

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра промышленной теплоэнергетики**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**Б1.В. 10.01**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Промышленная теплоэнергетика**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

<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>4</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>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	10
4.3 Лабораторные работы.....	30
4.4 Практические занятия.....	31
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат .....	31
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>33</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>34</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>34</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>35</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>35</b>
9.1 Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ и практических работ .....	37
9.2 Методические указания для обучающихся по выполнению курсовой работы.....	41
<b>10 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>42</b>
<b>11 ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>42</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>43</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>49</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>50</b>

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

## Вид деятельности выпускника

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

## Цель дисциплины

- дать обучающемуся необходимый объем знаний по назначению, структуре, классификации и методам расчета источников генерации тепла, используемых в системах теплоснабжения.

## Задачи дисциплины

- заключаются в изучении структуры различных типов источников теплоты; расчете технико-экономических показателей теплоисточников в различных режимах работы; в освоении методов выбора основного и вспомогательного оборудования теплоисточников.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОК-7	способность к самоорганизации и самообразованию;	<b>знать:</b> - теоретические основы процессов теплообмена и теплопередачи тепловой энергии в энергетических установках; <b>уметь:</b> - рассчитывать энергетические показатели энергетических установок теплоисточников в различных режимах работы; <b>владеть:</b> - методиками расчета технико-экономических показателей теплоисточников.
ПК-10	готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	<b>знать:</b> - теоретические основы энергетических процессов протекающих в теплосиловых установках при изменении их режимов; <b>уметь:</b> - рассчитывать технико-экономические показатели теплоисточников при их работе совместно с нетрадиционными источниками энергии; <b>владеть:</b> - методами выбора структуры основного и вспомогательного оборудования теплоисточников.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.10.01 «Источники теплоснабжения» относится к вариативной.

Дисциплина Источники теплоснабжения базируется на знаниях, полученных при изучении учебных дисциплин: техническая термодинамика, теплообмен, нагнетатели и тепловые двигатели.

Основываясь на изучении вышеперечисленных дисциплин, Источники теплоснабжения представляют основу для выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР), посвященной вопросам производства тепловой энергии.

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 (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Очная</b>	3	6	252	126	54	36	36	90	КР	Экзамен
<b>Заочная</b>	4	-	252	26	12	-	14	217	КР	Экзамен
<b>Заочная (ускоренное обучение)</b>	2	-	252	22	12	-	10	149	КР	Экзамен
<b>Очно-заочная</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 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
			б
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	126	19	126
Лекции (Лк)	54	9	54
Лабораторные занятия (ЛР)	36	5	36
Практические занятия (ПЗ)	36	5	36
Курсовая работа	+	-	+
Групповые (индивидуальные) Консультации	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	90	-	90
Подготовка к лабораторным занятиям	22	-	22
Подготовка к практическим занятиям	23	-	23

Выполнение курсовой работы	22		22
Подготовка к экзамену в течение семестра	23	-	23
<b>III. Промежуточная аттестация экзамен</b>	36	-	36
Общая трудоемкость дисциплины 252 час.	252	-	252
	зач. ед.	7	7

#### 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	лабораторные работы	Практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1</b>	<b>Классификация котельных и области их применения</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Тепловые схемы котельных и их расчет</b>	<b>62</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>-</b>	<b>24</b>
2.1	Принципиальная тепловая схема производственной котельной	4	2	-	-	2
2.2	Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения	14	2	6	-	6
2.3	Методика расчета принципиальной тепловой схемы производственно-отопительной котельной	22	2	14	-	6
2.4	Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для открытой системы теплоснабжения	14	2	6	-	6
2.5	Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для крупной системы теплоснабжения	4	2	-	-	2
2.6	Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для небольшой системы теплоснабжения	4	2	-	-	2
<b>3</b>	<b>Методы выбора основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и котельных</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
3.1	Выбор оборудования котельных	8	2	4	-	2
3.2	Выбор оборудования ТЭЦ	4	2	-	-	2
<b>4</b>	<b>Энергетические и экономические характеристики котельных</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
4.1	Капиталовложения и стоимость постройки различных котельных	4	2	-	-	2

4.2	Эксплуатационные расходы и стоимость тепловой энергии котельных	10	2	6	-	2
4.3	Методы оценки эффективности инвестиций с учетом дисконтирования	4	2	-	-	2
<b>5</b>	<b>Назначение и классификация теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) промышленных предприятий</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
5.1	Классификация ТЭЦ	3	1	-	-	2
5.2	Основы теплофикации и регенерации применительно к ТЭЦ с конденсационными турбинами	4	2	-	-	2
<b>6</b>	<b>Методика определения энергетических показателей ТЭЦ</b>	<b>40</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>20</b>
6.1	Технико-экономические показатели ТЭС	19	4	-	6	9
6.2	Расчет экономии топлива на действующих ТЭЦ	17	2	-	6	9
6.3	Коэффициент теплофикации	4	2	-	-	2
<b>7</b>	<b>Принципиальные тепловые схемы ТЭЦ, их расчет</b>	<b>32</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
7.1	Методики расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ	24	2	-	13	9
7.2	Выбор параметров пара и питательной воды в схемах ТЭЦ	4	2	-	-	2
7.3	Системы регенеративного подогрева питательной воды	4	2	-	-	2
<b>8</b>	<b>Отпуск теплоты на электростанциях</b>	<b>28</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>13</b>
8.1	Характеристики потребителей теплоты	4	2	-	-	2
8.2	Отпуск пара	6	2	-	2	2
8.3	Отпуск горячей воды	18	2	-	7	9
<b>9</b>	<b>Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями, ТЭЦ и тепловыми насосами</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
9.1	Режимы работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными и ТЭЦ.	4	2	-	-	2
9.2	Совместная работа ТЭЦ, котельных и тепловых насосов	8	4	-	2	2
	<b>ИТОГО</b>	<b>252</b>	<b>54</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>90</b>

- для заочной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и тру- доемкость; (час.)		
			учебные занятия		само- стоя- тельная работа обучаю- щихся
			лекции	Практи- ческие занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1</b>	<b>Классификация котельных и обла- сти их применения</b>	<b>5,5</b>	<b>0,5</b>	-	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Тепловые схемы котельных и их расчет</b>	<b>50</b>	<b>3</b>	-	<b>47</b>
2.1	Принципиальная тепловая схема про- изводственной котельной	7,5	0,5	-	7
2.2	Принципиальная тепловая схема про- изводственно-отопительной котель- ной для закрытой системы тепло- снабжения	8,5	0,5	-	8
2.3	Методика расчета принципиальной тепловой схемы производственно- отопительной котельной	8,5	0,5	-	8
2.4	Принципиальная тепловая схема про- изводственно-отопительной котель- ной для открытой системы тепло- снабжения	8,5	0,5	-	8
2.5	Принципиальная тепловая схема во- догрейной котельной для крупной си- стемы теплоснабжения	8,5	0,5	-	8
2.6	Принципиальная тепловая схема во- догрейной котельной для небольшой системы теплоснабжения	8,5	0,5	-	8
<b>3</b>	<b>Методы выбора основного и вспомо- гательного оборудования ТЭЦ и котельных</b>	<b>18,5</b>	<b>0,5</b>	-	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Энергетические и экономические характеристики котельных</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	-	<b>20</b>
4.1	Капиталовложения и стоимость по- стройки различных котельных	10,5	0,5	-	10
4.2	Эксплуатационные расходы и стои- мость тепловой энергии котельных	10,5	0,5	-	10
<b>5</b>	<b>Назначение и классификация теп- лоэлектроцентралей (ТЭЦ) про- мышленных предприятий</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	-	<b>18</b>
5.1	Классификация ТЭЦ	9,5	0,5	-	9
5.2	Основы теплофикации и регенерации применительно к ТЭЦ с конденса- ционными турбинами	9,5	0,5	-	9
<b>6</b>	<b>Методика определения энергетиче- ских показателей ТЭЦ</b>	<b>42</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>37</b>
6.1	Технико-экономические показатели ТЭС	21,5	0,5	2	19

6.2	Расчет экономии топлива на действующих ТЭЦ	20,5	0,5	2	18
<b>7</b>	<b>Принципиальные тепловые схемы ТЭЦ, их расчет</b>	<b>33</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>27</b>
7.1	Методики расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ	25	1	4	20
7.2	Выбор параметров пара и питательной воды в схемах ТЭЦ	8	1	-	7
<b>8</b>	<b>Отпуск теплоты на электростанциях</b>	<b>32</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями, ТЭЦ и тепловыми насосами</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>18</b>
9.1	Режимы работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными и ТЭЦ.	10	1	-	9
9.2	Совместная работа ТЭЦ, котельных и тепловых насосов	12	1	2	9
<b>ИТОГО</b>		<b>243</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>217</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>Классификация котельных и области их применения</b>	<b>5,5</b>	<b>0,5</b>	-	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Тепловые схемы котельных и их расчет</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	-	<b>24</b>
2.1	Принципиальная тепловая схема производственной котельной	2,5	0,5	-	2
2.2	Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения	6,5	0,5	-	6
2.3	Методика расчета принципиальной тепловой схемы производственно-отопительной котельной	6,5	0,5	-	6
2.4	Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для открытой системы теплоснабжения	6,5	0,5	-	6



2.5	Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для крупной системы теплоснабжения	2,5	0,5	-	2
2.6	Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для небольшой системы теплоснабжения	2,5	0,5	-	2
<b>3</b>	<b>Методы выбора основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и котельных</b>	<b>10,5</b>	<b>0,5</b>	<b>-</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Энергетические и экономические характеристики котельных</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
4.1	Капиталовложения и стоимость постройки различных котельных	10,5	0,5	-	10
4.2	Эксплуатационные расходы и стоимость тепловой энергии котельных	10,5	0,5	-	10
<b>5</b>	<b>Назначение и классификация теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) промышленных предприятий</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
5.1	Классификация ТЭЦ	10,5	0,5	-	10
5.2	Основы теплофикации и регенерации применительно к ТЭЦ с конденсационными турбинами	10,5	0,5	-	10
<b>6</b>	<b>Методика определения энергетических показателей ТЭЦ</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>18</b>
6.1	Технико-экономические показатели ТЭС	10,5	0,5	1	9
6.2	Расчет экономии топлива на действующих ТЭЦ	11,5	0,5	2	9
<b>7</b>	<b>Принципиальные тепловые схемы ТЭЦ, их расчет</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>13</b>
7.1	Методики расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ	13	1	3	9
7.2	Выбор параметров пара и питательной воды в схемах ТЭЦ	5	1	-	4
<b>8</b>	<b>Отпуск теплоты на электростанциях</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями, ТЭЦ и тепловыми насосами</b>	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
9.1	Режимы работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными и ТЭЦ.	11	1	-	10
9.2	Совместная работа ТЭЦ, котельных и тепловых насосов	13	1	2	10
	<b>ИТОГО</b>	<b>171</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>149</b>

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

### Раздел 1. КЛАССИФИКАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

Источники централизованных систем теплоснабжения: котельные, теплоэлектростанции.

Дисциплина занимается изучением теплоэнергетических систем вырабатывающих тепловую энергию и включающих котельные установки, турбины (при их наличие), теплообменное и вспомогательное оборудование, насосы, трубопроводы и арматуры. Эти системы должны работать как единое целое и обеспечивать высокую надёжность и экономичность работы теплоисточника. Экономичность характеризуется несколькими показателями в частности величиной капитальных вложений, минимумом эксплуатационных затрат, которые включают затраты электроэнергии и тепла на собственные нужды и другие. В значительной степени величина эксплуатационных затрат определяется расходом топлива на теплоисточнике. Задачей дисциплины является выбор оборудования теплоисточника (системы) и выявление режимов его работы, обеспечивающих наилучшие надёжностные и экономические показатели работы.

На долю котельных приходится примерно 50% тепловых нагрузок всех теплоисточников. котельные по выработки теплоносителя подразделяются на паровые и водогрейные.

Пар является универсальным теплоносителем и для производства более востребованным, поэтому большее количество распространение получили паровые котельные, в настоящее время они применяются как производственные и иногда как коммунальные.

Водогрейные котельные – коммунальные (отопительные), что связано с их большей регулируемостью и меньшей затратностью на строительство.

Помимо паровых и водогрейных котельных существуют пароводяные, как правило, все они работают на органическом топливе, за исключением электрочотельных которые иногда применяются в регионах с дешёвой электроэнергией.

Важное место в дисциплине занимает вопрос выбора теплоисточника: ТЭЦ или котельная. Поскольку ТЭЦ характеризуется наличием турбин, которые является дорогостоящими элементами, капитальные и эксплуатационные затраты выше чем у котельных.

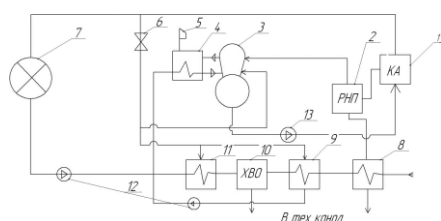
При выборе вида энергоисточника всегда проверяется возможность строительства ТЭЦ, однако для самоокупаемости и экономичности ТЭЦ нужны стабильные и большие нагрузки. Окончательный выбор вида теплоисточника производится на основе много вариантных расчетов. При этом учитываются величина нагрузок, цены на топливо и электроэнергию в регионе, в среднем ориентировочным можно считать, что при нагрузка более 50 МВт ТЭЦ могут быть экономически оправданы. Максимальная мощность ТЭЦ может доходить до нескольких тысяч МВт. Максимальная мощность котельной несколько сотен МВт. Минимальная мощность котельной десятые доли МВт.

### Раздел 2. ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ КОТЕЛЬНЫХ И ИХ РАСЧЕТ

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

#### Тема 2.1 Принципиальная тепловая схема производственной котельной

Принципиальная тепловая схема производственной котельной



1-котлоагрегат, 2- расширитель непрерывной продувки, 3- деаэратор, 4- охладитель выбора, 5- выхлоп в атмосферу, 6- редуцирующее устройство (РУ-14/0.2), 7- технологический потребитель пара, 8- охладитель непрерывной продувки, 9- подогреватель сырой воду, 10- химводоочистка, 11- подогреватель химически очищенной воды, 12- конденсатный насос, 13- питательный насос, Тех. Кан.- техническая канализация.

Проектирование монтаж и анализ эффективности тепло источников производят с помощью тепловых схем. Тепловые схемы – рисунки, на которых структурно показаны основные элементы тепло источника и связи между ними. Различают несколько типов тепловых схем. В частности монтажная тепловая схема отображает все имеющиеся оборудования, включая арматуру на ней, также проставляются диаметры и длины трубопроводам, возможные их уклоны это схема нужна при монтаже и проектирование.

На принципиальной тепловой схеме одним структурным элементом отображается группа однотипного оборудования, нужна для анализа эффективности и выбора оборудования.

Тип котельных агрегатов определяется видом технологических потребителей (7), если ему нужен пар с температурой до 250 °С, то на котельной могут устанавливаться котлы Е-35-14. Пар с давлением 14 ата направляется потребителю, где конденсируется, частично теряется, а частично в виде конденсата возвращается в схему котельной.

Для восполнения пара и воды у потребителей и в котельной в схему подается сырая вода с расходом  $G_{св}$  эта вода имеет температуру водоема. Обычно эта вода очищена от взвесей, но содержит все растворенные примеси, поэтому эту воду нужно превратить в химически очищенную, где ей солесодержание будет уменьшено в сотни и тысячами раз. В большинстве случаев на ХВО устанавливают натрий и водород катионитные фильтры, которые эффективно работают при температуре 25-30 °С, в связи с этим сырая вода подогревается в теплообменниках. На ХВО часть воды теряется на регенерацию и промывку фильтров (при расчетах принимают, что расход химически очищенной воду 100%, а сырой 125).

После ХВО вода подогревается в подогревателе 11 до 80-90 °С, которая необходима для эффективной работы деаэратора, при большем значении воды появляется опасность запаивания деаэратора, когда резко возрастают потери пара в окружающей среде с выпаром, при этом также ухудшаются условия работы охладителя 4, что также увеличивает потери пара с выпаром. Снижение температуры очищенной воды нежелательно из-за увеличения времени обработки воды в деаэраторе и увеличении расхода пара в деаэраторах.

Деаэратор выполняет функции: дегазация агрессивных газов, аккумуляция воды и теплоты в ней (емкость бака должна обеспечить работу тепло источника в течение 2 часов), функция теплообмена (смешивающего типа).

После деаэратора питательная вода питательным насосом направляется в котел.

Схема в целом и её отдельное оборудование выбирается таким образом, чтобы тепло источник без остановок мог проработать отопительный сезон (для Братска 5904 часа). За такой продолжительный период даже при качественной обработке воды на ХВО возможно многократное накопление солей в котловой воде для исключения этого результата на котле осуществляется непрерывная продувка, размер которой зависит от качества питательной воды. В среднем величина продувки составляет 5%, для утилизации тепла в схеме предусмотрен расширитель 2. Помимо котла расширитель связан с деаэратором 3 и охладителем 8, поскольку давление в деаэраторе 2,1 ата то продувочная котловая вода с давлением 14 ата поступившая в расширитель вскипает, при этом большая часть её превращается в пар, который полезно используется в схеме путем направления его в деаэратор. А совсем соленая вода с температурой 103°С направляется в охладитель 8, где её температура снижается до 40°С и она затем сбрасывается в техническую канализацию. Редуцирующее устройство играет важную роль: снижение давления до значений насыщения, что позволяет интенсифицировать теплопередачу в теплообменниках и передать теплоту конденсации водяных паров нагреваемому теплоносителю при минимальной поверхности теплообмена, установка РУ перед теплообменниками позволяет упростить схему, потому что в этом случае не требуется установка большего числа РУ после каждого теплообменника, установка РУ перед теплообменником улучшает условия работы этих теплообменников по условию прочности со стороны тепловой сети.

## **Тема 2.2 Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения**

Принципиальная тепловая схема составляется в зависимости от видов тепловых нагрузок, от типа применяемых котлоагрегатов и других факторов.

Для производственной котельной задаются  $D_m, \mu$ . В соответствии с заданным значением доли возвращаемого конденсата  $\mu$  часть конденсата от потребителя возвращается в котельную, а остальная часть теряется. Поскольку потребителям требуется пар, то целесообразно установить паровые котлы. Положим, что будут установлены паровые котлы с параметрами пара  $14 \text{ кгс/см}^2, 225 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для поддержания требуемого качества водяного пара производится продувка из барабана когда. Продувочная вода имеет достаточно высокий потенциал. Если расход продувочной воды превышает  $0,5 \text{ т/ч}$ , то предусматривается непрерывная продувка. Если расход продувочной воды превышает  $1 \text{ т/ч}$ , то для использования тепла непрерывной продувки применяются два элемента схемы: расширитель и охладитель продувки.

Полагаем, что потребителю требуется пар с такими же параметрами, какие имеются на выходе из котла. В этом случае редуционно-охладительная установка для потребителей не требуется. Некоторое количество вырабатываемого в котельной пара теряется из-за утечек вследствие неплотности трубопроводов. Продувочная вода после охладителя продувки выбрасывается в канализацию или направляется в систему гидршлакозолоудаления и также теряется. Возникает необходимость в подготовке добавочной воды, которая может поступать из водопровода или источника водоснабжения. Показатели качества ее значительно отличаются от показателей качества питательной воды для паровых котлов.

В связи с подготовкой добавочной воды появляются дополнительные элементы: подогреватель сырой воды (ПСВ), химводоочистка (ХВО), подогреватель химочищенной воды (ПХВО), охладитель выпара (ОВ), деаэратор (рис. 1.8). В котельном агрегате вырабатывается пар. Некоторое количество пара теряется из-за утечек внутри котельной. Пар направляется к технологическому потребителю с расходом  $D_m$ . Через редуционное устройство (РУ) пар поступает в деаэратор питательной воды и направляется на ПХВО и ПСВ. В узле А пар разделяется на два потока (один на ПХВО, другой на ПСВ). РУ используется для снижения давления пара.

Давление пара на выходе из котла составляет  $14 \text{ кгс/см}^2$ , в деаэраторе поддерживается давление  $1,2 \text{ кгс/см}^2$ . На ПХВО и ПСВ также направляется пар с давлением  $1,2 \text{ кгс/см}^2$ . У технологического потребителя пар конденсируется, часть конденсата в количестве  $G_2$  теряется, остальная часть конденсата с помощью НОК возвращается вновь в котельную в количестве  $\mu D_T$  и направляется в деаэратор питательной воды. Температура и энтальпия продувочной воды достаточно высока:  $t \approx 199 \text{ }^\circ\text{C}$ . В расширителе поддерживается давление  $1,2 \text{ кгс/см}^2$  и  $t \approx 104 \text{ }^\circ\text{C}$ . Из барабана котла продувочная вода выходит с давлением  $P = 15,4 \text{ атм. т.е. на } 10 \% \text{ выше, чем в паропроводе на выходе из котла и температурой } t = 199 \text{ }^\circ\text{C}$ . С этими параметрами продувочная вода поступает в расширитель, где происходит расширение - резкое снижение давления. При этом разность температур составляет  $199 - 104 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ . Это приводит к тому, что часть продувочной воды вскипает (превращается в пар). Пар затем отправляется в деаэратор и используется там в качестве греющей среды. В соответствии с этим уменьшается расход пара для деаэратора, который поступает через РУ. Количество образующегося пара невелико.

Оставшаяся часть продувочной воды имеет температуру, соответствующую принятому значению в расширителе. Давление в расширителе принимается такое же, как в деаэраторе:  $1,2 \text{ кгс/см}^2$ . Продувочная вода низкого качества, содержит много солей. Поэтому она, в конечном счете выбрасывается в канализацию или в систему гидрозолошлакоудаления. Но предварительно температура воды снижается до  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  в водоводяном теплообменнике, который называется охладителем продувки (ОН). При этом нагревается сырая вода. Замечаем, что тепло продувочной воды используется дважды: в расширителе продувки, где образуется греющий пар, и в ОП.

Подогреватель сырой воды (ПСВ) служит для подогрева сырой воды перед ХВО. Температура воды на входе в ХВО ограничивается, она должна находиться в пределах от  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  для успешной работы катионитных фильтров. Температура сырой воды принимается  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Поддержание заданной температуры во всех режимах достигается за счет изменения расхода греющего пара на ПСВ. ХВО служит для удаления взвешенных частиц, уменьшения жесткости, солесодержания и других целей. В процессе химводоочистки температура воды снижается на  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ . ПХВО устанавливается для того, чтобы температура химочищенной воды на входе в деаэратор поддерживалась в определенных пределах. Она может находиться в пределах от  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $94 \text{ }^\circ\text{C}$ . В качестве греющей среды для данного подогревателя используется пар с давлением  $1,2 \text{ кгс/см}^2$ .

В схеме также предусматривается охладитель выпара (ОВ), который необходим для использования тепла выпара из деаэратора. В процессе деаэрации из деаэратора удаляются агрессивные газы: кислород и углекислый газ, наличие которых приводит к коррозии питательных трубопрово-

дов и элементов котлоагрегата. При помощи питательного насоса деаэрированная вода направляется в паровой котел.

### Тема 2.3 Методика расчета принципиальной тепловой схемы производственно-отопительной котельной

В процессе работы котельной установки имеют место потери пара, конденсата, питательной и сырой воды.

Для восполнения потерь используется добавочная вода из ХВО, производительность которой равна

$$G_{\text{хво}} = G_2 + G'_{\text{пр}} + D_{\text{вып}} + D_{\text{пот}}$$

где  $G_2$  - потери конденсата у технологического потребителя;  $G'_{\text{пр}}$  - расход продувочной воды, выбрасываемый в канализацию или в систему шлакозолоудаления;  $D_{\text{вып}}$  - расход выпара из деаэратора.

Расход сырой воды  $G_{\text{св}}$  получается больше, чем производительность ХВО, на 10-25%.

$$G_{\text{св}} = (1,1 \div 1,25) \cdot G_{\text{хво}},$$

так как часть сырой воды расходуется на собственные нужды ХВО: на взрыхление, регенерацию и отмывку фильтров.

Из-за неплотности во фланцевых соединениях трубопроводов происходят утечки пара, конденсата, питательной воды, которые обозначаются  $D_{\text{пот}} = 0,03\Sigma D$ . Условно принимается, что все потери происходят в виде пара. На каждую тонну деаэрированной воды  $G_0$  расходуется 2-5 кг пара. С учетом этого расход выпара  $D_{\text{вып}}$  равен  $D_{\text{вып}} = 0,003 \cdot G_0$ .

Расход продувочной воды определяется в зависимости от доли продувки:  $P = 2 \div 10\%$ . При этом 2% - при высоком качестве исходной воды, тщательной ХВО и имеющемся внутри барабана сепарационном устройстве. 10% - при низкокачественной очистке. Примем среднее - 5%.

Суммарный расход пара может быть определен после расчета принципиальной тепловой схемы:

$$\Sigma D = D_m + D_{\text{св}} + D_d + D_{\text{пот}}$$

где  $D_m$  - расход пара на технологию;  $D_{\text{св}}$  - расход пара на ПСВ;  $D_0$  - расход пара в деаэратор;  $D_{\text{пот}}$  - расход пара, учитывающий утечки внутри котлоагрегата.

Число работающих котлов  $n_k = \Sigma D / D_e$

Согласно СНиПу рекомендуется устанавливать 3 котла одинакового типа и производительности. Необходимо предусмотреть один резервный котел, а также соблюсти условие  $n_k \cdot D_e \geq \Sigma D$ . Расчет принципиальной тепловой схемы котельной установки, в том числе производственной, ведется методом последовательных приближений. Для теплообменников поверхностного типа составляется одно уравнение: теплового баланса. Для смешивающих теплообменников составляются 2 уравнения: теплового баланса и материального баланса.

Далее приводим методику расчета тепловой схемы методом уточнения суммарной паропроизводительности.

### Тема 2.4 Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для открытой системы теплоснабжения

Расход подпиточной воды существенен, в связи с этим нагрузка на насос 22 большая.

Для подготовки большого расхода подпиточной воды в схеме выделен отдельный блок включающий деаэратор 1 подогреватели 2,3 и 14, также отдельную ступень ХВО 1. Такое выделение дополнительного блока связано со значительной разницей в стоимостях питательной и подпиточной воды. Отличается также солесодержание этих потоков. Солесодержание подпиточной воды может составлять сотни микрограмм, а питательной десятки микрограмм.

Важное значение в данной схеме приобретает подогреватель ХОВ 1 подогрев воды в нем до температуры 90°C позволяет уменьшить расход пара в деаэраторе 1 и потери его конденсата.

## Тема 2.5 Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для крупной системы теплоснабжения

Отопительная котельная служит для обеспечения тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Целесообразно применять водогрейные котлы. Отопительная котельная рассматривается в пяти характерных режимах. В отличие от паровых котлов, в которых параметры теплоносителя остаются постоянными, а изменение количества отпускаемого тепла производится за счет изменения расхода пара, у водогрейных котлов расход сетевой воды желательно поддерживать постоянным и изменение количества отпускаемого тепла осуществлять за счет изменения температур на выходе и входе.

У водогрейного котла для надежности работы необходимо обеспечить определенную скорость воды в теплообменных трубках. Если скорость воды будет меньше допустимого значения, то происходит образование накипи, вскипание воды, нарушение гидравлической и тепловой равномерности, в конечном счете происходит выход из строя теплообменных труб. Чаще всего выходят из строя опускные трубы, в которых скорость движения воды больше, чем в подъемных. Минимально допустимая скорость движения воды зависит от удельной тепловой нагрузки теплообменных поверхностей и вида труб. В связи с этим расход воды через водогрейный котел должен быть равен расходу воды, который приводится в технической характеристике заводом-изготовителем, или быть больше него  $G_{1к} \geq G_{1з}$ . Теплопроизводительность котлов выбирается из стандартного ряда:  $Q = 1; 3; 6,5; 10; 20; 30; 50; 100; 180$  Гкал/ч. Водогрейные котлы могут работать в основном и пиковом режимах. Котлы с теплопроизводительностью от 1 Гкал/ч до 20 Гкал/ч предназначены для работы в основном режиме, от 30 Гкал/ч до 180 Гкал/ч - в основном и пиковом режимах. Котельный агрегат КВ-ТК-100, работающий в основном режиме, имеет следующие параметры:  $Q = 100$  Гкал/ч,  $G = 1250$  т/ч,  $t_1 = 150^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ , разность температур  $\Delta t = 80^\circ\text{C}$ . Тот же котлоагрегат, работающий в пиковом режиме, имеет несколько отличающиеся параметры:  $Q = 100$  Гкал/ч,  $G = 2500$  т/ч,  $t_1 = 150^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 110^\circ\text{C}$ , разность температур  $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ .

Для котлов теплопроизводительностью до 20 Гкал/ч температура воды на выходе принимается до  $t_1 = 150^\circ\text{C}$ , а для котлов 30 Гкал/ч и выше -  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ . Для того чтобы в водогрейных котлах не возникало закипания воды, давление ее выбирается таким образом, чтобы температура кипения превышала температуру воды на выходе из котла не менее чем на  $20^\circ\text{C}$ . С учетом вышесказанного котлы до 20 Гкал/ч рассчитываются на давление  $P = 16$  кгс/см<sup>2</sup>,  $t_k = 201^\circ\text{C}$ , разность температур составляет  $\delta t = t_k - t_1 = 201 - 150 = 51^\circ\text{C}$ , а при  $Q$  от 30 Гкал/ч до 180 Гкал/ч  $P = 23$  кгс/см<sup>2</sup>,  $\delta t = 223 - 200 = 23^\circ\text{C}$ .

## Тема 2.6 Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для небольшой системы теплоснабжения

Котельная работает следующим образом: в котла агрегате вода нагревается до температуры  $150^\circ\text{C}$ , затем она направляется в тепловую сеть и частично на собственные нужды. Исходная сырая вода поступает в подогреватель, где подогревается до температуры  $20-30^\circ\text{C}$ , благоприятной для работы ионитных фильтров ХВО. После ХВО вода нагревается до температур  $50-70^\circ\text{C}$ , благоприятной для последующей дегазации в деаэраторе. В деаэраторе с помощью эжектора создается разрежение, и температуры насыщения может составлять  $50-70^\circ\text{C}$ . Выпор деаэратора через охладитель поступает к эжектору, где смешивается с циркуляционной водой прокачиваемой насосом через рабочее сопло эжектора.

Эжекторы могут применяться для подачи (откачки) жидкости (газов) с низким давлением при этом давление рабочей жидкости должно быть существенно в несколько раз больше давления подмешиваемой жидкости. При истечении рабочей жидкости через рабочее сопло рабочая среда захватывает среду вокруг сопла, создается зона пониженного давления, в которую подсасывается среда с низким давлением. На выходе из эжектора смесь имеет какое-то промежуточное давление между давлением рабочей жидкости и подмешиваемой среды.

Из эжектора газо-водяная смесь поступает в бак, который соединен с окружающей средой. За счет разницы парциальных давлений в окружающей среде и бака  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  удаляются, а рабочая жидкость насосам направляется в сопло эжектора.

На водогрейных котлах возрастает опасность низкотемпературной серно кислотной коррозии, опасность эта обусловлена тем что из-за высокого коэффициента теплоотдачи от стенки в во-

де, температура почти равна температуре воду (70°). На стенке может образоваться раствор сернистой кислоты, с последующим протеканием низкотемпературной коррозии. Температура точки росы зависит от концентрации сернистых соединения в дымовых газах, и для сернистых топлив может меняться от 100 до 200°. Для предотвращения коррозии в котлах в качестве последней поверхности теплообмена устанавливать воздухоподогреватели, однако если этого не достаточно для предотвращения коррозии, то в тепловой схеме предусматривают линия рециркуляции, в этом случае перегретая сетевая вода направляется в котел, в этом случае работает при постоянном температурном графике 150 на 70. Для регулирования температуры сетевой воды в вышеуказанных случаях в схеме предусмотрена линия перепуска. Точка N важна для определения давления в тепловой сети и построения пьезометрического графика.

### Раздел 3. МЕТОДЫ ВЫБОРА ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ И КОТЕЛЬНЫХ

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

#### Тема 3.1 Выбор оборудования котельных

Выбор и распределение котельных агрегатов теплоисточников.

На теплоисточнике число котлов должно быть не меньше 3, иногда доходит до 10. Даже агрегаты одной марки могут иметь различный КПД, обычно на теплоисточниках имеются режимно-наладочной группы, которые проводят испытания котлов, в ходе которых определяется КПД в зависимости от нагрузки котла.

Эти зависимости чаще всего имеют экстремальный характер и максимум КПД как правило ниже 100% номинальной нагрузки.

Котлоагрегат как теплообменник позволяет передать тепло от греющей среды к нагреваемой.

Потери определяются температурой уходящих газов и избытками воздуха в них, причем это параметры меняются по разному.

Из-за разных модернизаций ремонтов избытки воздуха всегда несколько различаются в тоже время необходимо чтобы теплоисточник обеспечивал наибольшую эффективность.

При большей разнице нагрузок даже на двух котлах определить, как необходимо распределить эти нагрузки становится сложно.

При расчетах используют понятие удельных расходов топлива на единицу отпущенной энергии.

$$b_y = \frac{B}{Q_{от}} = \frac{B}{B \cdot Q_n^p \cdot \eta_{кот}^{бр}} = \frac{1}{7000 \cdot \eta_{кот}^{бр}} = \frac{10^6}{7 \cdot 4,19 \cdot \eta_{кот}^{бр}} = \frac{34,12}{\eta_{кот}^{бр}}; \text{ кг/ГДж}$$

При упрощенных расчетах КПД котельной принять равным КПД котла агрегата. Индекс брутто только к тепловым потерям, а индекс нетто учитывает потери энергии на механизмы собственных нужд.

Выбор работающих котлов в первом приближение может быть сделан по их КПД. При этом расход топлива при этом должен быть минимален. В технике часто производятся расчеты параметров в каких либо процессах, зависящих от нескольких переменных.

Известно также, что скорость изменения параметров в первую очередь определяется той переменной, которая в большей степени замедляет данный процесс. Скорость в свою очередь можно трактовать как производную. В случае выбора работающих котлов на тепло источнике приращение функции будет изменение расход топлива, а аргументов изменения выработки тепловой энергии в каком либо тепло источнике. Экстремальное значение функции соответствует равенствам частных производных, где эти производные являются для отдельных котлов.

Алгоритм выбора работающих котлов следующий находится значение  $b_{отн}$  для нескольких точек при разных Q и для каждого котла строится зависимость b от Q. Использование графо аналитического метода предусматривает построение графика в одном масштабе, крайний справа график представляет зависимость b от Q котельной. Абсциссы поучаются суммированием Q котлов при постоянных задаваемых b. После получения этой зависимости можно получить распределения нагрузок по отдельным котлам. Можно интерпретировать описанный метод как нахождение нагрузок работающих котлов при минимальном расходе топлива на худшем из них.

## Тема 3.2 Выбор оборудования ТЭЦ

Выбор основного оборудования теплоисточника.

Основное оборудование: котлы, турбины, теплообменное и тяга дутьевое оборудование, насосы. Насосы: сетевые, подпиточные, рециркуляционные. Для насосного оборудования выбор числа должен соответствовать принципу работающие насосы при условии отключения одного из них должны обеспечивать необходимый расход воды, число насосов не менее двух. На практике число насосов порядка 5-8 штук. Выбор большего числа насосов во многих случаях связан с необходимостью их надежного резервирования, выбора условия работы при экономичной характеристике насоса. Сетевые насосы выбираются по расходу и напору, расход сетевой воды определяется отношением тепловых нагрузок к разнице температур в расчетном зимнем режиме.

Расход подпиточной воды для открытой системы определяется как сумма максимального расхода воды на ГВС и удвоенное значение утечек. Напор должен быть достаточным для преодоления тракта от деаэратора до всоса сетевого насоса. На практике давление больше. Для закрытой системы расход насоса только двойное произведение утечек. Напор насоса можно определить по формуле

$$H = \varphi \cdot n^2 \cdot D^2 \cdot i$$

Питательные насосы: расход должен обеспечивать работы котельного агрегата в расчетном зимнем периоде. А напор определяется по формуле

$$H_{п.п.} = 1,15 \cdot 10 \cdot (P_б - P_д) + H_т + H_г$$

Питательные насосы из всех категория являются наиболее ответственными, поэтому к ним предъявляются дополнительные требования, в частности резервирования приводных механизмов, таких механизмов должно быть не менее двух. Если применяются только электроприводы, то они должны иметь два различных источника питания.

Котельные агрегаты выбираются таким образом, чтобы в режиме наиболее холодного месяца один котел должен быть резервным. Число котлов не мене трех, на ТЭЦ не менее четырех.

Число турбин выбирается не меньше двух и не долее трех. При выборе турбин учитывают тепловые нагрузки потребителей. Если ТЭЦ изолирована от других энерго источников, то электрическая мощность турбин должна обеспечивать потребителей при условии отключения одной из турбин, должны обеспечиваться и тепловые и электрические потребители.

Теплообменное оборудование. Как правило, поэтому СНиПы не предусматривают резервирование теплообменного оборудования, однако на практике наиболее ответственные теплообменные установки, например, тепло подготовительные установки могут иметь отдельные резервные теплообменники.

Тягодутьевое оборудование. Давление определяется из аэродинамического расчета.

## Раздел 4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТЕЛЬНЫХ

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

### Тема 4.1 Капиталовложения и стоимость постройки различных котельных

Технико-экономические показатели работы котельных. Нормативно экономические характеристики.

$$\sum C_{год} = C_{ам} + C_{т.р.} + C_{з.п.} + C_{топ} + C_{э.э.} + C_в + C_{пр}$$

Годовые затраты использования тепло источника.

$C_{ам}$  – затраты на амортизации

$C_{топ}$  – затраты на топливо

$C_{э.э.}$  – на электроэнергию

$C_в$  – на покупку или подготовку воды

Все затраты можно разделить на условно постоянные (первые три) и переменные (остальные все).

$$\sum K = \bar{K} \cdot Q_y \cdot K_{сист} \cdot K_{и.с.д.}$$

$K_{сист}$  – коэффициент учитывающий тип котельной и место её установки



$K_{и.с.д.}$  – коэффициент изменчивости стоимости денег – коэффициент учитывающий изменение стоимости денег, учитывающий период до 30 лет. Сравнительно равен 80-100 сравнительно с советскими временами.

При проектировании и различных инженерных расчетах широко используются удельные коэффициенты и в частности коэффициент капитальных вложений.

$$\bar{K} = \frac{\sum K}{Q_y}$$

Из представленных графиков следует, что удельные капитальные вложения для котельных на твердом топливе выше, чем для котельных на газо-мазутном топливе. Это связано с тем, что для котельных на твердом топливе необходима система транспортирования на теплоисточнике золы, шлака, топлива. Для любых котельных коэффициент резко возрастает при снижении  $Q_y$  менее 50.

Некоторыми специалистами высказываются мнения о целесообразности разукрупнения систем теплоснабжения в России, при этом могут быть снижены потери тепловой энергии из-за некачественного регулирования крупных систем. Из представленных графиков видно что такое разукрупнение возможно при  $Q_y$  остается больше 50, снижение же тепловых потерь необходимо обеспечивать повышением уровня хозяйственности (заинтересованности) всех звеньев персонала эксплуатирующего тепло источник и внедрением новых технологических процессов.

$$C_{ам} = C_{ам}^{год} + C_{ам}^{об}$$

$$C_{ам}^{год} = \sum K \cdot n_{год} \cdot 0,0035$$

$$C_{ам}^{об} = \sum K \cdot (n_{об} + n_{мон}) \cdot 0,06$$

Затраты на амортизацию это затраты на восстановление приобретение какого либо технологического изделия (установки). Затраты на амортизацию можно разделить на: затраты здания, приобретение оборудования и монтаж этого оборудования. Из представленных формул являются функцией капитальных вложений. Из формул: сроки восстановления зданий и оборудования существенно отличаются: для оборудования до 6 лет, а для зданий до 10 раз больше.

$$C_{т.р.} \approx 0,2 \cdot C_{ам}$$

## Тема 4.2 Эксплуатационные расходы и стоимость тепловой энергии котельных

Затраты на текущий ремонт – зависимость от амортизационных затрат.

$$C_{зп} = \bar{P} \cdot Q_y \cdot K_{уд}; \text{ руб}^6/\text{год}$$

Затраты на зарплату составляют заметную часть всех эксплуатационных затрат. Администрация предприятий старается уменьшить эти затраты. По мере развития средств автоматизации и механизации, ремонта, эксплуатации оборудования численность персонала должна постепенно снижаться, а соответственно должны снижаться затраты на зарплату. Однако при этом важно чтобы опережающими темпами возрастали показатели механизации и автоматизации, а уже за тем снижались зарплату на заработную плату.

$$B_{год} = \frac{K_{пот} \cdot \sum Q_v}{\eta_{ка}^{бр} \cdot 7000}$$

$K_{пот}$  – коэффициент потерь.

$\sum Q_v$  - тепло выработанное котельной.

$\eta_{ка}^{бр}$  – КПД котла, определенный при испытаниях котла.

7000 – теплотворная способность условного топлива.

Потери при хранение топлива зависят от числа перевалок, пересыпок топлива. Каждая пересыпка дает определенные потери теплотворности. Для ориентировочных расчетов  $K_{пот}$  7-12%. Очевидно, чем меньше срок хранения топлива, тем меньше его потери при хранении. Для снижения  $K_{пот}$  в последние годы закупку и ввоз топлива стали выполнять несколько раз в году, при этом возможно обеспечение завоза топлива несколькими видами транспорта. Важна и организация хранения топлива на складах. Крупные склады должны иметь бетонное основание, расположенное с уклоном к угольным течкам. За рубежом распространен опыт хранения топлива в закрытых скла-

дах, в России склады открытые. Вопросами хранения топлива и снижением потерь в стране занимаются недостаточно.

Затраты на топливо достигают половины и более от всех эксплуатационных затрат.

Затраты на электроэнергию.

$$B_{\text{год}} = \frac{K_{\text{пот}} \cdot \sum Q_{\text{в}}}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} \cdot 7000}$$

$$C_{\text{ээ}} = C_{\text{ээ}} \cdot \sum \Delta_{\text{газ}} + \alpha \cdot \sum N$$

$$\bar{N} = \frac{\sum N}{\sum Q_{\text{у}}}$$

При нормировании затрат на покупку электроэнергии удобно использовать показатель удельной электрической мощности. Изменение удельной электрической мощности аналогичны изменениям капвложений, они резко возрастают при уменьшение мощности тепло источника.

Удельная мощность газовой котельной ниже котельной на твердом топливе при одинаковых мощностях. Годовые затраты на электроэнергию определяются по двухставочному тарифу. Первое слагаемое учитывает затраты на приобретение собственно электроэнергии, а второе слагаемое учитывает затраты для компенсации капитальных вложений имеющихся электро приемников. Наличие второго слагаемого связано с тем что электрические сети для передачи электроэнергии предприятию проектируются и рассчитываются для обеспечения всей электрической мощности.  $\alpha$  – представляет вольтамперную характеристику и коэффициент учитывающий какая часть мощности может одновременно использоваться. Уменьшение затрат на электроэнергию возможно несколькими путями: уменьшение расходов транспортируемых технологических сред, установленная мощность электродвигателей различных механизмов не должна заметно превышать потребляемую, внедрение частотных преобразователей на механизмах переменным графиком работы.

Затраты на воду определяются произведением расхода потока воды на цену (стоимость) объема воды этого потока.

$$C_{\text{в}} = C_{\text{хов(2)}} \cdot \Delta G_{\text{хов(2)}} + C_{\text{хов(1)}} \cdot \Delta G_{\text{хов(1)}} + C_{\text{св}} \cdot \Delta G_{\text{св}}$$

$G_{\text{хов(2)}}$  - вода, которая превращается в питательную воду котлов.

$G_{\text{хов(1)}}$  - вода после ХВО первой ступени, которая превращается в подпиточную воду тепловых сетей.

$\Delta$  - изменение потока, то есть их потери.

Наибольшей потенциал имеет первая составляющая, так как её стоимость выше, чем цены  $\Delta G_{\text{хов(1)}}$  и  $\Delta G_{\text{св}}$ . Поэтому на тепло источниках необходимо производить снижение любых потерь воды и особенно  $\Delta G_{\text{хов(2)}}$ .

Для оценки эффективности различных предприятий встречаются разные методы.

Приведенные затраты.

$$Z_{\text{пр}} = \Delta \sum C_{\text{год}} + E \cdot \sum K$$

Затраты в какое либо мероприятие в результате которого происходит изменение годовых эксплуатационных затрат для внедрения которого требуются капитальные вложения.

$E$  – соответствует сроку окупаемости в 7 лет.

### Тема 4.3 Методы оценки эффективности инвестиций с учетом дисконтирования

В современных технико-экономических расчетах используется понятие реальных денег и дисконтирования.

$$R = П - О = Ц \cdot Пр - \sum C_i + Л_c - \sum K$$

$R$  – Реальные деньги полученные предприятием за рассматриваемый год

$П$  и  $О$  – приток и отток денег.

$Л_c$  – ликвидационная стоимость.

Понятие дисконтирования

$$ЧДД = \sum R(1 + p)^{-2}$$

Дисконтирование представляет собой изменение стоимости (ценности) денег с течением времени, это изменение стоимости определяется по величине банковского процента, который

можно было бы получить при передаче рассматриваемого количества денег в банк. Дисконтирование может быть отнесено на какой-то период спустя время  $T$ , то есть реальные деньги оцениваются с изменением их стоимости.

В современных экономических проектах используется понятие ЧДД – чистого дисконтированного дохода.

Например, в результате внедрения какого то мероприятия появляются реальные деньги - миллион рублей. При норме ( $r$  15%) за второй год реальные деньги составят 750 тысяч, за третий год 650 тысяч. ЧДД за три года 3400 тысяч рублей.

Срок окупаемости можно определить, например, графически из представленного графика.

## **Раздел 5. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ (ТЭЦ) ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

### **Тема 5.1 Классификация ТЭЦ**

В стране малая доля возобновляемых источников 12% ГЭС, 15% АЭС, остальные ТЭС.

В развитых странах доля возобновляемых источников энергии составляет несколько выше (30). У нас для доли э/энергии можно прогнозировать быстрый рост 20-29%. В перспективе на несколько десятилетий (до 2040) органическое топливо остается главным источником получения первичной энергии и э/энергии в частности и в мире и в России.

Россия является страной экспортером в связи с тем, что цены на топливо (уголь) ниже, чем в остальном мире.

ТЭС классифицируются по различным признакам.

По назначению: отопительные; промышленные.

КЭС – только э/энергия.

ТЭЦ – два вида энергии: тепловая и э/энергия.

По виду теплового двигателя ТЭС подразделяют: паротурбинные установки; парогазовые установки; газотурбинные установки; ДВС.

Под промышленными ТЭЦ понимают ТЭЦ, которая не только производит какой-либо вид энергии потребляемый промышленностью, но и связанную с промпредприятием технологически.

Топливом могут служить отходы производства, системы транспорта различных материальных потоков могут быть общими.

### **Тема 5.2 Основы теплофикации и регенерации применительно к ТЭЦ с конденсационными турбинами**

#### *Основы теплофикации.*

В КА химическая энергия топлива превращается в тепловую энергию пара. Этот пар направляется в паротурбинную установку (ПТУ). Причем чем, выше параметры пара, тем выше КПД ПТУ. ПТУ состоит из нескольких частей высокого (ЧВД) и низкого (ЧНД) давления. В ЧВД пар расширяется (энтропия увеличивается). После ЧВД пар делится на поток в ЧНД, где он продолжает расширяться, затем этот поток пара идет в конденсатор, данный поток называют конденсационным. Этот поток ВД превращается в э/энергию. В конденсатор подается вода из природного водоема, которая конденсирует пар, нагревается и отправляется обратно в природный водоем.

Конденсационный поток проходит через ЧНД и конденсатор при этом большая часть тепла топлива (до 60%) теряется в конденсаторе. Другой поток пара является теплофикационным. После ЧНД он направляется к тепловому потребителю, отдает свою теплоту, конденсируется и возвращается в систему регенерационных подогревателей.

Экономика реальных ТЭЦ определяется в соответствии с формулами Мелентьева и в каждом конкретном случае зависит от оптимального соотношения тепла и э/энергии производимой на станции.

Задачей дисциплины является определение качественных, а иногда и количественных оценок долей производства тепла и э/энергии.

### *Основы регенерации.*

Теплофикация представляет собой комбинированную выработку тепловой и электрической энергии одним потоком пара, причем пар первоначально отдает свою энергию при механическом вращении (движении) турбины с последующей генерацией электроэнергии, а затем с низкими параметрами из отборов турбины направляется к тепловым потребителям.

*Основное назначение теплофикации* – снижение или исключение потерь тепла в конденсаторе турбин. Потери тепла обусловлены необходимостью конденсации пара в конденсаторе, при этом теплота парообразования передается охлаждающей воде, которая после конденсатора сбрасывается в природный водоем.

Для осуществления теплофикации применяются различные теплофикационные турбины типа ПТ, П, Р, Т.

Противодавленческие турбины применяют на промышленных предприятиях при условии наличия в летнее время тепловых нагрузок. Использовать их в отопительных ТЭЦ неудобно в связи с невозможностью производства э/энергии в летнее время. Поэтому на практике большее распространение получили конденсационные, теплофикационные турбины, которые позволяют регулировать конденсационные и теплофикационные потоки пара в летнее время и соответственно производить оба вида энергии круглый год, но в различных соотношениях.

Для уменьшения потерь тепла в конденсаторе в летнее время было предложено использовать пар из отборов турбины для внутренних потребителей станций. Такими потребителями могут быть системы подогрева питательной воды, дутьевого воздуха, сушки топлива. Наиболее масштабным является система подогрева воды, поскольку теплота, подаваемая этим потребителям возвращается в котлоагрегат. В котле восстанавливается теплота и эта система называется регенеративной. Поскольку пар, направляемый на регенеративные подогреватели, поучаствовав предварительно в выработке э/энергии, не проходит через конденсатор, то он является теплофикационным.

Регенерацию еще называют внутренней теплофикацией, которая способствует снижению потерь в конденсаторе турбин. Как и теплофикация, регенерация уменьшает выработку э/энергии, но это уменьшение в большинстве случаев оправдано уменьшением потерь тепла в конденсаторе.

## **Раздел 6. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЭЦ**

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

### **Тема 6.1 Техничко – экономические показатели ТЭЦ:**

В целом в стране доля гидроэнергетики и ядерной энергетики составляет 12-15%, остальные – на органическом топливе. Производство э/энергии всегда более затратно, чем производство тепловой энергии (на ТЭЦ), поэтому э/энергия в любом регионе нашей страны дороже, чем тепловая энергия.

Себестоимость э/энергии на ГЭС, ниже, чем себестоимость на котельной, однако, это не означает, что в регионах с большой долей ГЭС нужно использовать э/энергию на цели отопления, а более рационально эту энергию продать тем потребителям, которые могут ее использовать ее более высоко-экономично и продать существенно дороже, чем тепловую.

Эксергия – максимально возможная работа, которую может произвести энергетический поток вещества, при выравнивании его параметров от фактических значений до значений соответствующих окружающей среде.

Первый показатель недостаточен, поскольку он не стимулирует к большей выработке э/энергии, он лишь показывает, какая часть энергии топлива была полезно использована потребителями.

Второй показатель наоборот стимулирует к большей выработке э/энергии и высокопотенциального тепла, однако, его недостаточность проявляется в том, что он не показывает выгодность производства низко потенциального тепла (на базе теплофикации, если оно необходимо).

Третий показатель должен быть максимально высоким, однако, он может существенно отличаться в зависимости от типа используемой турбины, поэтому судить по его значению об эффективности ТЭЦ будет не правильно, т.к. обществу необходимы различные типы турбин. Таким образом, ТЭЦ могут характеризовать все 3 показателя одновременно.

$$\varphi = \bar{e} \frac{\partial i}{Q_i} = \frac{D_i(i_0 - i_{отб})\eta_{oi}}{D_i(i_{отб} - i_k)} \approx \frac{i_0 - i_{отб}}{i_{отб}} \approx \frac{T^0 - T_{отб}}{T_{отб}},$$

$\eta_{oi}$  учитывает протечки пара между корпусом и лопатками турбины.

Из полученной формулы следует, что для повышения  $\varphi$  необходимо увеличивать температуру пара на входе в турбину и снижать температуру ( $i$ ) пара направляемого потребителю.

$$\left(\frac{d\varphi}{dT^0}\right)_{отб} = \frac{1}{T_{отб}} = \frac{T_{отб}}{T_{отб}^2} \left(\frac{d\varphi}{dT_{отб}}\right)_{T^0} = \frac{T^0}{T_{отб}^2} > \left(\frac{d\varphi}{dT^0}\right),$$

Для того чтобы оценить какая из температур ( $T^0$  или  $T_{отб}$ ) влияют на  $\varphi$  возьмем частные производные и по указанным температурам, из полученных выражений следует, что уменьшение параметров пара направленного потребителю в большей степени повысит  $\varphi$ , чем такое же количество на увеличение параметров пара на входе в турбину.

Для того чтобы оценить показатели эффективности ТЭЦ необходимо знать расход топлива теплоисточником в целом и расходы топлива по отдельным составляющим на выработку э/энергии и тепла.

## Тема 6.2 Расчет экономии топлива на действующих ТЭЦ

Расход топлива определяют по обратному балансу станции, т.е. определяют КПД станции, для чего предварительно оценивают все предварительные потери.

$$b = \frac{B}{\Sigma \partial} = \frac{B}{B \cdot Q_H^p \cdot \eta_{КЭС}^{бр}} = \frac{1 \cdot 3600}{\eta_{КЭС}^{бр} \cdot 7000 \cdot 4,19} = \frac{0,123}{\eta_{КЭС}^{бр}}, \text{ (кг/кВтч)}$$

7000 – Условного топлива ккал/кг.

$$\eta_{КЭС}^{бр} = \eta_{oi} \cdot \eta_t \cdot \eta_{ка} \cdot \eta_{т.тр.} \cdot \eta_{эм.},$$

$\eta_t = 0,55$  (0,53) – термический КПД цикла;

$\eta_{ка} = 0,8-0,9$  – потери в котле;

$\eta_{oi} = 0,8$  – протечки пара на лопатках;

$\eta_{эм.}$  – потери на трение в подшипниках;

$\eta_{т.тр.} = 0,98-0,99$  – потери пара на трубопроводах;

$$\eta_{ТЭЦ}^{бр} = \frac{\Sigma \partial^T \eta_{ТЭЦ}^{бр} + \Sigma \partial^K \eta_{КЭС}^{бр}}{\Sigma \partial},$$

Экономия топлива при теплофикационной выработке различных видов энергии.

$$\eta_{ТЭЦ} = \eta_{ТП} \eta_{КА} \eta_{ЭМ},$$

$$\eta_{КЭС} = \eta_T \eta_{КА} \eta_{от} \eta_{ТП} \eta_{ЭМ},$$

$$b_{ТЭЦ} = \frac{0,123}{\eta_{ТЭЦ}},$$

$$\eta_{ТЭЦ}^{\Sigma \partial} = \eta_{ТЭЦ},$$

$$\eta_{ТЭЦ}^{\Sigma \partial} = \eta_{КЭС},$$

Эффективность ТЭС согласно современным представлениям более точно можно оценить по обратному балансу станции, т.е. на основе анализа и оценки различных тепловых потерь.

Применительно к ТЭЦ выделяют 2 группы потоков пара один теплофикационный другой конденсационный. И соответственно КПД по выработке эл/энергии на ТЭЦ может быть определен по выше представленной формуле (КПД ТЭЦ среднечасовой Брутто).

$$\eta_{ТЭЦ}^{ср.ч} = \frac{\Sigma \partial^T \eta_{ТЭЦ}^{\Sigma \partial} + \Sigma \partial^K \eta_{КЭС}^{\Sigma \partial}}{\Sigma \partial},$$

$$\Sigma \partial = \partial_{ЭК} + \partial_{ЭТ},$$

В формуле индексы  $эт$  и  $эк$  относятся к показателям выработки эл/энергии теплофикационным и конденсационным образом.

$$B_{ТЭЦ} = b^{\Sigma \partial} \cdot \partial_{ТЭЦ}^{\Sigma \partial} + b^{\Sigma \partial} \cdot \partial_{ТЭЦ}^{\Sigma \partial} + b_{ТЭЦ}^T \cdot Q_{ТЭЦ},$$

$$B_{КЭС} = b_{КЭС} \cdot \partial_{КЭС},$$

$$B_{кот} = b_{кот}^T \cdot \partial_{кот},$$

$$\Delta B_{ЭК} = B_{ТЭЦ} - (B_{КЭС} + B_{кот}),$$

Из ранее проведенного анализа следует, что ТЭЦ должны сжигать топлива меньше чем, КЭС и котельные, производящие по отдельности тоже количество эл/энергии что и ТЭЦ. При использовании удельных показателей расхода топлива, учитывающих все тепловые потери вполне возможно строго выразить экономию топлива, получаемую на ТЭЦ.

$$\Delta B_{\text{ЭК}} = B_{\text{ТЭЦ}} - (B_{\text{КЭС}} + B_{\text{КОТ}}) = \dots = \mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ЭТ}}(b_{\text{КЭС}} - b^{\text{ЭТ}}) - \mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ЭК}}(b^{\text{ЭК}} - \psi b_{\text{КЭС}}),$$

Поскольку потери тепла на ТЭЦ для теплофикационного потока и Котельной очень близки, то можно принять что  $B_{\text{КОТ}}$ , то можно принять что  $B_{\text{КОТ}} Q_{\text{КОТ}} = B_{\text{ТЭЦ}} Q_{\text{ТЭЦ}}$ . Последнее выражение носит имя Л.А. Мелентьева.

Коэффициент пси учитывает различные потери эл/энергии от ТЭЦ и от КЭС. Потери на КЭС будут больше из-за большей протяженности ЛЭП.

Из полученной формулы следует, что экономия возрастает с увеличением доли теплофикационной выработки энергии и уменьшением конденсационной выработки энергии. Отметим что удельный расход топлива на ТЭЦ больше чем  $b^{\text{ЭК}}$  на ТЭЦ, но меньше чем  $b^{\text{ЭТ}}$  на ТЭЦ поэтому экономия возрастает при уменьшении удельного расхода топлива на ТЭЦ  $b^{\text{ЭТ}}$

$$\mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ЭТ}}(b_{\text{КЭС}} - b^{\text{ЭТ}}) - \mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ЭК}}(b^{\text{ЭК}} - \psi b_{\text{КЭС}});$$

$$\Delta B_{\text{ЭК}} = B_{\text{ТЭЦ}} - (B_{\text{КЭС}} + B_{\text{КОТ}}) - B_{\text{ТЭЦ}} = b_{\text{КЭС}} \cdot \mathcal{E}_{\text{КЭС}} + b_{\text{КОТ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{КОТ}} - b^{\text{ЭТ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}} - b^{\text{ЭК}} \cdot \mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}}.$$

Регенеративный подогрев питательной воды.

$$1. D^0; \sum \mathcal{E}, D_{\text{К}} = D^0,$$

$$2. D^{\text{рег}} = D^0 + \sum D_i; y_i; \text{ при условии } \sum \mathcal{E}_i = \sum \mathcal{E}_r$$

$$D_{\text{К}}^{\text{рег}} = D^{\text{рег}} - \sum D_i = D^0 + \sum D_i y_i - \sum D_i = D^0 - \sum D_i (1 - y_i) \Rightarrow D_{\text{К}}^{\text{рег}} < D_{\text{К}}$$

$$y_i = \frac{\Delta H_{\text{н.д}}}{\Delta H^0},$$

$$\mathcal{E}_i = D_i (i^0 - i_{\text{отб}(i)}) \eta_{0i},$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{н.в.}} = D_i (i_{\text{отб}(i)} - i''_{\text{т}(i2)}).$$

Формула 2 была предложена профессором Гриневецким.

$D_{\text{К}}^{\text{рег}}$  - расход пара на турбину при работе установки с регенерацией.

$D^0$  - расход пара на турбину при работе установки без регенерации.

Условие  $\sum \mathcal{E}_i = \sum \mathcal{E}_r$  показывает, что в обоих режимах количество вырабатываемой э/энергии одинаково.

Для вывода формулы 2 было использовано понятие недовыработки э/энергии каким-либо i-м потоком пара отбираемым из турбины.

$y_i$  - доля недовыработанной энергии;

$D_{\text{К}}$  - расход пара в конденсатор;  $\sum D_i$  - отбор.

Из формулы следует, что  $y_i$  представляет долю от всей э/энергии, которая недовырабатывается i-м потоком пара направляемым на регенерацию. Согласно формуле Гриневецкого расход пара на турбину с регенерацией увеличится сравнительно с расходом пара без регенерации на величину произведения  $\sum D_i y_i$  для того чтобы этот увеличенный расход пара на турбину позволил выработать ту э/энергию, которую недовыработали потоки пара, отбираемые на регенерацию. Из определения  $y_i$  следует, что его значение всегда меньше 1. В связи с этим  $D_i$  и  $D_i(y_i)$  и их сумма будут являться величинами положительными.

Расход пара в конденсатор в режиме с регенерацией  $D_{\text{К}}^{\text{рег}}$  всегда меньше этого расхода в режиме без регенерации  $D_{\text{К}}$ .

### Тема 6.3 Коэффициент теплофикации

Годовой график продолжительности нагрузок теплоисточника (ТЭЦ)

$$B_{\text{ЭК}} = \mathcal{E}^{\text{Т}}(\psi b_{\text{КЭС}} - b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ЭТ}}) - \mathcal{E}^{\text{К}}(b^{\text{ЭК}} - \psi b_{\text{КЭС}}),$$

$$\alpha = \frac{Q_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ЭТ}}}{Q_{\text{ТЭЦ}}^{\text{max}}} - \text{коэффициент теплофикации.}$$

Коэффициент теплофикации  $\alpha$  представляет отношение тепловых нагрузок, покрываемых из отборов турбин к максимальной нагрузке ТЭЦ.



Значение коэффициента  $\alpha$  имеет важную роль при выборе мощности турбины, а сам коэффициент теплофикации выбирается по результатам анализа графика продолжительности ТЭЦ. Из анализа этого графика следует, что в нем можно выделить 3 наиболее характерных значения нагрузок  $Q_{ТЭЦ}^{max}$ ,  $Q_{ТЭЦ}^{CP}$ ,  $Q_{ТЭЦ}^{летн}$ . Этим 3м значениям нагрузок ТЭЦ могут соответствовать варианты выбора мощности турбины. Если турбина выбирается по  $Q_{ТЭЦ}^{max}$ , то она будет эффективно работать лишь короткий интервал времени (около 2х недель) соответствующим расчетным зимним нагрузкам. При уменьшении нагрузок мощная турбина будет работать менее эффективно, поскольку для нее останутся возможными 2 режима работы:

1. Расходы пара на турбину уменьшаются при этом расход пара на конденсатор минимальный, а расход пара из отборов соответствует нагрузке потребителей. В таком режиме резко снизится внутренний относительный КПД турбины.

2. Расход пара остается максимальным и КПД остается максимальным, однако, при условии уменьшения нагрузок потребителей существенно возрастет расход пара в конденсатор. В соответствии с формулой Мелентьева возрастет конденсационная выработка э/энергии, и уменьшиться экономия топлива на ТЭЦ.

Вариант установки турбины по нагрузкам  $Q_{ТЭЦ}^{летн}$  также является не экономичным, поскольку, хотя турбина и будет работать в эффективном режиме круглый год, однако, и мощность и выработка э/энергии будут минимальными. И такая ТЭЦ становится близкой к котельной, поскольку выгоды от теплофикационной выработки э/энергии в таком режиме используются лишь незначительно.

В связи с изложенным наиболее рациональным является вариант установки турбины по средне-зимним нагрузкам ТЭЦ, которые соответствуют наиболее длительному интервалу графика продолжительности ТЭЦ.

Зависимость экономии топлива  $B_{ЭК}$  от коэффициента теплофикации  $\alpha$  и типа устанавливаемых турбин имеет экстремальный характер. На участке при  $\alpha=0-0,4$  для всех видов турбин экономия возрастает с ростом  $\alpha$ . Это связано с тем, что при этом увеличивается выработка э/энергии, причем преимущественно теплофикационным способом. В дальнейшем при увеличении  $\alpha$  экономия топлива проходит какое-то максимальное значение и начинает снижаться, что объясняется увеличением выработки конденсационной э/энергии  $E^k$  в формуле Мелентьева. С увеличением давления пара на входе в турбину оптимальный коэффициент теплофикации возрастает, при этом снижается  $B_{ЭТ}$ . Первое слагаемое в формуле возрастает сравнительно со 2-м.

$\alpha_{ТЭЦ} = (0,4 \div 0,6)$  – отопит. ТЭЦ,

$\alpha_{ТЭЦ} \approx 0,8$  – произ. ТЭЦ.

Учет влияния регенерации на теплофикационную выработку э/энергии.

$$E^T = E_B^T + E_P^T = E_B^T \cdot (1 + e_P^T); e_P^T = \frac{E_P^T}{E_B^T}$$

$$E_B^T = D_{ВН} \cdot (i^0 - i_{ВН}), E_P^T = D_P \cdot (i^0 - i_P^{CP}) \Rightarrow e_P^T = \frac{D_P}{D_{ВН}} \cdot \frac{i^0 - i_P^{CP}}{i^0 - i_{ВН}} = \frac{\overline{t_{ПВ}} - \overline{t_{ВК}}}{i_P^{CP} - t} \cdot \frac{i^0 - i_P^{CP}}{i^0 - i_{ВН}}$$

Из баланса РП

$$D_P \cdot (i_P^{CP} - i_{ВН}) = D_{ВН} \cdot (\overline{t_{ПВ}} - \overline{t_{ВК}}) \Rightarrow \frac{D_P}{D_{ВН}} = \frac{\overline{t_{ПВ}} - \overline{t_{ВК}}}{i_P^{CP} - i_{ВН}}$$

$e_P^T$  – коэффициент регенерации.

Условно упрощенная схема ТЭЦ включает котлоагрегат, турбину, внешний потребитель (сетевой подогреватель). РП может, конечно же, включать систему регенеративных подогревателей. Вся теплофикационная выработка э/энергии  $E^T$  представляет сумму э/энергии выработанной теплофикационными потоками пара направляемыми внешним потребителем  $E_B^T$  и э/энергии выработанной потоками пара направляемыми на регенерацию. Если ввести коэффициент регенерации  $e_P^T$ , который представляет отношение выработок э/энергии на внутреннем и внешнем теплопотреблении, то его значение может быть определено по энтальпиям различных тепловых потоков по приведенным формулам. В этих формулах  $i, t$  – энтальпии пара и жидкости.

В расчетах необходимо учитывать, что потребители тепловой энергии в реальных схемах могут быть различны по числу параметрам. Для подогрева конденсата от каждого такого потребителя до температуры питательной воды нужен свой индивидуальный РП который в реальных схемах может включать свою группу подогревателей. При расчетах по значению энтальпии возвращаемого

конденсата подбирается по термодинамическим таблицам давление насыщения, а затем по h-s диаграмме определяется энтальпия пара соответствующего отбора.

## Раздел 7. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ ТЭЦ, ИХ РАСЧЕТ

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

### Тема 7.1 Методика расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ

Расчет принципиальной тепловой схемы начинается с подогревателя высокого давления, установленного перед котельным агрегатом (№1), а заканчивается подогревателем низкого давления, установленным за конденсатором (№7).

Такой порядок расчета определяется уменьшением числа неизвестных параметров при рассмотрении каждого подогревателя. В ходе расчета определяются расходы пара на отдельные подогреватели и  $D_o$ . Указанные расходы определяются на основе уравнений теплового баланса рассматриваемых подогревателей. Эти уравнения включают энтальпии греющего пара ( $h_{отб,i}$ ), его конденсата ( $h'_{отб,i}$ ), нагреваемой воды, соответственно, перед и после подогревателя ( $h'_{i-1}, h'_i$ ), а также расходы нагреваемой воды ( $D_{п.в}$ ). По схеме отвода конденсата все подогреватели можно разделить на две группы – высокого (ПВД) и низкого (ПНД) давления, которые разделены деаэратором. Для подогревателя каждой группы можно составить уравнение вида:

$$D_{отб,i} = \frac{D_{п.в} (h'_{i-1} - h'_i) - [\sum D_{отб} (h'_{отб,i-1} - h_{отб,i})] \cdot \eta_{т.а}}{(h_{отб,i} - h'_{отб,i}) \cdot \eta_{т.а}},$$

где  $\sum D_{отб}$  - расходы конденсатов, направляемые в рассматриваемый подогреватель от других подогревателей, т/ч.

Энтальпии пара ( $h_{отб,i}$ ) находятся по hS - диаграмме на пересечении изобар с линией действительного процесса расширения пара (1-2'). Значения изобар потоков пара i-х отборов определяются по формуле Флюгеля

$$P^x_{отб,i} = \sqrt{(P^x_k)^2 + \left(\frac{D'^x_o}{D'_o}\right) [(P^j_{отб,i})^2 - (P^o_{отб,k})^2]},$$

где величины с индексом «х» относятся к рассчитываемому режиму, а величины с верхним индексом «о» - к номинальному (справочному). Нижний индекс «к» относится к конечному отбору в рассматриваемой группе подогревателей, параметры которого обычно заданы;

$D'^x_o, D'_o$  - соответствующие расходы пара через турбину в сечении после i-го отбора

Энтальпии потоков конденсата  $h'_{отб,i}$  определяются по справочным данным по давлению насыщения, равному  $P^x_{отб,i}$ . Для определения энтальпий питательной воды перед и после рассчитываемого подогревателя предварительно оценивают ее температуру, полагая, что ее изменения в каждом подогревателе рассматриваемой группы равны между собой. Температура питательной воды перед i-м подогревателем

Определяется по формуле:

$$t'_{пв,i} = t_{пв,н} - \frac{(t_{пв,н} - t_{пв,к})i}{n}$$

где  $t_{пв,н}, t_{пв,к}$  - начальная (наибольшая) и конечная температуры питательной воды рассматриваемой группы подогревателей, °C; i - номер подогревателя, начиная от котельного агрегата; n - число подогревателей в группе.

Значение  $t'_{пв,i}$  должно быть на пять градусов ниже температуры насыщения пара следующего отбора  $t'_{отб,i+1}$

$$t'_{пв,i} \leq t'_{отб,i+1},$$

Если (12) не соблюдается, то  $t'_{пв,i}$  принимается равным  $t'_{отб,i+1}$

При расчетах следует учитывать, что  $D_{пв}$  больше  $D_o$  на величину потерь с продувкой котла ( $D_{пв} = D_o(1+0,03)$ ).



Расход нагреваемой воды остается постоянным в ПВД (равным  $D_{пв}$ ) и уменьшается в деаэраторе и ПНД, что необходимо учитывать при использовании формулы.

## **Тема 7.2 Выбор параметров пара и питательной воды в схемах ТЭЦ**

Недогрев нагреваемой воды до температуры насыщения греющего пара в поверхностных подогревателях определяется технико-оптимизационными расчетами. Если у нас задана выработка э/энергии, а топливо в регионе дорогое соответственно желательно чтобы потери в конденсаторе были минимальными. Следовательно, недогрев должен быть минимальный (до 3х градусов). Если же топливо в регионе дешевое, то недогрев может быть увеличен до 7 градусов.

В 70-80 годы в СССР в целях унификации оборудования были приняты 2 типа значений параметров питательной воды и перегретого пара при давлении пара на входе в турбину 15 МПа  $t$  пара 560 °С температура питательной воды 230 °С. При давлении пара 24 МПа температура питательной воды составит 260 °С - для станций, котлов высокого давления. Для котлов и ТЭС среднего давления температура питательной воды могут существенно снижаться. В последнее десятилетие с 2000 г. стали осваиваться турбины с начальными параметрами пара уже до 610-620 °С. Более высокая для КЭС, меньше для ТЭЦ. Многочисленными исследованиями получено, что подогрев нагреваемой воды во всех ступенях должен быть равным.

## **Тема 7.3 Системы регенеративного подогрева питательной воды**

Турбостроительные заводы поставляют турбины в настоящее время оборудованные регенеративными отборами. Эти отборы называют не регулируемые. В отличии от регулируемых П и Т отборов. Обычно число отборов для турбин малой мощности не превышает 3х для турбин с мощностью до 100 МВт – 7-11 и для мощных более 100 МВт – до 15 не регулируемых отборов. Турбины совсем малой мощности могут оборудоваться 1м подогревателем и, следовательно 1м отбором. Существуют различные схемы включения регенеративных подогревателей, схемы ТЭЦ с теплофикационной конденсационной турбиной с 2-мя регулируемыми отборами и 5-ю нерегулируемыми.

ПВД И ПНД – подогреватели высокого и низкого давления.

1-схема регенеративного подогрева с каскадным сливом конденсата.

2 – деаэратор, представляющий смешивающий регенеративный подогреватель.

3 – схема регенеративного подогрева с отводом конденсата подъемными насосами.

Важным преимуществом смешивающих подогревателей в схемах регенеративного подогрева является то, что они могут подогреть турбинный конденсат до своей температуры насыщения, очевидно, что чем выше температура нагретого конденсата после подогревателя, тем меньше потребуются расход пара в подогревателе более высокого давления и соответственно в турбине будет выработано больше э/энергии.

Однако, применение смешивающих подогревателей требует установки после каждого из них насоса для перекачки всего расхода питательной воды поскольку в следующем подогревателе давление будет выше, чем в предыдущем. Таким образом применение большого числа смешивающих подогревателей увеличивает затраты на установку питательных насосов и на потребляемую э/энергию. Поскольку питательную воду необходимо деаэрировать, то деаэраторы используют в качестве смешивающих регенеративных подогревателей. И число таких подогревателей не превышает 2х.

Схема с каскадным сливом позволяет исключить применение насосов для отвода конденсата. При этом конденсат, образовавшийся в ПВД, через конденсатоотводчик поступает в ПВД более низкого давления. Недостатком этой схемы является то, что конденсат более высокого давления ограничивает расход пара более низкого давления, что в целом снижает выработку э/энергии турбины. Этого недостатка нет в схеме с подъемными или опускными насосами 3 однако эти схемы требуют затрата э/энергии на перекачку конденсата соответствующего отбора.

На практике реальные системы регенеративного подогрева часто делают комбинированными.

При выборе режима эксплуатации станции надо учитывать, что в современных условиях критериям эффективности должна быть максимальная выгода, а такой критерий может обеспечиваться не обязательно при равных выработках э/энергии, может оказаться, что к такому критерию

будут соответствовать максимальная выработка э/энергии полученное пусть даже с наибольшими потерями в конденсаторе.

Определение оптимальных соотношений вырабатываемой э/энергии и теряемой в конденсаторе должно производиться применительно к каждой конкретной ТЭЦ в зависимости от типа паросиловой установки, условия ее работы и соотношения цен в регионе на электрическую и тепловую энергию (топливо).

Зависимость относительной экономии топлива при регенерации  $\xi$  от температуры питательной воды, которая достигается в системе регенеративного подогрева.

$t_k$  – температура конденсата,  $t_0$  – температура насыщения на входе в турбину,  $n^s$  - число регенеративных подогревателей.

Для регенеративного подогрева питательной воды на практике применяются схемы ступенчатого подогрева. Пусть сравниваются 2 случая: подогрев турбинного конденсата в одном подогревателе и подогрев того же количества конденсата до той же температуры, но уже у двух подогревателей. Если подогревателей несколько, то вначале турбинный конденсат подогревается низкопотенциальным паром, который выработал максимальное количество э/энергии, а уже затем отбирается тот поток пара (высокопотенциальный) для 2-го подогревателя, который подогревает эту питательную воду до температуры насыщения. В случае 2х подогревателей потоки пара, которые на них поступают, вырабатывают большее количество энергии, чем, если был бы один подогреватель с тем же расходом пара. Из рисунка следует, что чем больше число подогревателей, тем экономичнее выше, причем большему числу подогревателей соответствует более высокая оптимальная температура питательной воды.

## **Раздел 8. ОТПУСК ТЕПЛОТЫ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

### **8.1 Характеристики потребителей теплоты**

Отпуск теплоты различным потребителям от ТЭЦ.

Теплота от ТЭЦ может отпущаться в виде пара и горячей воды. Если теплота отпущается из отборов турбин, то она соответственно будет теплофикационной. Если она будет отпущаться непосредственно от котлов или редуционно-охладительных установок, то эта теплота может быть оценена также как теплота отпущаемая котельными, т.е. она никак не влияет на выработку э/энергии.

Промышленными потребителями потребляется пар различного давления.

Потребителей различают по следующим группам:

1. Отопительно - вентиляционные потребители, которым требуется пар от 0,06 до 0,25 МПа.
2. Технологические аппараты (варочные котлы, выпарные), которым требуется давление 0,6 – 0,8 МПа.
3. Производственные агрегаты с паровым приводом (кузнечный пресс, турбовоздуходувки) с давлением 1,2 – 1,8 МПа.

В отдельных случаях агрегаты могут потреблять пар высокого давления 3,5 – 9 МПа.

Пар к каждой группе потребителей идет по отдельным паропроводам. В некоторых случаях если потребление пара одной из групп не велико, то эти группы могут снабжаться от общего паропровода давлением, в котором поддерживается по наибольшему из значений у потребителей. А потребители, потребляющие пар с меньшим давлением получают его от дополнительно устанавливаемого РОУ.

### **Тема 8.2 Отпуск пара**

РОУ нужны и для снижения давления пара и для снижения его температуры в отличии от РУ пар проходит дроссельные устройства в котором уменьшается его давление затем поступает в камеру охлаждения. Обычно камера охлаждения на практике имеет большой диаметр. Т.к. объём пара увеличивается. В камеру через форсунки впрыскивается охлаждающая вода, которой может быть либо конденсат каких, либо потребителей либо питательная вода. Регулирование давления и температуры пара происходит автоматически, поэтому для регуляторов предусмотрены исполни-

тельные электрифицированные механизмы регулирования РТ и РД. Импульсные линии на эти механизмы поступают от паропровода после камеры. Для предотвращения аварийного повышения давления у потребителей в схеме предусмотрен предохранительный клапан, который должен сработать в случае неисправности дросселя. РОУ устанавливается для байпасирования турбин или для получения пара более низкого давления.

Преобразователи служат для восполнения потерь качественной обессоленной воды и могут применяться, если на станции имеется дефицит исходной сырой воды или обессоленной воды. Дефициты могут возникать в маловодных регионах, в засушливые годы, особенно на промышленных ТЭЦ с большими технологическими потерями воды.

Исходная химочищенная вода подогревается в подогревателях до температур около 90 °С. Затем переходит в деаэратор и с температурой порядка 103 °С поступает в преобразователь - это паро-водяной подогреватель и одновременно испаритель концентратор, греющей средой служит пар забираемый из отборов турбины. Этот пар может поступать в трубную систему паропреобразователя, а в межтрубном пространстве находится испаряемая ХОВ, из которой получается пар вторичного вскипания расходом  $D_{\text{вв}}$ . Этот пар с  $P=1,2-1,4$  ата может направляться низко потенциальным потребителям, а концентрированный растров из паропреобразователя направляется в подогреватели, где охлаждается и сбрасывается в техническую канализацию.

Для получения  $D_{\text{вв}}$  с указанным давлением из отборов турбины берется пар с большим давлением на 1-2 атм как минимум. Следовательно, выигрыш от использования паропреобразователя в виде замены ХОВ, например, на тоже количество более качественного пара  $D_{\text{вв}}$  оплачивается недовыработкой э/энергии в турбине.

Отпуск тепла с помощью пароструйного компрессора.

Пароструйный термокомпрессор, он же тепловой насос, может применяться в тепловых схемах теплоисточника для повышения давления пара и температуры различных теряемых потоков. Получаемый в пароструйных компрессорах пар полезно используется в схеме теплоисточника, следовательно, пароструйные компрессоры позволяют утилизировать сбросные потоки тепла и может рассматриваться как теплосберегающие технологии.

А – поток высокопотенциального пара;

Б – расход низкопотенциального пара ;

В – расход получаемой в компрессоре смеси с каким-то промежуточным давлением между давлениями потоков А и Б.

Работа пароструйного компрессора (инжектора) характеризуется коэффициентом инжекции  $U$ .  $U$  в соответствии с формулой представляет отношение подсосываемой (инжектируемой) среды к расходу рабочей среды высокопотенциального пара.

Инжектор представляет собой сопло Лавалля, т.е. содержит сужающуюся часть, цилиндрическую часть, она же камера и расширяющуюся часть. Рабочая среда истекает из сопла, также формы Лавалля. Такое сопло позволяет получить максимальное увеличение скорости, если скорость пара на выходе из камеры смешения будет выше скорости звука. Применение диффузора в конструкции самого компрессора служит для снижения потерь давления при преобразовании кинетической энергии потока в потенциальную.

Параметры получаемой смеси всегда ниже, чем параметры рабочей среды, следовательно, выигрыш утилизации тепла сбросных потоков оплачивается недовыработкой э/энергии в турбине, из которой отбирается рабочая среда. Таким образом, применение пароструйных компрессоров необходимо оценивать предварительными расчетами.

### Тема 8.3 Отпуск горячей воды

В современных теплоподготовительных установках применяют ступенчатый подогрев сетевой воды и пар для разных ступеней берется из разных отборов турбины.

Пример. В представленной схеме на ПСВ1 может нагреваться пар с давлением около 0,1 МПа, который может подогреть сетевую воду примерно до 90 С, а на ПСВ2 поступает пар большего давления – не ниже 0,25 МПа, при этом сетевая вода может быть подогрета до 120 С. Ступенчатый подогрев воды, пара различных отборов позволяет уменьшить расход пара более высоко давления и соответственно выработать дополнительное количество э/энергии. Образующийся в подогревателях конденсат может по схеме каскадного слива сливаться в ПСВ1, а затем и в специальный Т/О для охлаждения конденсата.

Использование нескольких ступеней насосов сетевой воды позволяет обеспечить условие работы подогревателей 1 ступени ПСВ1 поскольку давление в них в этом случае снижается сравнительно с давлением в ПСВ2, которое поддерживается из условия предотвращения включения воды при ее нагреве в ПСВ2 ВК. ВК нужен для подогрева сетевой воды до 150 С начиная от 120 С, когда пара из отбора турбины уже недостаточно.

Оптимальные условия работы турбины определяются при коэффициенте теплофикации  $\alpha < 1$ . Режим включения водогрейного котла сравнительно не продолжителен, поэтому большую часть отопительного сезона он отключен, а отборы турбины загружены полностью.

## **Раздел 9. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ, ВЫБОР РЕЖИМА РАБОТЫ УТИЛИЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ПАРАЛЛЕЛЬНО С ЗАВОДСКИМИ И РАЙОННЫМИ КОТЕЛЬНОНЫМИ, ТЭЦ И КОНДЕНСАЦИОННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ, ТЭЦ И ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ**

Лекция проходит в интерактивной форме – лекция-беседа (1 час)

### **Тема 9.1 Режимы работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными и ТЭЦ**

Работа ТЭС как замыкающего звена энергохозяйства промышленных предприятий.

Различные предприятия России, выпускающие технологическую продукцию, характеризуются сравнительно низкой энергетической эффективностью. Хотя в условиях рыночных преобразований на действующих промышленных предприятиях были проведены некоторые энергосберегающие мероприятия в целом энергоэффективность низка и по такому важному показателю как затраты первичного топлива и энергии на выработку единицы технологической продукции Россия практически по всем технологическим продуктам значительно отстает от других развитых стран. (В России 17 кВт/ч на производство 1 тонны алюминия, а за рубежом 13 кВт/ч).

Большую роль в сбережении первичного топлива и э/энергии на промышленных предприятиях играет утилизация различных энергетических отходов. Такие отходы могут быть горючими веществами (древесные опилки), высокотемпературными дымовыми газами или сточными водами.

Одной из специфичной сторон функционирования энергетики России являются низкие цены на первичное топливо и э/энергию. Эти цены в несколько раз могут быть ниже, чем в других развитых странах. В связи с этим многие энергосберегающие мероприятия имеют большой срок окупаемости. Вероятно, ценовая политика на различные энергоресурсы должна быть пересмотрена, цены на топливо должны быть близкими к мировым. А поддержка отечественных производителей может заключаться, например, в помощи государства в приобретении и внедрении новой техники, ее производстве.

Утилизация энергетических отходов, как правило, требует дополнительных капитальных вложений на установку теплообменного, теплоносного и трубопроводного оборудования, поэтому внедрение указанной техники требует предварительного технико-экономического обоснования и расчетов. Расчет должен выполняться по расчету реальных прибылей получаемых предприятием. Утилизация ВЭР всегда ведет к экономии первичного топлива, в случае работы на предприятии промышленной ТЭЦ утилизация ВЭР может привести к дополнительной выработке э/энергии.

Представляет отношение недоиспользованного теплоперепада в турбине с паром отправляемого потребителю ко всему теплоперепаду пара в турбине.

$$\mathcal{E}_{ф.э.} = Q_{ут} \cdot \gamma \cdot \eta_{э.э.} > Q_{ут} \cdot \eta_{т.э.}$$

Прибыль от производства э/энергии > Прибыль от производства тепловой энергии

Прибыль от получения дополнительной э/энергии в подавляющем числе случаев будет больше прибыли от производства тепловой энергии, которая имела бы место, если вместо ТЭЦ на предприятии была установлена котельная.

Сложность утилизации ВЭР связана также с периодичностью работы технологических установок. Соответственно должны меняться режим работы и загрузки ТЭЦ. Если на предприятии в какой-то момент происходит производство ВЭР, то ТЭЦ может работать в конденсационном режиме, сжигать при этом постоянный расход топлива и вырабатывать дополнительную э/энергию. Если в какой-то момент времени на предприятии прекратилось производство ВЭР и стало невоз-

возможной их утилизацией, то ТЭЦ может работать в теплофикационном режиме при этом дополнительной выработки э/энергии не будет. Из представленных формул видно, что прибыль от выработки э/энергии в большинстве случаев больше прибыли от производства тепловой энергии. Из изложенного следует, что ТЭЦ должна работать в переменном режиме обеспечивая максимальную утилизацию ВЭР или еще говорят, что ТЭЦ является замыкающим звеном энергохозяйства промышленного предприятия. Как правило, утилизация ВЭР даже в Российских условиях может окупаться за короткий срок от нескольких месяцев, до нескольких лет.

## Тема 9.2 Совместная работа ТЭЦ, котельных и тепловых насосов

### Тепловые насосы как источники теплоснабжения

Последние 10-летия в мире бурно распространяется применение теплонасосных установок, развитие это связано с энергетическими кризисами начиная с середины 70х годов. В развитых странах используются миллионы теплофикационных установок.

В испарителе теплота холодного источника передается низкотемпературному рабочему телу (РТ) циркулирующему в ТНУ. После испарителя РТ находится в газовом фазовом состоянии и оно направляется в компрессор. Для повышения эффективности цикла (увеличение съема тепла от холодного источника), в схеме применяется пароперегреватель, в котором пар нагревается в процессе 1-2 (изобарный процесс) по линии 5-6 охлаждается жидкость (изобарный процесс) и следовательно в процессе 2-3 (адиабатное сжатие) возрастает давление (Р) и температура (Т), причем сжатие осуществляется до такого значения Р и Т, чтобы это РТ могло нагревать теплоноситель направляемый потребителю (сетевую воду).

Указанный нагрев сетевой воды осуществляется в конденсаторе. Вначале рабочее тело охлаждается до температуры насыщения при  $P = \text{const}$ , а затем конденсируется и при  $P$  и  $T = \text{const}$  на выходе из конденсатора получаем точку 4. Далее РТ в виде жидкости охлаждается в охладителе, при этом может предварительно подогреваться сетевая вода.

После охладителя РТ дополнительно охлаждается до параметров точки 6 пароперегревателя, снижение температуры достигается в любых парокompрессионных установках путем расширения РТ в дросселях. Теоретическое расширение возможно в детандере/турбины, которое применяется при низких температурах.

Эффективность ТНУ определяется коэффициентом преобразования, который представляет отношение тепловой энергии, переданной потребителю к затраченной работе.

$$\varphi = \frac{q_1}{l} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} \approx \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

В холодильной технике используется понятие холодильный коэффициент. Холодильный коэффициент  $\varepsilon = \frac{q_1}{l}$

$q_1, q_2$  определяются как произведение абсолютных температур на изменение энтропии в процессах подвода и отвода теплоты примерно равны, поэтому  $\varphi$  можно определить по отклонению абсолютных температур.

$T_1$  – температура т/н направляемого к потребителю, т.е. температура сетевой воды;

$T_2$  – температура т/н, забираемого от холодного источника.

Из формулы следует что  $\varphi$  увеличивается с ростом  $T_1$  и  $T_2$ , причем рост  $T_2$  в большей степени увеличивает  $\varphi$ , чем рост  $T_1$ .

Пример:  $T_1=70; T_2=5 \varphi=5,27$      $T_1=70; T_2=40 \varphi=11,43$

Это показывает, что во-втором случае теплота передаваемая потребителю в 11,43 больше, чем энергия, затраченная на привод компрессора. На практике обычно  $\varphi$  реальных установках заметно ниже даже при указанных температурах и зависит от свойств РТ,  $\varphi = 1,5 - 7$ .

РТ должны иметь специфические особенности, а именно не замерзать при низких температурах, испаряться обычно при отрицательных температурах и конденсироваться при сравнительно не высоких температурах.

В настоящее время создано множество РТ: фреон (СО, фтор), аммиак, воздух.

Помимо парокompрессионных есть абсорбционные (потоки), пароструйные.

В абсорбционных снижение температур достигается испарением или нагревом смесей с разными концентрациями. В струйных охлаждение происходит путем испарения при низких значе-

ниях давления. В промышленных условиях могут применяться все 3 типа, а в паросиловой энергетике и связанных с ней системах теплоснабжения применяются паросиловые установки.

Подпиточная и сетевая вода подогреваются в ТНС ступенчато, так чтобы в каждой последующей ступени температура подогреваемой воды становилась выше, а изменение температуры во всех ступенях одинаковы. В соответствии с теоретическими положениями работы ТНС, чем выше температура подогреваемой воды (горячего источника), тем больше затраты э/энергии на привод компрессора.

Если бы через 3ю ступень проходила вода и подогревалась от исходной температуры до конечной, то и расход тепла (фреона) в этой ТНС были бы максимальным.

В представленной схеме  $\Delta t \approx$  в 3 раза меньше, чем был бы, если ТНС была одноступенчатой, соответственно и мощность компрессора 3 ступени как минимум снижается в 3 раза.

Во второй и первой ступенях ТНС расход РТ может быть таким как и в третьей ступени, но степень сжатия этого тела в компрессоре в разы ниже. Соответственно, затраты э/энергии будут в 1-ой и 2-ой ступени существенно ниже, чем в третьей ступени что и позволяет получить экономию э/энергии от ступенчатого подогрева сетевой воды. В схеме предусмотрены – вакуумный генератор и пиковая котельная, которая может включаться в работу при низких температурах окружающей среды, при которых температура прямой сетевой воды выше 90 С. Если в качестве холодного источника используются теплые сточные воды, то при этом возможно увеличение прямой сетевой воды сравнительно с указанным значением. Повышению экономичности может способствовать и снижение температуры обратной сетевой воды, поэтому имеется опыт использования ТНС (США), когда температура обратной сетевой воды снизилась до 40 и ниже. Пиковая котельная также включается ступенчато, как и ступени ТНС.

С ростом  $\varphi$  приведенные затраты приблизительно обратно пропорционально снижаются.

Из графика следует, что ТН могут конкурировать с котельными при  $\varphi = 3,5$  и с ТЭЦ при  $\varphi = 5$ .

Применительно к современным условиям теплоисточников в Иркутской области были проведены на кафедре ПТЭ БрГУ для БЛПК в ценах на тепловую и э/энергию применение, включение мощностью около 2 МВт, а всей установки около 6 МВт, срок окупаемости около 3х лет, а затраты 33 млн.руб.,  $\varphi = 3,5$ . В настоящее время наблюдается увеличение цен на э/энергию, увеличивается срок окупаемости.

#### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ n/n</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем ( час)</i>	<i>Вид занятия в ин- терактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Выбор принципиальной тепловой схемы котельной и подготовка исходных данных ее расчета	8	Мозговой штурм
2	2.	Расчет тепловых нагрузок и температур сетевой воды в характерных режимах работы котельных.	8	-
3	2,3.	Расчет принципиальной тепловой схемы производственно-отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения	14	-
4	4.	Расчеты энергетических и экономических показателей работы котельных. Построение годовых графиков продолжительности работы котельных.	6	-
<b>ИТОГО</b>			<b>36</b>	<b>5</b>



#### 4.4. Практические занятия

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Наименование тем практических занятий	Объем в часах	Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)
1	6.	Методики расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ	12	-
2	7.	Методики определения энергетических показателей ТЭЦ	13	-
3	8,9.	Отпуск теплоты на электростанциях. Совместная работа ТЭЦ, котельных и тепловых насосов	11	Круглый стол
<b>ИТОГО</b>			<b>36</b>	<b>5</b>

#### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовая работа

*Цель:* Заключается в приобретении навыков расчета и проектирования тепловых схем ТЭЦ.

*Структура.* Курсовая работа выполняется в виде пояснительной записки. Курсовая работа состоит из трех частей:

1. Методики определения расхода пара на турбину в схеме ТЭЦ
2. Определение технико-экономических показателей ТЭЦ.
3. Расчет теплоподготовительной установки ТЭЦ

*Основная тематика.*

Объектом проектирования является ТЭЦ, для которой необходимо выполнить расчеты различных тепловых схем и технико-экономических показателей. Тематика курсовых работ связана с выявлением преимуществ теплофикационного производства энергии путем задания и расчета различных режимов работы паротурбинных установок. Могут варьироваться типы и мощности теплофикационных турбин и нагрузки регулируемых отборов.

*Рекомендуемый объем:* 35 – 45 страниц пояснительной записки и графическая часть из 1 листа ф.А1.

Выдача задания, прием и защита КР проводится в соответствии с календарным учебным графиком.

Оценка	Критерии оценки
отлично	Курсовая работа сдана в первую неделю защит. В курсовой работе полностью раскрыта тема работы. Погрешности расчетов соответствуют заданным нормам. Графические схемы нарисованы аккуратно и четко.
хорошо	Курсовая работа сдана в срок со второй по четвертую неделю защит или курсовая работа содержит незначительные ошибки.
удовлетворительно	Курсовая работа сдана в срок с пятой недели по шестую неделю защит или содержит значительное количество ошибок, или ошибка подразумевает полную переработку всей курсовой работы.
неудовлетворительно	Курсовая работа не сдана в установленный срок.

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

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		$\Sigma$ <i>комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ОК</i>	<i>ПК</i>				
			<i>7</i>	<i>10</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>
1.Классификация котельных и области их применения		5	+	+	2	2,5	ЛК, СРС	экзамен
2.Тепловые схемы котельных и их расчет		62	+	+	2	31	ЛК, ЛР, СРС	экзамен
3.Методы выбора основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и котельных		12	+	+	2	6	ЛК, ЛР, СРС	экзамен
4.Энергетические и экономические характеристики котельных		18	+	+	2	9	ЛК, ЛР, СРС	экзамен
5.Назначение и классификация теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) промышленных предприятий		7	+	+	2	3,5	ЛК, СРС	экзамен
6.Методика определения энергетических показателей ТЭЦ		40	+	+	2	20	ЛК, ПЗ, СРС	экзамен
7.Принципиальные тепловые схемы ТЭЦ, их расчет		32	+	+	2	16	ЛК, ПЗ, СРС	экзамен, КР
8.Отпуск теплоты на электростанциях		28	+	+	2	14	ЛК, ПЗ, СРС	экзамен
9.Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями, ТЭЦ и тепловыми насосами		12	+	+	2	6	ЛК, ПЗ, СРС	экзамен, КР
<i>всего часов</i>		<b>216</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>2</b>	<b>108</b>		



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

1. Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем ТЭЦ: учеб. Пособие – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. - 78с.
2. Баженов М.И., Богородский А.С. Сборник задач по курсу «Промышленные тепловые электростанции»: Учебное пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 128 с., ил (или <http://03-ts.ru/>) (стр. 3-30)
3. Янкелевич В.И. Наладка газомазутных промышленных котельных/ – М.: Энергоатомиздат, 1988, с.216. (стр. 20-30, 120-150).

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

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика/ А.Д. Трухний и др.; под ред. А.Д. Трухния. – М.: Издательство МЭИ, 2008 – 472 с., ил	Лк, ПЗ	15	1
2	Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов/ – 3-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 2008. – 464 с., ил.	Лк, ПЗ,	15	1
<b>Дополнительная литература</b>				
3.	Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд. Стереотип. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.	ПЗ, СР	150	1
4.	Елизаров Д.П. Теплоэнергетические установки электростанций. - М. Энергоиздат, 1982.	ПЗ, СР	51	1
5.	Сазанов Б.В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов/ - М.: Энергоатомиздат, 1990 - 304 с.	ПЗ, СР	68	1
6.	Либерман Н.Б. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного теплоснабжения/ М.: Энергия, 1979 – 224 с.	ПЗ	10	0,5
7.	Промышленные тепловые электростанции/под ред. Соколова Е.Я. Учебник для ВУЗов. М.: Энергия, 1979	Лк, ПЗ	51	1
8	Теплоснабжение: Учебник для вузов/под ред. Ионина А.А. – Стройиздат, 1982	Лк, ПЗ	6	0,3
9	Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем котельных установок: учебное пособие для выполнения лабораторных работ. - Братск: Изд-во БрГУ, 2015. - 81 с.	ЛР	100	1
10	Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем ТЭЦ: учеб. Пособие – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. - 78с.	КР	100	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

Приступая к изучению новой учебной дисциплины, обучающиеся должны ознакомиться с учебной программой, учебной, научной и методической литературой, имеющейся в библиотеке ФГБОУ ВО «БрГУ», получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, завести новую тетрадь для конспектирования лекций и работы с первоисточниками.

В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации.

Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В ходе подготовки к лабораторным и практическим занятиям изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой.

Объектом курсовой работы является ТЭЦ, для которой необходимо выполнить расчеты различных тепловых схем и технико-экономических показателей. Тематика курсовых работ связана с выявлением преимуществ теплофикационного производства энергии путем задания и расчета различных режимов работы паротурбинных установок. Могут варьироваться типы и мощности теплофикационных турбин и нагрузки регулируемых отборов.

С целью более глубокого усвоения изучаемого материала задавать вопросы преподавателю. После подведения итогов практического занятия устранить недостатки, отмеченные преподавателем.

При подготовке к экзамену (в конце семестра) повторять пройденный материал в строгом соответствии с учебной программой, примерным перечнем учебных вопросов, выносящихся на зачет и содержащихся в данной программе. Использовать конспект лекций и литературу, рекомендованную преподавателем. Обратит особое внимание на темы учебных занятий, пропущенных студентом по разным причинам. При необходимости обратиться за консультацией и методической помощью к преподавателю.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется обучающимся по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Содержание внеаудиторной самостоятельной определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно примерной и рабочей программ учебной дисциплины.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы являются:

- *для овладения знаниями*: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.

- *для закрепления и систематизации знаний*: работа с конспектом лекции, обработка текста, повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др), подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- *для формирования умений*: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, опытно экспериментальная работа, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа осуществляется индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

## **Алгоритм проведения интерактивного занятия в форме тренинга круглый стол:**

### *1. Подготовка к занятиям*

Преподаватель знакомит обучающихся с тематикой предстоящих занятий заранее для того, чтобы они самостоятельно могли выбрать соответствующие темы в зависимости от профессиональных интересов каждого. Определившись с выбором темы обучающиеся подготавливают сообщения (доклады), форма которых определяется каждым обучающимся самостоятельно, например, слайд-презентация, видео- или раздаточный материал по теме.

### *2. Вступление*

Сообщается тема и цель занятия. Производится информирование участников о правилах и принципах работы в малой группе: быть активными, уважать мнения участников, быть доброжелательными, пунктуальными, ответственными, открытыми для взаимодействия, проявлять свою заинтересованность и способность придерживаться регламента.

### *3. Основная часть*

Обучающийся докладывает аудитории подготовленную им информацию со ссылками на нормативно-технические источники, на учебную и дополнительную литературу.

При этом у обучающихся в ходе обсуждения в малых группах развиваются аналитические способности, комплексное видение проблемы, толерантность к разным точкам зрения, что позволяет вовлечь в обсуждение менее активных участников тренинга.

### *4. Заключение*

Напоминание темы и цели занятия. Подведение итогов в виде фронтальной беседы и ответов на ключевые вопросы темы.

## **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ и практических занятий**

### **Лабораторная работа №1**

Выбор принципиальной тепловой схемы котельной и подготовка исходных данных ее расчета – мозговой штурм (5 час)

#### Цель работы:

изучение тепловых схем котельных, назначения их основных элементов и взаимосвязей между ними.

#### Задание:

Часть исходных данных принимается одинаковой. Температура прямой и обратной сетевой воды 150°C и 70 °С соответственно; температура конденсата, возвращающегося от потребителя, 90°C; доля потерь пара внутри котельной 3%; температура сырой воды 5 °С, перед химводоочисткой - 30°C. Параметры технологического пара: 14 кгс/см<sup>2</sup>, 225 °С. Принимаем, что расход технологического пара в различных режимах в течение отопительного сезона постоянен, а в летний период уменьшается на 30%. Расчетный расход тепла на горячее водоснабжение составляет 10% расхода отопительно-вентиляционной нагрузки, в летний период происходит его снижение на 20%. Рассматривается закрытая система теплоснабжения.

На следующем этапе выполнения лабораторной работы (после изучения указанной схемы) студентам необходимо самостоятельно составить принципиальную тепловую схему производственно-отопительной котельной для открытой системы теплоснабжения.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента и изложены в методических указаниях [9].

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, изложенным в материале [9].

### **Лабораторная работа №2**

Расчет тепловых нагрузок и температур сетевой воды в характерных режимах работы котельных

**Цель работы:** освоение методики расчета тепловых нагрузок и температур сетевой воды в характерных режимах работы котельных, выполнение указанных расчетов с помощью компьютерных программ.

#### Задание:

Работа выполняется с помощью программы «Режим», которая позволяет рассчитать исходные параметры характерных режимов работы котельной: энтальпии прямой и обратной сетевой воды, либо температуры наружного воздуха, тепловые нагрузки котельной в характерных режимах.

Алгоритм расчета программы «Режим» представлен на рис. 2.1 [9].

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента и изложены в методических указаниях [9].

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях [9].

### **Лабораторная работа №3**

Расчет принципиальной тепловой схемы производственно-отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения

Цель работы: освоение методики расчета принципиальной тепловой схемы производственно-отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения и выполнение указанных расчетов с помощью компьютерных программ.

#### **Задание:**

После обработки результатов расчета по программе «Режим» составляется сводная таблица параметров пяти характерных режимов. Для каждого режима определяется следующий комплекс параметров: номер режима; температура наружного воздуха; энтальпия прямой и обратной сетевой воды; расход пара на технологию; суммарный расход тепла на отопление; вентиляцию и горячее водоснабжение; доля возвращаемого конденсата; паропроизводительность котла

#### **Задания для самостоятельной работы:**

Предусмотрены вариантом студента и изложены в методических указаниях [9].

#### **Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию**

Ознакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях [9].

### **Лабораторная работа №4**

Расчеты энергетических и экономических показателей работы котельных. Построение годовых графиков продолжительности работы котельных.

Цель работы: освоение методики расчета энергетических и экономических показателей работы котельных и построения годовых графиков продолжительности работы котельных, выполнение указанных расчетов с помощью компьютерных программ.

#### **Задание:**

В (1.6.2) [3] изложена методика расчета годовых показателей котельной, в том числе методика обработки климатических данных. Для расчета годовых показателей котельной на ЭВМ применяется программа «Тепло».

Алгоритм расчета программы «Тепло» представлен на рис. 2.5 [9]. На рис. 2.6 показано рабочее окно программы с задаваемыми параметрами, которые необходимо подготовить по распечаткам программы «Котел» и климатическим данным.

#### **Форма отчетности:**

По всем лабораторным работам общий отчет набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Цель работы
3. Задание
4. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
5. Заключение.

#### **Задания для самостоятельной работы:**

Предусмотрены вариантом студента и изложены в методических указаниях [9].

#### **Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию**

Ознакомиться с теоретическим материалом, изложенным в материале [9].

## Основная литература

1. Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем котельных установок: учебное пособие для выполнения лабораторных работ. - Братск: Изд-во БрГУ, 2015. - 81 с.

### Контрольные вопросы для самопроверки

Представлены в методическом пособии [9].

## Практическое занятие № 1

### Методики расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ

Цель работы являются определение расходов и других параметров рабочих тел в отдельных элементах и узлах тепловой схемы ТЭЦ, включая общий расход пара на турбину (турбины).

Задание: Определить расход пара на турбину в зависимости от нагрузки регулируемых отборов турбины и параметров теплоносителей.

### Порядок выполнения:

Приводится в дополнительной литературе [10] стр.6-14.

### Форма отчетности:

Работа включается в курсовую работу в виде пояснительной записки.

### Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

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

Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем ТЭЦ: учеб. Пособие – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. - Чупраков А.И.

## Основная литература

1. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика/ А.Д. Трухний и др.; под ред. А.Д. Трухния, 2008 – 472 с., ил
2. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 424 с., ил.  
<http://www.biblioclub.ru/>

## Дополнительная литература

3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов - М.: Изд-во МЭИ, 1999  
<http://eknigi.org/>

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие достоинства и недостатки имеют три рассмотренные методики определения расхода пара на турбинную установку?
2. Чем отличается действительный процесс расширения пара в турбине от теоретического?
3. Как определяется расход пара в конденсатор паровой турбины при ее работе в теплофикационном режиме?
4. Какой параметр турбинной установки определяет формула Флюгеля?
5. С какого элемента принципиальной тепловой схемы ТЭЦ начинается ее расчет и каким заканчивается, почему?
6. Какие основные и вспомогательные технико-экономические показатели эффективности ТЭЦ вы знаете?
7. Чем отличаются упрощенные тепловые схемы ТЭЦ для теплового и технико-экономического расчетов?

## Практическое занятие № 2

### Методики определения энергетических показателей ТЭЦ

Цель работы: Определение показателей эффективности ТЭЦ являются годовые и среднечасовые выработки электрической и тепловой энергии для внешних потребителей (соответственно  $\mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ср.ч}}$  и  $Q_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ср.ч}}$ ), а также абсолютный расход топлива за рассматриваемый период (час) для получения указанных видов энергии ( $V_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ср.ч}}$ ).

Задание: Определить показатели эффективности ТЭЦ, которыми являются годовые и среднечасовые выработки электрической и тепловой энергии для внешних потребителей (соответственно  $\mathcal{E}_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ср.ч}}$  и  $Q_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ср.ч}}$ ), а также абсолютный расход топлива за рассматриваемый период (час) для получения указанных видов энергии ( $V_{\text{ТЭЦ}}^{\text{ср.ч}}$ ).

#### Порядок выполнения:

Приводится в дополнительной литературе [10] стр. 15-18.

#### Форма отчетности:

Работа включается в курсовую работу в виде пояснительной записки.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

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

Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем ТЭЦ: учеб. Пособие – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. - 78с.

#### Основная литература

1. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика/ А.Д. Трухний и др.; под ред. А.Д. Трухния, 2008 – 472 с., ил
2. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 424 с., ил.  
<http://www.biblioclub.ru/>

#### Дополнительная литература

3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов - М.: Изд-во МЭИ, 1999  
<http://eknigi.org/>

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем отличаются упрощенные тепловые схемы ТЭЦ для теплового и технико-экономического расчетов?
2. Чем отличаются теплофикационная и конденсационная выработки электроэнергии?
3. Как связаны между собой такие параметры, как КПД рассматриваемого процесса производства электроэнергии и удельный расход условного топлива?
4. Как зависят среднечасовые КПД и удельный расход топлива по выработке электроэнергии?
5. В чем сущность коэффициента теплофикации?

### Практическое занятие № 3

Отпуск теплоты на электростанциях.  
Совместная работа ТЭЦ, котельных и тепловых насосов

Цель работы: Построение графиков температур сетевой воды, расчет расходов тепла при заданной величине коэффициента теплофикации ТЭЦ.

Задание: Рассчитать и построить графики температур сетевой воды при известном типе паротурбинной установки и заданной величине коэффициента теплофикации ТЭЦ.

Порядок выполнения:

Приводится в дополнительной литературе [10] стр. 18-27.

Форма отчетности:

Работа включается в курсовую работу в виде пояснительной записки.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем ТЭЦ: учеб. Пособие – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. - 78 с.

Основная литература

1. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика/ А.Д. Трухний и др.; под ред. А.Д. Трухняя, 2008 – 472 с., ил
2. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 424 с., ил.  
<http://www.biblioclub.ru/>
3. Елсуков В.К., Чупраков А.И. Расчеты тепловых схем котельных установок: учебное пособие для выполнения лабораторных работ. - Братск: Изд-во БрГУ, 2015. - 81 с.

Дополнительная литература

4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов - М.: Изд-во МЭИ, 1999  
<http://eknigi.org/>

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем отличия конденсаторов турбин типа «Т» от конденсаторов других типов конденсационных турбин (по назначению)?
2. Почему теплоподготовительная установка ТЭЦ включает несколько ступеней подогрева сетевой воды?
3. Почему в качестве последней ступени подогрева сетевой воды включается водогрейный котел?
4. Как и почему включаются (отключаются) элементы теплоподготовительной установки ТЭЦ при снижении температуры наружного воздуха (согласно температурному графику).

### 9.2. Методические указания по выполнению курсовой работы

Целью выполнения курсовой работы «Расчеты тепловых схем ТЭЦ» является закрепление полученных теоретических знаний, приобретение навыков практического расчета различных тепловых схем теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и их технико-экономических показателей, развитие у студентов самостоятельности при решении инженерных задач и навыков работы с нормативной и технической литературой.



Объектом проектирования является ТЭЦ, для которой необходимо выполнить расчеты различных тепловых схем и технико-экономических показателей. Тематика курсовых работ связана с выявлением преимуществ теплофикационного производства энергии путем задания и расчета различных режимов работы паротурбинных установок. Могут варьироваться типы и мощности теплофикационных турбин и нагрузки регулируемых отборов.

Выполнение курсовой работы осуществляется по индивидуальному заданию.

Задание на курсовую работу является индивидуальным и выдается руководителем курсовой работы на отдельном листе, содержащем термодинамические параметры схемы ТЭЦ, наименование работы, содержание графической части, сроки представления и защиты курсовой работы. Лист с заданием на курсовую работу включается в пояснительную записку.

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

1. Microsoft Imagine Premium
2. ОС Windows 7 Professional
3. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level
4. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
5. ИСС "Кодекс". Информационно-справочная система
6. Справочно-правовая система «Консультант Плюс»
7. Архиватор 7-Zip
8. Adobe Reader
9. doPDF
10. Ай-Логос Система дистанционного обучения
11. КОМПАС-3D V13

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

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или ПЗ</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>ЛР</i>	дисплейный класс	Оборудование Интерактивная доска SMART Board 680I, проектор Casio XJ-UT310WN; 17-ПК: CPU 5000/RAM 2Gb/HDD; Монитор TFT 19 LG1953S-SF; Принтер: HP LaserJet P2015n; Сканер: Canon LiDE 220	<i>ЛР 1-4</i>
<i>ПЗ</i>	дисплейный класс	Оборудование Интерактивная доска SMART Board 680I, проектор Casio XJ-UT310WN; 17-ПК: CPU 5000/RAM 2Gb/HDD; Монитор TFT 19 LG1953S-SF; Принтер: HP LaserJet P2015n; Сканер: Canon LiDE 220	<i>ПЗ 1-3</i>
<i>КР</i>	дисплейный класс	Оборудование Интерактивная доска SMART Board 680I, проектор Casio XJ-UT310WN; 17-ПК: CPU 5000/RAM 2Gb/HDD; Монитор TFT 19 LG1953S-SF; Принтер: HP LaserJet P2015n; Сканер: Canon LiDE 220	-
<i>СР</i>	Читальный зал №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
ОК-7	способность к самоорганизации и самообразованию	1. Классификация котельных и области их применения	1.1. Классификация котельных и области их применения	экзаменационный билет
		2. Тепловые схемы котельных и их расчет	2.1. Принципиальная тепловая схема производственной котельной 2.2. Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения 2.3. Методика расчета принципиальной тепловой схемы производственно-отопительной котельной 2.4. Принципиальная тепловая схема производственно-отопительной котельной для открытой системы теплоснабжения 2.5. Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для крупной системы теплоснабжения 2.6. Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной для небольшой системы теплоснабжения	экзаменационный билет
		3. Методы выбора основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и котельных	3.1. Выбор оборудования котельных 3.2. Выбор оборудования ТЭЦ	экзаменационный билет
		4. Энергетические и экономические характеристики котельных	4.1. Капиталовложения и стоимость постройки различных котельных 4.2. Эксплуатационные расходы и стоимость тепловой энергии котельных 4.3. Методы оценки эффективности инвестиций с учетом дисконтирования	экзаменационный билет
		5. Назначение и классификация теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) промышленных предприятий	5.1. Классификация ТЭЦ 5.2. Основы теплофикации и регенерации применительно к ТЭЦ с конденсационными турбинами	экзаменационный билет

ПК-10	готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	6. Методика определения энергетических показателей ТЭЦ	6.1. Технико-экономические показатели ТЭС 6.2. Расчет экономии топлива на действующих ТЭЦ 6.3. Коэффициент теплофикации	экзаменационный билет
		7. Принципиальные тепловые схемы ТЭЦ, их расчет	7.1. Методики расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ 7.2. Выбор параметров пара и питательной воды в схемах ТЭЦ 7.3. Системы регенеративного подогрева питательной воды	экзаменационный билет
		8. Отпуск теплоты на электростанциях	8.1. Характеристики потребителей теплоты 8.2. Отпуск пара 8.3. Отпуск горячей воды	экзаменационный билет
		9. Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями, ТЭЦ и тепловыми насосами	9.1. Режимы работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными и ТЭЦ. 9.2. Совместная работа ТЭЦ, котельных и тепловых насосов	экзаменационный билет

## 2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОК-7	- способность к самоорганизации и самообразованию;	1.1. Назначение и классификация котельных. 1.2. Параметры различных котельных и рациональные области их применения.	1. Классификация котельных и области их применения
			2.1. Тепловая схема паровой котельной для закрытой системы теплоснабжения. 2.2. Тепловая схема паровой котельной для открытой системы теплоснабжения. 2.3. Тепловые схемы водогрейных котельных небольшой мощности. 2.4. Тепловая схема водогрейной котельной с вакуумным деаэратором. 2.5. Основные исходные положения ме-	2. Тепловые схемы котельных и их расчет

		<p>тодики расчета принципиальной тепловой схемы котельной.</p> <p>2.6.Элементы тепловой схемы, служащие для утилизации тепла непрерывной продувки, их расчет.</p> <p>2.7.Определение параметров теплоносителей в паровом теплообменнике.</p> <p>2.8.Расчет теплообменников для подогрева сырой и химочищенной воды.</p> <p>2.9.Выбор параметров и схема работы редуцирующих устройств.</p> <p>2.10.Расчет деаэратора питательной воды.</p> <p>2.11.Методика уточнения суммарной паропроизводительности производственной котельной.</p> <p>2.12.Расчет тепловой схемы производственно-отопительной котельной.</p> <p>2.13.Расчет тепловой схемы отопительно-водогрейной котельной.</p> <p>2.14.Схемы присоединения подогревателей сетевой воды к паровым котлам.</p>	
		<p>3.1.Выбор основного оборудования котельных (котлов и насосов).</p> <p>3.2. Выбор основного оборудования ТЭЦ: турбин, котлоагрегатов, теплообменников</p>	<p>3.Методы выбора основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и котельных</p>
		<p>4.1.Энергетические характеристики и экономические показатели котельных.</p> <p>4.2.Определение расхода топлива котельными.</p> <p>4.3. Определение расхода электроэнергии котельными.</p> <p>4.4.Водный баланс котельных.</p> <p>4.5.Снижение расхода воды в системах золоулавливания.</p> <p>4.6.Оценка капитальных затрат при проектировании котельных.</p> <p>4.7.Сопоставление эффективности крупных и мелких котельных.</p> <p>4.8.Определение эксплуатационных затрат котельных.</p> <p>4.9.Оценки себестоимости и цены на тепловую энергию и отпускаемую воду котельных.</p> <p>4.10.Определение эффективности технико-экономических мероприятий расчетными методами.</p>	<p>4.Энергетические и экономические характеристики котельных</p>
		<p>5.1.Классификация тепловых электрических станций (ТЭС).</p> <p>5.2.Технико-экономические показатели ТЭС.</p> <p>5.3.Сущность теплофикации.</p>	<p>5.Назначение и классификация теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) промышленных предприятий</p>

2	ПК-10	- готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	6.1. Коэффициент теплофикации. 6.2. Основы регенерации. 6.3. Формула снижения потерь тепла в конденсаторе турбины при регенерации. 6.4. Определение расхода топлива на ТЭЦ. 6.5. Определение экономии топлива на ТЭЦ по формуле Мелентьева. 6.6. Эффективность ТЭЦ в зависимости от коэффициента теплофикации и типа турбин.	6. Методика определения энергетических показателей ТЭЦ
			7.1. Методика расчета тепловой схемы ТЭЦ 7.2. Выбор параметров пара и питательной воды в схемах ТЭЦ. 7.3. Схемы регенеративного подогрева питательной воды.	7. Принципиальные тепловые схемы ТЭЦ, их расчет
			8.1. Схема отпуска тепла от ТЭС с редуционно-охладительными установками. 8.2. Схемы отпуска тепла от ТЭС с водогрейными котлами и сетевыми подогревателями. 8.3. Схема отпуска тепла от ТЭЦ с пароструйными компрессорами. 8.4. Схема ТЭЦ с паропреобразовательной установкой.	8. Отпуск теплоты на электростанциях
			9.1. Специфика работы ТЭС промпредприятий. 9.2. Схема применения тепловых насосов в системах теплоснабжения. 9.3. Области применения ТЭЦ, котельных и тепловых насосов 9.4. Определение экономии топлива в теплоэнергетической системе промпредприятия при утилизации вторичных энергоресурсов.	9. Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями, ТЭЦ и тепловыми насосами

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы процессов теплообмена и теплопередачи тепловой энергии в энергетических установках</li> </ul> <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы энергетических процессов протекающих в теплосиловых установках при изменении их режимов;</li> </ul>	<p><b>отлично</b></p>	<p>Оценка «отлично» выставляется в случае, если студент демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– всестороннее систематическое знание программного материала;</li> <li>– правильное выполнение практических заданий, направленных на применение программного материала;</li> <li>– правильное применение основных положений программного материала.</li> </ul>
<p><b>Уметь</b> (ОК-7) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать энергетические показатели энергетических установок теплоисточников в различных режимах работы;</li> </ul>	<p><b>хорошо</b></p>	<p>Оценка «хорошо» выставляется в случае, если студент демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– недостаточно полное знание программного материала;</li> <li>– выполнение с несущественными ошибками практических заданий, направленных на применение программного материала;</li> <li>– применение с несущественными ошибками основных положений программного материала.</li> </ul>
<p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать технико-экономические показатели теплоисточников при их работе совместно с нетрадиционными источниками энергии;</li> </ul>	<p><b>удовлетворительно</b></p>	<p>Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– частичное знание программного материала;</li> <li>– частичное выполнение практических заданий, направленных на применение программного материала;</li> <li>– частичное применение основных положений программного материала.</li> </ul>
<p><b>Владеть</b> (ОК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методиками расчета технико-экономических показателей теплоисточников.</li> </ul> <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами выбора структуры основного и вспомогательного оборудования теплоисточников.</li> </ul>	<p><b>неудовлетворительно</b></p>	<p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– существенные пробелы в знании программного материала;</li> <li>– принципиальные ошибки при выполнении практических заданий, направленных на применение программного материала;</li> <li>– невозможность применения основных положений программного материала.</li> </ul>

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

Дисциплина «Источники теплоснабжения» направлена на выявление естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности с привлечением для их решения соответствующего физико-математического аппарата; на получение теоретических знаний и практических навыков для их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины «Источники теплоснабжения» предусматривает:

- лекции;
- практические занятия;
- лабораторные работы;
- экзамен;
- курсовая работа.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: формулировке основных положений теории и теорем; умение применять теорию для решения типовых задач.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления о решении задач по вышеприведенным разделам.

Самостоятельную работу необходимо начинать с ознакомления теоретической учебно-научной информацией в учебной литературе.

В процессе консультации с преподавателем разобраться с наиболее сложными вопросами теории и методикой решения типовых задач.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой.

## **АННОТАЦИЯ**

### **рабочей программы дисциплины**

### **Источники теплоснабжения**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является дать обучающемуся необходимый объем знаний по назначению, структуре, классификации и методам расчета источников генерации тепла, используемых в системах теплоснабжения.

Задачей изучения дисциплины заключаются в изучении структуры различных типов источников теплоты; расчете технико-экономических показателей теплоисточников в различных режимах работы; в освоении методов выбора основного и вспомогательного оборудования теплоисточников.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1. Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции 54 часа, лабораторные работы 36 часов, практические занятия 36 часов, самостоятельная работа 90 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 252 часа, 7 зачетных единиц.

#### 2.2. Основные разделы дисциплины:

- 1 – Классификация котельных и области их применения
- 2 – Тепловые схемы котельных и их расчет
- 3 – Методы выбора основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ и котельных.
- 4 – Энергетические и экономические характеристики котельных
- 5 – Назначение и классификация теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) промышленных предприятий
- 6 – Методика определения энергетических показателей ТЭЦ.
- 7 – Принципиальные тепловые схемы ТЭЦ, их расчет.
- 8 – Отпуск теплоты на электростанциях.
- 9 – Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями, ТЭЦ и тепловыми насосами.

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОК-7 - способность к самоорганизации и самообразованию;

ПК-10 -- готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов.

#### **4. Вид промежуточной аттестации: экзамен, КР**



**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.)*

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника от «01» октября 2015 г. № 1081.

**для набора 2015 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «04» декабря 2015 г. №771 , заочной формы обучения от «04» декабря 2015 г. №771

**для набора 2016 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» июня 2016 г. №429 , заочной формы обучения от «06» июня 2016 г. №429 для заочной формы (ускоренного обучения) от «06» июня 2016 г. № 429

**для набора 2017 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017 г. №125 , заочной формы обучения от «06» марта 2017 г. №125 для заочной формы (ускоренного обучения) от «04» апреля 2017 г. №203

**Программу составил:**

Елсуков В.К. профессор, д.т.н. кафедры ПТЭ \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ПТЭ  
от «13» декабря 2018 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой ПТЭ \_\_\_\_\_ Федяев А.А.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой ПТЭ \_\_\_\_\_ Федяев А.А.

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

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета ЭиА

от «28» декабря 2018 г., протокол № 5

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

**СОГЛАСОВАНО:**

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

Регистрационный № \_\_\_\_\_