

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»



Декан факультета энергетических систем Бурковский А.В.  
07 августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Топливо и теория горения»

**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** 2018

Автор программы

/Барakov А.В./

Заведующий кафедрой  
теоретической и  
промышленной  
теплоэнергетики

/Портнов В.В./

Руководитель ОПОП

/Дахин С.В./

Воронеж 2021

## 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 теплопотребляющих 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 «Топливо и теория горения» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Топливо и теория горения» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - Способен проводить расчёты 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 трудоёмкость дисциплины «Топливо и теория горения» составляет 5 з.е.

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

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

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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

#### Очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц.	Прак. зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час.
1	Введение в дисциплину.	Определение понятия «топливо». Общая классификация топлива. Структура и перспективы развития топливного баланса России. Понятие процесса «горение». Роль отечественных и зарубежных учёных в развитии теории горения. Задачи и содержание курса.	2	-	-	1	3
2	Состав топлива.	Происхождение твёрдого, жидкого и газообразного ископаемого топлива, теплотехническая характеристика основных элементов, входящих в состав топлива. Влага и минеральные примеси топлива, их влияние на качество топлива. Выход летучих и кокса. Рабочая, сухая, горючая и органическая массы топлива. Формулы пересчёта состава топлива с одной массы на другую.	2	2	10	2	16
3	Теплотехнические характеристики топлива.	Понятие о теплоте сгорания. Высшая и низшая теплоты сгорания. Расчётные и экспериментальные методы определения теплоты сгорания. Закон постоянства сумм теплот сгорания. Формулы пересчёта теплот сгорания с одной массы топлива на другую. Условное топливо. Приведённые характеристики топлива. Методы проведения технического анализа твёрдого топлива.	2	4	-	4	10
4	Классификация и маркировка твёрдого топлива.	Бурые угли, каменные угли. Антрациты. Торф. Горючие сланцы. Краткие сведения об искусственном твёрдом топливе. Термическая переработка твёрдого топлива.	2	-	-	2	4
5	Классификация и маркировка жидкого и газообразного топлива.	Нефть. Краткие сведения о составе, добыче и переработке нефти. Дистиллированное жидкое топливо. Мазут. Маркировка и основные показатели мазутов, нормируемые ГОСТом. Температура вспышки и воспламенения. Другие виды жидкого топлива. Природные и попутные газы. Структура газового баланса России и перспективы его развития. Искусственные горючие газы, их получение и использование. Физико-химические способы получения искусственного топлива.	2	4	-	4	10
6	Материальный баланс процесса горения.	Закон кратных отношений Дальтона. Стехиометрические уравнения горения элементов, входящих в состав топлива. Теоретический расход кислорода и воздуха. Коэффициент избытка воздуха. Определение коэффициента избытка воздуха по составу продуктов сгорания. Состав и выход продуктов сгорания.	2	2	-	3	7
7	Расчёт неполного горения.	Основное уравнение горения. Топливный коэффициент Бунте и максимальное содержание трёхатомных газов в продуктах сгорания. Уравнение неполного горения. Определение содержания окиси	2	2	-	4	8

		углерода в продуктах сгорания. Газификация твёрдого топлива.					
8	Тепловой баланс процесса горения.	Калориметрическая температура и жаропроизводительность топлива. Диссоциация продуктов сгорания. Теоретическая и действительная температуры горения.	2	4	-	2	8
9	Расчёт горения топлива.	Энтальпия продуктов сгорания. h-t диаграмма продуктов сгорания. Расчёт горения на ЭВМ. Тепловой баланс промышленной печи.	2	2	4	4	12
10	Кинетика процесса горения.	Принцип Ле-Шателье-Брауна и закон действующих масс. Понятие о скорости химической реакции. Зависимость скорости химической реакции от концентрации реагирующих веществ. Зависимость скорости химической реакции от давления и температуры. Закон Аррениуса. Цепные реакции горения. Кинетика цепных реакций.	2	2	-	5	9
11	Самовоспламенение и зажигание горючей смеси.	Самовоспламенение и зажигание горючей смеси. Тепловая теория самовоспламенения. Температура предварительного разогрева. Концентрационные границы зажигания. Влияние на границы зажигания температуры, давления и примесей.	2	2	-	2	6
12	Распространение пламени в горючих смесях.	Распространение пламени в газовых смесях. Нормальное горение и нормальная скорость распространения пламени. Массовая скорость горения. Наблюдаемая скорость распространения пламени. Закон косинуса. Экспериментальное определение скорости распространения пламени методом горелки. Влияние состава, давления, температуры горючей смеси на скорость нормального распространения пламени. Распространение пламени в турбулентном потоке горючей смеси. Математическое описание и решение соотношения молекулярной и турбулентной диффузии.	2	4	-	5	11
13	Особенности горения однородной горючей смеси.	Горение газов. Горение однородной горючей смеси при ламинарном и турбулентном её движении. Механизм формирования кинетического факела. Пределы устойчивости горения по скорости горючей смеси.	2	1	-	2	5
14	Диффузионное сжигание газов.	Горение газов с недостаточным количеством воздуха (смешанный принцип сжигания). Устойчивость горения газового факела. Стабилизация и интенсификация сжигания газообразных топлив. Общая классификация горения газов.	2	1	-	2	5
15	Устройства для сжигания газообразного топлива.	Классификация горелок. Горелки с полным предварительным смешением. Горелки с внешним смешением. Горелки для создания косвенного радиационного теплообмена. Конструкции горелок.	2	-	-	3	5
16	Особенности сжигания жидкого топлива.	Горение жидкого топлива. Воспламенение и механизм горения. Горение капли жидкого топлива. Сжигание жидкого топлива в факеле. Интенсификация процессов сжигания жидкого топлива.	2	2	-	2	6
17	Устройства для сжигания жидкого топлива.	Классификация форсунок. Механические форсунки. Пневматические форсунки высокого и низкого давления. Ротационные форсунки. Достоинства,	2	-	4	2	8

		недостатки и область применения различных форсунок. Конструкции форсунок.					
18	Устройства для сжигания твёрдого топлива	Горение твёрдого топлива. Основные реакции горения и газификации. Механизм и кинетика горения углерода. Роль вторичных реакций на кинетику горения углерода. Роль летучих в процессе горения твёрдого топлива. Горение топливных частиц в условиях пылевидного факела. Факторы, определяющие длину пылеугольного факела. Горение и газификация угля в слое. Динамика образования и протяжённость кислородной и восстановительной зон. Пути интенсификации горения твёрдого топлива. Методы термической переработки твёрдого топлива.	2	4	-	5	11
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>54</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.	Определение понятия «топливо». Общая классификация топлива. Структура и перспективы развития топливного баланса России. Понятие процесса «горение». Роль отечественных и зарубежных учёных в развитии теории горения. Задачи и содержание курса.	-	-	-	7	7
2	Состав топлива.	Происхождение твёрдого, жидкого и газообразного ископаемого топлива, теплотехническая характеристика основных элементов, входящих в состав топлива. Влага и минеральные примеси топлива, их влияние на качество топлива. Выход летучих и кокса. Рабочая, сухая, горючая и органическая массы топлива. Формулы пересчёта состава топлива с одной массы на другую.	1	1	2	8	12
3	Теплотехнические характеристики топлива.	Понятие о теплоте сгорания. Высшая и низшая теплоты сгорания. Расчётные и экспериментальные методы определения теплоты сгорания. Закон постоянства сумм теплот сгорания. Формулы пересчёта теплот сгорания с одной массы топлива на другую. Условное топливо. Приведённые характеристики топлива. Методы проведения технического анализа твёрдого топлива.	1	1	-	10	12
4	Классификация и маркировка твёрдого топлива.	Бурые угли, каменные угли. Антрациты. Торф. Горючие сланцы. Краткие сведения об искусственном твёрдом топливе. Термическая переработка твёрдого топлива.	-	-	-	9	9
5	Классификация и маркировка жидкого и газообразного топлива.	Нефть. Краткие сведения о составе, добыче и переработке нефти. Дистиллированное жидкое топливо. Мазут. Маркировка и основные показатели мазутов, нормируемые ГОСТом. Температура вспышки и воспламенения. Другие виды жидкого топлива. Природные и попутные газы. Структура газового баланса России и перспективы его развития. Искусственные горючие газы, их получение и использование. Физико-химические способы получения	-	-	-	11	11

		искусственного топлива.					
6	Материальный баланс процесса горения.	Закон кратных отношений Дальтона. Стехиометрические уравнения горения элементов, входящих в состав топлива. Теоретический расход кислорода и воздуха. Коэффициент избытка воздуха. Определение коэффициента избытка воздуха по составу продуктов сгорания. Состав и выход продуктов сгорания.	-	-	-	8	8
7	Расчёт неполного горения.	Основное уравнение горения. Топливный коэффициент Бунте и максимальное содержание трёхатомных газов в продуктах сгорания. Уравнение неполного горения. Определение содержания окиси углерода в продуктах сгорания. Газификация твёрдого топлива.	-	-	-	8	8
8	Тепловой баланс процесса горения.	Калориметрическая температура и жаропроизводительность топлива. Диссоциация продуктов сгорания. Теоретическая и действительная температуры горения.	1	1	-	7	9
9	Расчёт горения топлива.	Энтальпия продуктов сгорания. h-t диаграмма продуктов сгорания. Расчёт горения на ЭВМ. Тепловой баланс промышленной печи.	1	1	-	7	9
10	Кинетика процесса горения.	Принцип Ле-Шателье-Брауна и закон действующих масс. Понятие о скорости химической реакции. Зависимость скорости химической реакции от концентрации реагирующих веществ. Зависимость скорости химической реакции от давления и температуры. Закон Аррениуса. Цепные реакции горения. Кинетика цепных реакций.	-	-	-	9	9
11	Самовоспламенение и зажигание горючей смеси.	Самовоспламенение и зажигание горючей смеси. Тепловая теория самовоспламенения. Температура предварительного разогрева. Концентрационные границы зажигания. Влияние на границы зажигания температуры, давления и примесей.	-	-	-	8	8
12	Распространение пламени в горючих смесях.	Распространение пламени в газовых смесях. Нормальное горение и нормальная скорость распространения пламени. Массовая скорость горения. Наблюдаемая скорость распространения пламени. Закон косинуса. Экспериментальное определение скорости распространения пламени методом горелки. Влияние состава, давления, температуры горючей смеси на скорость нормального распространения пламени. Распространение пламени в турбулентном потоке горючей смеси. Математическое описание и решение соотношения молекулярной и турбулентной диффузии.	-	-	-	14	14
13	Особенности горения однородной горючей смеси.	Горение газов. Горение однородной горючей смеси при ламинарном и турбулентном её движении. Механизм формирования кинетического факела. Пределы устойчивости горения по скорости горючей смеси.	-	-	-	7	7
14	Диффузионное сжигание газов.	Горение газов с недостаточным количеством воздуха (смешанный принцип сжигания). Устойчивость горения газового факела. Стабилизация и интенсификация сжигания газообразных топлив. Общая классификация горения газов.	-	-	-	7	7
15	Устройства для	Классификация горелок. Горелки с полным	-	-	-	7	7

	сжигания газообразного топлива.	предварительным смешением. Горелки с внешним смешением. Горелки для создания косвенного радиационного теплообмена. Конструкции горелок.					
16	Особенности сжигания жидкого топлива.	Горение жидкого топлива. Воспламенение и механизм горения. Горение капли жидкого топлива. Сжигание жидкого топлива в факеле. Интенсификация процессов сжигания жидкого топлива.	-	-	-	8	8
17	Устройства для сжигания жидкого топлива.	Классификация форсунок. Механические форсунки. Пневматические форсунки высокого и низкого давления. Ротационные форсунки. Достоинства, недостатки и область применения различных форсунок. Конструкции форсунок.	-	-	-	10	10
18	Устройства для сжигания твёрдого топлива	Горение твёрдого топлива. Основные реакции горения и газификации. Механизм и кинетика горения углерода. Роль вторичных реакций на кинетику горения углерода. Роль летучих в процессе горения твёрдого топлива. Горение топливных частиц в условиях пылевидного факела. Факторы, определяющие длину пылеугольного факела. Горение и газификация угля в слое. Динамика образования и протяжённость кислородной и восстановительной зон. Пути интенсификации горения твёрдого топлива. Методы термической переработки твёрдого топлива.	-	-	-	16	16
<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 топлива.

Лабораторная работа № 2. Определение зольности твёрдого топлива.

Лабораторная работа № 3. Исследование процесса горения топлива на ЭВМ.

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

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 5 семестре для очной формы обучения, в 6 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Расчёт горения топлива».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- определение теплоты сгорания твёрдого и газообразного топлива;
- составление материального баланса процесса горения;
- составление теплового баланса процесса горения;
- расчёт кинетики горения газообразного топлива;
- определение критических скоростей псевдооживления.



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».

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Аттестован</b>	<b>Не аттестован</b>
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	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, написание курсового проекта, работа в средах 2D-проектирования	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 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 термохимические 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, составлять тепловой баланс горения, производить выбор и расчёт устройств сжигания топлива	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объёме 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
	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	Задачи решены в полном объёме 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 ( типовые 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;

- 4) 150 ... 160 °С.
4. При какой температуре определяется аналитическая зольность твёрдого топлива?
- 1) 500 ... 600 °С;
  - 2) 600 ... 700 °С;
  - 3) 700 ... 800 °С;
  - 4) 800 ... 900 °С.
5. Какую влагу, входящую в состав топлива, нельзя удалить в процессе сушки?
- 1) внешнюю;
  - 2) внутреннюю;
  - 3) коллоидную;
  - 4) гидратную.
6. При какой температуре определяют вход летучих топлив?
- 1) 700 °С;
  - 2) 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

- а) компоненты топлива не подогреваются;
- б) 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:  $C^T = 85 \%$ ;  $H^T = 2,6 \%$ ;  $O^T = 3 \%$ ;  $S^T = 8,8 \%$ ;  $N^T = 0,6 \%$  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  $d_T = 63,1 \text{ г/м}^3$ .

Задача 4. Вычислить высшую и низшую теплоты сгорания мазута, имеющего следующий состав:  $C_T = 86,5 \%$ ;  $H_T = 10,6 \%$ ;  $O_T = 0,2 \%$ ;  $S_T = 2,1 \%$ ;  $N_T = 0,6 \%$ ;  $W_p = 10 \%$ ;  $A_p = 0,3 \%$ .

Задача 5. Вычислить теплоту сгорания сухого природного газа,

имеющего следующий состав:  $\text{CH}_4 = 89,9 \%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,1 \%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,9 \%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,4 \%$ ;  $\text{N}_2 = 5,2 \%$ ;  $\text{CO}_2 = 0,3 \%$ ;  $\text{O}_2 = 0,2 \%$ .

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

Задача 7. Определить теплоту сгорания природного газа газопровода Минск – Москва ( $\text{CH}_4 = 92,8 \%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,9 \%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 1,1 \%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,4 \%$ ;  $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,1 \%$ ;  $\text{N}_2 = 1,6 \%$ ;  $\text{CO}_2 = 0,1 \%$ ), 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:  $\text{CH}_4 = 98 \%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,4 \%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,2 \%$ ;  $\text{N}_2 = 1,3 \%$ ;  $\text{CO}_2 = 0,1 \%$  и  $40 \%$  природного газа состава:  $\text{CH}_4 = 25,5 \%$ ;  $\text{H}_2\text{S} = 2,3 \%$ ;  $\text{CO} = 6,5 \%$ ;  $\text{H}_2 = 59,5 \%$ ;  $\text{N}_2 = 3,3 \%$ ;  $\text{CO}_2 = 2,4 \%$ ;  $\text{O}_2 = 0,5 \%$ .

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

Не предусмотрено учебным планом.

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

1. Определение понятия «топливо». Общая классификация топлива.
2. Топливный баланс страны и перспективы его развития. Резервы экономии органического топлива.
3. Происхождение основных видов ископаемого топлива.
4. Состав горючей массы топлива.
5. Балластирующие компоненты топлива.
6. Расчётные массы топлива.
7. Выход летучих веществ и получение кокса.
8. Теплота сгорания топлива. Методы её определения.
9. Условное топливо. Приведённые характеристики.
10. Классификация углей.
11. Способы получения искусственного твёрдого топлива.
12. Нефть и нефтепродукты.
13. Мазут.
14. Основные виды газообразного топлива.
15. Теоретический расход воздуха.
16. Коэффициент избытка воздуха.
17. Объем продуктов сгорания.
18. Расчёт неполного горения.
19. Температура горения топлива.
20. Энтальпия продуктов сгорания.  $h-t$  диаграмма.
21. Расчёт горения на ЭВМ.
22. Тепловой баланс топливопотребляющего устройства.
23. Скорость химической реакции. Цепные реакции.
24. Самовоспламенение топлива.
25. Зажигание топлива. Концентрационные границы зажигания.

26. Нормальное и турбулентное распространение пламени.
27. Закон косинусов. Определение нормальной скорости распространения пламени методом горелки.
28. Горение однородной газовой смеси.
29. Диффузионное горение газов.
30. Интенсификация и стабилизация процесса горения газов.
31. Горелки, применяемые при равномерно-распределенном и прямом радиационных режимах работы печей.
32. Горелки, применяемые при косвенном радиационном режиме работы печей.
33. Радиантные трубы.
34. Горение капли жидкого топлива. Время полного выгорания капли.
35. Устройства для сжигания жидкого топлива.
36. Особенности сжигания мазута.
37. Теоретические основы и методы сжигания твёрдого топлива.
38. Камерное сжигание твёрдого топлива.
39. Сжигание твёрдого топлива в плотном слое.
40. Сжигание твёрдого топлива в кипящем слое.
41. Термическая переработка твёрдого топлива.
42. Другие способы генерации теплоты.

#### **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	Состав топлива	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, защита лабораторных работ, решение задач

3	Теплотехнические характеристики топлива	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
4	Классификация и маркировка твёрдого топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
5	Классификация и маркировка жидкого и газообразного топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
6	Материальный баланс процесса горения	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
7	Расчёт неполного горения	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
8	Тепловой баланс процесса горения	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
9	Расчёт горения топлива	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, защита лабораторных работ, решение задач
10	Кинетика процесса горения	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
11	Самовоспламенение и зажигание горючей смеси	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
12	Распространение пламени в горючих смесях	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
13	Особенности горения однородной горючей смеси	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
14	Диффузионное сжигание газов	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект, решение задач
15	Устройства для сжигания газообразного топлива	ПК-3	Тест, экзамен, курсовой проект
16	Особенности сжигания жидкого топлива	ПК-3	Тест, экзамен, решение задач
17	Устройства для сжигания жидкого топлива	ПК-3	Тест, экзамен, защита лабораторных работ, решение задач
18	Устройства для сжигания твёрдого топлива	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 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 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 курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к проекту, 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. Бараков, А.В. Основы практической теории горения: учебное пособие / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Д.А. Прутских. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. – 122 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 Программное обеспечение**

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

#### **8.2.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

- Российское образование. Федеральный портал. <http://www.edu.ru>;
- Образовательный портал ВГТУ <https://education.cchgeu.ru>.

#### **8.2.3 Информационные справочные системы**

- <http://window.edu.ru>;
- <https://wiki.cchgeu.ru>.

#### **8.2.4 Современные профессиональные базы данных**

– 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. URL: [elibrary.ru](http://elibrary.ru);  
– Информационный портал Temperatures.ru: <http://temperatures.ru>.

## **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», содержащая электропечь ЭКСП-10В, шкаф сушильный ШС-80-01 СПУ.

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

По дисциплине «Топливо и теория горения» 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, приведёнными 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, проведением тестирования. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

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 удаётся 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 расчётно-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 расчётов;</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 семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за неделю до промежуточной аттестации, проводимой один раз за семестр.