

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Декан факультета Энергетика и систем управления Бурковский А.В.
«31» августа 2021 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 2018

Автор программы

/Бариков 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 «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 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 «Сжигание и термическая переработка топлива» составляет 5 з.е.

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам занятий.

Очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	90	90
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Курсовой проект	+	+
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
Аудиторные занятия (всего)	10	10
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	2	2
Самостоятельная работа	161	161
Курсовой проект	+	+
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.	Практ. 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	2	-	-	4	6
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	2	3	6	4	15
3	Сжигание газа. Основы расчёта газогорелочных устройств и камер сгорания газа	Расчёт истечения сжимаемого и несжимаемого газа из отверстий и сопл. Основы расчёта прямоточных 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	3	3	-	5	11
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	3	-	4	9
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	3	3	-	4	10
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	3	3	4	4	14

		топлива. Определение размеров камер сгорания					
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	3	3	-	4	10
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	3	3	8	4	18
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	4	4	-	6	14
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.	5	5	-	6	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.	4	4	-	5	13

		Приближенное моделирование процесса горения распылённого жидкого топлива и диффузионного газового факела. Приближенное моделирование кинетического факела. Особенности 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	2	2	-	4	8
Итого			36	36	18	54	144

Заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц.	Практ. 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 прямоточных 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	Теория механической центробежной форсунки Г.Н. Абрамовича для идеальной	-	-	-	13	13

	расчёта форсунок и камер сгорания жидкого топлива	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					
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	1	1	-	13	15
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	-	1	-	15	16

		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 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
Итого			4	4	2	161	171

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

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 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 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 четырёхпольной 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 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
	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 °C;

- 2) 80 ... 90 °С;
 - 3) 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) каллоидную;
 - 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/м³;
 - 3) 29300 кДж/кг;
 - 4) 29300 кДж/м³.

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 $\text{CH}_4 = 89,9 \%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,1 \%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,9 \%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,4 \%$; $\text{N}_2 = 5,2 \%$; $\text{CO}_2 = 0,3 \%$; $\text{O}_2 = 0,2 \%$ определить теоретический и действительный объёмы воздуха и продуктов сгорания, если коэффициент избытка воздуха равен 1,10.

Задача 3. Для мазута, имеющего состав $\text{C}^{\text{P}} = 77,6 \%$; $\text{H}^{\text{P}} = 9,51 \%$; $\text{O}^{\text{P}} = 0,18 \%$; $\text{S}^{\text{P}} = 1,88 \%$; $\text{N}^{\text{P}} = 0,54 \%$; $\text{W}^{\text{P}} = 10 \%$ 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 $\text{CH}_4 = 98 \%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,4 \%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,2 \%$; $\text{N}_2 = 1,3 \%$; $\text{CO}_2 = 0,1 \%$ и 40 % природного газа состава $\text{CH}_4 = 25,5 \%$; $\text{H}_2\text{S} = 2,3 \%$; $\text{CO} = 6,5 \%$; $\text{H}_2 = 59,5 \%$; $\text{N}_2 = 3,3 \%$; $\text{CO}_2 = 2,4 \%$; $\text{O}_2 = 0,5 \%$ 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: $\text{O}_2 = 5 \%$; $\text{CO} = 1 \%$; $\text{H}_2 = 2 \%$; $\text{CH}_4 = 1,75 \%$. Определить коэффициент избытка воздуха.

Задача 6. После проведения химического анализа состава продуктов сгорания за топкой и на выходе из котла получены следующие данные: $\text{O}_2^{\text{T}} = 4 \%$; $\text{CO}^{\text{T}} = 1,5 \%$; $\text{H}_2^{\text{T}} = 1 \%$; $\text{O}_2^{\text{yx}} = 6 \%$; $\text{CO}^{\text{yx}} = 1 \%$; $\text{H}_2^{\text{yx}} = 0,5 \%$. Определить присосы воздуха в котле.

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

Задача 8. Для сухого природного газа, имеющего состав $\text{CH}_4 = 89,9 \%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,1 \%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,9 \%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,4 \%$; $\text{N}_2 = 5,2 \%$; $\text{CO}_2 = 0,3 \%$; $\text{O}_2 = 0,2 \%$ 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: $\text{C}^{\text{T}} = 85 \%$; $\text{H}^{\text{T}} = 2,6 \%$; $\text{O}^{\text{T}} = 3 \%$; $\text{S}^{\text{T}} = 8,8 \%$; $\text{N}^{\text{T}} = 0,6 \%$ и известно, что рабочая влажность $\text{W}^{\text{P}} = 10 \%$, а зольность сухой массы $\text{A}^{\text{C}} = 0,3 \%$.

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

Задача 3. Определить химический состав влажного природного газа, если известен его сухой состав: $\text{CH}_4 = 89 \%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,1 \%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 1,3 \%$; $\text{N}_2 = 5,7 \%$, а влагосодержание равно $d_{\text{T}} = 63,1 \text{ г/м}^3$.

Задача 4. Вычислить высшую и низшую теплоты сгорания мазута, имеющего следующий состав: $\text{C}_{\text{T}} = 86,5 \%$; $\text{H}_{\text{T}} = 10,6 \%$; $\text{O}_{\text{T}} = 0,2 \%$; $\text{S}_{\text{T}} = 2,1 \%$;

$N_r = 0,6 \%$; $W_p = 10 \%$; $A_p = 0,3 \%$.

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 зачёту

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.5 Примерный перечень вопросов 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 псевдоожигенном 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 газозлектрических 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 распылённого 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 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 курсового проекта 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. 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_konstruktorskoj_dokumentatsii;
- Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система. URL: www1.fips.ru;
- Национальная электронная библиотека. URL: 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 «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 расчёта процесса горения различных видов топлива, а также особенностей расчёта топливопотребляющих установок и горелочных 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; пометать 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"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчётов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
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. При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на

	конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.
--	--