисляется в 4000 млн. МВт · ч, что составляет приблизительно 10-12% от мирового.

Значительный интерес представляет энергия приливов и отливов. Доступный для использования потенциал приливов в европейской части России оценивается в 40 млн. МВт, а на Дальнем Востоке - 170 млн. МВт. В настоящее время построено несколько мощных электростанций, использующих энергию приливов (ПЭС). Однако большая стоимость сооружения таких станций, трудности связанные с неравномерностью их работы, не позволяют пока считать ПЭС достаточно эффективными.

### **5. Перспективы энергоснабжения Земли из Космоса**

Известно 2 наиболее крупных проекта по созданию космических энергетических систем, утилизирующих солнечную энергию и передающих её на Землю с использованием сверхвысокочастотного (СВЧ) или микроволнового излучения:

- 1) солнечные энергетические спутники (СЭСп) на геостационарной орбите (вращающиеся со скоростью вращения Земли и «висящие» над приёмной антенной) мощностью порядка 5 ГВт
- 2) лунная энергетическая система мощностью 20 000 ГВт.

## **Тема 1.3. Современные способы получения энергии**

В электроэнергетике по данным прогноза Министерства Энергетики РФ внутренний спрос на электроэнергию будет возрастать. В результате чего прогнозируется развитие генерирующих мощностей:

1) Генерирующие мощности, работающие на газе, к 2030 году будут представлять собой в основном парогазовые установки с коэффициентом полезного действия 58 - 60 % и газотурбинные установки;

2) Генерирующие мощности, работающие на угле, будут представлять собой установки, работающие на суперкритических параметрах пара, с коэффициентом полезного действия от 46 до 55 %. Также будут осваиваться установки с газификацией угля и энерго-технологические установки.

3) В атомной энергетике будут работать атомные электростанции с водоводяными реакторами, реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, реакторами со свинцовым теплоносителем;

4) Предполагается широко использовать гидроэлектростанции различных мощностей с их концентрацией в регионах Сибири и Дальнего Востока, выполняющих системообразующую роль и участвующих в обеспечении покрытия графика нагрузки;

5) Энергетика, основанная на возобновляемых источниках энергии, будет развиваться, в том числе в виде малых гидроэлектростанций, солнечных энергоустановок, геотермальных электростанций и теплоснабжающих установок, биоэнергетических и ветровых установок, мусоросжигающих и мусороперерабатывающих энергокомплексов в крупных городах. Возможно использование энергии приливов.

К 2030 году планируется в 4-5 раз повысить экспорт электроэнергии, что составит примерно 45-60 млрд. кВт\*ч.

На сегодняшний день выделяют ключевые энергетические технологии в первой половине XIX века:

- Переработка угля и газа в искусственное жидкое топливо
- Парогазовые установки с топливным элементом
- Термоядерный синтез
- Ветроэнергетические установки
- Извлечение CO<sub>2</sub> из продуктов сгорания органического топлива и продуктов газификации;
- Электропередачи постоянного тока
- Дальний трубопроводный транспорт жидкого топлива
- Малые электрогенерирующие установки, в том числе в комбинации с тепловыми насосами

## Раздел 2. Энергетическое топливо

### Тема 2.1. Классификация топлив

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.25 часа).

Топливо – это горючие вещества, выделяющие при сжигании значительное количество теплоты, которая используется непосредственно в технологических процессах или преобразуется в другие виды энергии. К ним относятся полезные ископаемые органического происхождения – уголь, горючие газы, горючие сланцы, нефть, торф, а также древесина и растительные отходы.

Топливо в том виде, в каком оно поступает для сжигания в топке или в двигатели внутреннего сгорания и специальные аппараты называется *рабочим*.

В ядерной энергетике применяется понятие ядерного топлива - вещества, ядра которого делятся под действием нейтронов, выделяя при этом энергию в основном в виде кинетической энергии осколков деления ядер и нейтронов.

Обычное химическое топливо, в отличие от ядерного, называют органическим, и оно является в настоящее время основным источником теплоты.

Для анализа тепловых характеристик топлив, определения состава газов и других расчетов необходимо знать химическую структуру каждого вида топлива. Органическая часть твердых и жидких топлив состоит из большого количества сложных химических соединений, в состав которых в основном входят пять химических элементов: углерод C, водород H, кислород O, сера S и азот N. Кроме того, топливо содержит минеральные примеси A и влагу W, представляющие вместе внешний балласт топлива.

Химический состав твердых, жидких и газообразных топлив определяют не по количеству соединений, а по суммарной массе химических элементов (в процентах на 1 кг или 1 куб. м топлива), т.е. устанавливают элементарный состав топлива. Различают три основных элементарных состава топлива:

- 1) рабочая масса топлива  $C+H+O+N+S+A+W=100\%$ ;
- 2) сухая масса топлива  $C+H+O+N+A=100\%$ ;
- 3) горючая масса топлива  $C+H+O+N=100\%$ .

Рабочей считается масса топлива в том виде, в каком она поступает на предприятие.

Если топливо нагреть до 102-105°C, то испарится влага, тогда получится сухая масса топлива. Название горючей массы является условным; так как входящие в его состав азот и кислород не являются горючими элементами и составляют внутренний балласт топлива. Азот и кислород способствуют процессу горения топлива.

Горючими элементами топлива являются углерод, водород и сера. Углерод – основной, горючий элемент топлива. Он имеет высокую теплоту сгорания (33600 кДж/кг) и составляет большую часть рабочей массы топлива (50-75% для твердых топлив и 80-85% для мазутов). Водород имеет высокую теплоту сгорания (примерно 130000 кДж/кг), одна-

ко его количество в твердых топливах невелико ( $H = 2-6\%$ ) и несколько больше в жидких (около  $10\%$ ). Это делает теплоту сгорания жидких топлив выше, чем твердых.

Сера имеет невысокую теплоту сгорания ( $9000$  кДж/кг). Содержание ее в топливах невелико ( $S=0,2-4\%$ ), поэтому сера, как горючая составляющая, не ценится.

Наличие окислов серы в продуктах сгорания при определенных концентрациях опасно для организмов и растений и требует определенных мер и средств для ее улавливания или рассеивания в атмосфере.

## Тема 2.2. Технические характеристики топлив

Основными техническими характеристиками топлива являются: теплота сгорания; выход газообразных веществ при нагреве, зольность топлива, свойства зольного остатка, влажность и сернистость топлива.

**Теплота сгорания** является основной характеристикой топлива. Различают высшую и низшую теплоту сгорания. Высшей теплотой сгорания  $Q$  называют количество тепла, которое выделяется при сгорании  $1$  кг твердого (жидкого) или  $1$  куб. м газообразного топлива. Низшая теплота сгорания  $Q$  отличается от высшей на теплоту испарения влаги и влаги, образующейся при горении водорода. Чем больше влажность топлив, тем меньше будет величина  $Q$  низшей.

Высшая величина сгорания твердого и жидкого топлива определяется экспериментально. Низшая теплота сгорания положена в основу классификации топлив.

**Выход летучих веществ.** Если сухую массу топлива поместить в тигель и постепенно нагревать в инертной среде без доступа воздуха, то будет происходить уменьшение ее массы. При высоких температурах начинается разложение кислородосодержащих молекул топлива с образованием газообразных продуктов, получивших название летучих веществ. Выход летучих веществ из твердых топлив происходит в интервале температур от  $110$  до  $1100^\circ\text{C}$ .

Выход летучих веществ определяет температуру воспламенения топлива и условия его хранения, сильно влияет на конструкцию топок, где сжигается это топливо.

Чем больше выход летучих веществ, тем легче воспламеняется топливо (газообразные, летучие вещества имеют низкую температуру воспламенения).

**Зольность топлива.** В процессе горения топлива его минеральная часть подвергается химическим преобразованиям. Масса несгораемого остатка – золы оказывается на  $10-15\%$  меньше, чем масса исходной минеральной части топлива и существенно отличается от нее по составу. Свойства золы играют большую роль при сжигании топлива.

Образовавшаяся после сгорания топлива зола – это смесь минералов, а их сплавы, возникающие в зоне высоких температур, называют шлаками. Суммарное количество золы и шлаков принято называть зольностью топлива. Температуры плавления отдельных минералов и их сплавов сильно различаются и находятся в пределах от  $600$  до  $3000^\circ\text{C}$ . Поэтому плавление представляет собой процесс постоянного размягчения от твердого до жидкого состояния по мере роста температуры.

**Влажность топлива.** Влажность топлива ( $W$ ) в процентах от его рабочей массы определяется опытным путем сушки при температуре  $105^\circ\text{C}$  до достижения постоянства массы.

Большая влажность топлива вызывает трудности при сжигании. Снижается теплота сгорания, растет расход топлива, увеличиваются потери тепла с уходящими газами. Влажность топлива вызывает усиление коррозии металла отдельных конструкций топок, приводит к повышенному загрязнению поверхностей нагрева.

**Сернистость топлива.** При сжигании сера создает серьезные экологические проблемы. Окислы серы и азота, образующиеся в зоне высоких температур, представляют большую опасность для жизнедеятельности. Для улавливания этих окислов строят сложные очистные сооружения, что приводит к удорожанию примерно вдвое энергетических установок.

## Тема 2.3. Характеристики отдельных видов топлива

Характеристики видов топлива находятся в зависимости от химического возраста этих топлив.

### 1) Твёрдое топливо

**Торф.** Самый молодой вид топлива. Энергетические установки сжигают преимущественно фрезерный торф, получаемый путем срезания с поверхности тонкого слоя фрезами. Фрезерный торф имеет высокую влажность рабочей массы ( $W$  до 50% и более) и в связи с этим низкую теплоту сгорания  $Q = 8500$  кДж/кг. Как молодое топливо торф обладает большим выходом летучих веществ ( $V = 70\%$ ), что позволяет успешно его сжигать в пылевидном состоянии. Из-за большой влажности и низкой теплотворности его не перевозят на дальние расстояния. Торф используют как местное сырьё.

**Бурые угли** по содержанию влаги в рабочей массе делятся на сильно влажные, повышенно влажные, влажные. Кроме большой влажности, бурые угли имеют высокую зольность и невысокую теплоту сгорания ( $Q = 6,7-17000$  кДж/кг), поэтому дальние перевозки также нецелесообразны. Большой выход летучих веществ обеспечивает высокоэкономичное сжигание этих углей в виде подсушенной пыли.

**Каменные угли** объединяют большое количество углей различного химического возраста. Молодые каменные угли по выходу летучих веществ, близки к бурным углям, но имеют меньшую влажность и зольность. Это увеличивает их теплоту сгорания ( $Q = 19000-27000$  кДж/кг). Средняя, по возрасту группа углей отличается повышенной зольностью. Их теплота сгорания ниже, чем у молодых углей. Более старые угли имеют малую влажность, невысокую зольность и соответственно высокую теплотворную способность ( $Q = 25000-27000$  кДж/кг), однако низкий выход летучих веществ затрудняет их воспламенение в топках.

**Полуантрациты и антрациты** – это наиболее старые угли с низким выходом летучих веществ, низкой влажностью и зольностью. Также являются хорошим сырьём для металлургической промышленности.

### 2) Жидкое топливо

Практически все жидкие топлива пока получают переработкой нефти. Мазут, как и моторные топлива, представляет собой сложную смесь жидких углеводородов, в состав которых входят в основном углерод и водород.

**Мазут.** К техническим характеристикам жидкого топлива относятся вязкость и температура вспышки. Вязкость мазута положена в основу его маркировки. Она измеряется при определенных стандартных температурах как отношение времени вытекания через стандартное отверстие мазута и такого же количества воды и определяется в градусах условной вязкости.

С повышением температуры вязкость мазута уменьшается.

Температура вспышки мазута составляет  $135-240^{\circ}\text{C}$  в зависимости от его вязкости. Теплота сгорания ( $Q = 40000$  кДж/кг).

**Бензин и дизельное топливо.** Наиболее лёгкие сорта бензина применяются в авиации и называются авиационными, более тяжёлые — в автотранспорте.

Показателем воспламеняемости дизельных топлив является *цетановое число*, характеризующее склонность дизельного горючего к термическому распаду, окислению и самовоспламенению. Чем больше цетановое число, тем легче самовоспламеняется горючее.

*Октановое число* характеризует склонность жидкого топлива, обычно бензина, к детонационному, т.е. взрывному, сгоранию. Чем октановое число больше, тем склонность к детонации меньше.

У жидких топлив цетановое число 40...50. Октановое число бензинов 60...98, для авиационных, более лёгких бензинов - близко к 100.

### 3) Газообразное топливо

Газообразное топливо по сравнению с другими видами топлива имеет ряд существенных преимуществ. Оно сгорает при небольшом избытке воздуха, образуя продукты полного горения без дыма и копоти, не даёт твёрдых остатков; оно удобно для транспортирования по газопроводам на большие расстояния и позволяет простейшими средствами осуществлять сжигание в установках самых различных конструкций и мощностей.

В качестве газообразного топлива используют преимущественно природный (естественный) горючий газ, а также различные виды искусственных (производственных) горючих газов. Газовое топливо, как правило, представляет собой смесь нескольких индивидуальных газов.

Естественные горючие газы подразделяется на газы природные и газы нефтяные попутные.

Месторождения, содержащие только природное газовое топливо, в зависимости от состава последнего делятся на чисто газовые и газоконденсатные.

Природные газы преимущественно содержат метан и его гомологи (этан, пропан, бутан и другие). В них также присутствуют углекислый газ, азот, сероводород и другие. Природные газы имеют высокую теплоту сгорания ( $Q = 35000$  кДж/кг и выше).

Газ чисто газовых месторождений состоит почти из одного метана. Этан и пропан содержатся в общем объеме в незначительных количествах, другие углеводороды и прочие газы практически отсутствуют. При таком составе (содержание гомологов менее 50 г/куб. м) газ называют бедным или тощим.

Газ газоконденсатных месторождений помимо метана содержит значительное количество высших углеводородов, главным образом пропан и бутан. Газ с высоким содержанием гомологов называют богатым или жирным.

Газы нефтяные попутные содержат в значительных количествах гомологи, в том числе высокомолекулярные предельные углеводороды, кроме того, в них присутствуют пары воды, углекислый газ, азот, сероводород, редкие газы (гелий, аргон). Попутный газ (нефтепромысловый) получают при разработке нефтяных месторождений.

Искусственные газы содержат больше негорючих компонентов (балласта). Газы коксовых печей содержат до 57% водорода, 22% метана, около 7% окиси углерода, остальное – балластные газы. Теплота сгорания коксового газа около 17000 кДж/кг. Доменный газ содержат около 30% горючих компонентов, остальное - балласт. Поэтому теплота сгорания доменного газа низкая и немного превышает 4000 кДж/кг.

Природный газ получают из чисто газовых месторождений, где он выбрасывается из недр земли под давлением, достигающим иногда до 10 МПа и более. Основным его компонентом является метан, кроме того, в газе разных месторождений небольшие количества водорода, азота и различных окисей и высших углеводородов.

К основным характеристикам газообразных горючих относятся плотность, токсичность, взрываемость, влажность, запылённость. Опасность отравления газами, т.е. токсичность, зависит от содержащегося в горючем газе окиси углерода, сероводорода и др. Взрывоопасность определяется содержанием водорода и окиси углерода, которые образуют взрывчатые смеси с воздухом.

#### **4) Ядерное топливо**

Освобождение ядерной энергии стало возможным после открытия английским ученым Чадвиком нейтрона в 1932 г. Он не обладал зарядом и поэтому оказался идеальным снарядом для деления ядер.

Деление ядер нейтронами - осуществляется путём бомбардировки ядер нейтронами. По скорости движения различают медленные (тепловые) нейтроны ( $E=0.03...0.5$  эВ), промежуточные ( $E=1...1 \cdot 10^3$  эВ) и быстрые ( $E=10^5$  эВ). Энергия активации зависит от вида ядер и применяемых нейтронов.

Цепные реакции деления ядерных топлив - для возникновения цепной реакции необходимо, чтобы в каждом последующем акте деления участвовало больше нейтронов, чем в предыдущем. Делящиеся ядерные топлива являются однокомпонентными. Тепловые нейтроны поглощаются делящимися изотопами наиболее интенсивно. Поэтому

в атомных реакторах нейтроны замедляются в специальных веществах - замедлителях - в воде, тяжелой воде, бериллии, графите и др.

Кинетическая энергия продуктов реакции, попадающих в вещество теплоносителя, превращаются в теплоту. Один килограмм ядерного топлива обеспечивает получение энергии мощностью 2000 кВт в течение года.

В качестве ядерного топлива используют уран ( $U^{235}$ ,  $U^{238}$ ), плутоний ( $^{239}\text{Pu}$ ).

### Раздел 3. Преобразование энергии

#### Тема 3.1. Основные понятия и определения термодинамики

**Термодинамика** – наука о закономерностях превращения энергии. В термодинамике широко используется понятие *термодинамической системы*.

**Термодинамической системой** называется совокупность материальных тел, взаимодействующих, как между собой, так и с окружающей средой.

Все тела находящиеся за пределами границ рассматриваемой системы называются окружающей средой.

Поскольку одно и то же тело, одно и то же вещество при разных условиях может находиться в разных состояниях, (пример: лед – вода – пар, одно вещество при разной температуре) вводятся, для удобства, характеристики состояния вещества – так называемые параметры состояния.

**Рабочие тело** - определенное количество вещества, которое участвуя в термодинамическом цикле совершает полезную работу.

**Передача энергии в термодинамическом процессе от одного тела к другому, связанная с изменением объема рабочего тела, с перемещением его во внешнем пространстве или с изменением его положения называется работой процесса.**

Перечислим основные параметры состояния вещества:

1) **Температура тел** - определяет направление возможного самопроизвольного перехода тепла между телами.

Температура, выраженная по абсолютной шкале, называется **абсолютной температурой**.

2) **Давление** - представляет собой силу, действующую по нормали к поверхности тела и отнесенную к единице площади этой поверхности.

3) **Плотность** – отношение массы вещества к объему, занимаемому этим веществом.

4) **Удельный объем** - величина обратная плотности, т.е. отношения объема занятого веществом к его массе.

#### Тема 3.2. Термодинамические процессы и циклы

**Если в термодинамической системе меняется хотя бы один из параметров любого входящего в систему тела, то в системе происходит термодинамический процесс.**

Основные термодинамические параметры состояния  $P$ ,  $V$ ,  $T$  однородного тела зависят один от другого и взаимно связаны уравнением состояния:  $F(P, V, T)$ .

Термодинамические процессы часто изображаются на графиках состояния, где по осям отложены параметры состояния. Точки, на плоскости такого графика, соответствуют определенному состоянию системы, линии на графике соответствуют термодинамическим процессам, переводящим систему из одного состояния в другое.

Рассмотрим термодинамическую систему, состоящую из одного тела – какого либо газа в сосуде с поршнем, причем сосуд и поршень в данном случае является внешней средой. Пусть, для примера, происходит нагрев газа в сосуде, возможны два случая: если поршень зафиксирован и объем не меняется, то произойдет повышение давления в сосуде. Такой процесс называется **изохорным** ( $v=\text{const}$ ), идущий при постоянном объеме.

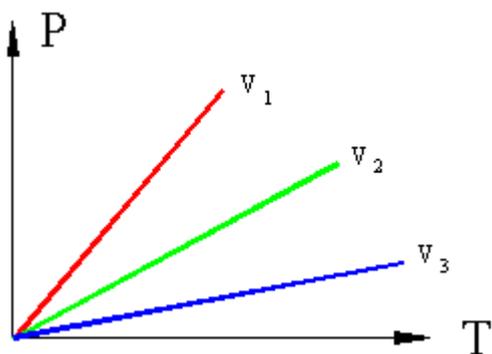


Рисунок. Изохорные процессы в  $P - T$  координатах ( $v_3 > v_2 > v_1$ ).

Если поршень свободен то нагреваемый газ будет расширяться при постоянном давлении такой процесс называется изобарным ( $P = \text{const}$ ), идущим при постоянном давлении.

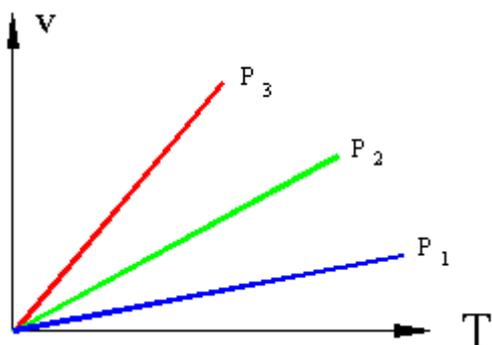


Рисунок. Изобарные процессы в  $v - T$  координатах  $P_1 > P_2 > P_3$

Если, перемещая поршень, изменять объем газа в сосуде то, температура газа тоже будет изменяться, однако можно охлаждая сосуд при сжатии газа и нагревая при расширении можно достичь того, что температура будет постоянной при изменениях объема и давления, такой процесс называется изотермическим ( $T = \text{const}$ ).

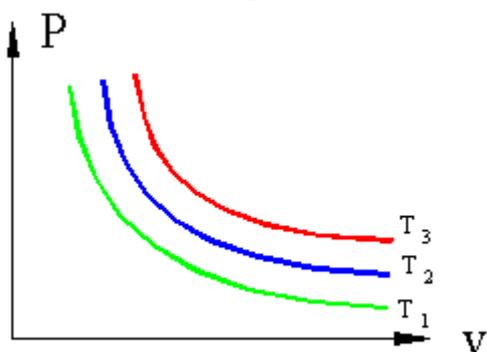


Рисунок. Изотермические процессы в  $P - v$  координатах  $T_3 > T_2 > T_1$

Процесс, при котором отсутствует теплообмен между системой и окружающей средой, называется адиабатным, при этом количество теплоты в системе остается постоянными ( $Q = \text{const}$ ). В реальной жизни адиабатных процессов не существует поскольку полностью изолировать систему от окружающей среды невозможно. Однако часто происходят процессы, при которых теплообмен с окружающей средой очень мал, например быстрое сжатие газа в сосуде поршнем, когда тепло не успевает отводиться за счет нагрева поршня и сосуда.

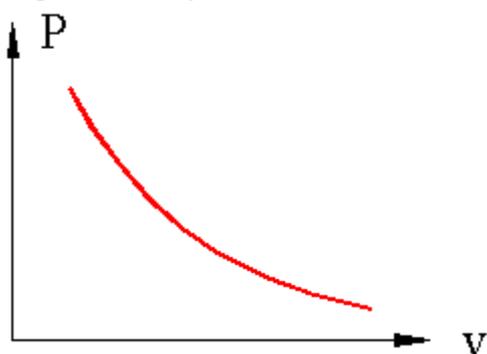


Рисунок. Примерный график адиабатного процесса в  $P - v$  координатах

**Круговой процесс (Цикл)** – это совокупность любого числа отдельных процессов, возвращающих систему в первоначальное состояние.

Понятие кругового процесса является для нас ключевым в термодинамике, поскольку работа ТЭС и АЭС основана на паро–водяном цикле.

### Тема 3.3. Основные законы термодинамики

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (1 час).

**Первый закон термодинамики.**

***В изолированной термодинамической системе сумма всех видов энергии является величиной постоянной.***

Этот закон является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии, который гласит, что энергия не появляется и не исчезает, а только переходит из одного вида в другой. Из этого закона следует, что уменьшение общей энергии в одной системе, состоящей из одного или множества тел, должно сопровождаться увеличением энергии в другой системе тел.

Данный закон в применении к понятиям термодинамики:  $Q = \Delta U + L$ . Это соотношение устанавливает что в данном термодинамическом процессе теплота расходуется в двух направлениях: на изменение внутренней энергии и на совершение внешней работы.

Существуют другие формулировки этого закона:

1. Не возможно возникновение или уничтожение энергии (эта формулировка говорит о невозможности возникновения энергии из ничего и уничтожения ее в ничто).
2. Любая форма движения способна и должна превращаться в любую другую форму движения (эта философская формулировка подчеркивает неуничтожимость энергии и ее способность взаимопревращаться в любые другие виды энергии).
3. Вечный двигатель первого рода невозможен. (Под вечным двигателем первого рода понимают машину, которая была бы способна производить работу, не используя никакого источника энергии).
4. Теплота и работа являются двумя единственно возможными формами передачи энергии от одних тел к другим.

Естественные процессы в природе всегда характеризуются односторонним их протеканием от более высокого потенциала к более низкому (от более высокой температуры к более низкой или от более высокого давления к более низкому). Для того чтобы заставить процесс протекать в направлении, обратном направлению протекания самопроизвольного процесса, необходимо затратить заимствованную из среды энергию.

В прошлом столетии Гиббс ввел в практику тепловых расчетов новую функцию - энтальпию.

**Энтальпия** - это сумма внутренней энергии тела и произведения давления на объем:

$$I = U + PV;$$

где: I – энтальпия; U – внутренняя энергия; P – давление; V – объем.

**Удельная энтальпия**  $i$  - это отношение энтальпии тела к его массе. Удельная энтальпия – это параметр состояния. Значение удельной энтальпии пара и воды при определенном давлении и температуре можно найти в справочнике. Пользуясь этими данными, можно определить количество теплоты участвующее в процессе или работу процесса.

**Энтропия**

Теплота  $q$  не является функцией состояния, количество теплоты выделившейся или поглотившейся в процессе зависит от самого процесса. Функцией состояния является энтропия, обозначается – S, размерность [Дж/К]

$$dS = dQ/T$$

где,  $dS$  – дифференциал энтропии;  $dQ$  – дифференциал теплоты; T – абсолютная температура.

Энтропия – мера беспорядка. Отсюда возрастание беспорядка означает возрастание энтропии, рассеивания энергии.

**Удельная энтропия** - отношение энтропии тела к его массе. Удельная энтропия - s является справочной величиной. Удельная энтропия - функция состояния вещества, принимающая для каждого его состояния определенное значение:

$$s = f(P, v, T) \text{ [Дж/(кг} \times \text{К)]}$$

Удельную энтропию можно применять совместно с одним из основных параметров для графического изображения процессов. Аналогично тому как мы строили изменение объема в зависимости от изменения температуры мы можем изобразить некоторый процесс изменения энтропии и температуры в T-S координатах. В этом случае любая точка на графической плоскости соответствует определенному состоянию рабочего тела, а линия от точки 1 до точки 2 отображает некий термодинамический процесс. Особенностью T-S координат является то, что площадь под линией процесса соответствует количеству энергии отданной или полученной рабочим телом.

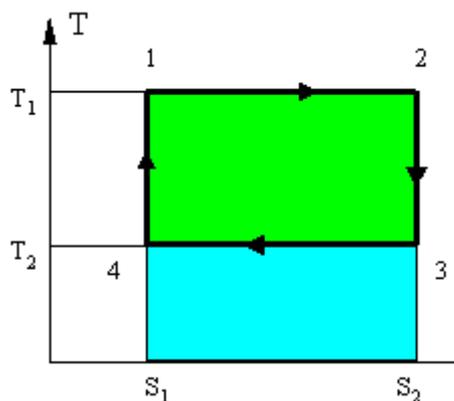


Рисунок. T-S диаграмма цикла Карно.

На данной диаграмме представлен некий замкнутый цикл. Система последовательно переходит из точки 1 в 2 затем 3, 4 и снова в 1. Из графика видно, что процесс 1 => 2 является изотермическим (происходит при  $T_1 = \text{const}$ ) и процесс 3 => 4, также является изотермическим (происходит при  $T_2 = \text{const}$ ). Процессы 2 => 3 и 4 => 1 являются адиабатными, поскольку в них не происходит изменение энтропии то  $dS = 0$ , следовательно  $dQ = 0$  или  $Q = \text{const}$ . Причем в процессе 2 => 3 происходит охлаждение рабочего тела за счет совершения работы телом, а в процессе 4 => 2 происходит нагрев рабочего тела, за счет совершения работы над телом.

Количество тепла, подводимое к системе:  $Q_1 = T_1 \times (S_2 - S_1)$  - площадь прямоугольника 1-2-S<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>-1.

Количество тепла, отдаваемое системой:  $Q_2 = T_2 \times (S_2 - S_1)$  - площадь прямоугольника 3-S<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>-4-3.

Работа цикла - разность подведенной и отведенной теплоты:  $L = Q_1 - Q_2$ .

К.П.Д цикла:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 \cdot (S_2 - S_1) - T_2 \cdot (S_2 - S_1)}{T_1 \cdot (S_2 - S_1)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Главной особенностью данного цикла является то, что при данном перепаде температур у любого другого цикла КПД будет меньше. Другими словами максимально возможным КПД при данном перепаде температур является КПД цикла Карно. Диаграмма T-S дает наглядное доказательство этого утверждения. Любой другой цикл в диапазоне температур  $T_1 - T_2$ , на диаграмме будет иметь соотношение площадей меньше, чем соотношение площадей прямоугольников. В связи с площадями на диаграмме возникло выражение - степень заполнения цикла – насколько площади работы цикла близки к площадям прямоугольников

Важным следствием из формулы для КПД цикла Карно является то, что для увеличения КПД необходимо увеличивать температуру подвода тепла  $T_1$ , и снижать температуру отвода тепла  $T_2$ . На любых энергетических установках с пароводяным циклом, исполь-

зующих в качестве конечного поглотителя, тепла окружающие пространство, (АЭС, ТЭЦ) зимой к.п.д. выше за счет снижения температуры окружающей среды  $T_2$ .

### **Второй закон термодинамики.**

Первый закон термодинамики утверждает, что теплота может превращаться в работу, а работа в теплоту, не устанавливая условий, при которых возможны эти превращения. Повседневные наблюдения и опыты показывают, что теплота сама может переходить только от нагретых тел к более холодным (до полного равновесия). Только за счет затраты работы можно изменить направление движения теплоты. Это свойство теплоты резко отличается от работы. Работа легко и полностью превращается в теплоту.

В тепловых машинах превращение теплоты в работу происходит только при наличии разности температур между источниками теплоты и теплоприемниками. При этом вся теплота не может быть превращена в работу. Закон, позволяющий указать направление теплового потока, и устанавливающий максимально возможный предел превращения теплоты в работу в тепловых машинах - 2-й закон термодинамики.

#### **Формулировки второго закона термодинамики:**

1. Вечный двигатель второго рода не возможен (под вечным двигателем второго рода понимается машина, которая могла бы превращать всю подводимую к ней теплоту в работу. Такая машина имела бы КПД = 1).
2. Стопроцентное превращение теплоты в работу посредством тепловой машины - двигателя невозможно. Условия работы тепловых машин:
  1. Тепловая машина всегда работает в определенном перепаде температур. (Это значит, что для работы такой машины необходимо иметь по крайней мере 1 источник теплоты, и 1 приемник теплоты).
  2. Любая тепловая машина должна работать циклично, т.е. рабочее тело, совершая за определенный промежуток времени ряд процессов расширения и сжатия, должно возвращаться в исходное состояние.
3. Все процессы в мире протекают с возрастанием энтропии: то есть от порядка к хаосу (беспорядку).
4. Ход самопроизвольно протекающих процессов происходит в направлении, приводящем к установлению равновесия термодинамической системы с окружающей средой, и по достижении этого равновесия процессы прекращаются.

Существуют и другие формулировки второго закона термодинамики

### **Третий закон термодинамики.**

Если абсолютная температура станет равной нулю и тепловое движение полностью прекратится, то в системе установится максимальный порядок, т.е. неупорядоченность и энтропия станут равными нулю. Это предположение, не поддающееся опытной проверке, ибо абсолютной нуль температуры недостижим, носит название третьего закона термодинамики.

Свойства теплоты:

1. Теплообменом принято называть обмен тепловой энергией между физическими телами (или системами), вызванный наличием разности температур этих тел (или систем). В реальных условиях теплообмен является сложным процессом, но ради простоты изучения различают три элементарных вида теплообмена: теплопроводность (кондукцию), конвекцию и тепловое излучение.
2. Теплопроводность - перенос теплоты за счёт соударений и диффузии частиц тел, а также квантов упругих колебаний их кристаллических решёток - фононов, при макроскопической неподвижности всей массы вещества.
3. Конвекция теплоты - процесс передачи её из одной части пространства в другую перемещаемую макроскопическими объёмами жидкости или газа. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью, следовательно, теплопроводность является неотъемлемой частью конвекции.

4. Тепловое излучение - при нём тела не соприкасаются друг с другом и перенос теплоты между ними при наличии разности температур осуществляется с помощью электромагнитной составляющей.

Возможны любые сочетания из трёх указанных элементарных видов теплообмена. Такой сложный теплообмен, всегда имеющий место в реальных условиях, называется собственно теплопередачей.

## Раздел 4. Тепловые электростанции

### Тема 4.1. Конденсационные электростанции

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (1 час).

На современных ТЭС большой мощности превращения теплоты в работу производится в циклах, использующих в качестве основного рабочего тела водяной пар высоких давления и температуры. Водяной пар производится парогенераторами (паровыми котлами), в топках которых сжигаются различные виды органического топлива: уголь, мазут, газ и др.

Термодинамический цикл преобразования теплоты в работу с помощью водяного пара был предложен в середине XIX в. инженером и физиком У. Ренкиным. Технологическая схема КЭС, работающая по циклу Ренкина, показана на рис.4.1.

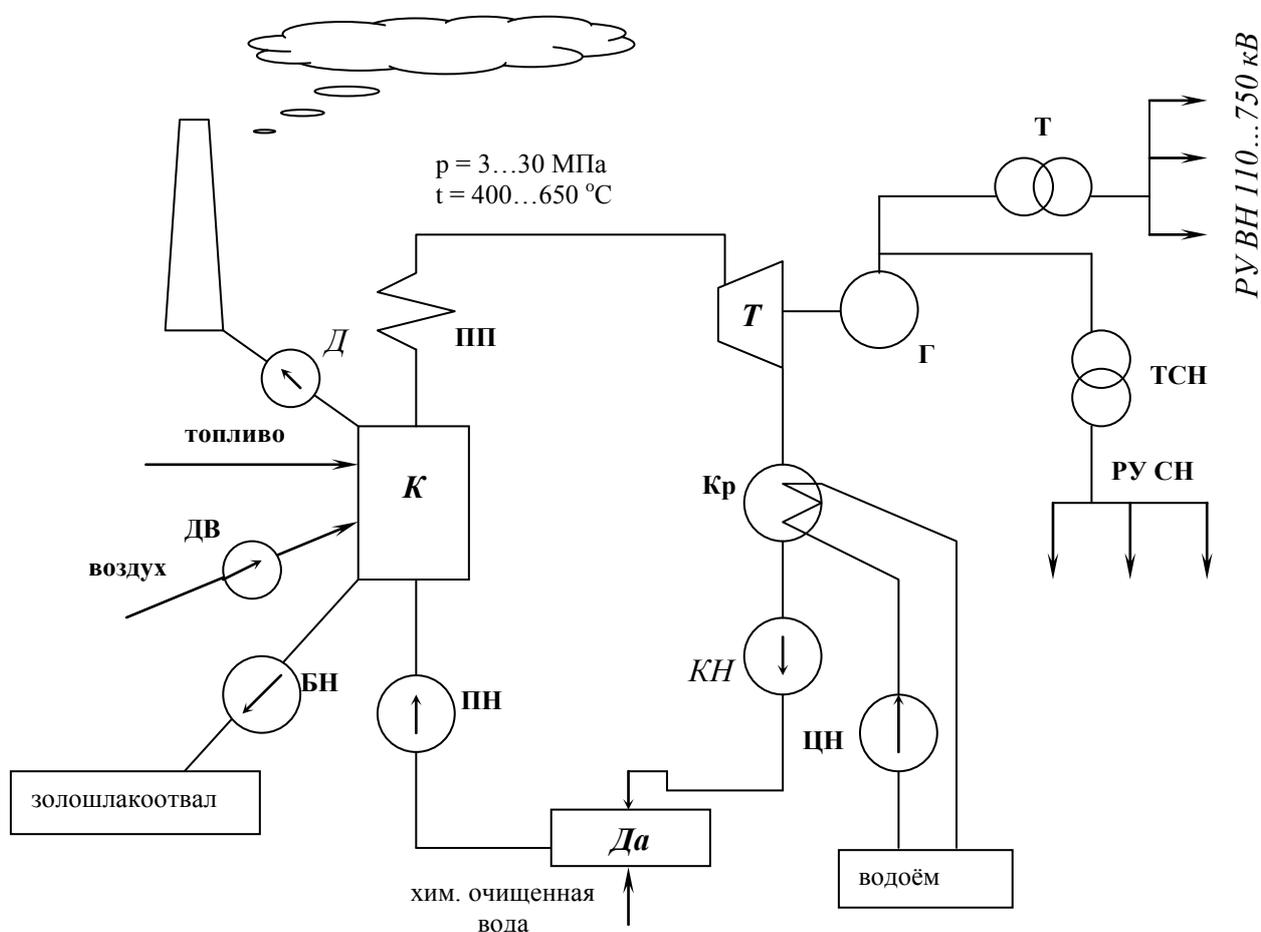


Рис.4.1. Технологическая схема КЭС

**К** – котёл (парогенератор) предназначен для получения пара из питательной воды;  
**ПН** – питательный насос – для подачи питательной воды в котёл;

**ДВ** – дутьевой вентилятор – для подачи воздуха в топку котла, для поддержания процесса горения;

**Д** – дымосос – для удаления дымовых газов из котла;

**БН** – багерный насос – для удаления золы и шлака из котла;

**ПП** – пароперегреватель – для получения пара высоких параметров;

**Т** – паровая турбина;

**Г** – электрический генератор – для выработки электроэнергии;

**Кр** – конденсатор для охлаждения пара;

**ЦН** – циркуляционный насос – для подачи воды в конденсатор;

**КН** – конденсатный насос – для удаления конденсата из конденсатора;

**Да** – деаэратор – для удаления газов из конденсата; для восполнения потерь туда же подаётся химически очищенная вода;

**Т** – повышающий трансформатор;

**РУ ВН** – распределительное устройство высокого напряжения (110 кВ и выше)

**ТСН** – трансформатор собственных нужд;

**РУ СН** – распределительное устройство собственных нужд – для электропитания двигателей и освещения;

Конденсационные электрические станции КЭС – это тепловые паротурбинные электростанции, в которых теплота, выделяющаяся при сжигании органического топлива превращается сначала в механическую энергию, а затем в электрическую.

Характерный признак КЭС – отработанный в турбине пар не используется для не-станционных нужд, а подвергается охлаждению (конденсации) в специальных устройствах – конденсаторах, после чего направляется обратно в котёл. Для работы КЭС требуется большое количество воды, поэтому строят их вблизи водоёмов. В качестве топлива на конденсационных электрических станциях используется уголь, нефть или природный газ.

Твёрдое топливо (уголь) сначала дробится специальными дробилками, затем подсушивается и размельчается до пылевидного состояния специальными мельницами. Угольная пыль вместе с воздушным потоком подаётся в топку котла дутьевым вентилятором **ДВ** для лучшего сгорания топлива.

Продукты сгорания топлива (дымовые газы) пройдя золоуловители с помощью дымососа **Д** выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.

Теплота, получаемая при сжигании топлива, используется для получения пара. Пар из котла (парогенератора) подаётся в пароперегреватель **ПП**, где его параметры (температура и давление) доводятся до необходимых величин, а затем по паропроводу поступает на рабочие лопатки паровой турбины **Т**.

Если между рабочими лопатками турбины не происходит расширения пара, то есть давление пара не меняется, то такая турбина называется *активной*.

У *реактивной* турбины происходит расширение пара, проходящего через каналы рабочих лопаток. В зависимости от показателей расширения пара турбины характеризуются степенями реактивности. Сейчас турбины выполняют многоступенчатыми, причём в одной турбине могут быть как активные, так и реактивные (с разной степенью реактивности) ступени.

В турбине энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора генератора **Г**, вырабатывающего электрическую энергию.

Отработавший в турбине пар после своего расширения от начального давления на входе турбины – 30 МПа до конечного на выходе 0,0035 МПа поступает в конденсатор турбины **Кр**, где превращается в воду – конденсат, который конденсатным насосом **КН** откачивается и проходит через деаэратор **Да**. Там из воды удаляются газы и к ней добавляется химически очищенная вода, чтобы восполнить потери. После чего вода вновь подаётся в котёл, и затем цикл повторяется.

#### **Основные особенности КЭС:**

1. Строится по возможности ближе к месторождениям топлива.
2. Работает по свободному графику выработки электроэнергии (график выра-

- ботки не зависит от теплового потребления).
3. Низкоманёвренные – разворот турбин и набор нагрузки из холодного состояния требует 3-10 часов).
  4. Выработанная электроэнергия отдаётся в электрические сети повышенных напряжений 110 – 750 кВ.
  5. Имеют сравнительно низкий КПД: 30 – 40 %, максимум 42 %.

#### Тема 4.2. Теплофикационные электростанции

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

В тех случаях, когда прилегающие к ТЭС районы должны потреблять большие количества теплоты, целесообразнее прибегать к комбинированной выработке теплоты и электроэнергии. Установки, служащие для комбинированной выработки тепла и электроэнергии, называют ТЭЦ, они работают по так называемому теплофикационному циклу.

ТЭЦ отличается от КЭС установленной на ней специальной теплофикационной турбиной с промежуточными отборами пара или с противодавлением. На таких установках теплота отработавшего пара частично или даже полностью используется для теплоснабжения, вследствие чего потери воды с охлаждающей водой сокращаются или вообще отсутствуют. Однако доля энергии пара, преобразованной в электрическую, при одних и тех же начальных параметрах на установках с теплофикационными турбинами ниже, чем на установках с конденсационными турбинами.

При такой комбинированной выработке электроэнергии и теплоты достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, т.е. выработкой электроэнергии на КЭС и получением теплоты от местных котельных. Поэтому ТЭС получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением теплоты и электроэнергии.

Упрощённая технологическая схема простейшей теплофикационной установки (с основными элементами паросиловой установки) показана на рис.4.2.

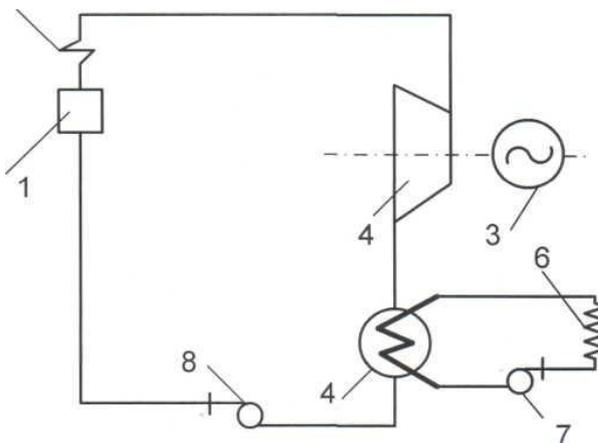


Рис.4.2. Тепловая схема простейшей ТЭЦ

1 - котёл; 2 - пароперегреватель; 3 - генератор; 4 - турбина; 5 - конденсатор; 6 - потребитель теплоты; 7, 8 – насосы

Охлаждающая вода под действием насоса 7 циркулирует по замкнутому контуру, в который включен потребитель теплоты 6.

Коэффициент полезного действия ТЭЦ достигает 60—70%.

Такие станции строят обычно вблизи потребителей — промышленных предприятий или жилых массивов. Чаще всего они работают на привозном топливе.

### Тема 4.3. Основное и вспомогательное оборудование ТЭС

К основному оборудованию ТЭС относятся паровые котлы (парогенераторы), турбины, электрические генераторы, трансформаторы.

Практически все вновь проектируемые электростанции являются блочными, в качестве их основной характеристики используется мощность турбоагрегатов.

В настоящее время выпускаются серийные отечественные конденсационные блоки ТЭС мощностью 200, 300, 500 и 800 МВт. Для ТЭЦ наряду с блоками мощностью 250 МВт используются турбоагрегаты мощностью 100 и 175 МВт, для которых блочный принцип сочетается с отдельными поперечными связями оборудования.

Паровой котел (ПК) - теплообменный аппарат для получения пара с давлением, превышающим атмосферное, образующий вместе с вспомогательным оборудованием котельный агрегат.

Характеристиками ПК являются:

- поверхность нагрева, т.е. поверхность, с одной стороны омываемая дымовыми газами, а с другой стороны – питательной водой;
- паропроизводительность, рабочее давление пара;
- КПД, т.е. отношение количества тепла, содержащегося в паре, к теплотворной способности топлива, израсходованного для получения этого пара.

Котельная установка состоит из котла и вспомогательного оборудования. Котельные агрегаты подразделяются на котлы паровые и котлы водогрейные. Первые носят, как правило, названия парогенераторы, так как в них происходит генерация пара. Если же конечным продуктом является горячая вода заданных параметров, используемая в промышленных технологических процессах и для отопления промышленных и жилых зданий, то такие устройства являются водогрейными котлами.

В состав котла входят: топка, пароперегреватель, экономайзер (прибор для нагревания воды или воздуха в котельной установке с помощью тепла уходящих газов из топки), воздухоподогреватель, каркас, обмуровка, тепловая изоляция, обшивка.

Пароперегреватель - элемент котлоагрегата для перегрева пара, то есть для повышения его температуры сверх температуры насыщения. Состоит из укрепленных параллельно стальных труб с внутренним диаметром 20-60 мм, присоединённых непосредственно к барабану котла или к входному, выходному, а иногда к промежуточному коллектору (рис.4.3). По направлению движения пара относительно дымовых газов различают пароперегреватели с параллельным током, противотоком и смешанным током.

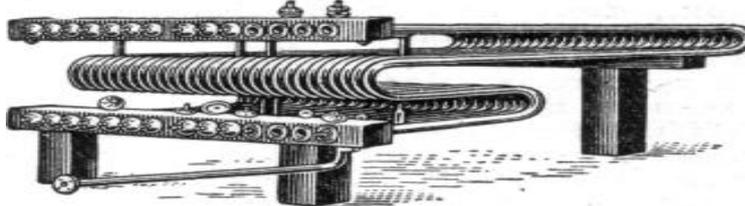


Рис.4.3. Внешний вид пароперегревателя

Паровые турбины (ПТ) ТЭС комплектуются с электрическими генераторами: каждой турбине соответствует свой генератор. Мощность турбины КЭС выбирается в соответствии с мощностью блоков, а число их устанавливается по заданной мощности электростанции.

ПТ используются в качестве основных двигателей промышленных когенерационных систем (производящих тепловую и электрическую энергию) в течение многих лет. Пар, образующийся в паровом котле, расширяясь, под высоким давлением проходит через лопатки турбины. Поток водяного пара поступает через направляющие аппараты на криволинейные лопатки, закрепленные по окружности ротора, и, воздействуя на них, приводит ротор во вращение. В отличие от поршневой паровой машины, ПТ использует не потенциальную, а кинетическую энергию пара.

Электрическая мощность системы зависит от того, насколько велик перепад давления пара на входе и выходе турбины. КПД паровой турбины в части генерации электроэнергии является самым низким из всех рассматриваемых технологий (до 25%), но в составе когенерационных систем суммарная эффективность может достигать 84% в расчете на условную единицу израсходованного топлива (по теплотворной способности). Из этого следует, что ПТ находят применение в местах, где потребность в тепловой энергии намного выше, чем в электрической. Предлагаемые на рынке системы, как правило, рассчитаны на производство от 500 кВт и более электроэнергии.

Паровые турбины бывают двух типов:

- с противодавлением (когда давление пара на выходе турбины выше атмосферного);

- конденсационные (когда давление пара на выходе турбины ниже атмосферного).

Применение конденсатора на выходе турбины позволяет увеличить электрическую эффективность, но практически сводит к нулю последующее использование отходящего тепла.

Попытки создать ПТ делались очень давно. Известно описание примитивной ПТ, сделанное Героном Александрийским (1 в. до н. э.). Однако только в конце 19 в., когда термодинамика, машиностроение и металлургия достигли достаточного уровня, К.Г. Лаваль (Швеция) и Ч.А. Парсонс (Великобритания) независимо друг от друга в 1884-89 создали промышленно пригодные ПТ. Лаваль применил расширение пара в конических неподвижных соплах в один приём от начального до конечного давления и полученную струю (со сверхзвуковой скоростью истечения) направил на один ряд рабочих лопаток, насаженных на диск. ПТ, работающие по этому принципу, получили название активных ПТ. Парсонс создал многоступенчатую реактивную ПТ, в которой расширение пара осуществлялось в большом числе последовательно расположенных ступеней не только в каналах неподвижных (направляющих) лопаток, но и между подвижными (рабочими) лопатками.

ПТ оказалась очень удобным двигателем для привода вращающихся механизмов (генераторы электрического тока, насосы, воздуходувки) и судовых винтов; она была более быстроходной, компактной, лёгкой, экономичной и уравновешенной, чем поршневая паровая машина. Развитие ПТ пошло чрезвычайно быстро как в направлении улучшения экономичности и повышения единичной мощности, так и по пути создания специализированных ПТ различного назначения.

В СССР ещё в 50-60 гг. прошлого века были освоены паротурбинные установки на закритические параметры пара (давление 24 МПа, 565 °С).

**Электрические генераторы** предназначены для преобразования механической энергии вращающегося вала двигателя (турбины) в электроэнергию. Генераторы могут быть синхронными или асинхронными, но чаще используются синхронные генераторы.

## **Раздел 5. Газотурбинные и парогазовые установки**

### **Тема 5.1. Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема**

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (1 час).

В отличие от паротурбинного цикла (паросилового цикла Ренкина для водяного пара), в циклах газотурбинных установок (ГТУ) рабочим телом служат нагретые до высокой температуры сжатые газы. В качестве таких газов чаще всего используют смесь воздуха и продуктов сгорания жидкого (или газообразного) топлива.

Технологическая схема электростанции с газовыми турбинами (ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении) представлена на рис.5.1.

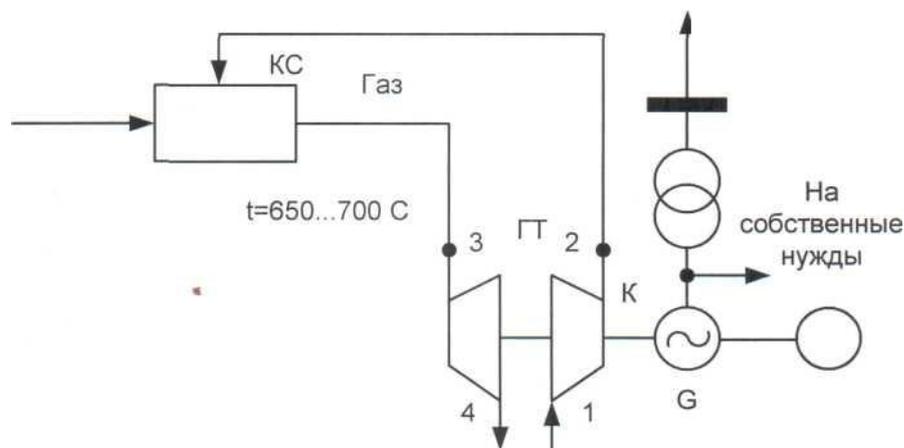


Рис.5.1. Технологическая схема электростанции с газовыми турбинами  
 1,2- вход и выход воздуха в компрессоре; 3,4- вход и выход газа в турбине; КС - камера сгорания; ГТ- газовая турбина; К- компрессор; С - генератор; Т- трансформатор;  
 РУВН-распределительное устройство высокого напряжения  
 М- пусковой двигатель

Воздушный компрессор К сжимает атмосферный воздух, повышая его давление с  $p_1$  до  $p_2$ , и непрерывно подаёт его в камеру сгорания КС. Туда же специальным насосом непрерывно подаётся необходимое количество жидкого или газообразного топлива. Образующиеся в камере продукты сгорания выходят из неё с температурой  $T_3$  и практически с тем же давлением, что и на выходе из компрессора.

В газовой турбине продукты сгорания адиабатно расширяются, в результате чего их температура снижается до  $T_4$ , а давление уменьшается до атмосферного  $p_1$ . Весь перепад используется для получения технической работы в турбине. Большая часть работы расходуется на привод компрессора; разность между технической работой и работой на компрессор затрачивается на производство электроэнергии в электрическом генераторе.

Первые ГТУ развивались с начала 20 в., в первую очередь, как транспортные электроустановки и имели КПД 18-20%. Это объяснялось отсутствием необходимых по качеству жаропрочных сталей, и, как следствие, низкой температурой газа перед турбиной (600-700 °С). К настоящему времени ГТУ развиваются в основном как составные части парогазовой установки (ПГУ), и их КПД вырос до 34-38%.

Основу современных газотурбинных электростанций России составляют газовые турбины мощностью 25...160 МВт. В последние годы для энергоснабжения газовых и нефтяных месторождений используют ГТУ мощностью 2,5...15 МВт.

## Тема 5.2. Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (1 час).

Высокий уровень температур при подводе теплоты в ГТУ и низкий уровень отвода теплоты в ПТУ привели к развитию комбинированного парогазового цикла, который применяется при разнообразных сочетаниях двух рабочих тел: газа и водяного пара. Парогазовый цикл содержит газотурбинную ступень в области высоких температур и паротурбинную в области низких. Отработавший в газовой турбине газ отдаёт свою теплоту в паротурбинной ступени для целей промежуточного перегрева пара, для нагрева питательной воды, получения пара низкого давления в котле-утилизаторе и др. На рис.5.2 представлена технологическая схема ПГУ.

В камеру 2 подаётся топливо и компрессором 1 – сжатый воздух. Продукты сгорания, отобрав в газовой турбине 3, поступают в подогреватель 10, где нагревают питательную воду, поступающую в котёл, и удаляются в атмосферу. Перегретый пар, получаемый в котлоагрегаторе 5, расширяется в паровой турбине 6 и конденсируется в конденсаторе 8. Конденсат насосом 9 перекачивается в подогреватель 10, где нагревается и поступает затем в котёл.

Полезная мощность, вырабатываемая газовой и паровой турбинами, передается генераторам электрического тока 4 и 7.

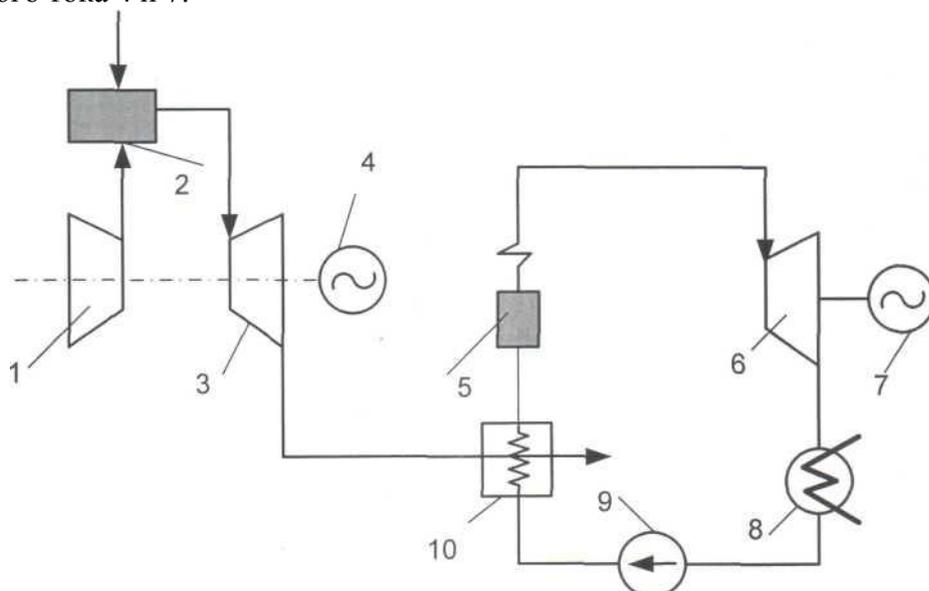


Рис.5.2. Технологическая схема ПГУ

1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – газовая турбина; 4,1' – электрогенераторы; 5 – котлоагрегат; 6 – паровая турбина; 8 – конденсатор; 9 – насос; 10 – подогреватель

ПГУ появились в 60-е годы прошлого века, КПД их составлял около 40%. К концу XX в. он уже достиг уровня 58%, для дальнейшего повышения есть как термодинамические, так и экономические возможности. Газотурбинная часть существующих ПГУ работает по простому циклу Брайтона, но может использоваться и более сложный цикл с многоступенчатым подводом тепла. Ожидаемый КПД такой схемы более 60%. У ПГУ есть достаточный потенциал роста эффективности, связанный с увеличением температуры газа перед газовой турбиной за счёт применения улучшенных систем охлаждения лопаток турбин, новых материалов для них и т.п.

## Раздел 6. Атомные электростанции

### Тема 6.1. Устройство и классификация ядерных реакторов

Атомные электростанции (АЭС) – это по существу тепловые электростанции, которые используют тепловую энергию ядерных реакций.

Возможность использования ядерного топлива, в основном урана  $^{235}\text{U}$ , в качестве источника теплоты связана с осуществлением цепной реакции деления вещества и выделением при этом огромного количества энергии. Самоподдерживающиеся и регулируемая цепная реакция деления ядер урана обеспечивается в ядерном реакторе.

Ядерные реакторы представляют собой сложные устройства, предназначенные для осуществления непрерывной и управляемой реакции деления ядер. Энергетические ядерные реакторы, используемые на атомных электростанциях, классифицируют:

- по спектру (энергии) нейтронов - реакторы па тепловых нейтронах (ТИ) и быстрых нейтронах (БН);

- по виду замедлителя - с обычной водой и тяжелой водой, с графитом; в реакторах на быстрых нейтронах замедлитель отсутствует;

- по виду теплоносителя - водяные (кипящий или некипящий), жид-кометаллические натриевые, на органических соединениях и газовые (на диоксиде углерода, на гелии);

- по конструктивным особенностям - корпусные, в которых теплоноситель движется сплошным потоком, а корпус реактора рассчитан на давление теплоносителя» и каналные, в которых теплоноситель движется в активной зоне внутри труб каналов, воспринимающих его давление (герметичный корпус отсутствует).

В настоящее время наиболее освоены реакторы на медленных тепловых нейтронах. Такие реакторы конструктивно проще и легче управляемы по сравнению с реакторами на быстрых нейтронах. Однако перспективным направлением является использование реакторов на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством ядерного горючего – плутония, таким образом может быть использоваться большая часть  $^{238}\text{U}$ .

На атомных станциях России используют ядерные реакторы следующих основных типов:

- РБМК (реактор большой мощности, канальный) - реактор на тепловых нейтронах, водо-графитовый;
- ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) - реактор на тепловых нейтронах;
- БН - реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим натриевым теплоносителем.

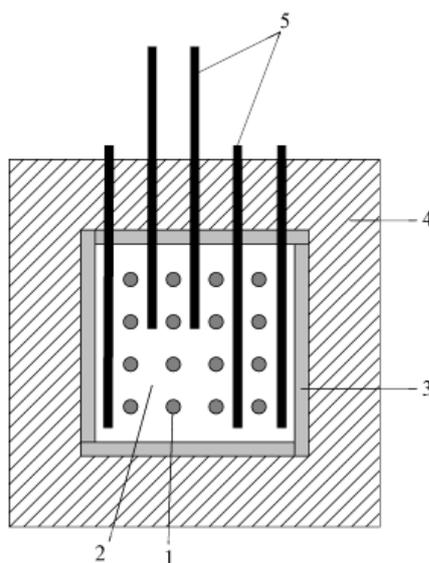


Рис.6.1. Схема ядерного реактора:

1 - ядерное топливо, 2 - замедлитель, 3 - отражатель нейтронов, 4 - защита, 5 - регулирующие стержни

Основная часть реактора – его активная зона, где происходит деление ядер и выделяется ядерная энергия. Активная зона, имеющая обычно форму цилиндра объёмом от долей литра до многих кубометров, содержит делящееся вещество (ядерное топливо) в количестве, превышающем критическую массу. Ядерное топливо (уран, плутоний) размещается, как правило, внутри тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), количество которых в активной зоне может достигать десятков тысяч. ТВЭЛы сгруппированы в пакеты по несколько десятков или сотен штук. Активная зона в большинстве случаев представляет собой совокупность ТВЭЛов погружённых в замедляющую среду (замедлитель) – вещество, за счёт упругих соударений с атомами которого энергия нейтронов, вызывающих и сопровождающих деление, снижается до энергий теплового равновесия со средой. Такие “тепловые” нейтроны обладают повышенной способностью вызывать деление. В качестве замедлителя обычно используется вода (в том числе и тяжёлая,  $\text{D}_2\text{O}$ ) и графит. Активную зону реактора окружает отражатель из материалов, способных хорошо рассеивать нейтроны. Этот слой возвращает вылетающие из активной зоны нейтроны обратно в эту зону, повышая скорость протекания цепной реакции и снижая критическую массу. Вокруг отражателя размещают радиационную биологическую защиту из бетона и других материалов для снижения излучения за пределами реактора до допустимого уровня.

В активной зоне в результате деления освобождается в виде тепла огромная энергия. Она выводится из активной зоны с помощью газа, воды или другого вещества (теплоносителя), которое постоянно прокачивается через активную зону, омывая ТВЭЛы. Это тепло может быть использовано для создания горячего пара, вращающего турбину электростанции.

Для управления скоростью протекания цепной реакции деления применяют регулирующие стержни из материалов, сильно поглощающих нейтроны. Введение их в активную

зону снижает скорость цепной реакции и при необходимости полностью останавливает её, несмотря на то, что масса ядерного топлива превышает критическую. По мере извлечения регулирующих стержней из активной зоны поглощение нейтронов уменьшается, и цепная реакция может быть доведена до стадии самоподдерживающейся.

Первый реактор был пущен в США в 1942 г. В Европе первый реактор был пущен в 1946 г. в СССР.

## Тема 6.2. Технологическая схема атомной электростанции

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (1 час).

Технологическая схема АЭС зависит от типа реактора, вида теплоносителя и замедлителя, а также от ряда других факторов. Схема может быть одноконтурной, двухконтурной и трехконтурной.

Перспективными являются АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Схема АЭС с реактором типа БН является трёхконтурной (рис.6.2).

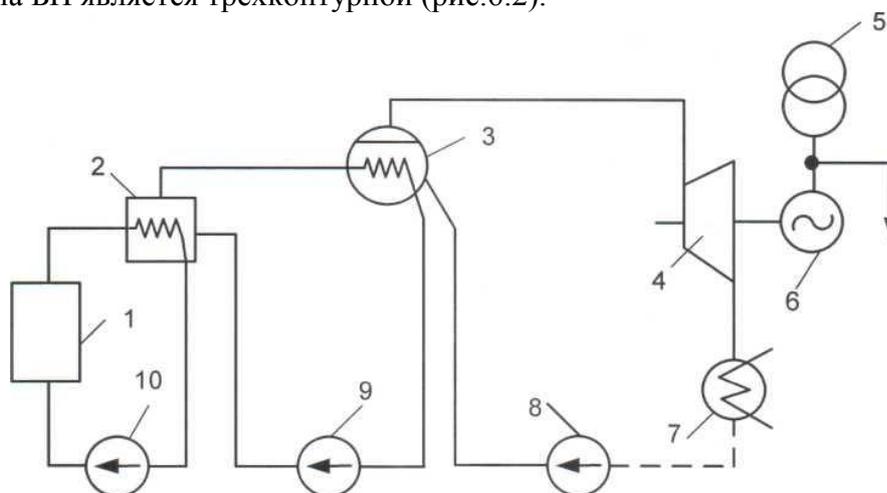


Рис. 6.2. Технологическая схема АЭС с реактором типа БН 1- реактор; 2 - теплообменник первого контура; 3 - теплообменник (барaban) второго контура; 4 — паровая турбина; 5 - повышающий трансформатор; 6 — генератор; 7-конденсатор; 8, 9, 10 - насосы

В двух контурах используется жидкий натрий (в контуре реактора и промежуточным). Жидкий натрий бурно реагирует с водой и водяным паром. Поэтому, чтобы избежать при авариях контакта радиоактивного натрия первого контура с водой и водяным паром, выполняется второй (промежуточный) контур. Рабочим телом третьего контура является вода и водяной пар.

Для предохранения персонала АЭС от радиационного облучения реактор окружают биологической защитой, основным материалом для которой служат бетон, вода, песок. Оборудование реакторного контура должно быть полностью герметичным. Предусматривается система контроля мест возможной утечки теплоносителя, принимают меры, чтобы появление неплотностей и разрывов контура не приводило к радиоактивным выбросам и загрязнению помещений АЭС и окружающей местности. Оборудование реакторного контура обычно устанавливают в герметичных боксах, которые отделены от остальных помещений АЭС биологической защитой и при работе реактора не обслуживаются. Радиоактивный воздух и небольшое количество паров теплоносителя, обусловленное наличием протечек из контура, удаляют из необслуживаемых помещений АЭС спец. системой вентиляции, в которой для исключения возможности загрязнения атмосферы предусмотрены очистные фильтры и газгольдеры выдержки. За выполнением правил радиационной безопасности персоналом АЭС следит служба дозиметрического контроля.

При авариях в системе охлаждения реактора для исключения перегрева и нарушения герметичности оболочек ТВЭЛов предусматривают быстрое (в течение несколько секунд)

глушение ядерной реакции; аварийная система расхолаживания имеет автономные источники питания.

Наличие биологической защиты, систем специальной вентиляции и аварийного расхолаживания и службы дозиметрического контроля позволяет полностью обезопасить обслуживающий персонал АЭС от вредных воздействий радиоактивного облучения.

### **Тема 6.3. Основные достоинства и недостатки атомных электростанций**

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

Во многих странах АЭС уже вырабатывают более половины электроэнергии (во Франции - около 75%, в Бельгии - около 65%), в России только 15%. Наряду с этим в 90-е годы строительство АЭС в развитых странах резко замедлилось или даже прекратилось. В некоторых странах был введен мораторий на развитие ядерной энергетики (Австрия, Италия и т.д.). Основной причиной этих изменений послужили крупные аварии на Чернобыльской АЭС (Украина) и на АЭС «Три-Майл-Айленд» (США).

В перспективе создание реакторов третьего поколения, особенно реакторов типа БН. Сейчас ограничение масштабов АЭС требуется в связи с тем, что у реакторов второго поколения сохраняется вероятность крупных аварий, и чем больше число реакторов, тем больше будет их интегральная вероятность крупной аварии. Создание реакторов третьего поколения, у которых полностью исключены крупные аварии, позволит значительно расширить масштабы развития ядерной энергетики.

Основные достоинства АЭС: 1) не загрязняют окружающей среды при нормальных условиях функционирования; 2) не требуют привязки к источнику сырья.

Основные недостатки АЭС: 1) проблема захоронения радиоактивных отходов; 2) катастрофические последствия аварий; 3) тепловое загрязнение используемых водоёмов.

## **Раздел 7. Гидроэнергетические установки**

### **Тема 7.1. Классификация гидроэнергетических установок**

Гидроэлектростанции – это высокоэффективные источники электроэнергии. В большинстве случаев ГЭС представляют собой объекты комплексного назначения, обеспечивающие нужды электроэнергетики и других отраслей народного хозяйства: водного транспорта, водоснабжения, рыбного хозяйства и т.д. ГЭС имеются практически во всех странах (за исключением государств Аравийского полуострова, Ливии и некоторых других). Их сооружения являются одним из важных направлений развития электроэнергетики.

ГЭС – это комплекс сооружений и оборудования, посредством которого энергия водотока преобразуется в электрическую энергию. Она состоит из гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание сосредоточенного напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в электрическую энергию.

В зависимости от напора ГЭС подразделяют: на высоконапорные (более 80 м), средненапорные (от 25 до 80 м) и низконапорные (до 25 м). Принято называть совокупность гидротехнических сооружений, энергетическое и механическое оборудование гидроэнергетической установкой (ГЭУ).

Различают основные типы ГЭУ:

- гидроэлектростанции (ГЭС)
- насосные станции (НС)
- гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)
- приливные электростанции (ПЭС)
- волновые электростанции (ВолЭС)

## Тема 7.2. Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.25 часа).

Основными сооружениями ГЭС на равнинной реке являются: *плотина*, создающая водохранилище и сосредоточенный перепад уровней, т.е. напор, и *здание ГЭС*, в котором размещаются гидротурбины, генераторы, электрическое и механическое оборудование. В случае необходимости строятся водосборные и судоходные сооружения, рыбопропускные сооружения и т.д.

Вода под воздействием силы тяжести по водоводам движется из верхнего бьефа в нижний, вращая рабочее колесо турбины. В энергетических целях в основном используется речной сток. При этом утилизируется либо непосредственно кинетическая энергия текущей воды (при этом мощности, как правило, невелики), либо её энергия, сконцентрированная за счёт создания искусственного перепада высот (плотинные и деривационные ГЭС). Турбина и генератор вместе образуют гидрогенератор. В турбине энергия водотока преобразуется в механическую энергию вращения на валу агрегата, а генератор преобразует эту энергию в электрическую.

**Плотинная схема** предусматривает создание подпора уровня водотока путём сооружения плотины. Образующееся при этом водохранилище может использоваться в качестве регулирующей ёмкости, позволяющей периодически накапливать запасы воды и более полно использовать энергию водотока.

В гидроузлах, осуществлённых по плотинной схеме создания напора, различают *русловые* и *приплотинные* здания станций.

ГЭС с русловым зданием характеризуется тем, что её создание входит в состав водоподпорных сооружений и воспринимает давление воды со стороны верхнего бьефа. ГЭС с приплотинным зданием характеризуются, тем, что здание располагается за плотиной и не воспринимает давление воды.

**Деривационная схема** позволяет получить сосредоточенный перепад путём отвода воды из естественного русла по искусственному водоводу, имеющему меньший продольный уклон. Благодаря этому уровень воды в конце водовода оказывается выше уровня воды в реке; это разность и является напором такой ГЭС.

Сооружение деривационных ГЭС оказывается целесообразным в горных условиях при больших уклонах рек и относительно малых расходах воды; тогда при небольшой протяжённости и малой площади сечения деривационного водовода можно получить большой напор (1000 м и более) и соответственно большую мощность.

**Комбинированная схема** предусматривает создание напора посредством использования напора, как плотины, так и деривационных сооружений.

На всех ГЭС, осуществлённых по любой из указанных схем, механическая энергия движущихся масс воды преобразуется в электрическую с помощью гидротурбин и гидрогенераторов, размещённых вместе с многочисленным вспомогательным оборудованием.

**Гидротурбины.** Основным энергетическим оборудованием ГЭС являются гидротурбины и генераторы. *Гидравлической турбиной* называется машина, преобразующая энергию движения воды в механическую энергию вращения её рабочего колеса.

## Тема 7.3. Классификация гидротурбин

Гидротурбины подразделяются на два класса: активные и реактивные. Турбина называется *активной*, если используется только кинетическая энергия потока, и *реактивной*, если используется и потенциальная энергия при реактивном эффекте. Наиболее распространёнными активными гидротурбинами являются *ковшевые* (рис.7.1, а).

В *ковшовой активной* турбине потенциальная энергия гидростатического давления в суживающейся насадке — сопле — полностью превращается в кинетическую энергию движения воды. Рабочее колесо турбины выполнено в виде диска, по окружности которого расположены ковшеобразные лопасти 7 (рис.7.1, а). Вода, огибая поверхности лопастей, меняет

направление движения. При этом возникают центробежные силы, действующие на поверхности лопастей, и энергия движения воды преобразуется в энергию вращения колеса турбины.

Если скорость движения воды, вытекающей из турбины, равна нулю, то вся кинетическая энергия воды, не считая потерь, превращается в механическую энергию турбины.

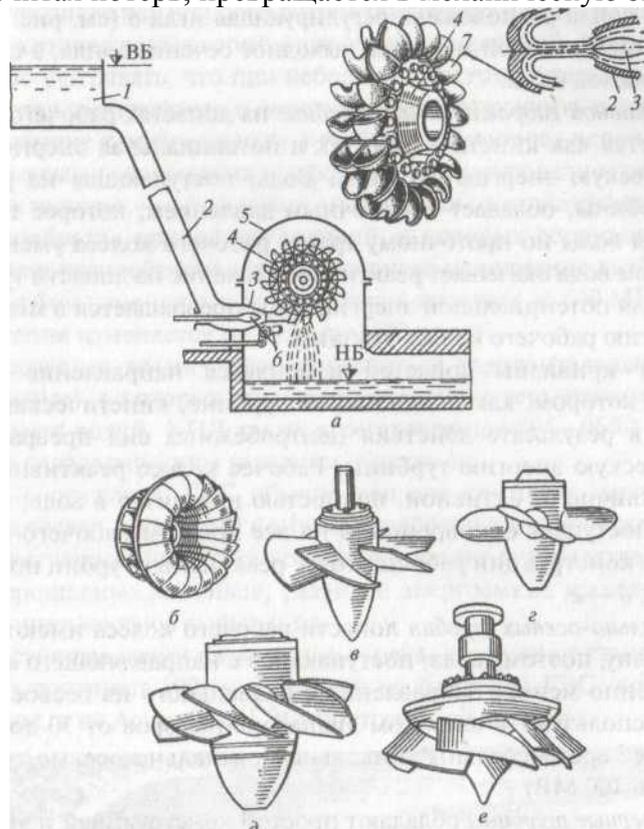


Рис.7.1. Общие виды рабочих колес гидротурбин:

*a* - принцип работы и общий вид ковшовой турбины: 1 - бассейн верхнего уровня (бьефа); 2 - турбинный трубопровод; 3 - сопло; 4 - рабочее колесо; 5 - кожух; 6 - регулировочная игла; 7 - лопасти (ковши);

Различные конструкции рабочих колёс реактивных турбины создают их различные типы: радиально-осевые (рис.7.1, б); пропеллерные (рис.7.1, в); поворотно-лопастные (рис.7.1, г); двухперовые (рис.7.1, д); диагональные (рис.7.1, е).

В *реактивной гидравлической турбине* на лопастях рабочего колеса преобразуется как кинетическая, так и потенциальная энергия воды в механическую энергию турбины. Вода, поступающая на рабочее колесо турбины, обладает избыточным давлением, которое по мере протекания воды по проточному тракту рабочего колеса уменьшается. При этом вода оказывает реактивное давление на лопасти турбины и слагающая потенциальной энергии воды превращается в механическую энергию рабочего колеса турбины.

За счет кривизны лопастей изменяется направление потока воды, при котором, как и в активной турбине, кинетическая энергия воды в результате действия центробежных сил превращается в механическую энергию турбины. Рабочее колесо реактивной турбины, в отличие от активной, полностью находится в воде, т.е. поток воды поступает одновременно на все лопасти рабочего колеса.

Радиально-осевые турбины установлены на Братской, Красноярской и других ГЭС. Поворотно-лопастными турбинами оборудованы Куйбышевская, Волгоградская, Каховская и другие ГЭС.

ГЭС как источник электрической энергии имеют существенные преимущества перед тепловыми и атомными электростанциями. Они лучше приспособлены для автоматизации и требуют меньшего количества эксплуатационного персонала. В России построены и экс-

платируются крупные ГЭС: каскад волжских ГЭС мощностью 2,53 ГВт и менее, Братская ГЭС - 4,5 ГВт, Красноярская ГЭС - 6,3 ГВт, Саяно-Шушенская ГЭС - 6,4 ГВт.

На электрических станциях турбина и генератор связаны общим валом. Частоты их вращения не могут выбираться произвольно. Они зависят от числа пар полюсов ротора генератора и частоты переменного тока, которая должна соответствовать стандартной. Кроме того, необходимо учитывать, что при небольших частотах вращения турбины получают громоздкими и дорогими. Чтобы получить скорости агрегатов, близкие к оптимальным, при больших напорах используют турбины с малыми значениями коэффициента быстроходности, а при небольших напорах – с большими значениями этого коэффициента.

#### Тема 7.4. Малые ГЭС и микро ГЭС

В настоящее время в мире и России большой интерес вызывает возможность создания малых ГЭС мощностью до 30 МВт. Малые ГЭС можно строить при небольшой глубине рек и скорости течения не менее 1 м/с. Они могут создаваться в короткие сроки с использованием унифицированных гидроагрегатов и строительных конструкций с высоким уровнем автоматизации систем управления.

Малые ГЭС мощностью примерно от 1 кВт до 1 МВт представляются приоритетными источниками энергоснабжения автономных потребителей в гористой местности, для которой характерно наличие сети водотоков с повышенным уклоном русла.

Для отдельных мест возможна установка микро ГЭС, для которых могут применяться свободно погруженные гидротурбины, т.е. не следует сооружать плотины. Гидротурбины микро ГЭС могут иметь КПД до 90 %.

Высокая экономичность и экологическая эффективность малых ГЭС и микро ГЭС, обусловлены следующими факторами:

- небольшая площадь затопления (для некоторых микро ГЭС вообще нет затопления);
- простота подготовки местности к затоплению;
- мелководные и небольшие по объему водохранилища малых ГЭС не препятствуют процессам водообмена;
- небольшая степень нарушения среды обитания человека и животного мира;
- наносят незначительный ущерб рыбному хозяйству;
- простота обеспечения безопасной эксплуатации малых ГЭС, разрушение их плотин не так опасно, как разрушение плотин крупных ГЭС.

#### Тема 7.5. Насосная станция. Классификация насосных станций

НС предназначена для перекачки воды с низких отметок на высокие и транспортирования воды в удалённые пункты. На ней устанавливаются насосные агрегаты, состоящие из насоса и двигателя. НС является потребителем электроэнергии.

НС используются для водоснабжения ТЭС и АЭС, коммунально-бытового и промышленного водоснабжения, а также в ирригационных системах, в судоходных каналах, пересекающих водоразделы и т.п. Состав сооружений, конструктивные особенности насосной станции, тип и число основного и вспомогательного оборудования определяется с учетом назначения насосной станции и технологическими требованиями к ней.

По своему назначению в системе водоснабжения и водоотведения насосные станции подразделяются:

**Водопроводные:** по своему назначению и расположению в общей схеме водоснабжения делятся на станции, первого подъема, второго подъема, повысительные и циркуляционные.

**Насосные станции первого подъема** забирают воду из источника водоснабжения и подают ее на очистные сооружения или, если не требуется очистки, непосредственно в резервуары, сеть, водонапорную башню в зависимости от принятой схемы водоснабжения.

**Насосные станции второго подъема** служат для подачи очищенной воды из резервуаров чистой воды потребителю.

**Повысительные насосные станции** предназначены для повышения напора в водопроводной сети или водоводе.

**Циркуляционные насосные станции** входят в схемы оборотного водоснабжения промышленных предприятий и тепловых электростанций. На этих станциях одни подают отработанную воду на охлаждение или очистные устройства, а другие возвращают ее снова к промышленным агрегатам.

**Канализационные:** их назначение в схемах канализации заключается в подъеме воды на очистные сооружения, если рельеф местности не позволяет подавать воду самотеком.

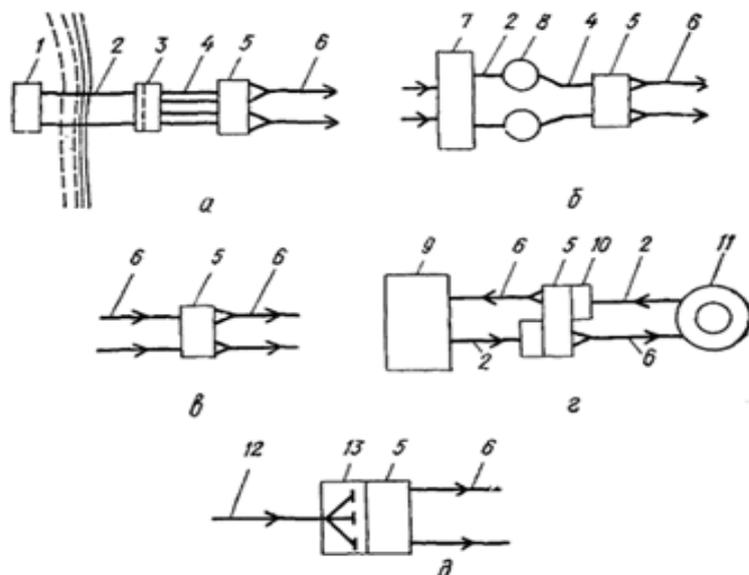


Рис.7.2. Схема компоновки насосных станций различного назначения

а — насосная станция I подъема из открытого водоисточника;

б — насосная станция II подъема;

в — повысительная насосная станция;

г — циркуляционная насосная станция;

д — насосная станция водоотведения;

1 — водозабор;

2 — самотечные водоводы;

3 — водоприемно-сеточный колодец;

4 — всасывающие трубы;

5 — насосная станция;

6 — напорные водоводы;

7 — очистные сооружения;

8 — резервуары чистой воды;

9 — потребители технической воды

10 — приемные камеры;

11 — охлаждающие или очистные сооружения;

12 — самотечный коллектор;

13 — помещение решеток

## Тема 7.6. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)

ГАЭС предназначена для перераспределения во времени энергии и мощности в энергосистеме. В часы пониженных нагрузок ГАЭС работает как насосная станция. Она за счёт потребляемой энергии перекачивает воду из нижнего бьефа в верхний и создаёт запасы гидроэнергии за счёт повышения уровня верхнего бьефа.



Рис.7.3. Схема создания напора ГАЭС

В часы максимальной нагрузки ГАЭС работает как ГЭС. Вода из верхнего бьефа пропускается через турбину в нижний, и ГАЭС вырабатывает и выдаёт электроэнергию в энергосистему. В процессе ГАЭС потребляет дешёвую электроэнергию, а выдаёт более дорогую энергию в период пика нагрузки (за счёт разности тарифов). Заполняя провалы нагрузки в энергосистеме, она позволяет агрегатам АЭС и ТЭС работать в наиболее экономичном и безопасном режиме, резко снижая при этом удельный расход топлива на производство 1 кВт\*ч электроэнергии в энергосистеме.

В настоящее время в России работает гидроаккумулирующий комплекс канала имени Москвы, Кубанская ГАЭС, Загорская ГАЭС мощностью 1.2 ГВт, а также планируется строительство ещё несколько ГАЭС (например, Ленинградская ГАЭС мощностью 1,56 ГВт – 73,8 млрд. руб.).

### Тема 7.7. Приливные электростанции (ПЭС)

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

ПЭС сооружаются на побережье морей и океанов со значительными приливно-отливными колебаниями уровня воды. Для этого естественный залив отделяется от моря плотиной и зданием ПЭС. При приливе уровень моря будет выше уровня воды в отделённом от него заливе, а при отливе, наоборот, ниже, чем уровень воды в заливе. Перепады этих уровней создают напор, который используется при работе гидротурбин ПЭС.

В некоторых морских заливах приливы и отливы достигают 10-12 м, а наибольшие приливы наблюдаются в заливе Фанди (Канада) - до 19,6 м. Технические ресурсы приливной энергии России оцениваются в 200-250 млрд. кВт\*ч. и в основном сосредоточены у побережья Охотского, Берингова и Белого морей.

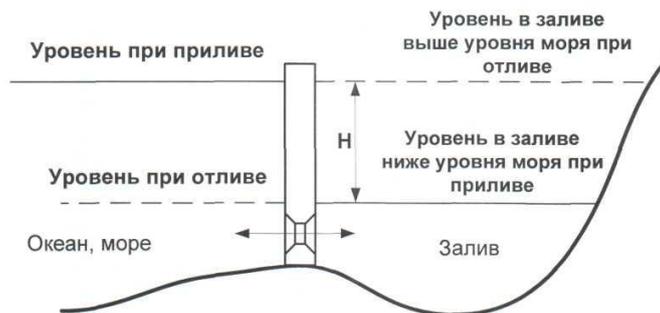


Рис.7.4. Схема создания напора ПЭС

## Тема 7.8. Волновые электростанции

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

Движение океанских волн сопровождается выделением фантастических объемов энергии. Однако человечество пока так и не научилось эффективно перерабатывать эту энергию для своих целей.

Существует несколько способов использования энергии волн:

1. Использование вертикальных подъемов и спадов волны для привода в действие водяных или воздушных турбин, соединенных с электрогенераторами.

2. Использование горизонтального перемещения волн с помощью устройств флюгерного типа (флюгер – прибор для измерения направления ветра; флюгер представляет собой металлический флаг, расположенный на вертикальной оси и поворачивающийся под воздействием ветра) для получения через специальную передачу вращательного движения.

3. Концентрация волн в сходящемся канале, в котором их кинетическая энергия поддерживала бы напор воды, достаточный для привода в действие турбины.

Одно из устройств первой группы представляет собой вертикальную трубу, погруженную нижним открытым концом в достаточно спокойные слои моря и закрытую сверху. Труба закреплена на поплавке. В верхней ее части, в "волновой" камере, вода имеет свободную поверхность. При подъеме волны уровень свободной поверхности в "волновой" камере поднимается и сжимает воздух, который приводит в действие воздушную турбину, соединенную с электрогенератором. При спаде волны через атмосферный клапан в "волновую" камеру засасывается новая порция воздуха. И далее процесс повторяется. Период колебаний уровня воды 5 - 6 с.

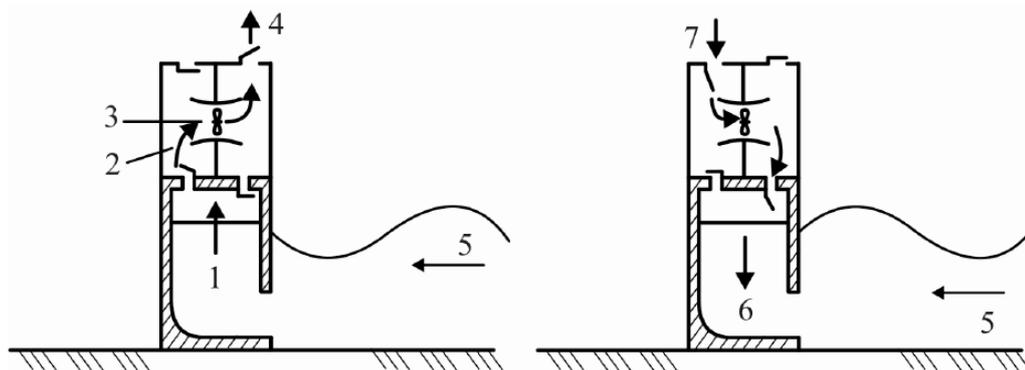


Рис.7.5. Схема волновой электростанции

1 – волновой подъем уровня; 2 – воздушный поток; 3 – турбина; 4 – выпуск воздуха; 5 – направление волны; 6 – опускание уровня; 7 – впуск воздуха.

## Тема 7.9. Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире

Сооружение ГЭС остаётся одним из важных направлений развития электроэнергетики в видимой перспективе. Государства. Интенсивно развивающие свою экономику, стремятся за счёт сооружения ГЭС с их дешёвой электроэнергией обеспечить быстрый прирост её производства и повышение энергообеспеченности населения. Сейчас это в полной мере относится к развивающимся странам Латинской Америки и Азии. Однако в своё время по этому пути шли и страны Европы и Северной Америки.

В 1970-90-е годы наиболее интенсивное гидростроительство велось в Бразилии, Венесуэле, Аргентине, Парагвае и др. В частности, в Латинской Америке было построено почти в 2 раза больше ГЭС мощностью свыше 2 ГВт, чем на всех других континентах. В этот период здесь были сооружены такие гидроэнергетические гиганты, как ГЭС Сип в Венесуэле (10,3 ГВт) и ГЭС Шири в Бразилии (12,6 ГВт).

В последнее десятилетие XX в. Значительно расширяется сооружение ГЭС в Азии, прежде всего в Юго-Восточной. И в лидеры мирового гидростроительства выдвинулся Китай.

### Крупнейшие ГЭС в мире

Наименование	Мощность ГВт	Среднегодовая выработка, млрд кВт·ч	География
Санься	22,40	100,00	р. Янцзы, г. Сандоупин, Китай
Игуасу	14,00	100,00	р. Парана, г. Фос-ду-Игуасу, Бразилия/Парагвай
Гури	10,30	40,00	р. Карони, Венесуэла
Тукуруи	8,30	21,00	р. Токантин, Бразилия
Саяно-Шушенская ГЭС	6,40	23,50	р. Енисей, г. Саяногорск, Россия
Красноярская ГЭС	6,00	20,40	р. Енисей, г. Дивногорск, Россия
Братская ГЭС	4,50	22,60	р. Ангара, г. Братск, Россия

Наряду с традиционными ГЭС во многих странах строятся ГАЭС и малые (мини и микро) ГЭС разной мощности.

Суммарная установленная мощность ГЭС в мире к 2020 г. по сравнению с базовым 1997 г. может увеличиться на 340 ГВт, а производство электроэнергии на них - с 2556 до 3900 ТВт\*ч.

Возможности гидроэнергостроительства в России далеко не исчерпаны, однако обладая вторым по величине гидроэнергопотенциалом, страна отличается очень низким уровнем их использования. Сейчас в России используется всего 9,9% технического потенциала по сравнению с 25% в мире в целом.

## Раздел 8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии

### Тема 8.1. Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.25 часа).

Солнечное излучение — экологически чистый и возобновляемый источник энергии. Запасы солнечной энергии огромны. Чтобы в полной мере использовать лучистую энергию Солнца, ее нужно превратить в какой-либо иной вид. Один из наиболее распространенных и перспективных способов преобразования света – фотоэлектрический. Фотоны передают свою энергию электронам в полупроводниках. Возникает электрический ток.

Однако использование этой энергии для производства электричества в крупных размерах сопряжено с большими трудностями, главные из которых — низкая плотность солнечной радиации на поверхности земли и прерывистый характер ее поступления (ночное время суток, облачность, пасмурные дни). Известные пути преодоления этих препятствий — создание аккумуляторов энергии и комбинированных солнечно-топливных или солнечно-атомных энергосистем, а также применение концентрирующих солнечную энергию устройств, повышающих ее плотность. К сожалению, эти решения не нашли широкого применения особенно в странах, расположенных в высоких широтах, из-за неконкурентоспособности с традиционными электростанциями.

Совершенно иных результатов можно было бы достичь, отказавшись от наземных солнечных электростанций и размещая их на геосинхронной орбите.

Идея солнечной космической электростанции (СКЭС) впервые была сформулирована в США Глезером П.Е. в 1968 году. Предлагалось разместить на геосинхронной орбите сол-

нечные батареи большой мощности, снабженные преобразователями постоянного тока в сверхвысокочастотное (СВЧ) электромагнитное излучение. Выбор геосинхронной орбиты (порядка 36 000 км) в качестве места базирования СКЭС обеспечивает зависание станции над определенным пунктом на земной поверхности, а использование направленного пучка электромагнитного излучения позволяет передать энергию со станции на Землю, где она может быть преобразована в электрический ток промышленной частоты.

От недостатков, присущих машинным преобразователям, свободны энергоустановки с так называемыми безмашинными преобразователями: термоэлектрическими и фотоэлектрическими (солнечные батареи), непосредственно преобразующими энергию солнечного излучения в электрический ток.

В настоящее время метод фотоэлектрического преобразования стал одним из приоритетных направлений использования солнечной энергии. Это обусловлено тем, что он обеспечивает:

- 1) максимальную экологическую чистоту преобразования энергии;
- 2) значительный срок службы (более 30 лет);
- 3) малые затраты на обслуживание и др.

#### **Термоэлектрический метод**

Термоэлектродгенераторы (ТЭГ) основаны на открытом в 1821 году немецким физиком Т.И. Зеебеком термоэлектрическом эффекте, состоящем в возникновении на концах двух разнородных проводников термо-ЭДС, если концы этих проводников находятся при разной температуре.

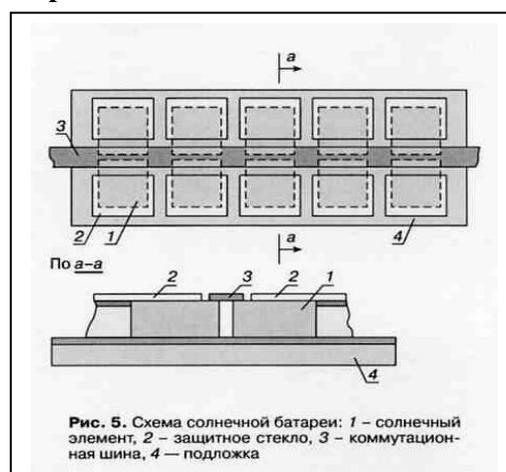
Открытый эффект первоначально использовался в термометрии для измерения температур. Энергетический КПД таких устройств-термопар, подразумевающий отношение электрической мощности, выделяемой на нагрузке, к подведенному теплу, составлял доли процента. Только после того, как академик А.Ф. Иоффе предложил использовать для изготовления термоэлементов вместо металлов полупроводники, стало возможным энергетическое использование термоэлектрического эффекта, и в 1940-1941 годах в Ленинградском физико-техническом институте был создан первый в мире полупроводниковый термоэлектродгенератор. В 40-50-е годы была разработана теория термоэлектрического эффекта в полупроводниках, а также синтезированы весьма эффективные (по сей день) термоэлектрические материалы.

В настоящее время в расположенных в Германии лабораториях ведётся разработка термоэлектрических преобразователей, представляющих собой дешёвые и компактные установки с КПД 35-40%, которые могут вырабатывать мощность от нескольких ватт до нескольких мегаватт. Предполагается, что такие термоэлектрические преобразователи смогут работать практически от любого источника тепловой энергии.

#### **Фотоэлектрический метод преобразования энергии**

Солнечная батарея (рис. 5) основана на явлении внешнего фотоэффекта, проявляющегося на  $p-n$ -переходе в полупроводнике при освещении его светом. Создают  $p-n$  (или  $n-p$ ) - переход введением в монокристаллический полупроводниковый материал-базу примеси с противоположным знаком проводимости. Например, в кремний вводят алюминий или литий. В результате при попадании на  $p-n$ -переход солнечного излучения происходит возбуждение электронов валентной зоны и образуется электрический ток во внешней цепи.

Фотоэлектрические источники находят применение для питания потребителей в широком интервале мощностей: от мини-генераторов для часов и калькуляторов мощностью несколько ватт до центральных электростанций мощностью несколько мегаватт.



В настоящее время уже предложено большое число конструкций солнечных элементов как на основе кремния, так и с использованием других полупроводниковых материалов. Различия конструкций во многом обусловлены стремлением повышения КПД за счёт применения эффективных оптических систем светособирания и светопоглощения.

КПД современных солнечных батарей достигает 13—20%.

## Тема 8.2. Энергия ветра. Ветроэнергетические установки

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.25 часа).

Ветровая энергия представляет собой возобновляемый источник энергии, являющийся вторичным по отношению к солнечной энергии. Причиной возникновения ветра является разности температур в атмосфере, образующиеся в результате действия солнечного излучения, которые, в свою очередь, обуславливают возникновение различных давлений. Ветер возникает в процессе рассеивания энергии, накопившейся вследствие наличия этих различных давлений.

Не вся энергия воздушного потока может быть использована даже с помощью идеального устройства. Теоретически коэффициент полезного использования энергии воздушного потока может быть равен 59,3%. На практике, согласно опубликованным данным, максимальный КПД энергии ветра в реальном ветроагрегате равен приблизительно 50%, однако и этот показатель достигается не при всех скоростях, а только при оптимальной скорости, предусмотренной проектом. Кроме того, часть энергии воздушного потока теряется при преобразовании механической энергии в электрическую, которое осуществляется с КПД обычно 75-95%.

Сооружаются ветроэнергетические установки (ВЭУ) преимущественно постоянного тока. Ветряное колесо приводит в движение динамо-машину-генератор электрического тока, который одновременно заряжает параллельно соединенные аккумуляторы. Аккумуляторная батарея автоматически подключается к генератору в тот момент, когда напряжение на его выходных клеммах становится больше, чем на клеммах батареи, и также автоматически отключается при противоположном соотношении.

Особенности работы ветроэнергетических установок в настоящее время хорошо изучены. Проводятся испытания и совершенствуются конструкции ветроагрегатов.

Принцип действия всех ветродвигателей один: под напором ветра вращается ветроколесо с лопастями, передавая крутящий момент через систему передач вала генератора, вырабатывающего электроэнергию. Чем больше диаметр ветроколеса, тем больший воздушный поток оно захватывает и тем больше энергии вырабатывает агрегат.

Преобразование кинетической энергии ветра в электрическую происходит с помощью ветроэнергетических установок, которые можно классифицировать по следующим признакам:

- по мощности — малые (до 10 кВт), средние (от 10 до 100 кВт), крупные (от 100 до 1000 кВт) и сверхкрупные (более 1000 кВт);
- по числу лопастей рабочего колеса — одно-, двух-, трех- и многолопастные;
- по отношению рабочего колеса к направлению воздушного потока: с горизонтальной осью вращения, параллельной (рис.8.1, а) или перпендикулярной вектору скорости (рис. 10.2, б).

В настоящее время в мире и в России наибольшее распространение получили трехлопастные ВЭУ с горизонтальной осью вращения, в состав которых входят следующие основные компоненты: рабочее колесо 1, гондола 2 с редуктором и генератором, башня 3 и фундамент 4.

Башня – чаще трубообразная, реже – решетчатая, на ней в гондоле размещается основное энергетическое, механическое и вспомогательное оборудование ВЭУ, в том числе рабочее колесо или ротор с лопастями, преобразующий энергию ветра в энергию вращения вала, редуктор для повышения частоты вращения вала ротора и генератор.

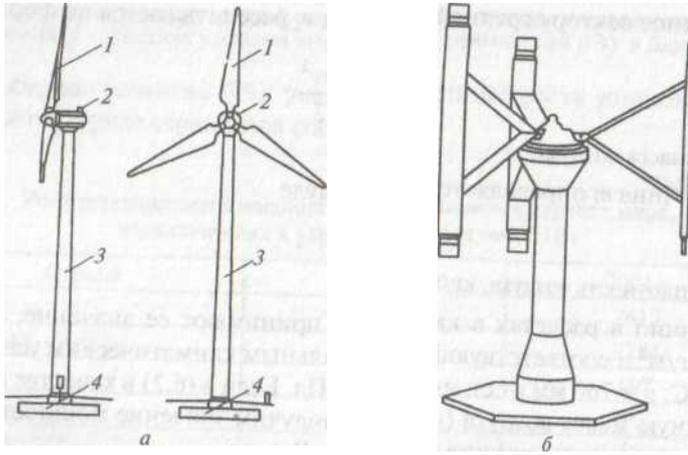


Рис. 8.1. Виды ветроэнергетических установок:  
 а – ВЭУ с горизонтальной осью вращения; б – ВЭУ с вертикальной осью вращения; 1 – рабочее колесо; 2 – гондола с генератором и редуктором; 3 – башня; 4 – фундамент установки

Лидирует в области ветроэнергетики Германия. Немцы удачно использовали особенности климата на севере страны, где ветры, причём довольно сильные, дуют практически постоянно. Второе место занимает Испания, третье – США. Дания уже к 2030 г. планирует получать половину всей необходимой стране электроэнергии с помощью ветра.

Приоритет как в развитии теоретических исследований, так и в создании проектов ветроэнергетических станций принадлежит нашей стране. Ещё в 1931 г. была сооружена в Крыму самая крупная в мире ветроэлектрическая станция мощностью 100 кВт. Станция работала до 1942 г. и давала электроэнергию в сеть напряжением 6,3 кВ.

### **Тема 8.3. Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии**

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

Эффективным возобновляемым источником энергии является биомасса. Ресурсы биомассы в различных видах есть почти во всех регионах мира, и почти в каждом из них может быть налажена ее переработка в энергию и топливо. На современном уровне за счет биомассы можно перекрыть 6-10% от общего количества энергетических потребностей промышленно развитых стран.

Биомасса сегодня является четвертым по значению топливом в мире, давая ежегодно 1250 млн. т у.т. энергии и составляя около 15% всех первичных энергоносителей (в развивающихся странах - до 38%).

Россия обладает 20% мировых лесных запасов, но в лесу ежегодно остается до 500 млн. кубометров перезрелой древесины, которая захламляет леса, увеличивает пожарную опасность. На различных стадиях переработки древесины появляются древесные отходы, которые составляют около 40% от исходного сырья. В России имеется достаточная сырьевая база для использования древесины в качестве энергетического топлива.

***Использование биомассы может проводиться в следующих направлениях:***

#### **1. Прямое сжигание**

Биомасса, главным образом в форме древесного топлива, является основным источником энергии приблизительно для 2 млрд. человек. В целом биомасса дает седьмую часть мирового объема топлива, а по количеству полученной энергии занимает наряду с природным газом третье место. Из биомассы получают в 4 раза больше энергии, чем дает ядерная энергетика.

Древесное топливо относится к экологически чистым видам топлива, минимально загрязняющим окружающую среду. В нем практически отсутствует сера, и содержание азота

не превышает 1% от массы, то есть при сжигании древесины образуется очень мало вредных окислов азота и серы.

Существует два способа использования древесины в качестве топлива — прямое одностадийное сжигание в слоевых топках на колосниковой решетке и двухстадийное сжигание, включающее предварительное превращение твердой древесины в газовое топливо с последующим сжиганием газа в различных устройствах (камерных топках, паровых и водогрейных котлах, в химических печах, в двигателях внутреннего сгорания, в бытовых печах и газовых плитах). Область использования газового топлива значительно шире, технологичнее, легче автоматизируется, меньше загрязняет окружающую среду.

## **2. Получение биогаза**

В нетрадиционной энергетике особое место занимает переработка биомассы (органических сельскохозяйственных и бытовых отходов) метановым брожением с получением биогаза, содержащего около 70% метана, и обеззараженных органических удобрений. Чрезвычайно важна утилизация биомассы в сельском хозяйстве, где на различные технологические нужды расходуется большое количество топлива и непрерывно растет потребность в высококачественных удобрениях. Всего в мире в настоящее время используется или разрабатывается около 60-ти разновидностей биогазовых технологий.

Биогаз — это смесь метана и углекислого газа, образующаяся в процессе сбраживания в специальных реакторах, устроенных и управляемых таким образом, чтобы обеспечить максимальное выделение метана. Энергия, получаемая при сжигании биогаза, может достигать от 60 до 90% той, которой обладает исходный материал. Другое, и очень важное, достоинство процесса переработки биомассы состоит в том, что в его отходах содержится значительно меньше болезнетворных микроорганизмов, чем в исходном материале.

Следует отметить, что смесь биогаза и природного газа в соотношении 1:10 является по своим характеристикам полностью взаимозаменяемой с природным газом.

## **Тема 8.4. Водородная энергетика**

Водород — самый распространённый элемент во Вселенной (92%). В земной природе встречается преимущественно в связанном виде (вода, минералы, уголь, нефть, живые существа, органические вещества). В свободном виде небольшие количества водорода иногда выбрасываются вулканами, в результате диффузии рассеиваясь в атмосфере. А так как средняя скорость теплового движения молекул водорода из-за их малой массы близка ко второй космической, то из слоев атмосферы эти молекулы улетают в космическое пространство.

### **Свойства водорода**

При обычных условиях водород — газ без цвета и запаха, почти в 15 раз легче воздуха. Обладает очень высокой теплопроводностью, сравнимой с теплопроводностью металлов. Это происходит из-за легкости молекул водорода и, следовательно, большой скорости их движения. Водород хорошо растворяется в некоторых металлах: в одном объеме палладия, например, растворяется до 900 объемов водорода. В соотношении 2:1 с кислородом образует взрывчатый гремучий газ. Температура сгорания водорода чрезвычайно высока — 2800°C.

### **Применение и получение водорода**

Широкое применение водород нашел в химической промышленности при синтезе аммиака, изготовления соляной и метиловой кислот, получения метилового спирта. В пищевой промышленности его используют для превращения жидких жиров в твердые (их гидрогенизации). Учитывая «невесомость» водорода, им заполняли и заполняют оболочки летательных аппаратов легче воздуха. Сначала это были воздушные шары, позднее — аэростаты и дирижабли, сегодня (вместе с гелием) — метеорологические зонды. Высокая температура горения, а в сочетании с электрической дугой она достигает 4000°C, обеспечивает расплав даже самых тугоплавких металлов. Поэтому кислородно-водородные горелки используют для сварки и резки металлов. В цветной металлургии восстановлением водородом получают особо чистые металлы из оксидов. В космической технике отечественная ракетаноситель «Энергия» с успехом использует водород в качестве топлива.

### Различают лабораторные и промышленные способы получения водорода.

В лабораторных условиях в настоящее время применяется:

- взаимодействие активных металлов с кислотами — неокислителями:  
$$\text{Zn} + 2\text{HCl} = \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$$
- взаимодействие алюминия (или цинка) с водными растворами щелочей:  
$$2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2$$

В промышленности:

- электролиз воды и водных растворов щелочей и солей:  
$$2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$$
  
$$2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH}$$
- пропускание паров воды над раскалённым углём при 1000 °С:  
$$\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$$

### Преимущества водорода как топлива по сравнению с бензином.

- **Неисчерпаемость.** В Мировом океане водорода содержится  $1,2 \times 10^{13}$  т., дейтерия —  $2 \times 10^{13}$  т. Суммарная масса водорода составляет 1% общей массы Земли, а число атомов — 16%. Особенно важен здесь тот фактор, что при сгорании водород превращается в воду и полностью возвращается в круговорот природы.
- **Энергия воспламенения** в 15 раз меньше, чем для углеводородного топлива.
- **Максимальная скорость распространения фронта пламени** в 8 раз больше по сравнению с углеводородами.
- **Излучение пламени** в 10 раз меньше по сравнению с пламенем углеводородов.
- **Экологичность.** При использовании водорода как топлива исключается возможность усиления парникового эффекта, не выделяются вредные вещества (автомобильный двигатель выбрасывает 45 токсичных веществ, в том числе и канцерогены), нет опасности образования застойных зон водорода: он легко улетучивается.

Отрицательные качества водорода: это низкие плотность и объемная теплотворная способность, более широкие пределы взрываемости и более высокая температура воспламенения по сравнению с углеводородами. Применение концепции энергоаккумулирующих веществ позволит снизить негативное влияние этих недостатков водорода как топлива, которые заметно перекрываются его достоинствами.

## Тема 8.5. Геотермальная энергетика

Поток тепла из недр Земли, источником которого являются радиоактивные процессы внутри Земли, постоянен, но его плотность очень мала. Так, с углублением на каждые 33 м температура повышается на 1 °С. При глубине современного бурения скважин до 10–12 км и более можно получить перепад температур 300 °С и использовать его для превращения в электрическую и механическую энергии. Однако потери тепла в трубопроводах подачи рабочего тела и электропроводах термоэлектрогенераторов будут так велики, что получение полезной энергии на этом источнике энергии вряд ли окажется рентабельным в обозримом будущем.

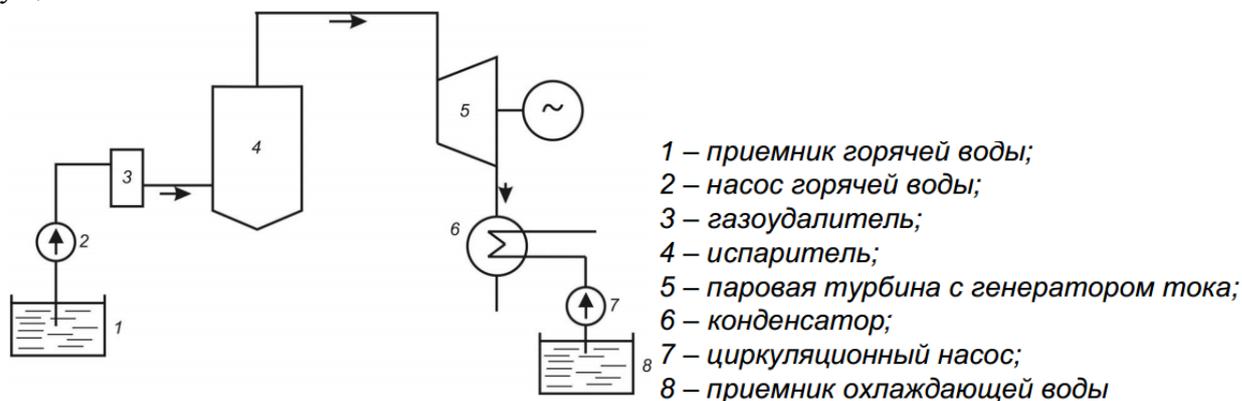


Рис.8.2. Схема простейшей ГеоЭС

В настоящее время в России на Камчатке проектируются и создаются геотермальные электрические станции (ГеоЭС) на базе Мунтовского геотермального месторождения общей мощностью 300 МВт.

Камчатка и Курильские острова располагают уже разведанными запасами геотермальной энергии – до 2000 МВт (электрических) и 5000 МВт (тепловых), которые позволяют в короткие сроки полностью решить проблему электро- и теплоснабжения этих районов на многие годы вперед (до 100 лет).

Достоинства геотермальной энергетики:

- 1) не зависит от климатических условий, времени года и прочих подобных факторов;
- 2) полностью экологически чистый источник энергии;
- 3) высокая экономическая эффективность.

Недостатки геотермальных электростанций:

- 1) возможность локального оседания грунтов и пробуждения сейсмической активности;
- 2) выходящие из-под земли газы создают в окрестностях немалый шум и могут, к тому же, содержать отравляющие вещества;
- 3) для постройки геотермальной электростанции необходимы определенные геологические условия.

## Раздел 9. Накопители энергии

### Тема 9.1. Механические накопители энергии

Механические накопители энергии являются самым древним классом таких устройств, освоенным ещё доисторическим человеком, когда он впервые затащил камень на гору, чтобы в нужный момент обрушить его на доставшего соседа мамонта... Многие виды этих конструкций отличаются предельной простотой и практически неограниченным сроком службы и хранения запасённой энергии. Однако удельная плотность запасённой энергии довольно мала, и когда возникает необходимость запастись энергией побольше, то это сразу приводит к необходимости создания громоздких и, как неизбежное следствие, дорогих сооружений.

#### А) Гравитационные механические накопители

Суть гравитационных накопителей проста. На этапе накопления энергии груз поднимается на нужную высоту, а в нужный момент опускается обратно, возвращая эту энергию.

К сожалению, удельная энергоёмкость таких устройств невелика и определяется классической формулой  $E = m \cdot g \cdot h$ . Поэтому, чтобы запастись энергией для нагрева 1 литра воды от 20°C до 100°C (количество теплоты необходимое для нагревания произвольной массы вещества  $m$  на заданное число градусов  $T = (t_2 - t_1)$ , где  $t_1$  - начальная температура, а  $t_2$  - конечная, находится по формуле  $Q = C \cdot m \cdot T$ , Своды=4200 Дж\кг\*град, 33600 Дж), надо поднять тонну груза как минимум на высоту 35 метров (или 10 тонн на 3.5 метра).

#### Б) Гравитационные жидкостные механические накопители

Принцип ГАЭС.

#### В) Кинетические механические накопители

В кинетических накопителях энергия запасается в движении рабочего тела. Возможны два типа движения — колебательное и поступательное (обычно вращательное):

- Колебательные (резонансные) накопители энергии – пружинный маятник в часах.
- Пружинные механические накопители

Сжатие и распрямление пружины способно обеспечить очень большой расход и поступление энергии в единицу времени — пожалуй, наибольшую механическую мощность среди всех типов накопителей энергии.

- Маховики

Энергия, запасаемая в маховике, может быть найдена по формуле  $E = 0.5 J \omega^2$ , где  $J$  - момент инерции вращающегося тела.

Для стального цилиндрического маховика максимальная удельная энергия составляет приблизительно 10 кДж/кг. Для маховика массой 100 кг ( $R = 0.2$  м,  $H = 0.1$  м) максимальная накопленная энергия может составлять  $\sim 0.278$  кВт · час. При работе накопитель может в течение часа обеспечивать нагрузку не более 280 Вт. Срок службы маховика может составлять 20 и более лет. Достоинства: накопленная энергия может быть использована в течение короткого промежутка времени, характеристики могут быть существенно улучшены.

### **Г) Газовые механические накопители**

- Ресивер – сосуд для скапливания газа или пара.

В этом классе устройств энергия накапливается за счёт упругости сжатого газа. При избытке энергии компрессор закачивает газ в баллон. Когда требуется использовать запасённую энергию, сжатый газ подаётся в турбину, непосредственно выполняющую необходимую механическую работу или вращающую электрогенератор. Вместо турбины можно использовать поршневой двигатель, который более эффективен при небольших мощностях (кстати, существуют и обратимые поршневые двигатели-компрессоры).

Практически каждый современный промышленный компрессор оснащён подобным аккумулятором — ресивером. Правда, давление там редко превышает 10 атм, и потому запас энергии в таком ресивере не очень большой, но и это обычно позволяет в несколько раз увеличить ресурс установки и сэкономить энергию.

## **Тема 9.2. Тепловые накопители энергии**

В наших климатических условиях очень существенная (зачастую — основная) часть потребляемой энергии расходуется на обогрев. Поэтому было бы очень удобно аккумулировать в накопителе непосредственно тепло и затем получать его обратно. На самом деле такой процесс не просто возможен, но и происходит повсюду и постоянно, просто обычно на это не обращают внимания. К сожалению, в большинстве случаев плотность запасённой энергии очень мала, а сроки её сохранения весьма ограничены.

### **А) Накопление за счёт теплоёмкости**

Этот способ древний, как сам мир. Любое вещество при нагревании накапливает тепловую энергию, а при охлаждении отдаёт её обратно в окружающую среду. Поэтому стоит окружить помещение массивными каменными стенами, и их теплоёмкости хватит, чтобы сгладить наружный суточный перепад температуры в 20-30 градусов до колебания температуры внутри помещения в течении тех же суток всего на 2–3 градуса. К сожалению, этого недостаточно, чтобы оставаться в рамках комфортных условий тогда, когда колебания наружной температуры длятся хотя бы несколько суток — при временном похолодании или в течении нескольких особо жарких дней, — и тем более это не может сгладить годовые колебания температуры. В последнем случае толщина стен должна измеряться десятками метров, а их масса — десятками тысяч тонн. Впрочем, есть естественные помещения, в которых температура в течение всего года практически не меняется — это глубокие пещеры.

Различные вещества обладают разной теплоёмкостью. Впрочем, у большинства она находится в пределах от 0.1 до 2 кДж/(кг·К). Аномально большой теплоёмкостью обладает вода — её теплоёмкость в жидкой фазе составляет примерно 4.2 кДж/(кг·К). Более высокую теплоёмкость имеет только весьма экзотический литий — 4.4 кДж/(кг·К).

### **Б) Накопление энергии при смене фазового состояния вещества**

Если внимательно посмотреть на тепловые параметры различных веществ, то можно увидеть, что при смене агрегатного состояния (плавлении-твердении, испарении-конденсации) происходит значительное поглощение или выделение энергии. Для большинства веществ тепловой энергии таких превращений достаточно, чтобы изменить температуру того же количества этого же вещества на многие десятки, а то и сотни градусов, если агрегатное состояние остаётся неизменным. А ведь, как известно, пока агрегатное состояние всего объёма вещества не станет одним и тем же, его температура практически не меняется! Поэтому было бы очень заманчиво накапливать энергию за счёт смены агрегатного состояния — энергии накапливается много, а температура изменяется мало, так что в результате не

потребуется решать проблемы, связанные с нагревом до высоких температур, и в то же время можно получить хорошую ёмкость такого теплоаккумулятора. Например, можно использовать плавление и кристаллизацию (парафин) или испарение и конденсацию (спирт).

### **В) Накопление энергии с помощью термохимических реакций**

Давно и широко известна большая группа химических реакций, которые в закрытом сосуде при нагревании идут в одну сторону с поглощением энергии, а при охлаждении — в обратную с выделением энергии. Такие реакции часто называют термохимическими. Энергетическая эффективность таких реакций, как правило, меньше, чем при смене агрегатного состояния вещества, однако тоже весьма заметна.

Подобные термохимические реакции можно рассматривать как своего рода смену фазового состояния смеси реагентов, и проблемы здесь возникают примерно те же — трудно найти дешёвую, безопасную и эффективную смесь веществ, успешно действующую подобным образом в диапазоне температур от +20°C до +70°C. Впрочем, один подобный состав известен уже давно — это глауберова соль.

Мирабилит (он же глауберова соль) получают в результате элементарных химических реакций (например, при добавлении поваренной соли в серную кислоту) или добывают в «готовом виде» как полезное ископаемое. Очень велики естественные запасы экологически чистого мирабилита в заливе Кара-Богаз-Гол на Каспии (Туркменистан), причём там они постоянно возобновляются благодаря естественному испарению огромных объёмов солёной каспийской воды под жарким южным солнцем.

С точки зрения аккумуляции тепла наиболее интересная особенность мирабилита заключается в том, что при повышении температуры выше 32°C связанная вода начинает освобождаться, и внешне это выглядит как «плавление» кристаллов, которые растворяются в выделившейся из них же воде. При снижении температуры до 32°C свободная вода вновь связывается в структуру кристаллогидрата — происходит кристаллизация. Но самое главное — теплота этой реакции гидратации-дегидратации весьма велика и составляет 251 кДж/кг.

## **Тема 9.3. Электрические накопители энергии**

Электричество — наиболее удобная и универсальная форма энергии в современном мире. Поэтому именно накопители электрической энергии развиваются наиболее быстро. К сожалению, в большинстве случаев удельная ёмкость недорогих устройств невелика, а устройства с высокой удельной ёмкостью слишком дороги для хранения больших запасов энергии при массовом применении.

### **А) Конденсаторы**

Самые массовые «электрические» накопители энергии — это обычные радиотехнические конденсаторы. Они обладают огромной скоростью накопления и отдачи энергии — как правило, от нескольких тысяч до многих миллиардов полных циклов в секунду, и способны так работать в широком диапазоне температур многие годы, а то и десятилетия. Объединяя несколько конденсаторов параллельно, легко можно увеличить их суммарную ёмкость до нужной величины.

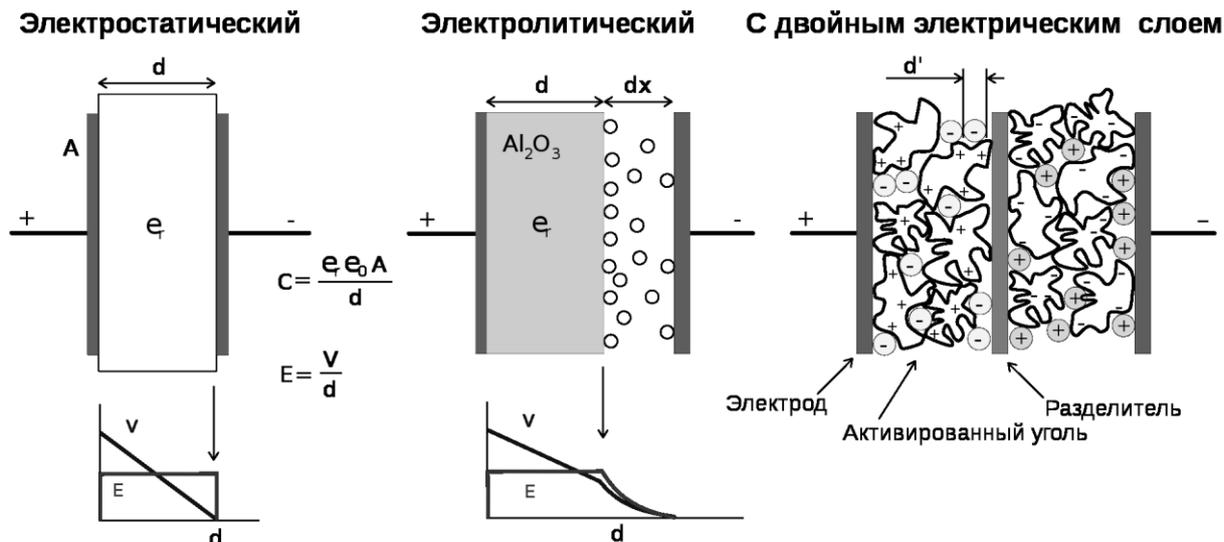
Конденсаторы можно разделить на два больших класса — «сухие» неполярные и электролитические, имеющие существенно большую удельную ёмкость, но требующие соблюдения полярности при подключении и более чувствительные к внешним условиям, прежде всего к температуре.

Область применения конденсаторов ограничивается различными электронными схемами и кратковременным накоплением, достаточным для выпрямления, коррекции и фильтрации тока в силовой электротехнике — на большее их пока не хватает.

### **Б) Ионисторы**

Ионисторы, которые иногда называют «суперконденсаторами», можно рассматривать как своего рода промежуточное звено между электролитическими конденсаторами и электрохимическими аккумуляторами. От первых они унаследовали практически неограниченное количество циклов заряда-разряда, а от вторых — относительно невысокие токи зарядки и разрядки (цикл полной зарядки-разрядки может длиться секунду, а то и намного дольше).

Дополнительно следует отметить достаточно высокую чувствительность ионисторов к температуре и ограниченное время хранения заряда — от нескольких суток до нескольких недель максимум.



## В) Электрохимические аккумуляторы

Электрохимические аккумуляторы были изобретены ещё на заре развития электротехники, и сейчас их можно встретить повсюду — от мобильного телефона до самолётов и кораблей.

Как правило, при необходимости запастись достаточно большой энергией — от нескольких сотен килоджоулей и более — используются свинцовые аккумуляторы (пример — любой автомобиль). Однако они имеют немалые габариты и, главное, вес. Если же требуется малый вес и мобильность устройства, то используются более современные типы аккумуляторов — никель-кадмиевые, металл-гидридные, литий-ионные, полимер-ионные и др. Они имеют гораздо более высокую удельную ёмкость, однако и удельная стоимость хранения энергии у них заметно выше, поэтому их применение обычно ограничивается относительно небольшими и экономичными устройствами — мобильными телефонами, различными камерами и ноутбуками.

По режиму использования электрохимические аккумуляторы (прежде всего мощные) также подразделяются на два больших класса — так называемые тяговые и стартовые. Тяговые аккумуляторы ориентированы на относительно равномерный разряд в течение достаточно длительного времени, когда параметры разряда сравнимы с током и временем зарядки, а глубина разряда может быть достаточно большой — прежде всего это аккумуляторы для электротранспорта, электроинструмента и источников бесперебойного питания (UPS). Стартовые, наоборот, способны выдать очень большой ток в течении короткого времени, но при штатной эксплуатации не должны испытывать глубокий разряд — таковы обычные автомобильные аккумуляторы, выдающие в течении нескольких секунд на стартёр ток в сотни ампер при зарядном токе порядка 5..10 А и длительности зарядки в несколько часов.

К недостаткам электрохимических аккумуляторов можно отнести: 1) весьма ограниченное число циклов заряда-разряда (в большинстве случаев — 1..2 тысячи, а при несоблюдении рекомендаций производителей — гораздо меньше); 2) чувствительность к температуре; 3) длительное время заряда, иногда в десятки раз превышающее время разряда.

## Г) Индукционные

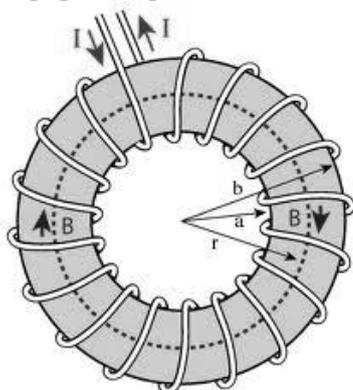
Сверхпроводящие накопители энергии (СПИН) запасают энергию в магнитном поле индукционной катушки, в которой ток циркулирует без потерь. Важнейшим преимуществом индуктивного накопителя является его быстродействие, достигающее единиц миллисекунд, что позволяет реагировать на самые внезапные аварии в энергосистеме. В СПИН применяются в качестве проводящего материала сверхпроводники, в которых при температуре  $4,5^\circ \text{K}$  электрическое сопротивление равняется нулю.

В конструкции СПИН можно условно выделить три основные конструктивные узла: собственно магнитная система, криогенная система и система связи с внешней сетью, т.н. преобразователь-инвертор.

В мире предлагаются различные варианты СПИН. Наиболее дешевым считается вариант накопителя в виде короткого соленоида с большим, порядка 1 км, диаметром, и высотой обмотки в несколько метров. Здесь возникают две проблемы: выход поля далеко за пределы соленоида (спадает до уровня земного поля на расстоянии до 10 км) и сложность конструкции бандажа для противодействия *пондеромоторным* силам. Эти проблемы данной конструкции предлагают решать за счет использования пустынной местности и скального непроводящего грунта.

Более предпочтительным представляется вариант тороидальной СП катушки, в которой все поле сосредоточено внутри тороида, а пондеромоторные силы воспринимаются бандажом в виде стальной трубы - внешней оболочки тороида.

Тороид представляет собой тонкий провод, плотно (виток к витку) намотанный на каркас в форме тора.



В таком варианте обычно используется сверхпроводник из ниобий-титана, охлаждаемый жидким гелием до температуры  $4,5^{\circ}\text{K}$ . Энергия поля в такой СП катушке составит от единиц МДж или десятков МВт-сек до сотен ГДж или сотен МВт-час. Для последних гигантских катушек потребуется несколько тысяч тонн СП кабеля.

Достоинства метода накопления электроэнергии с помощью СПИН:

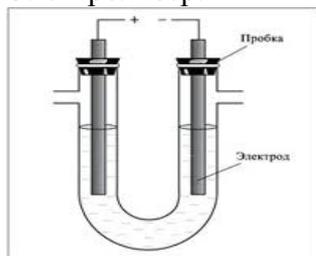
- 1) экологическая чистота;
- 2) не используются вредные материалы, никаких химических реакций не происходит;
- 3) Отходы производства отсутствуют. Применяемый для охлаждения жидкий гелий является безвредным инертным газом, а при аварийной разгерметизации криостата легко удаляется системой вентиляции.

Магнитное поле СПИН заключено внутри тороидального соленоида и при нормальном режиме работы снаружи здания или крепкого корпуса отсутствует. С точки зрения безопасности в аварийном режиме (расхолаживание тороида) постоянное магнитное поле на расстоянии 3 м от стенки корпуса не превысит 2.4 мТл при предельно допустимом уровне по санитарным нормам 10 мТл.

## Тема 9.4. Химические накопители энергии

### А) Накопление энергии наработкой топлива

Электролизёр.



На этапе накопления энергии происходит химическая реакция, в результате которой восстанавливается топливо, например, из воды выделяется водород — прямым электролизом, в электрохимических ячейках с использованием катализатора или с помощью термического разложения, скажем, электрической дугой или сильно сконцентрированным солнечным светом. «Освободившийся» окислитель может быть собран отдельно либо за ненадобностью «выброшен», поскольку в момент использования топлива этого окислителя будет вполне достаточно в окружающей среде и нет необходимости тратить место и средства на его организованное хранение.

На этапе извлечения энергии наработанное топливо окисляется с выделением энергии непосредственно в нужной форме, независимо от того, каким способом было получено это топливо. Например, водород может дать сразу тепло (при сжигании в горелке), механическую энергию (при подаче его в качестве топлива в двигатель внутреннего сгорания или турбину) либо электричество (при окислении в топливной ячейке). Как правило, такие реакции требуют дополнительной инициации (поджига), что весьма удобно для управления процессом извлечения энергии.

### **Б) Безтопливное химическое накопление энергии**

В данном случае на этапе «зарядки» из одних химических веществ образуются другие, и в ходе этого процесса в образующихся новых химических связях запасается энергия (скажем, гашёная известь при помощи нагрева переводится в негашёное состояние).

При «разрядке» происходит обратная реакция, сопровождаемая выделением ранее запасённой энергии (обычно в виде тепла, иногда дополнительно в виде газа, который можно подать в турбину) — в частности, именно это имеет место при «гашении» извести водой. В отличие от топливных методов, для начала реакции обычно достаточно просто соединить реагенты друг с другом — дополнительная инициация процесса (поджиг) не требуется.

## **Раздел 10. Проблемы современной энергетики**

### **Тема 10.1. Проблемы энергетики**

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

Миллионы лет на Земле в результате фотосинтеза непрерывно накапливалась лучистая энергия Солнца. Древние растения и животные, погрузившиеся на дно морей и водоемов, отдадут нам ее теперь в виде угля, нефти и природного газа - наших основных источников энергии.

Огромные природные резервы человечество тратило постепенно в течение тысячелетий своего существования. Технический прогресс непрерывно увеличивает скорость истощения этих запасов. Вот почему все чаще начинают раздаваться голоса о перспективе энергетического голода и целесообразности экономии природных ресурсов. И это толкает ученых и инженеров на поиски новых путей, которые помогут удовлетворить будущие потребности в энергии.

В каких же направлениях идут поиски ученых?

(Атомная энергетика, которая уже стала реальностью; проекты использования теплового градиента в Мировом океане и энергии приливов; создание геотермических электростанций; управляемая термоядерная реакция, над которой работают на протяжении многих лет ученые, и, наконец, наиболее очевидное - использование солнечной энергии. По мнению многих ученых, в решении энергетических проблем будущего огромную роль должна сыграть химия - гальванические элементы и аккумуляторы, топливные элементы и водородное горючее).

Связь между благосостоянием общества и развитием энергетики известна. Энергетика делает вклад в благосостояние, обеспечивая такие области потребления, как отопление, освещение и приготовление пищи, а также снабжает необходимой энергией производство и транспорт.

До недавнего времени в соотношении "энергетика - благосостояние" на первом месте стояла преимущественно эта выгодная сторона. Вместе с тем затраты на энергетику, включая не только денежные и другие ресурсы, обращенные на получение и использование энергии, но и издержки, связанные с защитой окружающей среды снижают уровень благосостояния.

В последнее время первоочередное значение приобретают именно эти негативные тенденции. Во-первых, возникла стойкая тенденция к росту стоимости энергии. При существующих энергетических системах и технологиях использования энергии потребителем и при сложившихся схемах ее потребления большинство промышленно развитых стран уже подошло к тому рубежу, когда с дальнейшим ростом производства энергии издержки начинают превышать прибыль.

Во-вторых, огромная доля давления на окружающую среду, приходящаяся на энерго-снабжение, теперь нарушает природные процессы уже в широком масштабе.

Среди экологических проблем, связанных с развитием энергетики, самой угрожающей является проблема сильного потепления. Климат определяет большинство экологических процессов, имеющих решающее значение для благосостояния населения. Углекислый газ, накапливающийся в атмосфере в результате сжигания ископаемого топлива, создает условие для возникновения парникового эффекта и изменения климата.

Проблема поиска разумных и не грозящих тяжелыми последствиями путей развития энергетики - основная задача при разработке энергетической политики.

В качестве решения проблемы воздействия энергетики на окружающую среду часто предлагают экономию энергии. Безусловно, здесь имеются большие резервы, и человечество постоянно идет по этому пути. В какой степени промышленный прогресс привел к достижению экономии первичной энергии за последние 100 с небольшим лет, легко видеть на примере паровых машин. Если КПД паровых машин в середине прошлого века составлял 3-5 %, то современные комбинированные системы, производящие энергию и состоящие из газовой и паровой турбин, имеют КПД, достигающий 42 %, т.е. налицо 10-кратная экономия энергии.

Каковы же тенденции и прогнозы развития энергетики?

В прошлом наибольшая доля энергии, используемая для промышленных целей, приходилась на нефть и газ, а их потребление увеличивалось каждые 15-20 лет. Если такая скорость сохранится, то в ближайшие 30-40 лет первоначальные запасы исчерпаются на 88 %.

Существуют более значительные запасы другого ископаемого топлива - каменного угля, однако его добыча и использование создают множество экологических проблем. Получение ядерной энергии вряд ли найдет широкое применение прежде чем будут созданы реакторы нового поколения с заметно улучшенными характеристиками безопасности и проблема удаления радиоактивных отходов будет решена.

Для того, чтобы поддерживать современный уровень благосостояния, человечеству придется перейти на новые системы энергоснабжения. Без этого суммарное потребление высококачественных энергетических ресурсов при все снижающейся способности окружающей среды справляться с давлением энергетики приведет к росту общих расходов даже при постоянном уровне энергопотребления. Чтобы обеспечить экономическое развитие человечества без значительных издержек, которые могут свести на нет все выгоды, нужно еще быстрее переходить на экологически более чистые технологии производства энергии.

Для выработки разумной стратегии в энергетике крайне важно ускорение исследований и разработок по использованию перспективных альтернативных источников энергии и в первую очередь солнечной энергии. Прогнозы относительно тенденций развития энергетики говорят о том, что доля солнечной энергетики в различных ее формах будет непрерывно возрастать.

## **Тема 10.2. Энергосбережение**

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с текущим контролем (0.5 часа).

Проблемы энергосбережения относятся к актуальнейшим проблемам глобальной постиндустриальной экономики. Для России они являются особенно важными потому, что расход энергии на единицу валового внутреннего продукта в стране в среднем на 30% выше,

чем в остальных индустриально развитых странах. Из стран, входящих в десятку крупнейших потребителей энергии в мире, ни одна не потребляет больше энергии на единицу ВВП, чем Россия.

Объем неэффективного использования энергии в России в настоящее время равен годовому потреблению первичной энергии во Франции.

В настоящее время энергосбережение - одна из приоритетных задач. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами.

Экономия энергии – это эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, приемлемы с экологической и социальной точек зрения, не изменяют привычного образа жизни. Это определение было сформулировано на Международной энергетической конференции (МИРЭК) ООН.

**«Энергосбережение»** – комплекс мер по реализации правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), при существующем полезном эффекте от их использования и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии (закон РФ «Об энергосбережении»).

**Топливо-энергетические ресурсы** — это совокупность различных видов топлива и энергии (продукция нефтеперерабатывающей, газовой, угольной, торфяной и сланцевой промышленности, электроэнергия атомных и гидроэлектростанций, а также местные виды топлива), которыми располагает страна для обеспечения производственных, бытовых и экспортных потребностей.

**Энергоэффективность** – отношение полезного эффекта (результата), в том числе объема произведённой продукции, полученного от использования энергетического ресурса (ресурсов), к затратам соответствующего ресурса (ресурсов), обусловившим получение данного эффекта (результата).

Энергосбережение в любой сфере сводится по существу к снижению бесполезных потерь энергии. Анализ потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что большая часть потерь – до 90% – приходится на сферу энергопотребления, тогда как потери при передаче электроэнергии составляют лишь 9–10%. Поэтому основные усилия по энергосбережению сконцентрированы именно в сфере потребления электроэнергии.

Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергосберегающим технологиям. Энергосберегающая технология – новый или усовершенствованный технологический процесс, характеризующийся более высоким коэффициентом полезного использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Режим энергосбережения особенно актуален для механизмов, которые часть времени работают с пониженной нагрузкой (конвейеры, насосы, вентиляторы и т.п.). Существует немало устройств, которые позволяют добиться уменьшения потерь при работе электрооборудования, основными из которых являются конденсаторные установки и частотно регулируемые приводы. Частотно регулируемые электроприводы со встроенными функциями оптимизации энергопотребления гибко изменяют частоты вращения в зависимости от реальной нагрузки, что позволяет сэкономить до 30-50% потребляемой электроэнергии. При этом зачастую не требуется замена стандартного электродвигателя, что особенно актуально при модернизации производств. Такие энергосберегающие электроприводы и средства автоматизации могут быть внедрены на большинстве промышленных предприятий и в сфере ЖКХ: от лифтов и вентиляционных установок до автоматизации предприятий.

Светодиодные светильники позволяют достичь существенной экономии электроэнергии по сравнению с традиционными источниками света – лампами накаливания (до 80%) и люминесцентными лампами (свыше 40%). Эти светильники можно использовать в освещении самых разных объектов: подземных пешеходных переходов и автомобильных парковок,

садово парковом освещении, уличном освещении, освещении в ЖКХ и аварийном освещении.

**Основные принципы** политики энергосбережения в РФ включают:

- приоритет эффективного использования топливно-энергетических ресурсов;
- осуществление государственного надзора за эффективным использованием энергоресурсов;
- обязательность учета производимых, получаемых или расходуемых энергоресурсов;
- включение в государственные стандарты на оборудование, материалы и конструкции, транспортные средства показателей энергоэффективности;
- разработка государственных и межгосударственных научно-технических программ энергосбережения и их финансирование;
- приведение нормативных документов в соответствии с требованием снижения энергоёмкости материального производства, сферы услуг и быта;
- вовлечение в топливно-энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также в инвестировании средств в энергосберегающие мероприятия;
- создание и широкое распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, обеспечение безопасного для населения состояния окружающей среды в процессе использования ТЭР;
- обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии.

В результате неуклонного роста издержек на энергоснабжение и мощнейшего государственного давления на потребителей ТЭР, **предприятия вынуждены принимать срочные меры по повышению энергетической эффективности.** Этот же путь предстоит пройти и населению страны для снижения оплаты коммунальных услуг (установка счётчиков).

В последние годы актуальность приобрёл вопрос снижения потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях. В связи с этим осуществляется нормирование потерь электроэнергии, которые включают в себя четыре составляющие:

- технические потери (потери в активных сопротивлениях линий и трансформаторов, а также в стали трансформаторов);
- расход электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- недоучет электрической энергии из-за погрешностей измерительных трансформаторов, потерь напряжения во вторичных цепях трансформаторов напряжения, погрешностей электрических счетчиков;
- коммерческие потери, обусловленные хищениями электрической энергии, задержками в платежах за потребленную энергию и др. достигают до 20...30% от передаваемой по этим сетям электрической энергии.

В этой связи, вопросы автоматизации процессов контроля и управления электрообеспечением приобретают особую важность.

Основные способы снижения потерь энергии в городских распределительных сетях линий напряжением до 1 кВ:

- правильный выбор сечений линейных проводов, в первую очередь, на головных участках магистральных линий;
- симметрирование нагрузок по фазам;
- увеличение сечения нулевых проводов;
- рациональное построение сети, прежде всего уменьшение протяженности;
- уменьшение числа включенных ненагруженных и слабо нагруженных силовых трансформаторов;
- правильный выбор точек разреза, то есть мест деления на две части линий с двусторонним питанием. При правильном выборе точки разреза удастся во многих случаях снизить потери электроэнергии в магистральной линии до 15 %.

Особое значение для розничного рынка электроэнергии и для снижения потерь электроэнергии в электрических сетях имеет исключение самообслуживания (самостоятельного списания показаний) счетчиков электроэнергии бытовыми потребителями. Для этого во всем мире ведутся разработки автоматизированных систем контроля и учета электропотребления (АСКУЭ) бытовых потребителей с передачей данных от счетчиков электроэнергии по силовой сети 0,4 кВ или по радиоканалам в центры сбора данных. В частности, широкое применение находят PLC-технологии для передачи любой информации с подстанций, промышленных предприятий до контроля и управления энергопотреблением в быту, в том числе решения задач АСКУЭ, информационного обеспечения деятельности абонентов электрической сети 0,4-6 кВ.

Мировые тенденции развития систем управления энергоснабжением неразрывно связаны с переходом к цифровым технологиям, обеспечивающим возможность создания интегрированных иерархических систем. При этом распределительные электрические сети в этих системах являются нижним иерархическим звеном, неразрывно связанным с верхними уровнями управления.

Основой перехода к цифровым технологиям является техническое перевооружение и модернизация системы связи и телекоммуникаций с резким увеличением объема и скорости передачи информации и поэтапным переходом к интегрированным системам управления Единой цифровой системы связи в энергетике.

### 4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Тема практического занятия</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Расчет состава продуктов горения и температуры топлива	4	-
2	3.	Расчет цикла Карно применительно к тепловому двигателю	2	-
3	3.	Определение технико-экономических показателей теоретического цикла Ренкина	3	-
4	4.	Определение термического КПД паросиловой установки	3	-
5	7.	Определение мощности генераторов деривационной ГЭС	3	-
6	8.	Расчет гелиоэнергетической установки для получения горячей воды	3	-
<b>ИТОГО</b>			<b>18</b>	-

### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К  
ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>Компетенции</i>  <i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенция</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub> час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОК-7</i>	<i>ПК-5</i>				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>1.</b> Источники энергии	2	-	+	1	2	Лк, СР	зачет
<b>2.</b> Энергетическое топливо	8	-	+	1	8	Лк, ПЗ, СР	зачет
<b>3.</b> Преобразование энергии	10	+	+	2	5	Лк, ПЗ, СР	зачет
<b>4.</b> Тепловые электростанции	9	+	+	2	4,5	Лк, ПЗ, СР	зачет
<b>5.</b> Газотурбинные и парогазовые установки	4	+	+	2	2	Лк, СР	зачет
<b>6.</b> Атомные электростанции	5	+	+	2	2,5	Лк, СР	зачет
<b>7.</b> Гидроэнергетические установки	14	+	+	2	7	Лк, ПЗ, СР	зачет
<b>8.</b> Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	10	+	+	2	5	Лк, ПЗ, СР	зачет
<b>9.</b> Накопители энергии	6	+	+	2	3	Лк, СР	зачет
<b>10.</b> Проблемы современной энергетики	4	+	+	2	2	Лк, СР	зачет
<i>Всего часов</i>	<b>72</b>	<b>31</b>	<b>41</b>	<b>2</b>	<b>36</b>		

**6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник для вузов / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: ИНФРА-М, 2007. - 278 с. - (Высшее образование)

**7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ,  
НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№</i>	<i>Наименование издания</i>	<i>Вид заня- тия</i>	<i>Количество экземпляров в библиотеке, шт.</i>	<i>Обеспечен- ность, (экз./ чел.)</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Основная литература</b>				
1.	Общая энергетика: учебник: в 2 кн. / В.П. Горелов, С.В. Горелов, В.С. Горелов и др.; под ред. В.П. Горелова, Е.В. Ивановой. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2016. – кН.1. Альтернативные источники энергии. – 434 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=447693">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=447693</a>	Лк, СР	ЭР	1
2.	Ляшков В.И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 95 с.	Лк, СР	ЭР	1

	[Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=277820">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=277820</a>			
<b>Дополнительная литература</b>				
3.	Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика: учебное пособие / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2005. – 208 с.	Лк, ПЗ, СР	90	1
4.	Веников В.А. Введение в специальность. Электроэнергетика: учебник для вузов / В.А. Веников, Е. В. Пуятин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1988. - 239 с.: ил.	Лк, СР	78	1
5.	Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : МЭИ, 2008. - 464 с.	Лк, ПЗ, СР	15	0.5
6.	Лосюк Ю.А. Нетрадиционные источники энергии: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Лосюк, В.В. Кузьмич. – Минск: Технопринт, 2005. - 234 с.	Лк, СР	7	0.3
7.	Ассад М.С. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент / М.С. Ассад, О.Г. Пенязьков. – Минск: Беларус. навука, 2010.–305 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=142285&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=142285&amp;sr=1</a>	ПЗ	ЭР	1
8.	Зеленцов Д.В. Техническая термодинамика: учеб. пособие. – Самара: СГАСУ, 2012. – 140 с.: ил. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=143845&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=143845&amp;sr=1</a>	ПЗ, СР	ЭР	1
9.	Гидроэнергетика: учеб . пособие / Т.А. Филиппова , М.Ш. Мисриханов, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина . 3е изд., перераб. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 620 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=436213&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=436213&amp;sr=1</a>	Лк, ПЗ, СР	ЭР	1

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ [http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ

#### Практическое занятие №1 Расчет состава продуктов горения и температуры топлива

##### Цель работы:

Расчеты горения топлива обычно выполняют с целью определения:

- 1) количества необходимого для горения воздуха (окислителя);
- 2) количества и состава продуктов сгорания;
- 3) температура горения.

##### Задание:

1. Определить количество воздуха, теоретически необходимое для сжигания 1 кг следующего состава:  $C^P = 37,2\%$ ;  $H^P = 2,6\%$ ;  $S^P = 0,6\%$ ;  $N^P = 0,4\%$ ;  $O^P = 12\%$ ;  $W^P = 40\%$ ;  $A^P = 7,2\%$ . Определить также объем продуктов сгорания при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,2$ .

2. Определить состав рабочей массы топлива, если в таблицах указан следующий состав  $C_p = 38,6\%$ ;  $H_p = 2,6\%$ ;  $S_p = 3,8\%$ ;  $N_p = 0,8\%$ ;  $O_p = 3,1\%$ ;  $W_p = 11,0\%$ ;  $A_p = 40,1\%$ , а технический анализ показал, что действительная влажность составляет  $W_{p1} = 16\%$ . Какова при этом будет теплота сгорания?

3. Определить количество продуктов сгорания смеси топлив, состав которых известен:

- 1) 40 кг угля:  $C^P = 47,4\%$ ;  $H^P = 3,2\%$ ;  $O^P = 9,7\%$ ;  $S^P = 2,5\%$ ;  $W^P = 11,0\%$ ;  $N^P = 1,3\%$ ;  $A^P = 24,9\%$ .
- 2) 60 м<sup>3</sup> газообразного топлива:  $CO = 25\%$ ;  $H_2 = 14\%$ ;  $C_mH_n=0,3\%$ ;  $CH_4 = 2,2\%$ ;  $CO_2 = 6,5\%$ ;  $O_2 = 0,2\%$ ;  $N_2 = 50,6\%$ .

4. Определить теплоту сгорания, теоретический объем продуктов сгорания и количество воздуха, теоретически необходимого для сжигания 1 кг смеси:

- а) 40% угля:  $C^P = 62,1\%$ ;  $H^P = 4,2\%$ ;  $O^P = 6,4\%$ ;  $S^P = 3,3\%$ ;  $W^P = 7\%$ ;  $N^P = 1,2\%$ ;  $A^P = 15,8\%$ .
- б) 60% угля:  $C^P = 38,6\%$ ;  $H^P = 2,6\%$ ;  $O^P = 3,1\%$ ;  $S^P = 3,8\%$ ;  $W^P = 11\%$ ;  $N^P = 0,8\%$ ;  $A^P = 40,1\%$ .
- в) Для смеси:  $C^P = 48\%$ ;  $H^P = 3,2\%$ ;  $O^P = 4,4\%$ ;  $S^P = 3,6\%$ ;  $W^P = 9,4\%$ ;  $N^P = 1,0\%$ ;  $A^P = 30,4\%$ .

5. Определить состав рабочей массы, если известно, что составляющие горючей массы топлива равны:  $C^T = 85\%$ ;  $H^T = 6\%$ ;  $O^T = 5\%$ ;  $S^T = 4\%$ . И  $W^P = 18,6\%$ ;  $A^c = 30\%$ . Найти теплоту сгорания и определить теоретическую температуру горения при  $t_b = 573$  К и коэффициенте избытка кислорода  $\alpha = 1,25$ . Теплоемкость продуктов горения  $c_T = 1,436$  кДж/(м<sup>3</sup>\*К), теплоемкость воздуха  $c_b = 1,34$  кДж/(м<sup>3</sup>\*К).

6. Определить теплоту сгорания смеси газов, вычислить объемы продуктов сгорания и теоретическую температуру горения при  $t_b = 270$  °С и  $\alpha = 0,5$ . смесь состоит из 60% природного газа состава:  $CO_2 = 0,1\%$ ,  $CH_4 = 98\%$ ,  $C_2H_6 = 0,4\%$ ,  $C_3H_8 = 0,2\%$ ,  $N_2 = 1,3\%$  и 40% газа коксовых печей

состава:  $H_2S = 0,4\%$ ,  $CO = 6,8\%$ ,  $CO_2 = 2,3\%$ ,  $H_2 = 22,3\%$ ,  $C_2H_6 = 0,8\%$ ,  $C_mH_n = 1,9\%$ ,  $O_2 = 0,8\%$ ,  $N_2 = 7,7\%$ ,  $C_T = 1,43$  кДж/(Км<sup>3</sup>)

7. Из результатов химического анализа продуктов сгорания получены следующие данные:  $O_2 = 5\%$ ,  $CO = 1\%$ ,  $H_2 = 2\%$ ,  $CH_4 = 1,75\%$ . Определить коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ .

8. Подсчитать объём продуктов сгорания сланца при  $\alpha = 1,30$ . Состав рабочей массы сланца:  $H^P = 3,2\%$ ,  $S^P = 1,5\%$ ,  $N^P = 0,1\%$ ,  $O^P = 4\%$ ,  $W^P = 15\%$ ,  $A^P = 37,45$ ,  $CO_2^k = 13,8\%$ ,  $C^P = 25\%$ . Коэффициент разложения  $K = 1$ .

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Произвести расчеты, указанные в задании.
3. Проанализировать полученные результаты.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Краткие теоретические сведения;
2. Результаты расчетов;
3. Вывод и анализ полученных результатов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики: учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. – М.: ИНФРА-М, 2007. - 278 с. - (Высшее образование).

Дополнительная литература

1. Ассад М.С. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент / М.С. Ассад, О.Г. Пенязьков. – Минск: Беларус. навука, 2010.–305 с. [Электронный ресурс].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дать характеристику элементарного состава твердых и жидких топлив.
2. Как определяется теплотехническая оценка элементов, входящих в топливо?
3. Дать определение «летучие вещества», «кокс».

**Практическое занятие №2**

**Расчет цикла Карно применительно к тепловому двигателю**

Цель работы:

Изучить методику расчета цикла Карно.

Задание:

Рабочее тело в цикле Карно – 1 кг сухого воздуха. Предельные температуры рабочего тела в цикле: наибольшая  $t_1$ , наименьшая  $t_3$  (табл. 2.1). Предельные давления рабочего тела в цикле: наибольшее  $p_1$ , наименьшее  $p_3$  (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Показатели	Предпоследняя цифра номера зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Температура Воздуха, °С										
$t_1$	200	300	250	205	270	310	260	310	330	270
$t_3$	15	18	20	17	21	25	23	19	25	16
Давление, Мпа	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$p_1$	2	2,8	3	2,5	4	4,2	3,5	2,5	4,8	3
$p_3$	0,16	0,1	0,15	0,12	0,125	0,1	0,11	0,13	0,14	0,17

Необходимо определить:

- 1) основные параметры рабочего тела в характерных точках цикла;

- 2) количество теплоты, подведенное в цикле;
- 3) количество теплоты, отведенное в цикле;
- 4) полезную работу, совершенную рабочим телом за цикл;
- 5) термический КПД цикла;
- 6) изменение энтропии в изотермических процессах цикла.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Определить параметры цикла Карно в соответствии с заданием.
3. Построить цикл (в масштабе) в координатах  $p-v$  и  $T-s$ .

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Краткие теоретические сведения;
2. Результаты расчетов;
3. Построенный цикл (в масштабе) в координатах  $p-v$  и  $T-s$ ;
4. Выводы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики: учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. – М.: ИНФРА-М, 2007. - 278 с. - (Высшее образование).

Дополнительная литература

1. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : МЭИ, 2008. - 464 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Из каких процессов состоит цикл Карно?
2. Что показывает термический КПД цикла теплового двигателя?
3. В какой диаграмме и какой площадью можно проиллюстрировать полезную работу, совершаемую рабочим телом в цикле?
4. В какой диаграмме и какой площадью можно проиллюстрировать количество теплоты, участвующее в процессе?

**Практическое занятие №3**

**Определение технико-экономических показателей теоретического цикла Ренкина**

Цель работы:

Изучить методику определения технико-экономических показателей цикла Ренкина

Задание:

Паротурбинная установка работает по теоретическому циклу Ренкина. Давление и температура водяного пара на выходе из парогенератора (перед турбиной):  $p_1$  и  $t_1$ ; давление пара после турбины (в конденсаторе)  $p_2$ .

Определить термический коэффициент полезного действия цикла  $\eta_t$  и теоретический удельный расход пара  $d$ , кг/(кВт·ч) при следующих условиях работы установки:

- а)  $p_1$ ,  $t_1$  и  $p_2$ . (все параметры взять из табл. 3.1);
- б)  $p_1$ ,  $t_1$  (табл. 3.1);  $p_2$  (табл. 3.2);
- в)  $p_1$ ,  $t_1$  и  $p_2$ . (все параметры взять из табл. 3.2).

Таблица 3.1

Показатели	Последняя цифра зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Начальное давление $P_1$ , Мпа	0,5	0,8	1,2	1,6	2,5	3	4	2,9	3,5	5
Температура $t_1$ , °С	200	220	300	350	370	375	350	320	390	400
Конечное давление $P_2$ , Мпа	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблица 3.2

Показатели	Предпоследняя зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Начальное давление $P_1$ , Мпа	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Температура $t_1$ , °С	420	450	470	490	510	520	540	550	560	600
Конечное давление $P_2$ , Мпа	0,05	0,02	0,01	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал;
2. Определить параметры цикла Ренкина в соответствии с заданием;
3. Сделать вывод о влиянии уровня начальных параметров состояния пара и давления пара после турбины на значения термического КПД цикла Ренкина и удельного расхода пара.
4. К решению задачи приложить принципиальную схему паротурбинной установки, изображение цикла Ренкина в координатах  $p-v$  и  $T-s$ , а также изображение процесса расширения пара в турбине в диаграмме  $h-s$ .
5. Сделать выводы

Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию должен содержать:

1. Цель работы;
2. Краткие теоретические сведения;
3. Результаты расчетов;
4. Принципиальную схему паротурбинной установки, изображение цикла Ренкина в координатах  $p-v$  и  $T-s$ , а также изображение процесса расширения пара в турбине в диаграмме  $h-s$ ;
5. Выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

## Основная литература

1. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика: учебное пособие / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2005. – 208 с.

## Дополнительная литература

1. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : МЭИ, 2008. - 464 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяются технико-экономические показатели цикла Ренкина?
2. В каких установках используется цикл Ренкина?

3. Опишите цикл Ренкина по принципиальной схеме паротурбинной установки?

**Практическое занятие №4**  
**Определение термического КПД паросиловой установки**

Цель работы:

Изучить методику определения термического КПД паросиловой установки.

Задание:

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина (рис. 4.1). Параметры начального состояния пара:  $P_1$ ,  $t_1$ . Давление в конденсаторе  $P_2$ . Определить термический КПД.

Таблица 4.1

Исходные данные для расчёта

№ варианта	$P_1$ (бар)	$t_1$ (С)	$P_2$ (бар)
1	65	480	0,6
2	103	505	0,3
3	110	520	0,3
4	120	520	0,25
5	140	540	1,0
6	30	400	3,0
7	165	585	0,4
8	130	192	0,6
9	130	250	0,6
10	150	350	0,25

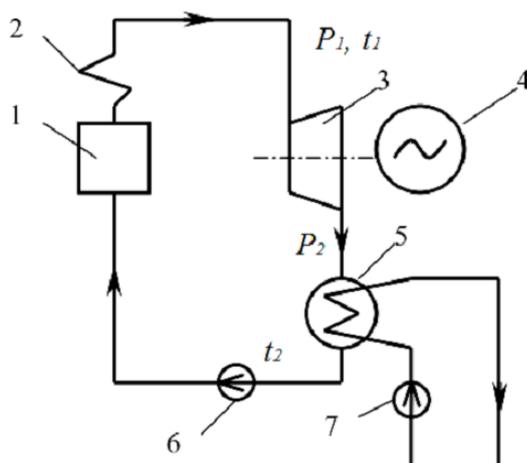


Рис. 4.1. Схема паросиловой установки

1 – парогенератор, 2 – пароперегреватель, 3 – турбина, 4 – генератор,  
5 – кондесатор, 6 – питательный насос, 7 – циркуляционный насос

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал;
2. Энтальпия пара  $h_1$  на входе определяется по заданной  $h-s$  диаграмме водяного пара (рис.4.2) по значениям  $P_1$  и  $t_1$ .
3. Определить энтропию пара  $s_1$  на входе.

4. По найденному значению энтропии, считая процесс преобразования энергии пара в турбине адиабатным, по значениям  $s_1$  и  $P_2$  определяем энтальпию конечного состояния пара  $h_2$ .

5. Определяем энтальпию питательной воды  $h'$  по формуле:

$$h'_2 = C_p \cdot t_H,$$

где  $C_p = 4,19 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$  – теплоёмкость воды;  $t_H$  – температура насыщенного пара в конденсаторе, определяется по таблице 4.2.

6. Термический КПД установки определять по выражению:

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h'_2}$$

7. Сделать выводы

#### Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию должен содержать:

1. Цель работы;
2. Краткие теоретические сведения;
3. Результаты расчетов;
4. Выводы по работе.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

##### Основная литература

1. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика: учебное пособие / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2005. – 208 с.

##### Дополнительная литература

1. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : МЭИ, 2008. - 464 с.
2. Зеленцов Д.В. Техническая термодинамика: учеб. пособие. – Самара: СГАСУ, 2012. – 140 с.: ил. [Электронный ресурс].

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Каким образом можно увеличить термический КПД паросиловой установки?
2. В каких установках используется цикл Ренкина?
3. Опишите цикл Ренкина по принципиальной схеме паротурбинной установки?

*h-s* диаграмма водяного пара

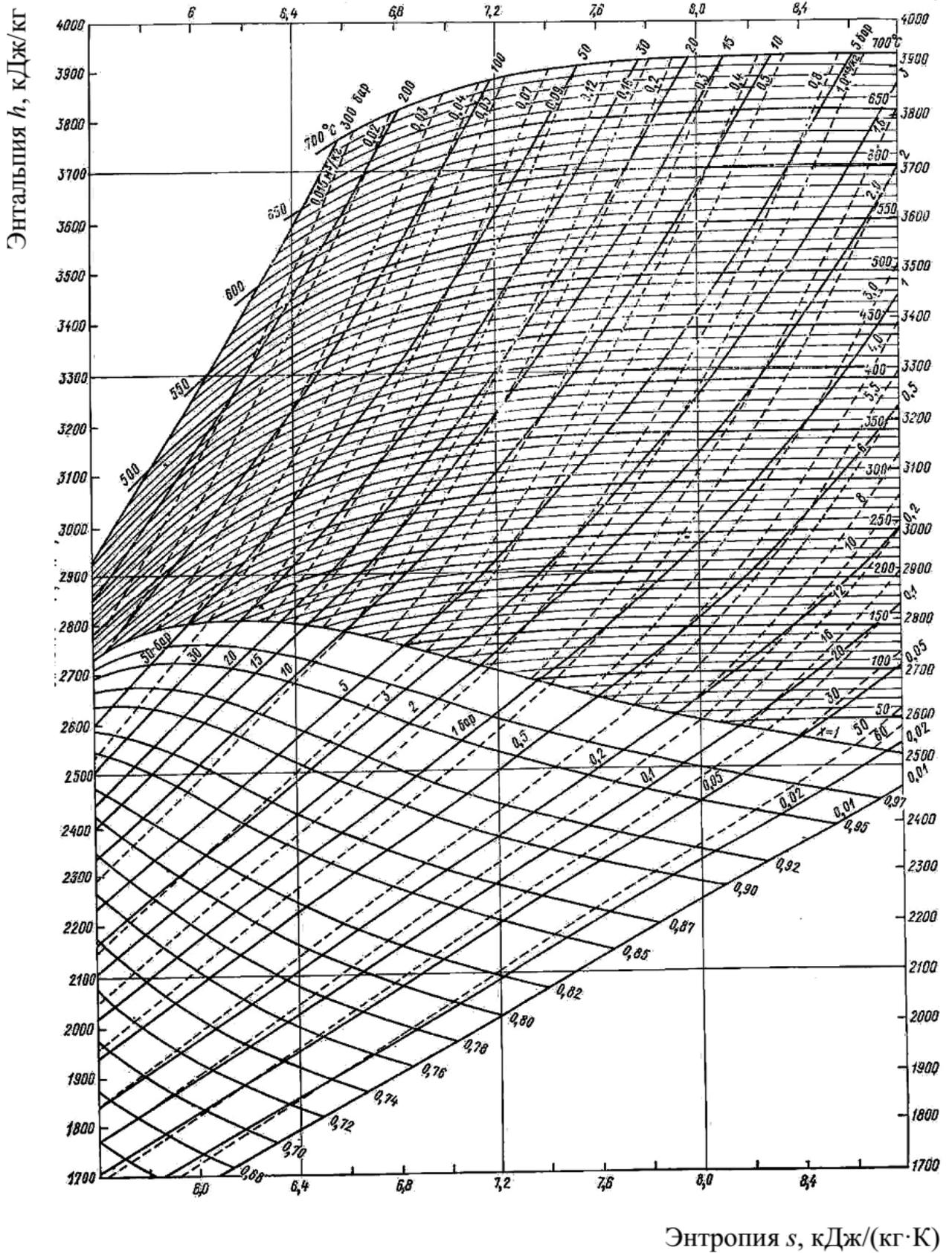


Рис.4.2. *h-s* диаграмма водяного пара

Свойства насыщенного водяного пара

Давление насыщенного пара	Температура кипения (конденсации)	Удельная энтальпия жидкой воды	Давление насыщенного пара	Температура кипения (конденсации)	Удельная энтальпия жидкой воды	Давление насыщенного пара	Температура кипения (конденсации)	Удельная энтальпия жидкой воды
бар	°С	кДж/кг	бар	°С	кДж/кг	бар	°С	кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,02	17,51	73,45	1,9	118,62	497,85	17	204,3	871,82
0,03	24,1	101	2	120,23	504,71	18	207,11	884,55
0,04	28,98	121,41	2,2	123,27	517,63	19	209,79	896,78
0,05	32,9	137,77	2,4	126,09	529,64	20	212,37	908,56
0,06	36,18	151,5	2,6	128,73	540,88	21	214,85	919,93
0,07	39,02	163,38	2,8	131,2	551,45	22	217,24	930,92
0,08	41,53	173,87	3	133,54	561,44	23	219,55	941,57
0,09	43,79	183,28	3,5	138,87	584,28	24	221,78	951,9
0,1	45,83	191,84	4	143,63	604,68	25	223,94	961,93
0,2	60,09	251,46	4,5	147,92	623,17	26	226,03	971,69
0,3	69,13	289,31	5	151,85	640,12	27	228,06	981,19
0,4	75,89	317,65	5,5	155,47	655,81	28	230,04	990,46
0,5	81,35	340,57	6	158,84	670,43	29	231,96	999,5
0,6	85,95	359,93	6,5	161,99	684,14	30	233,84	1008,33
0,7	89,96	376,77	7	164,96	697,07	31	235,66	1016,97
0,8	93,51	391,73	7,5	167,76	709,3	32	237,44	1025,41
0,9	96,71	405,21	8	170,42	720,94	33	239,18	1033,69
1	99,63	417,51	8,5	172,94	732,03	34	240,88	1041,79
1,1	102,32	428,84	9	175,36	742,64	35	242,54	1049,74
1,2	104,81	439,36	9,5	177,67	752,82	36	244,16	1057,54
1,3	107,13	449,19	10	179,88	762,6	37	245,75	1065,21
1,4	109,32	458,42	11	184,06	781,11	38	247,31	1072,73
1,5	111,37	467,13	12	187,96	798,42	39	248,84	1080,13
1,5	111,37	467,13	13	191,6	814,68	40	250,33	1087,4
1,6	113,32	475,38	14	195,04	830,05	41	251,8	1094,56
1,7	115,17	483,22	15	198,28	844,64	42	253,24	1101,61
1,8	116,93	490,7	16	201,37	858,54	43	254,66	1108,55
44	256,05	1115,39	63	278,76	1230,37	81	295,85	1321,94
45	257,41	1122,13	64	279,8	1235,81	82	296,71	1326,7
46	258,76	1128,78	65	280,83	1241,2	83	297,56	1331,42
47	260,08	1135,33	66	281,85	1246,54	84	298,4	1336,12
48	261,38	1141,8	67	282,85	1251,84	85	299,24	1340,79
49	262,66	1148,19	68	283,85	1257,09	86	300,07	1345,44
50	263,92	1154,5	69	284,83	1262,31	87	300,89	1350,06

1	2	3	4	5	6	7	8	9
51	265,16	1160,73	70	285,8	1267,48	88	301,71	1354,66
52	266,38	1166,88	71	286,76	1272,61	89	302,51	1359,22
53	267,58	1172,97	72	287,71	1277,7	90	303,31	1363,77
54	268,77	1178,98	72	287,71	1277,7	91	304,11	1368,29
55	269,94	1184,93	73	288,65	1282,75	92	304,89	1372,8
56	271,09	1190,81	74	289,59	1287,77	93	305,67	1377,27
57	272,23	1196,64	75	290,51	1292,75	94	306,45	1381,73
58	273,36	1202,4	76	291,42	1297,7	95	307,22	1386,17
59	274,47	1208,1	77	292,32	1302,61	96	307,98	1390,58
60	275,56	1213,75	78	293,22	1307,49	97	308,73	1394,98
61	276,64	1219,34	79	294,1	1312,34	98	309,48	1399,35
62	277,71	1224,88	80	294,98	1317,15	99	310,22	1403,71
						100	310,96	1408,05

### Практическое занятие №5 Определение мощности генераторов деривационной ГЭС

Цель работы:

Освоить методику определения мощности генераторов деривационной ГЭС.

Задание:

Определить мощность, вырабатываемую генераторами деривационной ГЭС (рис.5.1) при условии, что глубина потока и ширина в безнапорном участке водовода одинаковы, по заданным параметрам.

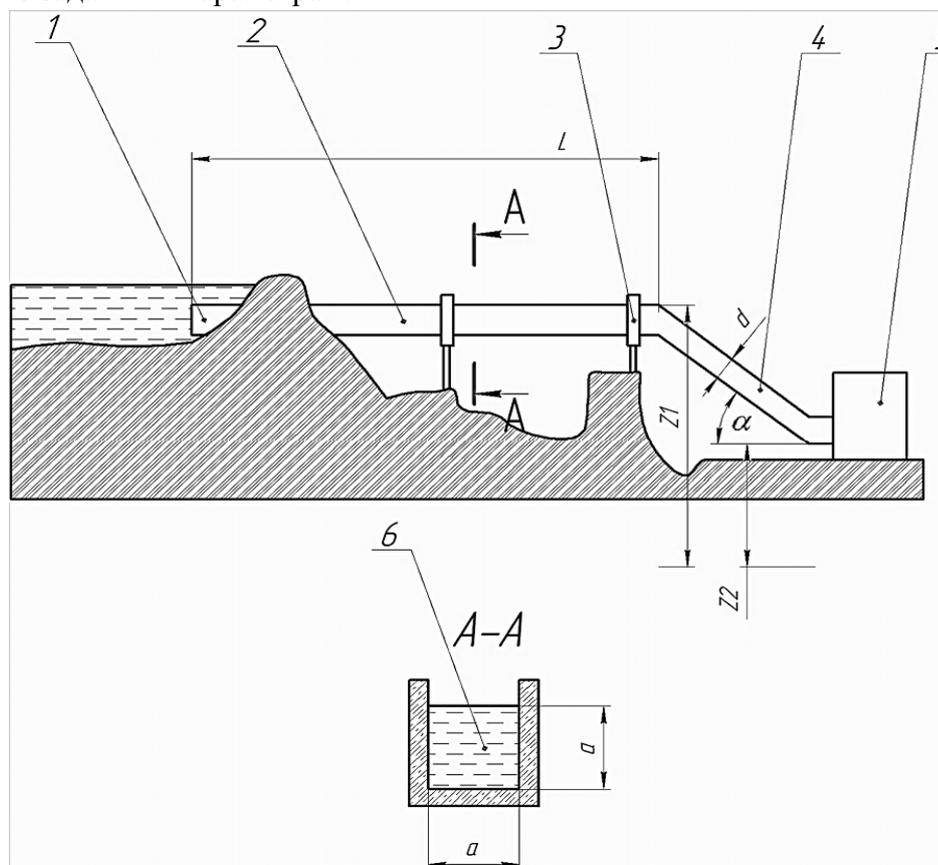


Рис.5.1. Схема деривационной ГЭС

1 – водозаборное устройство; 2 – безнапорный участок водовода(лоток); 3 – опорная конструкция водовода; 4 – напорный участок водовода; 5 – здание ГЭС; 6 – поперечное сечение безнапорного участка водовода.

## Исходные данные для расчета

№ варианта	$Q_n$ (м <sup>3</sup> /с)	$Z_1$ (м)	$Z_2$ (м)	$L$ (м)	$V_6$ (м/с)	$V_n$ (м/с)	$\alpha$ (град.)	$d$ (м)	$\eta_m$ (о.е.)	$\eta_g$ (о.е.)
1	0,91	34,00	54,00	108,00	0,16	1,60	34,00	0,85	0,80	0,89
2	0,91	98,00	143,00	58,00	0,52	2,40	23,00	0,69	0,80	0,81
3	0,48	3,00	60,00	74,00	0,72	2,30	75,00	0,52	0,88	0,83
4	0,88	9,00	89,00	99,00	0,20	2,30	23,00	0,70	0,90	0,88
5	0,65	0,00	63,00	68,00	0,68	2,70	40,00	0,55	0,85	0,89
6	0,13	75,00	78,00	115,00	0,16	2,10	24,00	0,28	0,87	0,88
7	0,54	84,00	182,00	17,00	0,32	2,50	65,00	0,52	0,81	0,83
8	0,68	72,00	173,00	61,00	0,72	1,90	51,00	0,68	0,87	0,89
9	0,71	4,00	39,00	53,00	0,60	2,20	76,00	0,64	0,83	0,89
10	0,97	22,00	117,00	54,00	0,28	0,40	22,00	1,76	0,88	0,83
11	0,08	74,00	170,00	8,00	0,36	1,50	47,00	0,26	0,83	0,83
12	0,62	86,00	147,00	19,00	0,32	1,10	31,00	0,85	0,81	0,84
13	0,18	8,00	79,00	68,00	0,68	2,90	56,00	0,28	0,83	0,83
14	0,52	95,00	161,00	66,00	0,28	2,70	23,00	0,50	0,90	0,85
15	0,26	36,00	97,00	117,00	0,68	2,10	23,00	0,40	0,83	0,83
16	0,14	32,00	119,00	70,00	0,52	3,20	62,00	0,24	0,90	0,80
17	0,79	77,00	134,00	109,00	0,64	2,80	56,00	0,60	0,88	0,82
18	0,83	90,00	154,00	15,00	0,56	1,90	18,00	0,75	0,87	0,83
19	0,76	18,00	46,00	15,00	0,40	3,00	35,00	0,57	0,88	0,88
20	0,74	18,00	55,00	82,00	0,80	2,80	45,00	0,58	0,86	0,85

где  $Q_n$  (м<sup>3</sup>/с) – расход воды;

$Z_1$  (м) – уровень напорного бассейна относительно уровня моря;

$Z_2$  (м) – уровень воды в отводящем канале относительно уровня моря;

$L$  (м) – длина безнапорного участка;

$V_6$  (м/с) – скорость воды на безнапорном участке;

$V_n$  (м/с) – скорость воды на напорном участке;

$\alpha$  (град.) – наклон на напорном участке;

$d$  (м) – диаметр трубы напорного трубопровода;

$\eta_m$  – КПД турбин;

$\eta_g$  – КПД генераторов.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал;

2. Площадь живого сечения лотка на безнапорном участке (рис.5.1):

$$S = \frac{Q_n}{V_6}.$$

3. Сторона смоченной поверхности (рис. 5.1):

$$a = \sqrt{S}.$$

4. Смоченный периметр:  $\chi = 3a$ .

$$R = \frac{S}{\chi}.$$

5. Гидравлический радиус безнапорного участка водовода:

6. Для определения потерь на трение на безнапорном участке определяется коэффициент Шези:

$$C = R \frac{0,15}{n},$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости, который для бетонных лотков можно принять из диапазона 0,012-0,014.

7. Необходимый уклон на безнапорном участке определяют по формуле Шези:

$$i = \frac{V_6^2}{C^2 R}.$$

8. Потери напора на безнапорном участке водовода:

$$\Delta h_6 = i \cdot L,$$

где  $L$  – длина безнапорного участка водовода.

9. Длина напорного участка водовода:

$$L_n = \frac{Z_2 - Z_1}{\cos \alpha}.$$

10. Потери напора на напорном участке водовода:

$$\Delta h_n = \frac{0,083 \cdot \lambda \cdot L_6 \cdot Q_n^2}{d^5},$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения воды о стенки труб, принимается равным 0,02-0,03;  $Q_n$  – действительный расход на напорном участке без учёта потерь на испарение воды на участке деривации;  $d$  – диаметр трубопровода.

11. Мощность потока воды на уровне  $Z_2$  без учёта потерь напора на закруглениях водовода:

$$P = Q_n \cdot \rho \cdot g \cdot (Z_2 - Z_1 - \Delta h_6 - \Delta h_n),$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воды.

12. Механическая мощность на валу турбины:

$$P_{\text{мех}} = P \cdot \eta_T.$$

13. Электрическая мощность генераторов деривационной ГЭС:

$$P_{\text{эл}} = P_{\text{мех}} \cdot \eta_G.$$

14. Сделать выводы.

#### Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию должен содержать:

1. Цель работы;
2. Краткие теоретические сведения;
3. Результаты расчетов;
4. Выводы по работе.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

#### Основная литература

1. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика: учебное пособие / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2005. – 208 с.
2. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики: учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. – М.: ИНФРА-М, 2007. - 278 с. - (Высшее образование).

### Дополнительная литература

1. Гидроэнергетика: учеб . пособие / Т.А. Филиппова , М.Ш. Мисриханов, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина . 3е изд., перераб. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 620 с. [Электронный ресурс].

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что относится к деривационным сооружениям?
2. Как определяются потери напора?
3. Как определить электрическую мощность генераторов деривационной ГЭС?

### Практическое занятие №6

#### Расчет гелиоэнергетической установки для получения горячей воды

#### Цель работы:

Изучить методику расчета гелиоэнергетической установки для получения горячей воды.

#### Задание:

Рассчитать гелиоэнергетическую установку (ГЭУ) для получения горячей воды с мая по сентябрь для условий, указанных в варианте задания для конкретного населенного пункта (табл. 6.1). Количество человек, использующих горячую воду –  $n$ . Конечная температура нагрева воды  $T_2$ , °С. Сделать вывод о целесообразности использования ГЭУ с точки зрения экономии органического топлива.

Таблица 6.1

		Варианты задания									
Вариант		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество человек, использующих горячую воду, $n$		10	12	8	15	13	14	11	16	12	10
Конечная температура нагрева $T_2$ , °С		Для всех вариантов 85 °С									

#### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассчитывается суммарная солнечная радиация в среднем за день данного месяца. Расчет следует проводить для углов наклона, когда ожидается максимум солнечной энергии в рассматриваемые месяцы. Результаты расчетов свести в таблицу.
3. Рассчитывается дневная удельная теплопроизводительность гелиоустановки в  $i$ -м месяце.
4. Рассчитывается удельная месячная теплопроизводительность гелиоустановки.
5. Определяется требуемое количество энергии для нагрева воды в месяц.
6. Определяется необходимая площадь гелиоустановки в  $i$ -м месяце.
7. Производится расчет коэффициента использования потенциальной энергии.
8. Определяется количество полезно используемой энергии при различной площади коллекторов ГЭУ за рассматриваемые месяцы и за сезон.
9. Определяется количество сэкономленного топлива при различной площади.
10. Оценивается эффективность гелиоустановки по энергетическим затратам.
11. Определяется сравнительная эффективность для заданных месяцев.
12. По проведенным расчетам определяется наиболее выгодный вариант гелиоустановки и делается вывод о целесообразности использования ГЭУ в условиях заданного района с точки зрения экономии органического топлива.

#### Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию должен содержать:

1. Цель работы;
2. Краткие теоретические сведения;
3. Результаты расчетов;
4. Выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика: учебное пособие / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2005. – 208 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетика: учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. – М.: ИНФРА-М, 2007. - 278 с. - (Высшее образование).

Дополнительная литература

1. Кашкаров А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции, М.: ДМК Пресс, 2011. - 144 с. [Электронный ресурс].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы ГЭУ?
2. Как влияет площадь гелиоустановки на нагрев воды?

**10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

- ОС Windows 7 Professional;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;
- OpenOffice;
- LibreOffice;
- Adobe Reader;
- doPDF;
- 7-Zip;
- Ай-Логос Система дистанционного обучения.

**11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>ид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ, №Лк</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Лк	Лекционная аудитория (1218)	Меловая или маркерная доска	-
ПЗ	Лекционная аудитория (1218)	Меловая или маркерная доска	-
СР	ЧЗ 3	Оборудование 15 ПК- CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
ОК-7	способность к самоорганизации и самообразованию	3. Преобразование энергии	3.1. Основные понятия и определения термодинамики.	Вопросы к зачету (3.1.)
			3.2. Термодинамические процессы и циклы.	Вопросы к зачету (3.2.)
			3.3. Основные законы термодинамики.	Вопросы к зачету (3.3. – 3.6.)
		4. Тепловые электростанции	4.1. Конденсационные электростанции.	Вопросы к зачету (4.1.)
			4.2. Теплофикационные электростанции.	Вопросы к зачету (4.2.)
			4.3. Основное и вспомогательное оборудование тепловых электростанций.	Вопросы к зачету (4.3.)
		5. Газотурбинные и парогазовые установки	5.1. Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема.	Вопросы к зачету (5.1.)
			5.2. Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема.	Вопросы к зачету (5.2.)
		6. Атомные электростанции	6.1. Устройство и классификация ядерных реакторов.	Вопросы к зачету (6.1. – 6.2.)
			6.2. Технологическая схема атомной электростанции.	Вопросы к зачету (6.3.)
			6.3. Основные достоинства и недостатки атомных электростанций.	Вопросы к зачету (6.4.)
		7. Гидроэнергетические установки	7.1. Классификация гидроэнергетических установок.	Вопросы к зачету (7.1.)
			7.2. Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций.	Вопросы к зачету (7.2.)

			7.3. Классификация гидротурбин.	Вопросы к зачету (7.3.)
			7.4. Малые ГЭС и микро ГЭС.	Вопросы к зачету (7.4.)
			7.5. Насосная станция. Классификация насосных станций.	Вопросы к зачету (7.5.)
			7.6. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).	Вопросы к зачету (7.6.)
			7.7. Приливные электростанции (ПЭС).	Вопросы к зачету (7.7.)
			7.8. Волновые электростанции.	Вопросы к зачету (7.8.)
			7.9. Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире.	Вопросы к зачету (7.9.)
		<b>8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	8.1. Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.	Вопросы к зачету (8.1.)
			8.2. Энергия ветра. Ветроэнергетические установки.	Вопросы к зачету (8.2.)
			8.3. Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии.	Вопросы к зачету (8.3.)
			8.4. Водородная энергетика.	Вопросы к зачету (8.4.)
			8.5. Геотермальная энергетика.	Вопросы к зачету (8.5.)
			8.1. Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.	Вопросы к зачету (8.1.)
			<b>9. Накопители энергии</b>	9.1. Механические накопители энергии.
		9.2. Тепловые накопители энергии.		Вопросы к зачету (9.2.)
		9.3. Электрические накопители энергии.		Вопросы к зачету (9.3.)
		9.4. Химические накопители энергии.		Вопросы к зачету (9.4.)
		<b>10. Проблемы современной энергетики</b>	10.1. Проблемы энергетики.	Вопросы к зачету (10.1. – 10.2.)
			10.2. Энергосбережение.	Вопросы к зачету (10.3.)
		<i>ПК-5</i>	готовность определять параметры	<b>1. Источники энергии</b>

оборудования объектов профессиональной деятельности		1.2. Характеристика возобновляемых и невозобновляемых источников энергии.	Вопросы к зачету (1.2. – 1.3.)	
		1.3. Современные способы получения энергии.	Вопросы к зачету (1.4.)	
		<b>2. Энергетическое топливо</b>	2.1. Классификация топлив.	Вопросы к зачету (2.1.)
		2.2. Технические характеристики топлив.	Вопросы к зачету (2.2.)	
		2.3. Характеристики отдельных видов топлива.	Вопросы к зачету (2.3.)	
		<b>3. Преобразование энергии</b>	3.1. Основные понятия и определения термодинамики.	Вопросы к зачету (3.1.)
		3.2. Термодинамические процессы и циклы.	Вопросы к зачету (3.2.)	
		3.3. Основные законы термодинамики.	Вопросы к зачету (3.3. – 3.6.)	
		<b>4. Тепловые электростанции</b>	4.1. Конденсационные электростанции.	Вопросы к зачету (4.1.)
		4.2. Теплофикационные электростанции.	Вопросы к зачету (4.2.)	
		4.3. Основное и вспомогательное оборудование тепловых электростанций.	Вопросы к зачету (4.3.)	
		<b>5. Газотурбинные и парогазовые установки</b>	5.1. Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема.	Вопросы к зачету (5.1.)
		5.2. Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема.	Вопросы к зачету (5.2.)	
		<b>6. Атомные электростанции</b>	6.1. Устройство и классификация ядерных реакторов.	Вопросы к зачету (6.1. – 6.2.)
		6.2. Технологическая схема атомной электростанции.	Вопросы к зачету (6.3.)	
	6.3. Основные достоинства и недостатки атомных электростанций.	Вопросы к зачету (6.4.)		
	<b>7. Гидроэнергетические установки</b>	7.1. Классификация гидроэнергетических установок.	Вопросы к зачету (7.1.)	

		7.2. Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций.	Вопросы к зачету (7.2.)
		7.3. Классификация гидротурбин.	Вопросы к зачету (7.3.)
		7.4. Малые ГЭС и микро ГЭС.	Вопросы к зачету (7.4.)
		7.5. Насосная станция. Классификация насосных станций.	Вопросы к зачету (7.5.)
		7.6. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).	Вопросы к зачету (7.6.)
		7.7. Приливные электростанции (ПЭС).	Вопросы к зачету (7.7.)
		7.8. Волновые электростанции.	Вопросы к зачету (7.8.)
		7.9. Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире.	Вопросы к зачету (7.9.)
	<b>8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	8.1. Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.	Вопросы к зачету (8.1.)
		8.2. Энергия ветра. Ветроэнергетические установки.	Вопросы к зачету (8.2.)
		8.3. Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии.	Вопросы к зачету (8.3.)
		8.4. Водородная энергетика.	Вопросы к зачету (8.4.)
		8.5. Геотермальная энергетика.	Вопросы к зачету (8.5.)
	<b>9. Накопители энергии</b>	9.1. Механические накопители энергии.	Вопросы к зачету (9.1.)
		9.2. Тепловые накопители энергии.	Вопросы к зачету (9.2.)
		9.3. Электрические накопители энергии.	Вопросы к зачету (9.3.)
		9.4. Химические накопители энергии.	Вопросы к зачету (9.4.)
	<b>10. Проблемы современной энергетики</b>	10.1. Проблемы энергетики.	Вопросы к зачету (10.1. – 10.2.)
		10.2. Энергосбережение.	Вопросы к зачету (10.3.)

## 2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОК-7	способность к самоорганизации и самообразованию	<p><b>3.1.</b> Основные понятия и определения термодинамики.</p> <p><b>3.2.</b> Термодинамические процессы и циклы.</p> <p><b>3.3.</b> Первый закон термодинамики.</p> <p><b>3.4.</b> Второй закон термодинамики.</p> <p><b>3.5.</b> Третий закон термодинамики.</p> <p><b>3.6.</b> Основные свойства теплоты.</p>	3. Преобразование энергии
			<p><b>4.1.</b> Принцип работы и технологическая схема КЭС.</p> <p><b>4.2.</b> Принцип работы и технологическая схема ТЭЦ.</p> <p><b>4.3.</b> Паровые котлы и парогенераторы.</p>	4. Тепловые электростанции
			<p><b>5.1.</b> Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема.</p> <p><b>5.2.</b> Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема.</p>	5. Газотурбинные и парогазовые установки
			<p><b>6.1.</b> Общая характеристика АЭС.</p> <p><b>6.2.</b> Устройство и классификация ядерных реакторов.</p> <p><b>6.3.</b> Технологическая схема атомной электростанции.</p> <p><b>6.4.</b> Основные достоинства и недостатки атомных электростанций.</p>	6. Атомные электростанции
			<p><b>7.1.</b> Классификация гидроэнергетических установок.</p> <p><b>7.2.</b> Схемы создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций.</p> <p><b>7.3.</b> Классификация гидротурбин.</p> <p><b>7.4.</b> Малые ГЭС и микро ГЭС.</p> <p><b>7.5.</b> Насосная станция. Классификация насосных станций.</p> <p><b>7.6.</b> Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).</p> <p><b>7.7.</b> Приливные электростанции (ПЭС).</p> <p><b>7.8.</b> Волновые электростанции.</p> <p><b>7.9.</b> Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире.</p>	7. Гидроэнергетические установки
			<p><b>8.1.</b> Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.</p> <p><b>8.2.</b> Энергия ветра. Ветроэнергетические установки.</p> <p><b>8.3.</b> Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии.</p> <p><b>8.4.</b> Водородная энергетика.</p>	8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии

			<b>8.5. Геотермальная энергетика.</b>	
			<b>9.1. Механические накопители энергии.</b> <b>9.2. Тепловые накопители энергии.</b> <b>9.3. Электрические накопители энергии.</b> <b>9.4. Химические накопители энергии.</b>	<b>9. Накопители энергии</b>
			<b>10.1. Социальные и экономические аспекты в энергетике.</b> <b>10.2. Экологические аспекты в энергетике.</b> <b>10.3. Закон об энергосбережении и основные способы энергосбережения.</b>	<b>10. Проблемы современной энергетике</b>
<b>2.</b>	ПК-5	готовность определять параметры обслуживания объектов профессиональной деятельности	<b>1.1. Классификация источников энергии.</b> <b>1.2. Характеристика невозобновляемых источников энергии.</b> <b>1.3. Характеристика возобновляемых источников энергии.</b> <b>1.4. Современные способы получения энергии.</b>	<b>1. Источники энергии</b>
			<b>2.1. Классификация топлив.</b> <b>2.2. Технические характеристики топлив.</b> <b>2.3. Характеристики отдельных видов топлива.</b>	<b>2. Энергетическое топливо</b>
			<b>3.1. Основные понятия и определения термодинамики.</b> <b>3.2. Термодинамические процессы и циклы.</b> <b>3.3. Первый закон термодинамики.</b> <b>3.4. Второй закон термодинамики.</b> <b>3.5. Третий закон термодинамики.</b> <b>3.6. Основные свойства теплоты.</b>	<b>3. Преобразование энергии</b>
			<b>4.1. Принцип работы и технологическая схема КЭС.</b> <b>4.2. Принцип работы и технологическая схема ТЭЦ.</b> <b>4.3. Паровые котлы и парогенераторы.</b>	<b>4. Тепловые электростанции</b>
			<b>5.1. Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема.</b> <b>5.2. Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема.</b>	<b>5. Газотурбинные и парогазовые установки</b>
			<b>6.1. Общая характеристика АЭС.</b> <b>6.2. Устройство и классификация ядерных реакторов.</b> <b>6.3. Технологическая схема атомной электростанции.</b> <b>6.4. Основные достоинства и недостатки атомных электростанций.</b>	<b>6. Атомные электростанции</b>
			<b>7.1. Классификация гидроэнергетических установок.</b> <b>7.2. Схемы создания напора и основное</b>	<b>7. Гидроэнергетические установки</b>

		<p>оборудование гидроэлектростанций.</p> <p><b>7.3.</b> Классификация гидротурбин.</p> <p><b>7.4.</b> Малые ГЭС и микро ГЭС.</p> <p><b>7.5.</b> Насосная станция. Классификация насосных станций.</p> <p><b>7.6.</b> Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).</p> <p><b>7.7.</b> Приливные электростанции (ПЭС).</p> <p><b>7.8.</b> Волновые электростанции.</p> <p><b>7.9.</b> Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире.</p>	
		<p><b>8.1.</b> Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.</p> <p><b>8.2.</b> Энергия ветра. Ветроэнергетические установки.</p> <p><b>8.3.</b> Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии.</p> <p><b>8.4.</b> Водородная энергетика.</p> <p><b>8.5.</b> Геотермальная энергетика.</p>	<b>8.</b> Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии
		<p><b>9.1.</b> Механические накопители энергии.</p> <p><b>9.2.</b> Тепловые накопители энергии.</p> <p><b>9.3.</b> Электрические накопители энергии.</p> <p><b>9.4.</b> Химические накопители энергии.</p>	<b>9.</b> Накопители энергии
		<p><b>10.1.</b> Социальные и экономические аспекты в энергетике.</p> <p><b>10.2.</b> Экологические аспекты в энергетике.</p> <p><b>10.3.</b> Закон об энергосбережении и основные способы энергосбережения.</p>	<b>10.</b> Проблемы современной энергетике

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы самостоятельного изучения современных энергетических установок;</li> </ul> <p>(ПК-5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные виды энергоресурсов и способы их преобразования в электрическую и тепловую энергию;</li> <li>- основные типы энергетических установок;</li> </ul> <p><b>Уметь</b> (ОК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работать с технической литературой;</li> </ul> <p>(ПК-5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использовать методы оценки основных видов энергоресурсов и их преобразования в электрическую и тепловую энергию;</li> </ul>	<b>зачтено</b>	<p>Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, <b>знает:</b> основные методы и способы преобразования энергии, технологию производства электроэнергии на тепловых, атомных и гидравлических электростанциях, нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии, а также основы ресурсо- и энергосбережения</p>
	<b>не зачтено</b>	<p>Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены</p>

<p><b>Владеть</b> (ОК-7): - навыками самостоятельного изучения типов энергетических установок; (ПК-5): – навыками анализа технологических схем производства электрической и тепловой энергии.</p>		
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

#### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Общая энергетика направлена изучение общих вопросов формирования и функционирования топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны, основу которого составляют энергетические системы, объединенные в единую энергетическую систему (ЕЭС) России.

Изучение дисциплины Общая энергетика предусматривает:

- лекции,
- практические занятия,
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 «Источники энергии» студенты должны уяснить:

- что такое источник энергии;
- какие виды источников энергии существуют

В ходе освоения раздела 2 «Энергетическое топливо» студенты должны уяснить:

- какие основные виды топлива используются для производства электрической и тепловой энергии;
- какими характеристиками обладают отдельные виды топлив.

В ходе освоения раздела 3 «Преобразование энергии» студенты должны уяснить:

- что такое термодинамические процессы и циклы и для чего они используются;
- законы термодинамики.

В ходе освоения раздела 4 «Тепловые электростанции» студенты должны уяснить:

- принцип работы и технологические схемы КЭС и ТЭЦ;

В ходе освоения раздела 5 «Газотурбинные и парогазовые установки» студенты должны изучить:

- технологическую схему газотурбинной установки;
- технологическую схему парогазовой установки;

В ходе освоения раздела 6 «Атомные электростанции» студенты должны уяснить:

- как устроен ядерный реактор;
- какие технологические схемы используются на АЭС.

В ходе освоения раздела 7 «Гидроэнергетические установки» студенты должны изучить:

- различные схемы создания напора ГЭС;
- классификацию гидротурбин;
- принцип работы ГАЭС;
- принцип работы приливных и волновых электростанций.

В ходе освоения раздела 8 «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» студенты должны изучить:

- способы преобразования солнечной энергии в электричество;
- способы преобразования энергии ветра в электричество;
- способы использования биомассы для получения энергии;
- реалии и перспективы применения водорода для получения энергии;
- принципы работы геотермальной электростанции.

В ходе освоения раздела 9 «Накопители энергии» студенты должны изучить:

- механические накопители энергии;
- тепловые накопители энергии;
- электрические накопители энергии;
- химические накопители энергии.

В ходе освоения раздела 10 «Проблемы современной энергетики» студенты должны изучить:

- экологические аспекты в энергетике.
- закон об энергосбережении и основные способы энергосбережения.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется особо обратить внимание на принципы преобразования энергии в различных электротехнических установках.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: характеристика невозобновляемых источников энергии; характеристика возобновляемых источников энергии; технические характеристики топлив; термодинамические процессы и циклы; первый закон термодинамики; второй закон термодинамики; третий закон термодинамики; принцип работы и технологическая схема КЭС; принцип работы и технологическая схема ТЭС; общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема; общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема; устройство и классификация ядерных реакторов; технологическая схема атомной электростанции; схемы создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций; классификация гидротурбин; малые ГЭС и микро ГЭС; гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС); приливные электростанции (ПЭС); волновые электростанции; преобразование солнечной энергии в электричество; ветроэнергетические установки; биомасса и её использование для получения энергии; водородная энергетика; геотермальная энергетика; механические накопители энергии; электрические накопители энергии; экологические аспекты в энергетике; закон об энергосбережении и основные способы энергосбережения.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление навыков расчета состава продуктов горения и температуры топлива, расчета цикла Карно применительно к тепловому двигателю, определения технико-экономических показателей цикла Ренкина, определения термического КПД паросиловой установки, определения мощности генераторов деривационной ГЭС, а также расчета гелиоэнергетической установки для получения горячей воды.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала.

В процессе консультации с преподавателем необходимо выяснить все непонятные моменты.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в интерактивной форме (в виде лекции-дискуссии, лекции-беседы, лекции с текущим контролем) в сочетании с внеаудиторной работой.

## **АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины**

### **Общая энергетика**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Формирование знаний о видах природных источников энергии и способах преобразования их в электрическую и тепловую энергию в различных типах энергетических установок.

Задачей изучения дисциплины является: изучение способов преобразования энергии и принципиально-технологических схем различных типов энергетических установок.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк 18 ч; ПЗ 18 ч; СР 36 ч.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа, 2 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Источники энергии.
2. Энергетическое топливо.
3. Преобразование энергии.
4. Тепловые электростанции.
5. Газотурбинные и парогазовые установки.
6. Атомные электростанции.
7. Гидроэнергетические установки.
8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.
9. Накопители энергии.
10. Проблемы современной энергетики.

#### **3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОК-7 - способность к самоорганизации и самообразованию  
ПК-5 - готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

#### **4. Вид промежуточной аттестации: зачет**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ  
УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
ОК-7	способность к самоорганизации и самообразованию	<b>3. Преобразование энергии</b>	3.1. Основные понятия и определения термодинамики.	Собеседование
			3.2. Термодинамические процессы и циклы.	Собеседование
			3.3. Основные законы термодинамики.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
		<b>4. Тепловые электростанции</b>	4.1. Конденсационные электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			4.2. Теплофикационные электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			4.3. Основное и вспомогательное оборудование тепловых электростанций.	Собеседование
		<b>5. Газотурбинные и парогазовые установки</b>	5.1. Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			5.2. Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
		<b>6. Атомные электростанции</b>	6.1. Устройство и классификация ядерных реакторов.	Собеседование
			6.2. Технологическая схема атомной электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			6.3. Основные достоинства и недостатки атомных электростанций.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
		<b>7. Гидроэнергетические ус-</b>	7.1. Классификация гидроэнергетических	Собеседование

		<b>тановки</b>	установок.	
			7.2. Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			7.3. Классификация гидротурбин.	Собеседование
			7.4. Малые ГЭС и микро ГЭС.	Собеседование
			7.5. Насосная станция. Классификация насосных станций.	Собеседование
			7.6. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).	Собеседование
			7.7. Приливные электростанции (ПЭС).	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			7.8. Волновые электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			7.9. Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире.	Собеседование
		<b>8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	8.1. Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			8.2. Энергия ветра. Ветроэнергетические установки.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			8.3. Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			8.4. Водородная энергетика.	Собеседование
			8.5. Геотермальная энергетика.	Собеседование
		<b>9. Накопители энергии</b>	9.1. Механические накопители энергии.	Собеседование
			9.2. Тепловые накопители энергии.	Собеседование
			9.3. Электрические накопители энергии.	Собеседование
			9.4. Химические накопители энергии.	Собеседование
		<b>10. Проблемы современной энергетики</b>	10.1. Проблемы энергетики.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			10.2. Энергосбережение.	Собеседование; Лекция с текущим контролем

				контролем
ПК-5	готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности	<b>1. Источники энергии</b>	1.1. Классификация источников энергии.	Собеседование
			1.2. Характеристика возобновляемых и невозобновляемых источников энергии.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			1.3. Современные способы получения энергии.	Собеседование
		<b>2. Энергетическое топливо</b>	2.1. Классификация топлив.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			2.2. Технические характеристики топлив.	Собеседование
			2.3. Характеристики отдельных видов топлива.	Собеседование
		<b>3. Преобразование энергии</b>	3.1. Основные понятия и определения термодинамики.	Собеседование
			3.2. Термодинамические процессы и циклы.	Собеседование
			3.3. Основные законы термодинамики.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
		<b>4. Тепловые электростанции</b>	4.1. Конденсационные электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			4.2. Теплофикационные электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			4.3. Основное и вспомогательное оборудование тепловых электростанций.	Собеседование
		<b>5. Газотурбинные и парогазовые установки</b>	5.1. Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			5.2. Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
		<b>6. Атомные электростанции</b>	6.1. Устройство и классификация ядерных реакторов.	Собеседование
			6.2. Технологическая схема атомной электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			6.3. Основные достоинства и недостатки	Собеседование; Лекция с текущим контролем

	атомных электростанций.	контролем
<b>7. Гидроэнергетические установки</b>	7.1. Классификация гидроэнергетических установок.	Собеседование
	7.2. Схема создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
	7.3. Классификация гидротурбин.	Собеседование
	7.4. Малые ГЭС и микро ГЭС.	Собеседование
	7.5. Насосная станция. Классификация насосных станций.	Собеседование
	7.6. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).	Собеседование
	7.7. Приливные электростанции (ПЭС).	Собеседование; Лекция с текущим контролем
	7.8. Волновые электростанции.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
	7.9. Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире.	Собеседование
<b>8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	8.1. Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
	8.2. Энергия ветра. Ветроэнергетические установки.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
	8.3. Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
	8.4. Водородная энергетика.	Собеседование
	8.5. Геотермальная энергетика.	Собеседование
<b>9. Накопители энергии</b>	9.1. Механические накопители энергии.	Собеседование
	9.2. Тепловые накопители энергии.	Собеседование
	9.3. Электрические накопители энергии.	Собеседование
	9.4. Химические накопители энергии.	Собеседование

		<b>10. Проблемы современной энергетики</b>	10.1. Проблемы энергетики.	Собеседование; Лекция с текущим контролем
			10.2. Энергосбережение.	Собеседование; Лекция с текущим контролем

### **Вопросы для собеседования**

#### **Раздел 1. Источники энергии**

1. Классификация источников энергии.
2. Характеристика невозобновляемых источников энергии.
3. Характеристика возобновляемых источников энергии.
4. Современные способы получения энергии.

#### **Раздел 2. Энергетическое топливо**

1. Классификация топлив.
2. Технические характеристики топлив.
3. Характеристики отдельных видов топлива.

#### **Раздел 3. Преобразование энергии**

1. Основные понятия и определения термодинамики.
2. Термодинамические процессы и циклы.
3. Первый закон термодинамики.
4. Второй закон термодинамики.
5. Третий закон термодинамики.
6. Основные свойства теплоты.

#### **Раздел 4. Тепловые электростанции**

1. Принцип работы и технологическая схема КЭС.
2. Принцип работы и технологическая схема ТЭЦ.
3. Паровые котлы и парогенераторы.

#### **Раздел 5. Газотурбинные и парогазовые установки**

1. Общая характеристика газотурбинной установки и её технологическая схема.
2. Общая характеристика парогазовой установки и её технологическая схема.

#### **Раздел 6. Атомные электростанции**

1. Общая характеристика АЭС.
2. Устройство и классификация ядерных реакторов.
3. Технологическая схема атомной электростанции.
4. Основные достоинства и недостатки атомных электростанций.

#### **Раздел 7. Гидроэнергетические установки**

1. Классификация гидроэнергетических установок.
2. Схемы создания напора и основное оборудование гидроэлектростанций.
3. Классификация гидротурбин.
4. Малые ГЭС и микро ГЭС.
5. Насосная станция. Классификация насосных станций.
6. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).
7. Приливные электростанции (ПЭС).
8. Волновые электростанции.
9. Перспективы развития гидроэнергетики в России и в мире.

#### **Раздел 8. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии**

1. Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электричество.
2. Энергия ветра. Ветроэнергетические установки.
3. Вторичные источники ресурсов. Биомасса и её использование для получения энергии.
4. Водородная энергетика.
5. Геотермальная энергетика.

## Раздел 9. Накопители энергии

1. Механические накопители энергии.
2. Тепловые накопители энергии.
3. Электрические накопители энергии.
4. Химические накопители энергии.

## Раздел 10. Проблемы современной энергетики

1. Социальные и экономические аспекты в энергетике.
2. Экологические аспекты в энергетике.
3. Закон об энергосбережении и основные способы энергосбережения.

### 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<b>Знать</b> (ОК-7): - методы самостоятельного изучения современных энергетических установок; (ПК-5): - основные виды энергоресурсов и способы их преобразования в электрическую и тепловую энергию; - основные типы энергетических установок;	<b>зачтено</b>	Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, <b>знает</b> : основные методы и способы преобразования энергии, технологию производства электроэнергии на тепловых, атомных и гидравлических электростанциях, нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии, а также основы ресурсо- и энергосбережения.
<b>Уметь</b> (ОК-7): - работать с технической литературой; (ПК-5): – использовать методы оценки основных видов энергоресурсов и их преобразования в электрическую и тепловую энергию;	<b>не зачтено</b>	Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены
<b>Владеть</b> (ОК-7): - навыками самостоятельного изучения типов энергетических установок; (ПК-5): – навыками анализа технологических схем производства электрической и тепловой энергии.		

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата) от «3» сентября 2015 г. №955

**для набора 2015 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701, заочной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701

**для набора 2016 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» июня 2016г. №429, заочной формы обучения от «6» июня 2016г. №429 для заочной (ускоренное обучение) формы обучения от «6» июня 2016г. №429

**для набора 2017 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» марта 2017г. №125, заочной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 для заочной (ускоренное обучение) формы обучения от «4» апреля 2017г. №203

**для набора 2018 года** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. №130, заочной формы обучения от «12» марта 2018г. №130

**Программу составил:**

Булатов Ю.Н., зав. кафедрой, доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭиЭ

от «28» декабря 2018 г., протокол №5

Заведующий кафедрой ЭиЭ \_\_\_\_\_ Ю.Н. Булатов

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_ Ю.Н. Булатов

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией ФЭиА

от «28» декабря 2018 г., протокол №5

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ А.Д. Ульянов

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник  
учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_