

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»
в г. Апатиты

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ОД.13 Паровые котлы и тепловые агрегаты тепловых станций

(шифр дисциплины и название в строгом соответствии
с федеральным государственным образовательным стандартом и учебным планом)

**образовательной программы
по направлению подготовки бакалавриата**

**14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика
Профиль Теплофизика
Академический бакалавриат**

(код и наименование направления подготовки
с указанием профиля (наименования магистерской программы))

очная форма обучения


форма обучения

Составитель:

Шумилов О.И., д-р физ.-мат. наук,
профессор кафедры физики, биологии
и инженерных технологий

Утверждено на заседании кафедры физики,
биологии и инженерных технологий
(протокол № 1 от «24» января 2017 г.)

Зав. кафедрой



подпись

Николаев В.Г.

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ). Б1.В.ОД.13 Паровые котлы и тепловые агрегаты тепловых станций

2. АННОТАЦИЯ К ДИСЦИПЛИНЕ

Основной **целью** изучения дисциплины «Паровые котлы и тепловые агрегаты тепловых станций» является раскрытие и анализ рабочих процессов, протекающих в паровых котлах; ознакомление с общей теорией тепловой работы печей; изучение теории протекающих тепловых процессов, переменных режимов работы турбин ТЭС и АЭС.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

внутрикотловые процессы: гидродинамику рабочей среды в поверхностях нагрева и связанный с ней температурный режим труб, водно-химические режимы барабанных и прямоточных котлов, коррозию и закономерности отложения примесей на внутренней поверхности труб;

классификацию топливных и электрических печей по определяющему виду теплотехнического процесса

анализ типовых режимов тепловой работы печей-теплообменников (радиационный и конвективный) и печей-теплогенераторов (массообменный и электрический).

Уметь:

производить расчёты тепловых процессов, переменных режимов работы турбин ТЭС и АЭС, описывать их конструкцию.

Владеть:

теоретическими знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

- готовность к участию в исследовании и испытании основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания (ПК-3)

4. УКАЗАНИЕ МЕСТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.

Данная дисциплина относится к вариативной части является обязательной дисциплиной блока Б1.

Задачей курса является формирование логически обоснованного массива теоретических знаний по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций. Освоение материала возможно на имеющемся базисе знаний, полученных из смежных и ранее изучавшихся дисциплин, таких как: математика, физика, механика жидкости и газа, термодинамика, методы математической физики, численные методы в теплофизике, тепломассообмен и др.

5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы или 72 часа.

(из расчета 1 ЗЕТ= 36 часов).

Курс	Семестр	Трудоемкость в ЗЭТ	Общая трудоемкость (час)	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивных формах	Кол-во часов на СРС	Форма контроля
				ЛК	ПР	ЛБ				
3	6	2	72	32	16	-	48	-	24	зачет

6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ.

№ п/п	Наименование раздела, темы	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивной форме	Кол-во часов на СРС
		ЛК	ПР	ЛБ			
1.	Классификация и типы паровых котлов	2	-	-	2	-	2
2.	Поверхности нагрева паровых котлов	2	-	-	2	-	2
3.	Котельное топливо и его технические характеристики	2	-	-	2	-	2
4.	Основы организации топочных процессов и материальные балансы горения	2	-	-	2	-	2
5.	Топочные устройства для сжигания топлив	2	-	-	2	-	2
6.	Термодинамические основы работы тепловых печей	4	4	-	8	-	2
7.	Типовые режимы тепловой работы печей	4	4	-	8	-	2
8.	Тепловые свойства ограждения печей	2	-	-	2	-	2
9.	Теплотехнические основы автоматизации печей	2	-	-	2	-	2
10	Тепловые циклы паротурбинных установок	4	4	-	8	-	-
11	Преобразование энергии в турбинной ступени	2	-	-	2	-	2
12	Конденсационные установки паровых турбин	2	-	-	2	-	2
13	Конструкции паровых турбин	2	4	-	6	-	2
	Итого:	32	16	-	48	-	24
	Зачет						

7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

1. Соколов Б.А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности: учебное пособие. - М.: Академия, 2011. - 128 с.
2. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие. - М.: МЭИ, 2006-2009. - 584 с.
3. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие/ под ред. Цанева С.В. - М.: МЭИ, 2011. - 428 с.
4. Степанов И.Р. Парогазовые установки. Основы теории, применение и перспективы. - М.: МЭИ, 2010. - 169 с.

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ).

Общие сведения

1.	Кафедра	физики, биологии и инженерных технологий
2.	Направление подготовки	14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика профиль Теплофизика
3.	Дисциплина (модуль)	Б1.В.ОД.13 Паровые котлы и тепловые агрегаты тепловых станций

Перечень компетенций

- готовность к участию в исследовании и испытании основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания (ПК-3)

Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
Классификация и типы паровых котлов	ПК-3			теоретически ми знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.	
Поверхности нагрева паровых котлов	ПК-3	внутрикотловые процессы: гидродинамику рабочей среды в поверхностях нагрева и связанный с ней температурный режим труб			Решение задач

Котельное топливо и его технические характеристики	ПК-3			теоретически знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.	Реферат
Основы организации топочных процессов и материальные балансы горения	ПК-3	внутрикотловые процессы: водно-химические режимы барабанных и прямоточных котлов, коррозию и закономерности отложения примесей на внутренней поверхности труб			Реферат
Топочные устройства для сжигания топлив	ПК-3			теоретически знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.	Решение задач
Термодинамические основы работы тепловых печей	ПК-3	классификацию топливных и электрических печей по определяющему виду теплотехнического процесса анализ типовых режимов тепловой работы печей-теплообменников (радиационный и конвективный) и печей-теплогенераторов (массообменный и электрический).		теоретически знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.	Решение задач
Типовые режимы тепловой работы печей	ПК-3	классификацию топливных и электрических печей по определяющему виду теплотехнического процесса анализ типовых режимов тепловой			Реферат

		работы печей-теплообменников (радиационный и конвективный) и печей-теплогенераторов (массообменный и электрический).			
Тепловые свойства ограждения печей	ПК-3	классификацию топливных и электрических печей по определяющему виду теплотехнического процесса анализ типовых режимов тепловой работы печей-теплообменников (радиационный и конвективный) и печей-теплогенераторов (массообменный и электрический).			Реферат
Теплотехнические основы автоматизации печей	ПК-3	классификацию топливных и электрических печей по определяющему виду теплотехнического процесса анализ типовых режимов тепловой работы печей-теплообменников (радиационный и конвективный) и печей-теплогенераторов (массообменный и электрический).			Решение задач
Тепловые циклы паротурбинных установок	ПК-3		производить расчёты тепловых процессов, переменных режимов работы турбин ТЭС и АЭС, описывать их конструкцию.	теоретически ми знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.	Решение задач
Преобразование энергии в турбинной ступени	ПК-3	классификацию топливных и электрических печей по определяющему виду теплотехнического	производить расчёты тепловых процессов, переменных режимов		Решение задач

		процесса анализ типовых режимов тепловой работы печей-теплообменников (радиационный и конвективный) и печей-теплогенераторов (массообменный и электрический).	работы турбин ТЭС и АЭС, описывать их конструкцию.		
Конденсационные установки паровых турбин	ПК-3		производить расчёты тепловых процессов, переменных режимов работы турбин ТЭС и АЭС, описывать их конструкцию.	теоретически ми знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.	Реферат
Конструкции паровых турбин	ПК-3		производить расчёты тепловых процессов, переменных режимов работы турбин ТЭС и АЭС, описывать их конструкцию.	теоретически ми знаниями по основам тепловой работы паровых котлов и тепловых агрегатов тепловых и атомных станций.	Реферат

Критерии и шкалы оценивания

1. Решение задач

5 балла выставляется, если студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

3 балла выставляется, если студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

1 балла выставляется, если студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

0 баллов - если студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

2. Критерии оценки реферата

Баллы	Характеристики ответа студента
5	<ul style="list-style-type: none"> - студент глубоко и всесторонне усвоил проблему; - уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; - опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью; - умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; - делает выводы и обобщения;

	- свободно владеет понятиями
3	- студент твердо усвоил тему, грамотно и по существу излагает ее, опираясь на знания основной литературы; - не допускает существенных неточностей; - увязывает усвоенные знания с практической деятельностью; - аргументирует научные положения; - делает выводы и обобщения; - владеет системой основных понятий
1	- тема раскрыта недостаточно четко и полно, то есть студент освоил проблему, по существу излагает ее, опираясь на знания только основной литературы; - допускает несущественные ошибки и неточности; - испытывает затруднения в практическом применении знаний; - слабо аргументирует научные положения; - затрудняется в формулировании выводов и обобщений; - частично владеет системой понятий
0	- студент не усвоил значительной части проблемы; - допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении ее; - испытывает трудности в практическом применении знаний; - не может аргументировать научные положения; - не формулирует выводов и обобщений; - не владеет понятийным аппаратом

Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Примерный перечень вопросов промежуточной аттестации:

1. Классификация котлов. Простейший цилиндрический и водотрубные котлы.
2. Конструкция прямоточных и барабанных паровых котлов.
3. Основные элементы типового парового котла.
4. Тепловая эффективность энергоблока ТЭС.
5. Повышение тепловой экономичности ТЭС.
6. Паровые котлы с естественной циркуляцией.
7. Определение кратности циркуляции.
8. Паровые котлы с принудительной циркуляцией.
9. Прямоточный паровой котел. Устройство.
10. Принцип работы прямоточного парового котла.
11. Надежность работы котлов.
12. Котельная установка.
13. Работа газовоздушного тракта котла.
14. Определение величины самотяги.
15. Варианты работы газовоздушных трактов котлов.
16. Совместная работа воздушного и газового трактов котла.
17. Теплоемкость поверхностей нагрева.
18. Конструкции топочных экранов.
19. Вертикальные топочные экраны котлов с естественной циркуляцией.
20. Топочные экраны прямоточных котлов.
21. Специальные конструкции экранов.
22. Виды пароперегревателей.

23. Компоновка пароперегревателей.
24. Водяные экономайзеры.
25. Воздухоподогреватели.
26. Основы кинетики химических реакций.
27. Закон действующих масс.
28. Закон Аррениуса.
29. Энергия активации.
30. Горение газового топлива.
31. Горение твердого топлива.
32. Горение жидкого топлива.
33. Расчет энтальпий продуктов сгорания.
34. Температурный и тепловой режимы.
35. Тепловой баланс.
36. Термодинамические принципы анализа и конструирования печей.
37. Внешний и внутренний теплообмен при фазовых превращениях в материалах.
38. Внешний и внутренний теплообмен при нагреве твердых материалов в печах-теплообменниках.
39. Классификация. Печи-теплообменники.
40. Печи-теплогенераторы.
41. Холодное ограждение.
42. Горячее ограждение – футеровка.
43. Конструктивные особенности футеровок печей.
44. Основные узлы и конструкция паровой турбины.
45. Термодинамический цикл теплосиловой установки.
46. Влияние параметров пара на КПД идеального цикла.
47. Принципиальные тепловые схемы современных паротурбинных установок.
48. Тепловые схемы турбинных установок АЭС.
49. Классификация турбин.
50. Основные уравнения для потока сжимаемой жидкости.
51. Основные характеристики и параметры потоков в каналах.
52. Преобразование энергии в турбинной ступени.
53. Устройство паровой турбины.
54. Конструкции мощных теплофикационных турбин.
55. Конструкции мощных конденсационных турбин.
56. Конструкции мощных турбин для АЭС.

Примерная тематика рефератов:

1. Виды и состав топлив.
2. Твердое и жидкое органическое топливо.
3. Классификация состава твердого топлива.
4. Характеристика структуры котельных топлив.
5. Теплота сгорания топлива.
6. Общие технические характеристики топлив.
7. Характеристики твердого топлива.
8. Характеристики мазута.
9. Характеристики природного газа.
10. Размолоспособность топлива.
11. Тонкость размолы пыли.
12. Затраты энергии на размол топлива.
13. Характеристика угольной пыли.
14. Виды топочных устройств.
15. Конструирование топочной камеры.

16. Топочные камеры и горелки для сжигания твердых топлив.
17. Организация твердого шлакоудаления.
18. Горелочные устройства.
19. Автоматизация печей-теплообменников.
20. Автоматизация печей-теплогенераторов.
21. Принципиальная схема конденсационной установки. Устройство конденсатора.
22. Тепловые процессы в конденсаторе.
23. Тепловой баланс конденсатора.
24. Тепловой расчет конденсатора.
25. Конструкции конденсаторов.
26. Основы эксплуатации конденсационных установок.

Примеры решения задач:

Пример 1. Два паровых котла - прямоточный и барабанный с естественной циркуляцией (ЕЦ) - имеют одинаковую тепловую мощность и давление перегретого пара $P_{п.п} = 13,8$ МПа. Будет ли одинаковым давление питательной воды на входе в указанные котлы, если принять одинаковыми потери давления в экономайзерах и пароперегревателях этих котлов?

Решение

1. Перепад давления в водопаровом тракте котла с естественной циркуляцией определяется потерями давления в экономайзерном и пароперегревательном тракте

$$\Delta p_{\text{н.н}}^{\text{ЕЦ}} = \Delta p_{\text{э.к}} + \Delta p_{\text{п.е}} = (0,05 + 0,13) p_{\text{н.н}} = 2,48 \text{ МПа.}$$

Тогда давление питательной воды

$$p_{\text{н.в}}^{\text{ЕЦ}} = p_{\text{н.н}} + \Delta p_{\text{н.н}}^{\text{ЕЦ}} = 13,8 + 2,48 = 16,28 \text{ МПа.}$$

2. Перепад давления в тракте прямоточного котла дополняется сопротивлением топочных экранов

$$\Delta p_{\text{н.н}}^{\text{ПР}} = \Delta p_{\text{э.к}} + \Delta p_{\text{ж.э}} + \Delta p_{\text{п.е}} = (0,05 + 0,1 + 0,13) p_{\text{н.н}} = 3,86 \text{ МПа}$$

Давление питательной воды $p_{\text{п.в}}^{\text{ПР}} = 13,8 + 3,86 = 17,66$ МПа. Давление воды после питательного насоса прямоточного котла должно быть больше, чем на барабанном котле, на 1,38 МПа или на 8,48%.

Пример 2. Для котла с принудительной циркуляцией, работающего при давлении $p_{п.п} = 13,8$ МПа, сравнить затраты электрической мощности на привод питательного насоса и насоса принудительной циркуляции (НПЦ) при кратности циркуляции $k_{ц} = 6$.

Решение

1. Мощность, потребляемая насосом, МВт,

$$N = G_{\text{в}} v_{\text{в}} \Delta p_{\text{н}} / \eta_{\text{н}}$$

где $G_{\text{в}}$ - массовый расход воды, кг/с; $v_{\text{в}}$ - удельный объем воды, м³/кг; $\Delta p_{\text{н}}$ - давление, развиваемое насосом, МПа; $\eta_{\text{н}} = 0,85$ - КПД насоса и электропривода.

Повышение давления в питательном насосе $\Delta p_n = 16,28 - 0,7 = 15,58$ МПа, где 0,7 МПа - давление воды перед насосом. Удельный объем воды при температуре 120°C $v_B = 1,06 \cdot 10^{-3}$ м³/кг. Для насоса принудительной циркуляции $\Delta p_{ПЦ} = 0,2$ МПа, удельный объем кипящей воды при давлении 15,5 МПа $v' = 1,67 \cdot 10^{-3}$ м³/кг, расход воды $G_{ПЦB} = 6GB$.

2. При равенстве КПД насосов (принимаем) отношение мощностей привода насоса принудительной циркуляции и питательного насоса

$$N_{ПЦ}/N_{ПН} = (6 \cdot 1,67 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2) / (1,06 \cdot 10^{-3} \cdot 15,58) = 0,12$$

Таким образом, затраты энергии на насос принудительной циркуляции составляют 12% от потребления энергии питательным насосом. При обычной для котла с естественной циркуляцией кратности $k_{Ц} = 20$ на насос с принудительной циркуляцией тратилось бы 40% энергии от питательного насоса.

Пример 3. Котельный агрегат с уравновешенной тягой оборудован дымососом, который преодолевает сопротивление $\Delta p_{ка} = 1500$ Па при расходе дымовых газов $V_d = 40$ м³/с. При реконструкции в конвективной шахте котла установлена дополнительная поверхность нагрева воздухоподогревателя, которая увеличивает полное сопротивление котла на 400 Па. Как возрастет требуемая мощность дымососа?

Решение.

1. Мощность электродвигателя дымососа до реконструкции

$$N_d' = V_d \cdot \Delta p_{ка} / \eta_d = 40 \cdot 1500 / 0,85 = 70588 \text{ Вт} = 70,6 \text{ кВт.}$$

2. Требуемая мощность электродвигателя дымососа после реконструкции при сохранении расхода $V_d = 40$ м³/с

$$N_d'' = 40 \cdot 1900 / 0,85 = 89412 \text{ Вт} = 89,412 \text{ кВт.}$$

3. Мощность электродвигателя дымососа должна возрасти в

$$N_d'' / N_d' = 1900 / 1500 = 1,266 \text{ раза или на } 26,6\%.$$

Пример 4. При лабораторных исследованиях получен элементный состав кузнецкого угля марки СС на горючую массу $C^Г = 84,0\%$, $H^Г = 4,5\%$, $N^Г = 2,0\%$, $O^Г = 9\%$, $S^Г = 0,5\%$.

Влажность и зольность топлива при его анализе составили:

$W^P = 12\%$, $A^P = 11,4\%$. Определить состав рабочей массы топлива.

Решение

Определим коэффициент пересчета с горючей массы на рабочую:

$$k_{Г-Р} = \frac{100 - W^P - A^P}{100} = \frac{100 - 12,0}{100} = 0,766.$$

Тогда $C^P = C^{\Gamma}_{кг.р} = 84,0 \cdot 0,766 = 64,34\%$; аналогично по другим составляющим: $H^P = 3,45\%$, $N^P = 1,53\%$, $O^P = 6,9\%$, $S^P = 0,38\%$.

Проверим суммарный состав рабочей массы

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 64,34 + 3,45 + 6,9 + 1,53 + 0,38 + 11,4 + 12,0 = 100 \%$$

Пример 5. Для того же состава угля известно $Q^{\Gamma}_H = 7332,2$ ккал/кг в технической системе единиц. Определить теплоту сгорания рабочей массы Q^P_H в международной системе единиц (СИ).

Решение

Переведем значение теплоты сгорания Q^{Γ}_H в систему СИ. Исходя из соотношения 1 ккал = 4,187 кДж, получаем

$$Q^{\Gamma}_H = 7332,2 \cdot 4,187 = 30\,700 \text{ кДж/кг} = 30,7 \text{ МДж/кг.}$$

По формуле (3.8) значение теплоты сгорания составит

$$Q^P_H = 30700 \frac{100 - (11,4 + 12,0)}{100} - 25 \cdot 12,0 = 23216 \text{ кДж/кг}$$

Пример 6. На сколько увеличится теплота сгорания Q^P_H бурого угля Назаровского месторождения при переходе на электростанции от замкнутой к разомкнутой схеме сушки топлива с получением подсушенного топлива (сушонки) с окончательной влажностью пыли $W^{пл} = 10,0\%$. Исходная рабочая масса топлива $Q^P_H = 13,02$ МДж/кг, $W^P = 39,0\%$.

Решение

По формуле (3.9) при сохранении постоянной зольности топлива теплота сгорания сушонки

$$Q^{суш}_H = (Q^P_H + 25W^P) \frac{100 - W^{пл}}{100 - W^P} - 25W^{пл} = (13020 + 25 \cdot 39,0) \cdot \frac{100 - 10,0}{100 - 39,0} - 25 \cdot 10,0 = 20398$$

Теплота сгорания подсушенной пыли увеличится в 1,56 раза.

Пример 7. При размоле испытуемого топлива в лабораторной мельнице получена пыль с $R^k_{90} = 53\%$. Найти значение коэффициента $k_{п.о}$

Решение

Коэффициент размолоспособности по методике ВТИ определяют по формуле

$$k_{п.о} = 1,96 \left[\ln \left(100 / R^k_{90} \right) \right]^{0,67}$$

Таким образом, размолоспособность испытуемого топлива составит

$$k_{п.о} = 1,96 \left[\ln \left(100 / 52 \right) \right]^{0,67} = 1,475$$

Указанное топливо достаточно мягкое при размоле.

Пример 8. На электростанции сжигается экибастузский каменный уголь, имеющий коэффициент $k_{Л,О} = 1,29$ и выход летучих $V_{Л}^Г = 24,0\%$. На электростанции установлены валковые среднеходные мельницы. Определить оптимальную тонкость размола топлива $R_{90}^{ОПТ}$ и максимальный размер частиц пыли $x_{МАКС}$.

Решение

Для среднеходной мельницы коэффициент полидисперсности $n = 0,85$. По формуле (3.18)

$$R_{90}^{ОПТ} = 4 + 0,8 \cdot 0,85 \cdot 24 = 20,3 \%$$

За максимальный размер частицы принимается $x_{МАКС}$, которому соответствует $R_x = 0,1\%$. Используя формулу (3.16), выразим $x_{МАКС}$ при $R_x = 0,1$ коэффициент тонкости размола

$$b = \ln \left(\frac{100}{R_{90}^{ОПТ}} \right) / 90^n = \ln \frac{100}{20,3} / 90^{0,85} = 0,0348;$$
$$x_{МАКС} = \left[\ln \left(\frac{100}{R_x} \right) / b \right]^{1/n} = \left(\frac{6,9}{0,0348} \right)^{1,176} = 503 \text{ мкм}$$

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).

Основная литература:

1. Жихар, Г.И. Котельные установки тепловых электростанций : учебное пособие / Г.И. Жихар. - Минск : Вышэйшая школа, 2015. - 528 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-985-06-2554-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450400>

Дополнительная литература:

2. Лекции по теплотехнике : конспект лекций / Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; сост. В.А. Никитин. - Оренбург : ОГУ, 2011. - 532 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259242>

Электронные образовательные ресурсы (ЭОР):

1. Университетская библиотека ONLINE <http://biblioclub.ru/>
2. Электронно-библиотечная система Юрайт <https://biblio-online.ru/>

10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ" (ДАЛЕЕ - СЕТЬ "ИНТЕРНЕТ"), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).

1. Российская государственная библиотека - www.rsl.ru, www.leninka.ru

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой, умение создавать тексты. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях, изучения рекомендованной литературы, выполнения письменных заданий.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания:

- изучают рекомендованную научно-практическую и учебную литературу;
- выполняют задания, предусмотренные для самостоятельной работы.

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции и практические занятия.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и указания на самостоятельную работу.

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает с использованием технологической карты дисциплины, размещенной на сайте МАГУ.

Планы практических занятий

1. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

План:

Паровой котёл и его основные элементы
Поверхности нагрева котла
Конструкции отечественных котлов
Тепловой баланс парового котла
Технологическая схема котельной установки

Литература: [2, стр. 322-345].

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое паровой котел, какие его основные элементы?
2. Расскажите про конструкции отечественных котлов.
3. Опишите технологическую схему котельной установки.

2. ТЕПЛООБМЕН В КОТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ

План:

Особенности теплообмена в топке котла
Расчет суммарного теплообмена в топке котла
Лучистый теплообмен в газоходах котла
Конвективный теплообмен в газоходах котла

Литература: [1, стр. 206-232].

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы особенности теплообмена в топке котла?
2. Как происходит лучистый теплообмен в газоходах котла?
3. Как происходит конвективный теплообмен в газоходах котла?

3. ТОПОЧНЫЕ КАМЕРЫ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

План:

Основные характеристики камерных топок
Пылеугольные горелки
Камерные топки с твердым шлакоудалением
Топки с жидким шлакоудалением

Литература: [1, стр. 262-339].

Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные характеристики камерных топок?
2. Что такое пылеугольные горелки?
3. Что такое камерные топки с твердым шлакоудалением?

Планы практических занятий

4. ПРОЦЕССЫ НА ВНЕШНЕЙ СТОРОНЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

План:

Загрязнения поверхностей нагрева летучей золой
Механизм шлакообразования и его предупреждение
Износ поверхностей нагрева летучей золой
Коррозия поверхностей нагрева со стороны греющих газов
Очистка поверхностей нагрева котлов

Литература: [1, стр. 405-473].

Вопросы для самоконтроля

1. Для чего нужны выдвижные обдувочные аппараты?
2. Для чего нужны вибрационные устройства?
3. Для чего нужны дробеструйные устройства?
4. Как происходит очистка регенеративных воздухоподогревателей нагревом продуктами сгорания?

12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)

Программное обеспечение:

1. Операционная система MS Windows
2. Офисный пакет LibreOffice

13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения занятий с перечнем основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов и объектов, номер ауд.
1	<p><i>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</i></p> <p>Мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), переносное мультимедийное оборудование (проектор, экран)</p>	<p>184209, Мурманская область, город Апатиты, улица Энергетическая, дом 19, здание Учебного корпуса № 3, ауд. 103</p>
2	<p><i>Помещение для самостоятельной работы студентов</i></p> <p>Доска аудиторная, столы компьютерные, стулья «Контакт» Мультимедийный проектор Toshiba TLP-X2000 – 1 шт., экран проекционный матовый – 1 шт. 13 ПЭВМ Монитор Acer AL 1917 19" – 13 шт., клавиатура – 13 шт., мышь – 13 шт.</p>	<p>184209, Мурманская область, город Апатиты, улица Энергетическая, дом 19, здание Учебного корпуса № 5, ЛИТ 3</p>

14. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ.

ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА
14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика
профиль – Теплофизика
Академический бакалавриат

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Шифр дисциплины по РУП	Б1.В.ОД.13						
Дисциплина	Паровые котлы и тепловые агрегаты тепловых станций						
Курс	3	семестр	6				
Кафедра	физики, биологии и инженерных технологий						
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность	Шумилов О. И., д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики, биологии и инженерных технологий						
Общ. трудоемкость _{час/ЗЕТ}	72/2	Кол-во семестров	1	Интерактивные формы _{общ./тек. сем.}	-/-		
ЛК _{общ./тек. сем.}	32/32	ПР/СМ _{общ./тек. сем.}	16/16	ЛБ _{общ./тек. сем.}	-/-	Форма контроля	Зачет

Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
Вводный блок			
Не предусмотрено			
Основной блок			
Реферат	6	30	По согласованию с преподавателем
Решение задач	6	30	На практических занятиях
Всего:		60	
Зачет	Вопрос 1	20	В сроки сессии
	Вопрос 2	20	В сроки сессии
Всего:		40	
Итого:		100	
Дополнительный блок			
Не предусмотрено			

Шкала оценивая в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.

15. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ НА УСМОТРЕНИЕ ВЕДУЩЕЙ КАФЕДРЫ.

Не предусмотрено.

16. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ

Для обеспечения образования инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья реализация дисциплины *Б1.В.ОД.13 «Паровые котлы и тепловые агрегаты тепловых станций»* может осуществляться в адаптированном виде, с учетом специфики освоения и дидактических требований, исходя из индивидуальных возможностей и по личному заявлению обучающегося.