



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по образовательной деятельности,  
председатель методического совета

 И.Р. Абдулвелеев

9 февраля 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

*ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ*

**Для основных образовательных программ  
с индивидуальной образовательной траекторией**

Уровень высшего образования – бакалавриат

Форма обучения

Очная

Курс            3  
Семестр        5

Магнитогорск  
2023 г.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании методического совета  
09.02.2023, протокол № 1.

Согласовано с руководителями ООП:

Зав. кафедрой ЭПП

А.В. Варганова

Зав. кафедрой экономики

А.Г. Васильева

Зам. директора ИЕиС по воспитательной работе,  
доцент кафедры ТССА

А.С. Лимарев

Доцент кафедры ПОиД

Т.Г. Неретина

Зам. директора ИЕиС по учебной работе,  
доцент кафедры ПОиБЖД

Ю.В. Сомова

Зав. кафедрой УиИС

М.М. Суровцов

Зав. кафедрой ЛПИМ

Н.А. Феоктистов

Зав. кафедрой ЛиУТС

О.В. Фридрихсон

Зав. кафедрой МиХТ

А.С. Харченко

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целями освоения дисциплины (модуля) «Промышленные котельные установки и парогенераторы» являются: формирование у студентов знаний и навыков по сбору и анализу информации, необходимых для проектирования энергетических объектов, умение производить расчёты узлов и элементов парогенераторов, готовность принимать участие в технологических процессах производства высокотемпературного теплоносителя.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Промышленные котельные установки и парогенераторы входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Программирование теплотехнических систем

Прикладная гидрогазодинамика

Теория горения и технологии сжигания

Тепломассообмен: конвекция

Тепломассообмен: теплопроводность

Тепломассообмен: излучение

История теплоэнергетики

Математика

Физика

Гидрогазодинамика

Термодинамика

Учебная - ознакомительная практика

Теплоэнергетика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Котельные установки и парогенераторы

Математические задачи теплоэнергетики

Проектная деятельность

Тепломассообменное оборудование предприятий

Системы промышленного теплоснабжения

Теплосиловые установки промышленных предприятий

Тепломассообменное оборудование промышленных предприятий

Паротурбинные, газотурбинные и парогазовые установки

Термодинамические циклы

Производственная-технологическая практика

Тепловые электрические станции

Теплоэнергетические системы промышленных предприятий

Тепловые станции и энергетические системы промышленных предприятий

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Промышленные котельные установки и парогенераторы» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
----------------	----------------------------------

ДПК-011-3 Способен анализировать показатели работы котельного оборудования ТЭС, проводить оптимизацию режимов работы, вести техническую документацию	
ДПК-011-3.1	Изучает режимы работы котельного оборудования ТЭС, выявляет причины повреждений
ДПК-011-3.2	Разрабатывает методы повышения эффективности работы котельного оборудования ТЭС

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 36,1 акад. часов;
- аудиторная – 36 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 71,9 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Раздел 1. Материальный и тепловой балансы рабочих веществ в парогенераторах								
1.1 Источники энергии для парогенераторов. Материальный баланс процесса горения топлива	5			3	4	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
1.2 Состав, количество и энтальпия продуктов сгорания. Материальный баланс нагреваемой				3	3	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
Итого по разделу				6	7			
2. Раздел 2. Эффективность использования топлива в парогенераторах								
2.1 Располагаемая и полезно использованная теплота топлива. Тепловой баланс парового котла.	5			3	3	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
2.2 Тепловые потери парового котла, коэффициент полезного действия брутто и нетто				2	4	Решение задач. Приложение 1	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
Итого по разделу				5	7			
3. Раздел 3. Теплообмен в паровых котлах								
3.1 Закономерности теплообмена в топке	5			3	4	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
3.2 Закономерности теплообмена в конвективных поверхностях котлов				3	7	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
Итого по разделу				6	11			
4. Раздел 4. Тепловой расчет элементов паровых котлов								

4.1 Тепловой расчет пароперегревателей паровых котлов	5			5	1	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
4.2 Тепловой расчет хвостовых поверхностей парогенераторов				2	4	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
Итого по разделу				7	5			
5. Раздел 5. Тепловой расчет паровых котлов								
5.1 Термодинамические расчеты тепловой схемы котла.	5			2	10	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
5.2 Тепловой расчет котлов				3	10	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
Итого по разделу				5	20			
6. Раздел 6. Расчеты гидродинамики и аэродинамики котельных установок								
6.1 Надежность циркуляции. Схема расчета циркуляции.	5			2	8	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
6.2 Аэродинамика газовоздушного тракта котла				3	8	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
Итого по разделу				5	16			
7. Раздел 7. Выход и характеристики шлака и золы. Защита окружающей среды от вредных выбросов при работе котлов								
7.1 Выход шлака и его характеристики. Содержание вредных примесей в продуктах сгорания	5			1	3,9	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
7.2 Золоулавливание. Защита продуктов сгорания от оксидов серы и азота				1	2	Решение задач. Приложение 1.	Сдача практических задач.	ДПК-011-3.1, ДПК-011-3.2
Итого по разделу				2	5,9			
Итого за семестр				36	71,9		зачёт	
Итого по дисциплине				36	71,9		зачет	

## 5 Образовательные технологии

Для решения предусмотренных видов учебной работы при изучении дисциплины «Промышленные котельные установки и парогенераторы» в качестве образовательных технологий используются как традиционные, так и модульно – компетентностные технологии. Передача необходимых теоретических знаний и формирование представлений по курсу происходит с применением мультимедийного оборудования. Для развития и совершенствования коммуникативных способностей обучающихся организуются практические занятия в виде дискуссий, анализа реальных проблемных ситуаций и междисциплинарных связей из различных областей в контексте решаемой задачи. Самостоятельная работа стимулирует обучающихся к самостоятельной проработке тем в процессе написания рефератов, подготовки к дискуссиям, к контрольным работам и тестированию.

Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбор конкретных ситуаций, психологические и иные тренинги) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

## 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

## 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

## 8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) Основная литература:

1. Елистратов, С. Л. Котельные установки и парогенераторы : учебное пособие / С. Л. Елистратов, Ю. И. Шаров. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 148 с. - ISBN 978-5-9729-0554-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1836534>

2. Бойко, Е. А. Устройство и конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов : учебное пособие / Е. А. Бойко. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 364 с. - ISBN 978-5-9729-0644-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1836520>

### б) Дополнительная литература:

1. Морозов, А. П. Теплогенерирующие установки. Котельные установки и парогенераторы : учебное пособие / А. П. Морозов, Г. Н. Трубицына ; МГТУ, [каф. ТиЭС]. - Магнито-горск, 2010. - 275 с. : ил., граф., схемы, табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=342.pdf&show=dcatalogues/1/1074805/342.pdf&view=true> - Макрообъект. - Текст : электронный. - Имеется печатный аналог.

2. Лебедев, В. М. Тепловой расчет котельных агрегатов средней паропроизводительности : учебное пособие / В. М. Лебедев, С. В. Приходько. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 212 с. — ISBN 978-5-8114-2072-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167353>

3. Барочкин, Е. В. Котельные установки : учебное пособие / Е. В. Барочкин, В. Н. Виноградов, А. Е. Барочкин ; под. ред. д-ра техн. наук, проф. Е. В. Барочкина. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 440 с. - ISBN 978-5-9729-0691-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1836512>

4. Клименко А.В., Теплоэнергетика и теплотехника Кн. 3. Тепловые и атомные электро-станции / Клименко А.В. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. Режим

доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011706.html>

5. Гиль, А.В. Расчет пароперегревателя и низкотемпературных поверхностей нагрева паровых котлов : учебно-методическое пособие / А.В. Гиль; Томский политехнический уни-верситет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - 136 с. Режим доступа: URL: <https://znanium.com/catalog/product/1043892>

**в) Методические указания:**

1. Морозов, А.П. Исследование аэродинамики котельного агрегата на модели [Текст]: метод.указания к выполнению лаб. работы / А.П. Морозов. - Магнитогорск: МГТУ, 2013. 8 с.

2. Морозов, А.П. Определение КПД котельного агрегата методом обратного теплового баланса [Текст]: метод.указания к выполнению лаб. работы / А.П. Морозов. -Магнитогорск: МГТУ, 2013. 5 с.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно	бессрочно
MathCAD v.15 Education University	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
Linux Calculate	свободно	бессрочно
FAR Manager	свободно	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Архив научных журналов «Национальный электронно-информационный	<a href="https://archive.neicon.ru/xmlui/">https://archive.neicon.ru/xmlui/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru">https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Электронная база периодических изданий East View Information Services,	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>



Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
--	--

### **9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Оснащение: компьютерные классы университета.

Учебные помещения для самостоятельной работы обучающихся. Оснащение: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Оснащение: стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования, инструменты для ремонта лабораторного оборудования

## Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

### Перечень контрольных вопросов для промежуточного контроля при проработке практических заданий

#### Раздел 1

1. Задан следующий элементарный состав на горючую массу кузнецкого угля марки СС ухудшенного состава:  $C^r=80,2 \%$ ,  $H^r=3,3 \%$ ,  $N^r=2,1 \%$ ,  $O^r=14 \%$ ,  $S^r=0,4 \%$ . Известно, что зольность сухой массы  $A^c=22,12 \%$ . Определить элементарный состав топлива на рабочую массу при  $W^p=15 \%$ .
2. Задан следующий элементарный состав на горючую массу кузнецкого угля марки СС ухудшенного состава:  $C^r=80,2 \%$ ,  $H^r=3,3 \%$ ,  $N^r=2,1 \%$ ,  $O^r=14 \%$ ,  $S^r=0,4 \%$ . Известно, что зольность сухой массы  $A^c=22,12 \%$ . Определить элементарный состав топлива на рабочую массу при  $W^p=15 \%$ . Определить объемы продуктов сгорания, коэффициент избытка воздуха и энтальпии продуктов сгорания.
3. Определить количество продувочной воды, отбираемой непрерывно из парового котла паропроизводительностью  $D=240$  т/час при величине продувки  $p=7 \%$ .

#### Раздел 2

1. Составить тепловой баланс барабанного парового котла производительностью 186,11 кг/с, имеющего следующие параметры пара: температура перегрева—545 °С, температура питательной воды—250 °С, давление свежего пара на выходе—13,7 МПа, давление питательной воды—16,2 МПа, расход пара через промежуточный перегреватель—163,89 кг/с, температура пара на входе в промежуточный перегреватель—333 °С, давление пара после промежуточного перегревателя—2,44 МПа, давление пара на входе в промежуточный перегреватель—2,66 МПа. В качестве топлива используется сушонка березовского угля:  $Q_n^{суш}=21298$  кДж/кг и влажностью  $W^{суш}=13 \%$ . При проведении расчетов принять: температуры воздуха перед котлом и после калориферов  $t_{х.в.}=30$  °С и  $t_{кф}^{\text{н}}=55$  °С; избыток воздуха на входе в калориферы  $\beta^{\text{н}}=1,198$ ; температуру топлива после сушки 85 °С; температуру уходящих газов 120 °С; температуру газов при отборе на сушку 386 °С, долю отбора газов на сушку 0,34; долю уноса золы  $a_{ун}=0,5$  при зольности  $A^p=4,8 \%$ ; температуру шлаков  $t_{шл}=1430$  °С; избыток воздуха в отходящих газах 1,231; впрыск в промежуточный пароперегреватель отсутствует.
2. Определить тепловые потери и КПД барабанного парового котла производительностью 186,11 кг/с, имеющего следующие параметры пара: температура перегрева—545 °С, температура питательной воды—250 °С, давление свежего пара на выходе—13,7 МПа, давление питательной воды—16,2 МПа, расход пара через промежуточный перегреватель—163,89 кг/с, температура пара на входе в промежуточный перегреватель—333 °С, давление пара после промежуточного перегревателя—2,44 МПа, давление пара на входе в промежуточный перегреватель—2,66 МПа. В качестве топлива используется сушонка березовского угля:  $Q_n^{суш}=21298$  кДж/кг и влажностью  $W^{суш}=13 \%$ . При проведении расчетов принять: температуры воздуха перед котлом и после калориферов  $t_{х.в.}=30$  °С и  $t_{кф}^{\text{н}}=55$  °С; избыток воздуха на входе в калориферы  $\beta^{\text{н}}=1,198$ ; температуру топлива после сушки 85 °С; температуру уходящих газов 120 °С; температуру газов при отборе на сушку 386 °С, долю отбора газов на сушку 0,34; долю уноса золы  $a_{ун}=0,5$  при зольности  $A^p=4,8 \%$ ; температуру шлаков  $t_{шл}=1430$  °С; избыток воздуха в отходящих газах 1,231; впрыск в промежуточный пароперегреватель отсутствует.

### Раздел 3

1. В топке котла Е-500-13,8 ГМ ( $p=13,8$  МПа,  $t_{\text{пт}}=560$  °С) имеется радиационный пароперегреватель, выполненный из шести горизонтальных U-образных панелей (по одной на боковых стенах при  $b_{\text{т}}=7,68$  м и по две на фронтальной и задней стенах при  $a_{\text{т}}=13,52$  м), расположенных сверху испарительных вертикальных экранов. Панели имеют по 30 труб Диаметром 36x5 мм и с шагом  $s=40$  мм (ширина ленты 1160 мм). Интенсивность теплового потока в этой зоне  $q_{\text{л}}=157,6$  кВт/м<sup>2</sup>. Нижняя отметка расположения панелей от пода топки 11,5 м. Определить, насколько увеличится тепловосприятие радиационного пароперегревателя, если его сместить вниз на 4 м, в зону с тепловым потоком  $q_{\text{л}}=235,7$  кВт/м<sup>2</sup>.  $V_{\text{р}}=9,25$  кг/с.
2. Определить коэффициент теплопередачи в экономайзере с шахматным расположением труб при сжигании каменных углей, дающих сыпучие отложения. Принять: наружный диаметр труб 32 мм; продольный шаг труб 50 мм; скорость газов 10 м/с; коэффициент теплоотдачи конвекцией  $\alpha_{\text{к}}=95$  Вт/м<sup>2</sup>·К, излучением  $\alpha_{\text{л}}=15$  Вт/м<sup>2</sup>·К, температуру продуктов сгорания на входе 500 °С.

### Раздел 4

1. Задан следующий элементарный состав на горючую массу кузнецкого угля марки СС ухудшенного состава:  $C^{\text{г}}=80,2$  %,  $H^{\text{г}}=3,3$  %,  $N^{\text{г}}=2,1$  %,  $O^{\text{г}}=14$  %,  $S^{\text{г}}=0,4$  %. Известно, что зольность сухой массы  $A^{\text{с}}=22,12$  %. Определить элементарный состав топлива на рабочую массу при  $W^{\text{р}}=15$  %, площадь поверхности пароперегревателя при паропроизводительности котла  $D=260$  т/час, температуре газов на входе в пароперегреватель 1050 °С и на выходе из него 750 °С. Давление в котле 13 атм, температура перегрева 250 °С.
2. Через воздухоподогреватель котельного агрегата протекает воздух в количестве  $V_0 = 11000$  м<sup>3</sup>/ч (при нормальных условиях). На входе его температура равна  $t_1 = 45$  °С. Какова температура  $t_2$  воздуха на выходе из воздухоподогревателя, если топочные газы сообщают ему количества тепла, равное  $Q_{\text{р}} = 670$  Мкал/ч? Определить величину работы расширения воздуха, которую он совершает в течение 1 ч. Процесс подогрева воздуха считать изобарическим  $p_{\text{возд}} = 1$  кг/см<sup>2</sup>.

### Раздел 5

1. Термодинамически определить кол-во пара, вырабатываемого парогенератором при сжигании природного газа следующего состава:

Вид газа	Угарный газ (CO), %	Углекислый газ ( ), %	Метан ( ), %	Водород ( ), %	Азот ( ), %	Тяжелые углеводороды ( ), %	Этан ( ), %
Природный газ	-	0.3	96	-	0.5	0.2	3

Выполнить расчет с использованием Т-Q диаграммы. Расчет выполнить для двух вариаций: полного и максимально возможного использования теплоты и возможно полного использования температуры. Для второго варианта определить необходимое кол-во теплоты и температуры дымовых газов на входе и выходе из парогенератора.

2. Выполнить тепловой расчет парового котельного агрегата ДКВР для следующих исходных данных:

Тип котла	Производительность		Давление	Пар	Температура питательной воды	Хвостовые поверхности	Продувка
ДКВР 10-13	2,5 кг/с		1,2 МПа	Насыщенный	104 °С	Пароперегреватель	8%
Состав топлива	$C^P$ , %	$H^P$ , %	$N^P$ , %	$O^P$ , %	$S_k^P$ , %	$W^P$ , %	$A^P$ , %
Назаровский бурый уголь	70	3,3	1,5	2	0,5	8	14,8

### Раздел 6

1. Определить скорость пароводяной смеси, скорость циркуляции пароводяной смеси, приведенные скорости пара и воды в контуре естественной циркуляции бокового экрана котельного агрегата ПК-10 Ш, работающего при давлении в барабане  $p_6 = 10,8$  МПа, если среднее массовое паросодержание потока  $x = 0,05$ , массовый расход пароводяной смеси через систему труб  $G_{см} = 215,0$  кг/с, экран выполнен из труб с внутренним диаметром  $d_{вн} = 0,064$  м, число экранных труб бокового экрана  $n = 78$  шт.
2. Произвести расчет тяговой установки однобарабанного вертикально-водотрубного котла паропроизводительностью 60/75 т/час. Давление пара в барабане  $p = 35$  атм, температура перегрева 420 °С, температура воды, поступающей в котел 150 °С, температура воздуха в котельной 25 °С. Тепловые и конструктивные характеристики агрегата представлены (Кашников С.П., Цыганков В.Н. Расчет котельных агрегатов в примерах и задачах. Госэнергоиздат, 1951. 240 с.

### Раздел 7

1. Определить максимальный допустимый золовой износ стенки углеродистой трубы воздухоподогревателя котельного агрегата и температуру точки росы продуктов сгорания, если коэффициент, учитывающий абразивные свойства золы  $a = 14 \cdot 10^{-9}$  м·с<sup>3</sup>/кг·ч, коэффициент, учитывающий вероятность ударов частиц золы о поверхность трубки  $\eta = 0,334$ , коэффициент неравномерности концентрации золы  $\beta_k = 1,2$ , коэффициент неравномерности скорости газов  $\beta_w = 1,2$ . Средняя скорость газов в промежутках между труб  $w = 9$  м/с, длительность работы поверхности нагрева  $\tau = 8160$  ч, доля золы топлива, уносимая продуктами сгорания из топки  $a_{ун} = 0,95$ , температура газов на входе в пучок  $t_{газ} = 427$  °С, коэффициент избытка воздуха  $\alpha_t = 1,4$ , температура конденсации водяных паров  $t_k = 50$  °С. Уголь состава:  $C^P = 28,7$  %,  $H^P = 2,2$  %,  $N^P = 0,6$  %,  $O^P = 8,6$  %,  $S^P = 2,7$  %,  $A^P = 25,2$  %,  $W^P = 32$  %.
2. Определить концентрацию диоксида серы у поверхности земли для котельной, в которой 2 котла работают на мазуте состава  $C^P = 83$  %,  $H^P = 10,4$  %,  $O^P = 0,7$  %,  $S^P = 2,8$  %,  $A^P = 0,1$  %,  $W^P = 3$  %. Высота дымовой трубы  $H = 31$  м,  $V_p = 0,525$  кг/с, температура газов на входе в трубу 180 °С, на выходе 186 °С.  $\alpha$  перед трубой 1,5. Температура окружающей среды 20 °С, барометрическое давление 97000 Па, коэффициент, учитывающий скорость осаждения диоксида серы  $F = 1,0$ , коэффициент, учитывающий условия выхода продуктов сгорания из трубы  $m = 0,9$ , коэффициент атмосферной стратификации  $A = 120$  С<sup>2/3</sup>·град<sup>1/3</sup>. Фоновая концентрация загрязнений атмосферы диоксидом серы  $C_{ф} = 0,03 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>.

## Оценочные средства проведения промежуточной аттестации (зачета)

## а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства																																
<b>ДПК-011-3: Способен анализировать показатели работы котельного оборудования ТЭС, проводить оптимизацию режимов работы, вести техническую документацию</b>																																		
ДПК-011-3.1	Изучает режимы работы котельного оборудования ТЭС, выявляет причины повреждений	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Произвести расчет теплообмена в топочной камере котла ДКВР-6,5-13 при площади тепловосприятия <math>F_T = 39 \text{ м}^2</math> и <math>\vartheta_a = 1900 \text{ °C}</math> и сжигании природного газа.</li> <li>2. Произвести расчет теплообмена в конвективных поверхностях нагрева котла ДКВР-10-13, работающего на природном газе, при температурах дымовых газов на входе и выходе <math>\vartheta' = 1050 \text{ °C}</math> и <math>\vartheta'' = 800 \text{ °C}</math>, площади теплообмена <math>F_T = 52 \text{ м}^2</math>.</li> <li>3. Рассчитать скорость витания при сжигании твердого топлива в «кипящем» слое при средней фракции частиц угля <math>d_{\text{ч}} = 120 \text{ мкм}</math> и плотности <math>\rho_{\text{ч}} = 1200 \text{ кг/м}^3</math>.</li> </ol>																																
ДПК-011-3.2	Разрабатывает методы повышения эффективности работы котельного оборудования ТЭС	<p>Примерный перечень расчетно-графической работы</p> <p>Выполнить тепловой расчет парового котельного агрегата ДКВР для следующих исходных данных:</p> <table border="1" data-bbox="640 1007 2123 1394"> <thead> <tr> <th data-bbox="640 1007 846 1134">Тип котла</th> <th colspan="2" data-bbox="846 1007 999 1134">Производительность</th> <th data-bbox="999 1007 1160 1134">Давление</th> <th data-bbox="1160 1007 1525 1134">Пар</th> <th data-bbox="1525 1007 1731 1134">Температура питательной воды</th> <th data-bbox="1731 1007 1966 1134">Хвостовые поверхности</th> <th data-bbox="1966 1007 2123 1134">Продувка</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="640 1134 846 1222">ДКВР 10-13</td> <td colspan="2" data-bbox="846 1134 999 1222">2,5 кг/с</td> <td data-bbox="999 1134 1160 1222">1,2 МПа</td> <td data-bbox="1160 1134 1525 1222">Насыщенный</td> <td data-bbox="1525 1134 1731 1222">104 °C</td> <td data-bbox="1731 1134 1966 1222">Пароперегреватель</td> <td data-bbox="1966 1134 2123 1222">8%</td> </tr> <tr> <th data-bbox="640 1222 846 1310">Состав топлива</th> <th data-bbox="846 1222 999 1310"><math>C^p, \%</math></th> <th data-bbox="999 1222 1160 1310"><math>H^p, \%</math></th> <th data-bbox="1160 1222 1312 1310"><math>N^p, \%</math></th> <th data-bbox="1312 1222 1525 1310"><math>O^p, \%</math></th> <th data-bbox="1525 1222 1731 1310"><math>S_k^p, \%</math></th> <th data-bbox="1731 1222 1966 1310"><math>W^p, \%</math></th> <th data-bbox="1966 1222 2123 1310"><math>A^p, \%</math></th> </tr> <tr> <td data-bbox="640 1310 846 1394">Назаровский бурый уголь</td> <td data-bbox="846 1310 999 1394">70</td> <td data-bbox="999 1310 1160 1394">3,3</td> <td data-bbox="1160 1310 1312 1394">1,5</td> <td data-bbox="1312 1310 1525 1394">2</td> <td data-bbox="1525 1310 1731 1394">0,5</td> <td data-bbox="1731 1310 1966 1394">8</td> <td data-bbox="1966 1310 2123 1394">14,8</td> </tr> </tbody> </table>	Тип котла	Производительность		Давление	Пар	Температура питательной воды	Хвостовые поверхности	Продувка	ДКВР 10-13	2,5 кг/с		1,2 МПа	Насыщенный	104 °C	Пароперегреватель	8%	Состав топлива	$C^p, \%$	$H^p, \%$	$N^p, \%$	$O^p, \%$	$S_k^p, \%$	$W^p, \%$	$A^p, \%$	Назаровский бурый уголь	70	3,3	1,5	2	0,5	8	14,8
Тип котла	Производительность		Давление	Пар	Температура питательной воды	Хвостовые поверхности	Продувка																											
ДКВР 10-13	2,5 кг/с		1,2 МПа	Насыщенный	104 °C	Пароперегреватель	8%																											
Состав топлива	$C^p, \%$	$H^p, \%$	$N^p, \%$	$O^p, \%$	$S_k^p, \%$	$W^p, \%$	$A^p, \%$																											
Назаровский бурый уголь	70	3,3	1,5	2	0,5	8	14,8																											

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания.**

Критерии оценки (в соответствии с формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения):

Промежуточная аттестация по дисциплине «Промышленные котельные установки и парогенераторы» включает практические задания, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Зачет по данной дисциплине проводится в устной форме. Для получения зачета автоматом необходимо набрать более 75 % рейтинговых баллов.

**Показатели и критерии оценивания зачета:**

- на оценку **«зачтено»** – обучающийся демонстрирует от высокого до порогового уровня сформированности компетенций:
  - всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
  - основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
  - в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
- на оценку **«незачтено»** – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач; обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.