

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета энергетики  
и систем управления



А.В. Буковский

«25» ноября 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Сжигание и термическая переработка топлива»**

**Направление подготовки** 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**Профиль** Промышленная теплоэнергетика

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 11 м.

**Форма обучения** очная / заочная

**Год начала подготовки** 2023

Автор программы  
Заведующий кафедрой  
Теоретической и  
промышленной  
теплоэнергетики

А.В. Бараков

Руководитель ОПОП

В.В. Портнов

С.В. Дахин

Воронеж 2022

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины состоит в обеспечении фундаментальной подготовки, позволяющей развить навыки по правильному выбору и расчёту горения топлива в различных теплотребляющих агрегатах промышленной теплоэнергетики и теплотехники.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение основных видов промышленного топлива, его состава, классификации и маркировки; изучение методик составления материальных и тепловых балансов процессов горения; изучение кинетики процесса горения, в том числе процессов смесеобразования, воспламенения и химического реагирования; изучение особенностей сжигания различных видов топлива и устройств для их реализации.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Сжигание и термическая переработка топлива» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Сжигание и термическая переработка топлива» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - Способен проводить расчеты энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	знать основные виды промышленного топлива, его состав и маркировку, основные термохимические уравнения полного и неполного горения, кинетику процесса горения, особенности сжигания различных видов топлива
	уметь составлять материальный баланс горения, составлять тепловой баланс горения, производить выбор и расчёт устройств сжигания топлива
	владеть методами теоретического (расчётного) и экспериментального определения параметров топлива и процесса горения, навыками выбора и расчёта топливопотребляющих устройств

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Сжигание и термическая переработка топлива» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

### очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	90	90
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

### заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	10	10
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	2	2
<b>Самостоятельная работа</b>	161	161
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в дисциплину	Основные тенденции развития топливного баланса России. Современное состояние газового баланса России. Основные потребители газообразного, жидкого и твердого топлива. Значение рационального использования топлив и основные пути его совершенствования. Задачи курса и его связь со смежными дисциплинами	1	-	-	5	6
2	Сжигание газа. Газогорелочные устройства	Основные требования, предъявляемые к газовым горелкам, их классификация и	2	2	6	7	17

		основные характеристики. Преимущества, недостатки и область применения отдельных классов горелок. Рекомендации по выбору и применению различных типов газогорелочных устройств. Конструкции горелок					
3	Сжигание газа. Основы расчёта газогорелочных устройств и камер сгорания газа	Расчёт истечения сжимаемого и несжимаемого газа из отверстий и сопл. Основы расчёта прямооточных дутьевых горелок. Основные виды закручивающих устройств (воздушных регистров) и методы их расчёта. Расчёт распределения газовых струй в вихревых горелках. Основы расчёта инжекционных горелок. Расчёт длины кинетического факела и горелочного туннеля. Определение длины диффузионного факела и выбор габаритов камер сгорания	2	2	-	8	12
4	Сжигание жидкого топлива. Форсунки для сжигания жидкого топлива	Требования, предъявляемые к форсункам, и их классификация. Преимущества, недостатки и область применения отдельных классов форсунок. Основные рекомендации по выбору типа форсунок для различных огнетехнических агрегатов. Конструкции форсунок	2	2	-	7	11
5	Сжигание жидкого топлива. Закономерность распыливания и испарения капель жидкого топлива	Показатели тонины распыливания. Механизм распыливания жидкости форсунками. Особенности распыливания жидкости воздухом и паром. Основные факторы, влияющие на качество распыла механическими центробежными форсунками. Закономерности испарения капель жидкости в потоке. Основы расчёта времени испарения и траекторий движения капель в камерах сгорания. Интенсификация процессов сжигания жидкого топлива	2	2	-	8	12
6	Сжигание жидкого топлива. Основы расчёта форсунок и камер сгорания жидкого топлива	Теория механической центробежной форсунки Г.Н. Абрамовича для идеальной жидкости. Расчёт механических центробежных форсунок для реальной жидкости. Особенности расчёта пневматических форсунок высокого и низкого давлений. Рекомендации по выбору сечений мазутопроводов, паропроводов и воздухопроводов к форсункам. Оценка геометрических размеров факела распылённого жидкого топлива. Определение размеров камер сгорания	1	1	4	8	14
7	Сжигание твёрдого топлива. Слоевой метод сжигания топлива	Особенности организации слоевого процесса и основные технические схемы его осуществления. Приближенная теория выгорания и газификации слоя топлива. Особенности сжигания твёрдого топлива в псевдооживленном слое	2	2	-	8	12
8	Сжигание твёрдого топлива. Сжигание угольной пыли	Горение топливных частиц в условиях пылеугольного факела. Горение полифракционного факела в кинетической и диффузионной областях. Оценка длины пылеугольного факела. Классификация пылеугольных горелок. Основные рекомендации для проектирования пылеугольных горелок. Пути интенсификации горения твёрдого топлива	1	2	8	8	19
9	Вопросы термической переработки топлив	Механизм и кинетика взаимодействия углерода с уголекислотой и водяным	1	1	-	7	9

		паром. Динамика газообразования в слое твёрдого топлива на воздушном, паровом, паровоздушном и парокислородном дутье. Расчёт показателей газификация твёрдого топлива. Механизм неполного горения газообразного и жидкого топлива. Методы расчёта равновесного состава продуктов неполного горения при различных коэффициентах расхода воздуха. Механизм и кинетика конверсии углеводородного топлива углекислотой и водяным паром. Схемы производства эндотермических и экзотермических защитных атмосфер из энергетических топлив					
10	Особые случаи и новые направления в технике сжигания топлива	Особенности сжигания топлива на дутье, обогащённом кислородом. Пульсационное сжигание топлив. Применение ультразвука, электрических и магнитных полей для интенсификации горения. Особенности сжигания газа в контактных теплообменниках, в засыпках и насадках. Сжигание (дожигание) газа на каталитической насадке. Использование продуктов сгорания газа для отопления и вентиляции зданий. Использование энергии давления газа в турбинных горелках. Газоэлектрические горелки. Сжигание жидкого топлива с его предварительной газификацией. Сжигание жидкого топлива с помощью барботажных горелок. Особенности сжигания мазута в вихревых и циклонных камерах сгорания. Сжигание мазутных эмульсий. Сжигание мазута при предельно малых избытках воздуха. Особенности сжигания мазута и угольной пыли во встречных струях. Сжигание водоугольных суспензий.	1	1	-	9	11
11	Экспериментальные методы исследования процессов горения	Методы изучения смесеобразования в горелочных устройствах и камерах сгорания. Способы отбора усреднённых проб продуктов сгорания. Исследование полей скоростей, температур и концентраций в сечениях факела; определение аэродинамической и химической длины факела и его формы. Современные методы газового анализа. Проверка правильности газового анализа. Упрощённая методика теплотехнических испытаний огнетехнических установок. Приближённое моделирование процесса горения распылённого жидкого топлива и диффузионного газового факела. Приближённое моделирование кинетического факела. Особенности приближённого моделирования пылеугольного факела	2	2	-	8	12
12	Техника безопасности при сжигании топлив	Правила безопасного розжига горелок. Условия безопасного обслуживания агрегатов, работающих на газе, жидком топливе и угольной пыли. Защита горелок от срыва факела и проскоков пламени в смеситель. Автоматика безопасности для защиты топок при угасании пламени	1	1	-	7	9
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>90</b>	<b>144</b>

**заочная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в дисциплину	Основные тенденции развития топливного баланса России. Современное состояние газового баланса России. Основные потребители газообразного, жидкого и твёрдого топлива. Значение рационального использования топлив и основные пути его совершенствования. Задачи курса и его связь со смежными дисциплинами	1	-	-	10	11
2	Сжигание газа. Газогорелочные устройства	Основные требования, предъявляемые к газовым горелкам, их классификация и основные характеристики. Преимущества, недостатки и область применения отдельных классов горелок. Рекомендации по выбору и применению различных типов газогорелочных устройств. Конструкции горелок	1	1	-	13	15
3	Сжигание газа. Основы расчёта газогорелочных устройств и камер сгорания газа	Расчёт истечения сжимаемого и несжимаемого газа из отверстий и сопел. Основы расчёта прямооточных дутьевых горелок. Основные виды закручивающих устройств (воздушных регистров) и методы их расчёта. Расчёт распределения газовых струй в вихревых горелках. Основы расчёта инжекционных горелок. Расчёт длины кинетического факела и горелочного туннеля. Определение длины диффузионного факела и выбор габаритов камер сгорания	-	-	-	13	13
4	Сжигание жидкого топлива. Форсунки для сжигания жидкого топлива	Требования, предъявляемые к форсункам, и их классификация. Преимущества, недостатки и область применения отдельных классов форсунок. Основные рекомендации по выбору типа форсунок для различных огнетехнических агрегатов. Конструкции форсунок	1	1	-	13	15
5	Сжигание жидкого топлива. Закономерность распыливания и испарения капель жидкого топлива	Показатели тонины распыливания. Механизм распыливания жидкости форсунками. Особенности распыливания жидкости воздухом и паром. Основные факторы, влияющие на качество распыла механическими центробежными форсунками. Закономерности испарения капель жидкости в потоке. Основы расчёта времени испарения и траекторий движения капель в камерах сгорания. Интенсификация процессов сжигания жидкого топлива	-	-	-	14	14
6	Сжигание жидкого топлива. Основы расчёта форсунок и камер сгорания жидкого топлива	Теория механической центробежной форсунки Г.Н. Абрамовича для идеальной жидкости. Расчёт механических центробежных форсунок для реальной жидкости. Особенности расчёта пневматических форсунок высокого и низкого давлений. Рекомендации по выбору сечений мазутопроводов, паропроводов и воздухопроводов к форсункам. Оценка геометрических размеров факела распылённого жидкого топлива. Определение размеров камер сгорания	-	-	-	13	13
7	Сжигание твёрдого топлива. Слоевой метод сжигания топлива	Особенности организации слоевого процесса и основные технические схемы его осуществления. Приближенная теория выгорания и газификации слоя топлива. Особенности сжигания твёрдого	1	1	-	13	15

		топлива в псевдооживленном слое					
8	Сжигание твёрдого топлива. Сжигание угольной пыли	Горение топливных частиц в условиях пылеугольного факела. Горение полифракционного факела в кинетической и диффузионной областях. Оценка длины пылеугольного факела. Классификация пылеугольных горелок. Основные рекомендации для проектирования пылеугольных горелок. Пути интенсификации горения твёрдого топлива	-	-	2	13	15
9	Вопросы термической переработки топлив	Механизм и кинетика взаимодействия углерода с углекислотой и водяным паром. Динамика газообразования в слое твёрдого топлива на воздушном, паровом, паровоздушном и парокислородном дутье. Расчёт показателей газификация твёрдого топлива. Механизм неполного горения газообразного и жидкого топлива. Методы расчёта равновесного состава продуктов неполного горения при различных коэффициентах расхода воздуха. Механизм и кинетика конверсии углеводородного топлива углекислотой и водяным паром. Схемы производства эндотермических и экзотермических защитных атмосфер из энергетических топлив	-	-	-	16	16
10	Особые случаи и новые направления в технике сжигания топлива	Особенности сжигания топлива на дутье, обогащённом кислородом. Пульсационное сжигание топлив. Применение ультразвука, электрических и магнитных полей для интенсификации горения. Особенности сжигания газа в контактных теплообменниках, в засыпках и насадках. Сжигание (дожигание) газа на каталитической насадке. Использование продуктов сгорания газа для отопления и вентиляции зданий. Использование энергии давления газа в турбинных горелках. Газоэлектрические горелки. Сжигание жидкого топлива с его предварительной газификацией. Сжигание жидкого топлива с помощью барботажных горелок. Особенности сжигания мазута в вихревых и циклонных камерах сгорания. Сжигание мазутных эмульсий. Сжигание мазута при предельно малых избытках воздуха. Особенности сжигания мазута и угольной пыли во встречных струях. Сжигание водоугольных суспензий.	-	-	-	16	16
11	Экспериментальные методы исследования процессов горения	Методы изучения смесеобразования в горелочных устройствах и камерах сгорания. Способы отбора усреднённых проб продуктов сгорания. Исследование полей скоростей, температур и концентраций в сечениях факела; определение аэродинамической и химической длины факела и его формы. Современные методы газового анализа. Проверка правильности газового анализа. Упрощённая методика теплотехнических испытаний огнетехнических установок. Приближенное моделирование процесса горения распылённого жидкого топлива и диффузионного газового факела. Приближенное моделирование кинетического факела. Особенности	-	1	-	15	16

		приближенного моделирования пылеугольного факела					
12	Техника безопасности при сжигании топлив	Правила безопасного розжига горелок. Условия безопасного обслуживания агрегатов, работающих на газе, жидком топливе и угольной пыли. Защита горелок от срыва факела и проскоков пламени в смеситель. Автоматика безопасности для защиты топок при угасании пламени	-	-	-	12	12
<b>Итого</b>			<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>161</b>	<b>171</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Определение влажности пылеугольного топлива.

Лабораторная работа № 2. Определение зольности твёрдого пылеугольного топлива.

Лабораторная работа № 3. Исследование процесса горения различных видов топлив на ЭВМ.

Лабораторная работа № 4. Изучение конструкции и принципа действия форсунки ФУЗ «Факел».

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Примерная тематика курсового проекта: «Расчёт горения твёрдого и газообразного топлив».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- определение теплоты сгорания различных видов топлив;
- составление материального баланса процесса горения;
- составление теплового баланса процесса горения;
- расчёт кинетики горения газообразного топлива;
- определение критических скоростей псевдооживления при сжигании твёрдого топлива.

твёрдого топлива.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчётно-пояснительную записку.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
-------------	---	---------------------	------------	---------------

ПК-3	знать основные виды промышленного топлива, его состав и маркировку, основные термодимические уравнения полного и неполного горения, кинетику процесса горения, особенности сжигания различных видов топлива	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь составлять материальный баланс горения, составлять тепловой баланс горения, производить выбор и расчёт устройств сжигания топлива	Решение стандартных практических задач, выполнение курсового проекта, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами теоретического (расчётного) и экспериментального определения параметров топлива и процесса горения, навыками выбора и расчёта топливопотребляющих устройств	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения, 6 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	знать основные виды промышленного топлива, его состав и маркировку, основные термодимические уравнения полного и неполного горения, кинетику процесса горения, особенности сжигания различных видов топлива	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь составлять материальный баланс горения,	Решение стандартных практических	Задачи решены в полном	Продемонстрирован верный ход	Продемонстрирован верный ход	Задачи не решены

составлять тепловой баланс горения, производить выбор и расчёт устройств сжигания топлива	задач	объеме и получены верные ответы	решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	решения в большинстве задач	
владеть методами теоретического (расчётного) и экспериментального определения параметров топлива и процесса горения, навыками выбора и расчёта топливо-потребляющих устройств	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- Как записывается элементарный состав горючей массы топлива?
  - $C+H+S_{o+k}+N+O+A+W = 100 \%$ ;
  - $C+H+S_{o+k}+N+O+A = 100 \%$ ;
  - $C+H+S_{o+k}+N+O = 100 \%$ ;
  - $C+H+S_o+N+O = 100 \%$ .
- Какой компонент топлива имеет наибольшую теплоту сгорания?
  - углерод;
  - водород;
  - сера;
  - азот.
- При какой температуре определяется аналитическая влажность топлива?
  - 50 ... 60 °С;
  - 80 ... 90 °С;
  - 100 ... 110 °С;
  - 150 ... 160 °С.
- При какой температуре определяется аналитическая зольность твёрдого топлива?
  - 500 ... 600 °С;
  - 600 ... 700 °С;
  - 700 ... 800 °С;
  - 800 ... 900 °С.
- Какую влагу, входящую в состав топлива, нельзя удалить в процессе сушки?
  - внешнюю;
  - внутреннюю;
  - каллоидную;
  - гидратную.
- При какой температуре определяют выход летучих топлив?
  - 700 °С;
  - 750 °С;

- 3) 800 °С;  
4) 850 °С.
7. В течение какого отрезка времени определяют вход летучих топлив?  
1) 5 мин.;  
2) 6 мин.;  
3) 7 мин.;  
4) 8 мин.
8. От чего зависит теплота сгорания топлива?  
1) от состава топлива;  
2) от вида окислителя;  
3) от расхода окислителя;  
4) от температуры топлива.
9. Какое количество теплоты выделяются в калориметрической бомбе?  
1) равное  $Q_{нр}$ ;  
2) меньше, чем  $Q_{нр}$ ;  
3) равное  $Q_{вр}$ ;  
4) больше, чем  $Q_{вр}$ .
10. Чему равна теплота сгорания условного топлива?  
1) 7000 кДж/кг;  
2) 7000 кДж/м<sup>3</sup>;  
3) 29300 кДж/кг;  
4) 29300 кДж/м<sup>3</sup>.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Задача 1. Для мазута, имеющего состав  $C^P = 77,6 \%$ ;  $H^P = 9,51 \%$ ;  $O^P = 0,18 \%$ ;  $S^P = 1,88 \%$ ;  $N^P = 0,54 \%$ ;  $W^P = 10 \%$  определить теоретический и действительный объёмы воздуха и продуктов сгорания, если коэффициент избытка воздуха равен 1,25.

Задача 2. Для сухого природного газа, имеющего состав  $CH_4 = 89,9 \%$ ;  $C_2H_6 = 3,1 \%$ ;  $C_3H_8 = 0,9 \%$ ;  $C_4H_{10} = 0,4 \%$ ;  $N_2 = 5,2 \%$ ;  $CO_2 = 0,3 \%$ ;  $O_2 = 0,2 \%$  определить теоретический и действительный объёмы воздуха и продуктов сгорания, если коэффициент избытка воздуха равен 1,10.

Задача 3. Для мазута, имеющего состав  $C^P = 77,6 \%$ ;  $H^P = 9,51 \%$ ;  $O^P = 0,18 \%$ ;  $S^P = 1,88 \%$ ;  $N^P = 0,54 \%$ ;  $W^P = 10 \%$  построить  $h-t$  диаграмму и определить калориметрическую температуру горения топлива, если компоненты топлива не подогреваются.

Задача 4. Для смеси газов, состоящей из 60 % природного газа состава  $CH_4 = 98 \%$ ;  $C_2H_6 = 0,4 \%$ ;  $C_3H_8 = 0,2 \%$ ;  $N_2 = 1,3 \%$ ;  $CO_2 = 0,1 \%$  и 40 % природного газа состава  $CH_4 = 25,5 \%$ ;  $H_2S = 2,3 \%$ ;  $CO = 6,5 \%$ ;  $H_2 = 59,5 \%$ ;  $N_2 = 3,3 \%$ ;  $CO_2 = 2,4 \%$ ;  $O_2 = 0,5 \%$  определить теоретический и действительный объёмы воздуха и продуктов сгорания, если коэффициент избытка воздуха равен 1,10.

Задача 5. Из результатов химического анализа состава продуктов сгорания на выходе из топки получены следующие данные:  $O_2 = 5 \%$ ;  $CO = 1 \%$ ;  $H_2 = 2 \%$ ;  $CH_4 = 1,75 \%$ . Определить коэффициент избытка воздуха.

Задача 6. После проведения химического анализа состава продуктов сгорания за топкой и на выходе из котла получены следующие данные:  $O_2^T = 4 \%$ ;  $CO^T = 1,5 \%$ ;  $H_2^T = 1 \%$ ;  $O_2^{yx} = 6 \%$ ;  $CO^{yx} = 1 \%$ ;  $H_2^{yx} = 0,5 \%$ . Определить присосы воздуха в котле.

Задача 7. Произвести расчёт материального баланса процесса неполного горения кокса следующего состава:  $C^P = 95,5 \%$ ;  $H^P = 0,4 \%$ ;  $O^P = 0,9 \%$ ;  $S^P = 1 \%$ ;  $N^P = 1,2 \%$ ;  $W^P = 1 \%$ , если  $y_H = 0,28$ .

Задача 8. Для сухого природного газа, имеющего состав  $CH_4 = 89,9 \%$ ;  $C_2H_6 = 3,1 \%$ ;  $C_3H_8 = 0,9 \%$ ;  $C_4H_{10} = 0,4 \%$ ;  $N_2 = 5,2 \%$ ;  $CO_2 = 0,3 \%$ ;  $O_2 = 0,2 \%$  построить  $h-t$  диаграмму и определить калориметрическую температуру горения топлива, если

- компоненты топлива не подогреваются;
- воздух подогревается до температуры  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задача 1. Определить состав рабочей массы мазута, если задан состав его горючей массы:  $C^Г = 85 \%$ ;  $H^Г = 2,6 \%$ ;  $O^Г = 3 \%$ ;  $S^Г = 8,8 \%$ ;  $N^Г = 0,6 \%$  и известно, что рабочая влажность  $W^P = 10 \%$ , а зольность сухой массы  $A^c = 0,3 \%$ .

Задача 2. Определить состав рабочей массы топлива, если в справочнике задан следующий состав:  $C^P = 38,6 \%$ ;  $H^P = 2,6 \%$ ;  $O^P = 3,1 \%$ ;  $S^P = 3,8 \%$ ;  $N^P = 0,8 \%$ ;  $A^P = 40,1 \%$ ;  $W^P = 11,0 \%$ , а технический анализ показал, что в действительности влажность составляет  $W^P = 16 \%$ .

Задача 3. Определить химический состав влажного природного газа, если известен его сухой состав:  $CH_4 = 89 \%$ ;  $C_2H_6 = 3,1 \%$ ;  $C_3H_8 = 1,3 \%$ ;  $N_2 = 5,7 \%$ , а влагосодержание равно  $d_r = 63,1 \text{ г/м}^3$ .

Задача 4. Вычислить высшую и низшую теплоты сгорания мазута, имеющего следующий состав:  $C_r = 86,5 \%$ ;  $H_r = 10,6 \%$ ;  $O_r = 0,2 \%$ ;  $S_r = 2,1 \%$ ;  $N_r = 0,6 \%$ ;  $W_p = 10 \%$ ;  $A_p = 0,3 \%$ .

Задача 5. Вычислить теплоту сгорания сухого природного газа, имеющего следующий состав:  $CH_4 = 89,9 \%$ ;  $C_2H_6 = 3,1 \%$ ;  $C_3H_8 = 0,9 \%$ ;  $C_4H_{10} = 0,4 \%$ ;  $N_2 = 5,2 \%$ ;  $CO_2 = 0,3 \%$ ;  $O_2 = 0,2 \%$ .

Задача 6. Определить низшую теплоту сгорания угля Донбасского месторождения марки ДР ( $C^P = 49,3 \%$ ;  $H^P = 3,6 \%$ ;  $O^P = 8,3 \%$ ;  $S^P = 3 \%$ ;  $N^P = 1 \%$ ;  $A^P = 21,8$ ;  $W^P = 13 \%$ ), если технический анализ показал, что влажность его рабочей массы составляет  $18 \%$ , а зольность –  $13 \%$ .

Задача 7. Определить теплоту сгорания природного газа газопровода Минск – Москва ( $CH_4 = 92,8 \%$ ;  $C_2H_6 = 3,9 \%$ ;  $C_3H_8 = 1,1 \%$ ;  $C_4H_{10} = 0,4 \%$ ;  $C_5H_{12} = 0,1 \%$ ;  $N_2 = 1,6 \%$ ;  $CO_2 = 0,1 \%$ ), если технический анализ показал, что его влагосодержание составляет  $d_r = 60 \text{ г/м}^3$ .

Задача 8. Определить теплоту сгорания смеси газов, состоящий из  $60 \%$  природного газа состава:  $CH_4 = 98 \%$ ;  $C_2H_6 = 0,4 \%$ ;  $C_3H_8 = 0,2 \%$ ;  $N_2 = 1,3 \%$ ;  $CO_2 = 0,1 \%$  и  $40 \%$  природного газа состава:  $CH_4 = 25,5 \%$ ;  $H_2S = 2,3 \%$ ;  $CO = 6,5 \%$ ;  $H_2 = 59,5 \%$ ;  $N_2 = 3,3 \%$ ;  $CO_2 = 2,4 \%$ ;  $O_2 = 0,5 \%$ .

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

Не предусмотрено учебным планом.

#### **7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**

1. Определение понятия «топливо». Общая классификация топлива. Основные потребители газообразного, жидкого и твёрдого топлива.
2. Топливный баланс страны и перспективы его развития. Резервы экономии органического топлива.
3. Основные требования, предъявляемые к газовым горелкам, их классификация и основные характеристики.
4. Преимущества, недостатки, область применения, выбор отдельных классов горелок.
5. Конструкции газогорелочных устройств.
6. Особенности расчёта истечения сжимаемого и несжимаемого газа из отверстий и сопел.
7. Основы расчёта прямооточных дутьевых горелок.
8. Основы расчёта инжекционных горелок.
9. Расчёт длины кинетического и диффузионного факелов. Выбор габаритов камер сгорания.
10. Основные требования, предъявляемые к форсункам, и их классификация и основные характеристики.
11. Преимущества, недостатки и область применения отдельных классов форсунок.
12. Конструкции форсунок.
13. Механизм распыливания жидкости форсунками.
14. Закономерности испарения капель жидкого топлива в камерах сгорания. Интенсификация процессов сжигания жидкого топлива.
15. Расчёт механических центробежных форсунок для идеальных и реальных жидких топлив.
16. Рекомендации по выбору сечений мазутопроводов, паропроводов и воздухопроводов к форсункам.
17. Оценка геометрических размеров факела распылённого жидкого топлива. Определение размеров камер сгорания.
18. Процесс слоевого сжигания твёрдого топлива и основные технические схемы его осуществления.
19. Особенности сжигания твёрдого топлива в псевдооживленном слое.
20. Особенности пылеугольного сжигания твёрдого топлива. Оценка длины пылеугольного факела.
21. Классификация пылеугольных горелок. Рекомендации для проектирования пылеугольных горелок.
22. Диссоциация продуктов сгорания.
23. Газообразование в слое твёрдого топлива на воздушном, паровом, паровоздушном и парокислородном дутье. Расчёт показателей его газификация.
24. Механизм неполного горения газообразного и жидкого топлива.
25. Механизм и кинетика конверсии углеводородного топлива

углекислотой и водяным паром.

26. Схемы производства эндотермических и экзотермических защитных атмосфер из энергетических топлив.

27. Особенности пульсационного и дутьевого (на кислороде) сжигания топлив.

28. Применение ультразвука, электрических и магнитных полей для интенсификации горения.

29. Особенности сжигания газа в контактных теплообменниках, в засыпках и насадках.

30. Использование энергии давления газа в турбинных горелках.

31. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения газоэлектрических горелок.

32. Сжигание жидкого топлива с его предварительной газификацией и с помощью барботажных горелок.

33. Сжигание мазута в вихревых и циклонных камерах сгорания.

34. Сжигание мазутных эмульсий. Сжигание мазута при предельно малых избытках воздуха.

35. Особенности сжигания мазута и угольной пыли во встречных струях. Сжигание водоугольных суспензий.

36. Смесеобразование в горелочных устройствах и камерах сгорания.

37. Исследование полей скоростей, температур и концентраций в сечениях факела. Определение аэродинамической и химической длины факела и его формы.

38. Методика теплотехнических испытаний разных огнетехнических установок.

39. Приближенное математическое моделирование процесса горения распыленного жидкого топлива и диффузионного газового факела.

40. Приближенное математическое моделирование кинетического факела и пылеугольного факелов.

41. Условия безопасного обслуживания агрегатов, работающих на газе, жидком топливе и угольной пыли.

42. Правила безопасного розжига горелок. Защита горелок от срыва факела и проскоков пламени в смеситель.

43. Автоматика безопасности для защиты топок при угасании пламени.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и стандартную или прикладную задачу.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент правильно ответил на менее 4 вопросов и/или не решил задачу.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент правильно ответил на 4-6 вопросов и показал верный ход решения задачи.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент правильно ответил на 7-8 вопросов и получил верный ответ при решении задачи.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент правильно ответил на 9-10 вопросов и получил верный ответ при решении задачи.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение в дисциплину	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
2	Сжигание газа. Газогорелочные устройства	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач, курсовой проект, защита лабораторных работ
3	Сжигание газа. Основы расчёта газогорелочных устройств и камер сгорания газа	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач, курсовой проект
4	Сжигание жидкого топлива. Форсунки для сжигания жидкого топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
5	Сжигание жидкого топлива. Закономерность распыливания и испарения капель жидкого топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
6	Сжигание жидкого топлива. Основы расчёта форсунок и камер сгорания жидкого топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач, защита лабораторных работ
7	Сжигание твёрдого топлива. Слоевой метод сжигания топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач, курсовой проект, защита лабораторных работ
8	Сжигание твёрдого топлива. Сжигание угольной пыли	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач, курсовой проект
9	Вопросы термической переработки топлив	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
10	Особые случаи и новые направления в технике сжигания топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
11	Экспериментальные методы исследования процессов горения	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
12	Техника безопасности при сжигании топлив	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи

компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Топливо и теория горения: учебное пособие / А. В. Бараков, А. А. Надеев, Д. А. Прутских, В. Ю. Дубанин; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 132 с.

2. Топливо и теория горения: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Промышленная теплоэнергетика») всех форм обучения / А. В. Бараков, А. А. Надеев. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 24 с.

3. Надеев, А. А. Топливо и теория горения: практикум / А. А. Надеев, А. В. Бараков. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 78 с.

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

#### **8.2.1 Перечень ресурсов сети «Интернет»**

- Российское образование. Федеральный портал. <http://www.edu.ru>;
- Образовательный портал ВГТУ <https://old.education.cchgeu.ru>;
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»: <http://window.edu.ru>;
- Проект ВГТУ:Знания: <https://wiki.cchgeu.ru>.
- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru>;
- Единая система конструкторской документации. URL: [https://standartgost.ru/0/2871-edinaya\\_sistema\\_konstruktorskoy\\_dokumentatsii](https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoy_dokumentatsii);
- Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система. URL: [www1.fips.ru](http://www1.fips.ru);

- Национальная электронная библиотека: [elibrary.ru](http://elibrary.ru);
- Информационный портал Temperatures.ru: <http://temperatures.ru>.

### **8.2.2 Перечень информационных технологий**

- Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic;
- OpenOffice;
- Adobe Acrobat Reader;
- SMath Studio;
- Компас-График LT;
- Internet explorer.

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащённая оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
2. Дисплейный класс, оснащённый компьютерными программами для проведения лабораторного практикума.
3. Учебная лаборатория «Топливо и теория горения» для выполнения лабораторных работ.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Сжигание и термическая переработка топлива» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков составления материального и теплового балансов процесса горения топлива, определения температуры горения, расчёта различных топливопотребляющих устройств. Занятия проводятся путём решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий,

	словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--