



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

8 16.04.2024

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Института теплоэнергетики

\_\_\_\_\_ С.О.Гапоненко  
« 31 » \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.20.04 Теория горения топлив

---

Направление подготовки \_\_\_\_\_ 13.03.03 Энергетическое машиностроение \_\_\_\_\_

Квалификация \_\_\_\_\_ Бакалавр \_\_\_\_\_  
(Бакалавр / Магистр)

г. Казань, 2023

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч. степень, уч. звание	ФИО разработчика
ЭМС	зав. каф. ЭМС, д.т.н., доцент	Мингалеева Г.Р.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	ЭМС	12.05.2023	11	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	ЭМС	12.05.2023	11	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	Учебно-методический совет ИТЭ	30.05.2023	9	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.
Одобрена	Ученый совет ИТЭ	30.05.2023	9	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)

Целью освоения дисциплины «Теория горения топлив» является формирование у обучающихся представления о процессах горения твердых, жидких, газообразных и комбинированных топлив, используемых в энергетических установках.

Задачами дисциплины являются изучение теоретических основ проектной деятельности и формирование навыков командной работы.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.4 Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением знаний естественных наук

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Математика», «Физика», «Химия».

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Энергетические установки и двигатели», «Котельные установки и парогенераторы», «Конструирование газотурбинных установок».

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр(ы)		
			4	5	6
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	6	216	-	216	-
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	120	-	120	-
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	2,5	84	-	84	-
Лекции	1	34	-	34	-
Практические (семинарские) занятия	1,5	50	-	50	-
Лабораторные работы	-	-	-	-	-
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	3,5	96	-	96	-
Проработка учебного материала	-	60	-	60	-
Курсовой проект	-	-	-	-	-
Курсовая работа	-	-	-	-	-
Подготовка к промежуточной аттестации	-	36	-	36	-

Промежуточная аттестация:	-	Э	-
	-	-	-

### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1.	52	4	-	12	26	ТК1	ОПК-3.4, З
Раздел 2.	36	20	-	30	40	ТК1	ОПК-3.4, З ОПК-3.4, У
Раздел 3.	36	10	-	8	30	ТК1	ОПК-3.4, У ОПК-3.4, В
Зачет	0				0		ОПК-3.4, З ОПК-3.4, У ОПК-3.4, В
<b>ИТОГО</b>	<b>216</b>	<b>34</b>		<b>50</b>	<b>96</b>		

### 3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Энергетическое топливо, материальный баланс процесса горения топлива.

Тема 1.1. Энергетическое топливо и термохимия реакций горения.

Энергетическое топливо и его классификация, состав топлива и его теплотехнические характеристики, теплота сгорания топлива, закон постоянства сумм теплот сгорания.

Тема 1.2. Материальный баланс процесса горения.

Расход воздуха и продукты сгорания топлива. Коэффициент избытка воздуха. Энтальпия продуктов сгорания. Основное уравнение горения. Уравнение неполного горения.

Раздел 2. Общие вопросы теории горения

Тема 2.1. Химическое равновесие реакций горения.

Химическое равновесие и закон действующих масс. Зависимость химических равновесий от температуры. Протекание и подвижность химических реакций. Диссоциация водяного пара и углекислоты. Влияние диссоциации на температуру горения.

Тема 2.2. Кинетика химических реакций горения.

Скорость химических реакций. Классификация химических реакций. Зависимость скорости реакции от температуры. Влияние давления на скорость реакции. Зависимость скорости реакции от состава смеси при постоянных давлении и температуре. Изменение скорости реакции во

времени. Цепные реакции. Стационарная теория теплового воспламенения. Нестационарная теория теплового воспламенения.

Тема 2.3. Турбулентная диффузия.

Передача вещества и тепла в потоке. Турбулентность, характеристики турбулентности. Явление турбулентного переноса в потоке. Теория переноса количества движения. Перенос тепла и примесей в турбулентном потоке. Уравнение диффузии.

Тема 2.4. Элементы теории турбулентных струй.

Изотермическая свободная турбулентная струя. Расширение турбулентной струи. Геометрическая характеристика зоны смешения. Изотохи в затопленной струе. Закон сохранения импульса. Изменение скорости вдоль оси струи. Нарастание расхода жидкости по длине струи. Неизотермическая турбулентная струя. Система плоских параллельных струй.

Тема 2.7. Распространение пламени в газах.

Распространение пламени в потоке. Измерение нормальной скорости распространения пламени. Уравнение нормального распространения пламени. Зависимость скорости распространения пламени от давления, состава и температуры смеси. Пределы распространения пламени. Турбулентное распространение пламени.

Раздел 3. Сжигание газообразных, жидких, твердых и комбинированных топлив

Тема 3.1. Сжигание газов.

Горение однородной газовой смеси. Турбулентное горение однородной газовой смеси. Ламинарное диффузионное горение. Турбулентное диффузионное горение. Горение смеси газов с недостаточным количеством воздуха. Пределы устойчивости горения ламинарного факела. Искусственная стабилизация пламени. Интенсификация сжигания газообразных топлив. Беспламенное горение газов. Классификация горелок для сжигания газов.

Тема 3.2. Горение жидких топлив.

Горение жидких топлив со свободной поверхности. Горение капли жидкого топлива. Сжигание жидких топлив в факеле. Распыление жидких топлив.

Тема 3.3. Физические и химические явления при сжигании твердых топлив.

Общая характеристика процесса горения частиц твердого топлива. Теория гетерогенного горения. Процесс химического реагирования углерода. Внутреннее реагирование углеродной частицы. Процесс горения углеродной частицы. Удельная скорость горения углерода.

Тема 3.4. Горение пылевидных топлив.

Общая характеристика процесса горения пылевидных топлив. Горение частицы пылевидного топлива. Решение задачи о воспламенении и выгорании частицы. Горение монодисперсной пыли в двумерном факеле. Горение угольной пыли в факеле. Основные условия интенсификации сжигания пылевидных топлив.

Тема 3.5. Приготовление и сжигание комбинированных топлив.  
Приготовление водоугольных топлив. Особенности воспламенения и сжигания водоугольных топлив. Приготовление водомазутных топлив. Модель горения капли водомазутного топлива. Приготовление мазутоугольных топлив. Особенности горения мазутоугольных топлив. Преимущества сжигания комбинированных топлив.

### **3.4. Тематический план практических занятий**

1. Расчет теплоты сгорания топлив (2 ч).
2. Определение расхода воздуха (2 ч).
3. Определение состава и объемов продуктов сгорания (2 ч).
4. Расчет энтальпии продуктов сгорания топлива (2 ч).
5. Выполнение расчетов по уравнению полного горения (2 ч).
6. Выполнение расчетов по уравнению неполного горения (2 ч).
7. Расчет температурных пределов распространения пламени (2 ч).
8. Расчет температур вспышки и воспламенения (2 ч).
9. Расчет стандартной температуры самовоспламенения (2 ч).
10. Расчет температуры горения (2 ч).
11. Расчет развития струй (4 ч).
12. Диффузия и массообмен при горении (4 ч).
13. Распространение пламени в газовых смесях (4 ч).
14. Определение зависимости скорости распространения пламени от давления, состава и температуры смеси (6 ч).
15. Пределы распространения пламени (2 ч).
16. Пофракционный расчет выгорания полидисперсной пыли в факеле (2 ч).
17. Расчет основных параметров сжигания газа заданного состава (2 ч).
18. Расчет основных параметров сжигания жидкого топлива заданного состава (2 ч).
19. Расчет основных параметров сжигания твердого топлива заданного состава (2 ч).
20. Расчет основных параметров сжигания комбинированного топлива заданного состава (2 ч).

### **3.5. Тематический план лабораторных работ**

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

### **3.6. Курсовой проект /курсовая работа**

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

## **4. Оценивание результатов обучения**

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

**Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:**

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ОПК-3	ОПК-3.4	<b>знать:</b>				
		основные физико-химические закономерности горения топлив	знает основные физико-химические закономерности горения топлив в полном объеме	знает основные физико-химические закономерности горения топлив, допускает незначительные ошибки	знает основные физико-химические закономерности горения топлив, допускает грубые ошибки	не знает основные физико-химические закономерности горения топлив
		<b>уметь:</b>				
		применять основные зависимости для расчета параметров процесса горения	умеет применять основные зависимости и для расчета параметров процесса горения, не допускает ошибок	умеет применять основные зависимости и для расчета параметров процесса горения, допускает незначительные ошибки	умеет применять основные зависимости и для расчета параметров процесса горения, допускает грубые ошибки	не умеет применять основные зависимости и для расчета параметров процесса горения
<b>владеть:</b>						
методиками расчета процессов сжигания различных топлив	владеет методиками расчета процессов сжигания различных топлив, не допускает ошибок	владеет методиками расчета процессов сжигания различных топлив, допускает незначительные ошибки	владеет методиками расчета процессов сжигания различных топлив, допускает грубые ошибки	не владеет методиками и расчета процессов сжигания различных топлив		

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Учебно-методическое обеспечение

#### 5.1.1. Основная литература

1. Адамян, В. Л. Теория горения и взрыва / В. Л. Адамян. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 116 с. — ISBN 978-5-507-45889-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/291164>

2. Левихин, А. А. Теория горения и химическая термодинамика : учебное пособие / А. А. Левихин, А. М. Кузьмин. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2016. — 72 с. — ISBN 978-5-85546-956-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/98216>

3. Основы практической теории горения: учебное пособие для вузов / В. В. Померанцев, К. М. Арефьев, Д. Б. Ахметов [и др.]; под ред. В. В. Померанцева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград : Энергоатомиздат, 1986. - 312 с.

4. Теория горения и топочные устройства : учебное пособие для вузов / Д. М. Хзмалян, Я. А. Каган. - Москва : Энергия, 1976. - 488 с.

#### 5.1.2. Дополнительная литература

1. Шарипов И.И. Теория горения: учебное пособие / И. И. Шарипов. - Казань : КГЭУ, 2014. - 99 с.

2. Теплоэнергетика и теплотехника : справочник / под общ.ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. - 4-е изд., стереотип. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. - Текст : электронный. Кн. 3 : Тепловые и атомные электрические станции / ред.: А. В. Клименко, В. М. Зорин. - 2017. - 648 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011706.html>.

3. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: справочник. В 3-х кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. Кн.3. - . - М.:Теплотехник, 2004. - 592 с.

4. Ведрученко, В. Р. Топливо и основы теории горения : монография / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов. — Омск :ОмГУПС, 2010. — 261 с. — ISBN 978-5-949-41056-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129137>

5. Теоретические основы теплотехники : учебное пособие / В. И. Ляшков. - Москва : Абрис, 2012. - 318 с. - URL:<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200513.html>. - Текст : электронный.

6. Сборник задач по теории горения : учебное пособие / под ред. В. В. Померанцева. - Ленинград : Энергоатомиздат, 1983. - 152 с.

7. Основы теории и практики сжигания газа в паровых котлах : учебное пособие / В. В. Мурзаков. - 2-е изд., доп. - Москва : Энергия, 1969. - 464 с. : ил. - Текст : непосредственный.



## 5.2. Информационное обеспечение

### 5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1.	Электронная библиотечная система «Лань»	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
2.	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	<a href="https://ibooks.ru/">https://ibooks.ru/</a>

### 5.2.2. Профессиональные базы данных /Информационно-справочные системы

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1.	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования РФ	<a href="https://www.minobrnauki.gov.ru/">https://www.minobrnauki.gov.ru/</a>	<a href="https://www.minobrnauki.gov.ru/">https://www.minobrnauki.gov.ru/</a>
2.	Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации	<a href="https://minenergo.gov.ru/opendata">https://minenergo.gov.ru/opendata</a>	<a href="https://minenergo.gov.ru/opendata">https://minenergo.gov.ru/opendata</a>
3.	Российская национальная библиотека	<a href="http://nlr.ru/">http://nlr.ru/</a>	<a href="http://nlr.ru/">http://nlr.ru/</a>
4.	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
5.	КиберЛенинка	<a href="https://cyberleninka.ru/">https://cyberleninka.ru/</a>	<a href="https://cyberleninka.ru/">https://cyberleninka.ru/</a>
6.	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>

### 5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (Starter)	Пользовательская операционная система	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от 28.11.2011 Неискл. право. Бессрочно
2	Kaspersky Endpoint	Антивирусное программное	ЗАО

	Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 50-99 Node 1 year Educational Renewal License	обеспечение	"СофтЛайнТрейд" №37/18 от 26.02.2018 Неискл. право. До 26.03.2019
3	Информационно-поисковая система «Ваш консультант»	Справочно-правовая система, используемая бухгалтерами, юристами и др. специалистами	ООО "Ваш Консультант" №1434/РДД от 01.09.2018 Неискл. право . Бессрочно
4	Office Professional Plus 2007 Windows32 Russian DiskKit MVL CD	Пакет программных продуктов содержащий в себе необходимые офисные программы	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №225/10 от 28.01.2010 Неискл. право. Бессрочно

## 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа Д-517	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Д514	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

## **7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://www//kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18

пунктов), тотально озвучивается;

- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

## **8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.**

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

*Гражданское и патриотическое воспитание:*

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и

интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

*Духовно-нравственное воспитание:*

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

*Культурно-просветительское воспитание:*

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

*Научно-образовательное воспитание:*

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

**Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год**

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф.реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

Приложение к  
рабочей  
программе дисциплины



КГУУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУУ»)

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**  
по дисциплине

**Б1.О.20.04 Теория горения топлив**

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)*

Направление подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение  
*(Код и наименование направления подготовки)*

Квалификация Бакалавр  
*(Бакалавр / Магистр)*

г. Казань, 2023





Практическое задание №19								4	
Практическое задание №20								4	
<b>Промежуточная аттестация (зачет, экзамен, КП, КР)</b>	<b>ОМ</b>								<b>0-45</b>
Задание промежуточной аттестации									0-15
В письменной форме по билетам									0-30

## 2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции				
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий	
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54	
			Шкала оценивания				
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно	
			зачтено			не зачтено	
ОПК-3	ОПК-3.4	<b>ЗНАТЬ:</b>					
		основные физико-химические закономерности горения топлив	знает основные физико-химические закономерности горения топлив в полном объеме	знает основные физико-химические закономерности горения топлив, допускает незначительные ошибки	знает основные физико-химические закономерности горения топлив, допускает грубые ошибки	не знает основные физико-химические закономерности горения топлив	
		<b>УМЕТЬ:</b>					
	применять основные зависимости для расчета параметров процесса горения	умеет применять основные зависимости для расчета параметров процесса горения, не допускает ошибок	умеет применять основные зависимости для расчета параметров процесса горения, допускает незначительные ошибки	умеет применять основные зависимости для расчета параметров процесса горения, допускает грубые ошибки	не умеет применять основные зависимости для расчета параметров процесса горения		
<b>ВЛАДЕТЬ:</b>							
	методиками расчета процессов сжигания различных топлив	владеет методиками расчета процессов сжигания различных топлив, не допускает ошибок	владеет методиками расчета процессов сжигания различных топлив, допускает незначительные ошибки	владеет методиками расчета процессов сжигания различных топлив, допускает грубые ошибки	не владеет методиками и расчета процессов сжигания различных топлив		

Оценка «отлично» выставляется за выполнение практических работ в семестре; глубокое понимание процесса сжигания топлив, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое задание);

Оценка «хорошо» выставляется за выполнение практических работ в семестре; понимание порядка процесса сжигания топлив, ответы на вопросы билета (теоретическое задание);

Оценка «удовлетворительно» выставляется за выполнение практических работ в семестре и тестовых заданий, ответы на вопросы билета (теоретическое задание);

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за слабое и неполное выполнение практических работ в семестре.

### 3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий

### 4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ОПК-3.4 Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением знаний естественных наук

Практическое занятие №1. Расчет теплоты сгорания топлив

Определить теплоту сгорания газового топлива, имеющего следующий химический состав:  $\text{CH}_4=94\%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6=2\%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8=0,4\%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10}=0,3\%$ ;  $\text{C}_5\text{H}_{12}=0,5\%$ ;  $\text{CO}_2=0,8\%$ ;  $\text{N}_2=2\%$ .

Практическое занятие №2. Определение расхода воздуха

Определить теоретически необходимый объем воздуха  $V^0$ , объем трехатомных газов  $V_{RO_2}$ , азота  $V_{N_2}^0$  и водяных паров  $V_{H_2O}^0$ , если известно:  $C^P=54,7\%$ ;  $H^P=3,3\%$ ;  $N^P=0,8\%$ ;  $O^P=4,8\%$ ;  $S^P_{л}=0,8\%$ ,  $W^P=8\%$ .

Практическое занятие №3. Определение состава и объемов продуктов сгорания

Определить объем продуктов полного сгорания на выходе из топки, а также теоретический и действительный объемы воздуха, необходимые для сгорания  $1\text{ м}^3$  природного газа Ставропольского месторождения состава:  $CO_2=0,2\%$ ,  $CH_4=98,2\%$ ,  $C_2H_6=0,4\%$ ,  $C_3H_8=0,1\%$ ,  $C_4H_{10}=0,1\%$ ,  $N_2=1,0\%$ ,  $\alpha_T=1,2$ .

Практическое занятие №4. Расчет энтальпии продуктов сгорания топлива

Определить энтальпию продуктов полного сгорания, если известно:  $V_{RO_2}=1,03\text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{N_2}^0=4,43\text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{H_2O}^0=1,03\text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V^0=5,61\text{ м}^3/\text{кг}$ , коэффициент избытка воздуха  $\alpha_T$  равен 1,3, при температуре  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  энтальпия углекислоты  $2202\text{ кДж/м}^3$ , энтальпия азота  $1394\text{ кДж/м}^3$ , энтальпия водяных паров  $1725\text{ кДж/м}^3$ ,  $I_3=231\text{ кДж/кг}$ ,  $I^0_B=8056\text{ кДж/кг}$ .

Практическое занятие №5. Выполнение расчетов по уравнению полного горения

При сжигании твердого и жидкого топлива образуются следующие объемы продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{кг}$ :

$$\text{для трехатомных газов: } V_{RO} = 0,01866 (C^P + 0,375S^P); \quad (1.6)$$

$$\text{для азота: } V_N^0 = 0,79V^0 + 0,008N^P; \quad (1.7)$$

для паров воды:

$$V_{HO}^0 = 0,111H^P + 0,0124W^P + 0,0161V^0 + 1,24G_{ф}, \quad (1.8)$$

где  $G_{ф}$  - расход пара на распыл  $1\text{ кг}$  мазута,  $\text{кг/кг}$ .

Объем дымовых газов (продуктов сгорания)

$$V_{Г}^0 = V_{RO} + V_N^0 + V_{HO}^0. \quad (1.9)$$

При сжигании сланцев объем трехатомных газов за счет карбонатной углекислоты составит

$$V_{ROк} = V_{RO} + 0,509(CO_2)_к/100, \quad (1.10)$$

где  $(CO_2)_к$  - двуокись углерода в карбонатах, %.

Тогда полный объем газов при  $\alpha = 1$

$$V_{Г.к}^0 = V_{Г}^0 + 0,509(CO_2)_к/100, \quad (1.11)$$

где  $V_{Г}^0$  определяется по (2.9).

При сжигании природного газа объем продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ :

$$V_N^0 = 0,79V^0 + 0,01N_2; \quad (1.12)$$

$$V_{RO} = 0,01(\Sigma m C_m H_n + CO_2 + CO + H_2S); \quad (1.13)$$

$$V_{HO}^0 = 0,01(\Sigma 0,5n C_m H_n + H_2S + H_2 + 0,124d_{\Gamma} + 0,0161V^0).$$

где  $d_{\Gamma}$  - влагосодержание газообразного топлива, которое в зависимости от температуры газа принимает значения:

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20
$d_{\Gamma}, \text{г/м}^3$	5,0	10,1	19,4

Действительные объемы воздуха и продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{кг}$ , при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ :

$$V_B = \alpha V^0; \quad (1.14)$$

$$V_{HO} = V_{HO}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V^0; \quad (1.15)$$

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^0 + 1,0161(\alpha - 1)V^0. \quad (1.16)$$

Масса продуктов сгорания,  $\text{кг/кг}$ , при сжигании твердого и жидкого топлива

$$G_{\Gamma} = 1 - A^P/100 + 1,306\alpha V^0. \quad (1.17)$$

Плотность продуктов сгорания при сжигании газообразного топлива,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho_{\Gamma.ТЛ}^c = 0,01[1,96CO_2 + 1,52H_2S + 1,25N_2 + 1,43O_2 + 1,25CO + 0,0899H_2 + \Sigma (0,536m + 0,045n)C_m H_n]; \quad (1.18)$$

$$G_{\Gamma} = \rho_{\Gamma.ТЛ}^c + d_{\Gamma} \cdot 10^{-3} + 1,306 \alpha V^0. \quad (1.19)$$

Объемные доли трехатомных газов, водяного пара и безразмерная концентрация золы в продуктах сгорания:

$$R_{RO} = V_{RO}/V_{\Gamma}; \quad (1.20)$$

$$R_{HO} = V_{HO}/V_{\Gamma}; \quad (1.21)$$

$$\mu_{зл} = A^P a_{yH} / (G_{\Gamma} \cdot 100), \quad (1.22)$$

где  $a_{yH}$  - доля золы, уносимой продуктами сгорания. Для твердого шлакоудаления  $a_{yH} = 0,95$ .

Объем продуктов сгорания при рециркуляции газов,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ,

$$V_{\Gamma.рц} = V_{\Gamma} + rV_{\Gamma.отб}, \quad (1.23)$$

где  $V_{\Gamma.отб}$  - объем продуктов сгорания в сечении за местом отбора;  $r$  - доля отбираемых газов на рециркуляцию.

Избытки воздуха в газовом тракте при известном значении избытка на выходе из топки  $\alpha_T$  составляют: в объеме топki в зоне горелок  $\alpha_{гор} = \alpha_T - \Delta\alpha_T$ ; в газоходе за топкой  $\alpha_i = \alpha_T + \Sigma\Delta\alpha_i$ , где  $\Delta\alpha_T, \Delta\alpha_i$  - присосы воздуха в топке и в поверхностях за топкой. Относительный избыток горячего воздуха в горелке при сжигании твердого топлива составляет

$$\beta_{гор} = \alpha_{гор} - \Delta\alpha_{пл},$$

где  $\Delta\alpha_{пл}$  - присосы воздуха в пылеприготовительной установке.

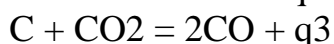
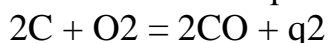
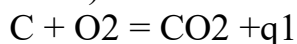
Переход к объему газа при нормальных условиях  $V_H$  производится по формуле

$$V_H = VpT_H/Tr_H,$$

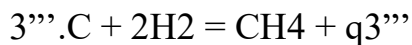
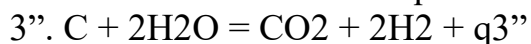
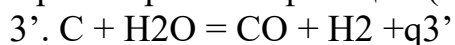
где  $V, p, T$  - соответственно объем, давление и температура при заданных (рабочих) условиях;  $T_H, p_H$  – температура 273 К.

Практическое занятие №6. Выполнение расчетов по уравнению неполного горения

Твердое натуральное топливо содержащие углерод, влагу, золу и большое количество различных углеводородных соединений, при попадании в топочную камеру и нагревании выделяет в окружающий объем влагу и летучие. В результате выделения этих составляющих остается твердый осадок – кокс, содержащий углерод и золу. Выделение и горение летучих оказывает большое влияние на протекание горения твердого топлива, определяя условия для воспламенения и выгорания коксового остатка. Однако выгорание летучих – это быстротекущий процесс, и можно считать, что выгорание летучих занимает не более 10% общего времени выгорания частицы. Таким образом, выгорания содержащего в коксе углерода занимает 90% общего времени выгорания частицы твердого топлива. Зола коксового остатка не оказывает существенного влияния на выгорание углерода коксового остатка. (За исключением горения многозольных топлив) Будем считать, что при высокотемпературном горении углерода имеет место протекание следующих итоговых реакций на внешней поверхности куска и на поверхности пор. При сухой газификации (отсутствие паров  $H_2O$ )

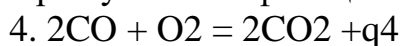


При мокрой газификации (окисление за чет  $H_2O$ )

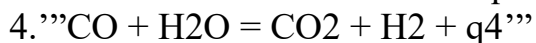
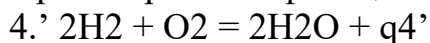


В условиях встречной диффузии продуктов неполного горения от поверхности углерода в поток окислителя, диффундирующего на встречу из объема между ними неизбежно взаимодействие в близи углеродной поверхности согласно реакциям:

При сухой газификации



При мокрой газификации



**Для текущего контроля ТК2:**

Проверяемая компетенция: ОПК-3.4 Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением знаний естественных наук

Практическое задание №7. Расчет температурных пределов распространения пламени

Нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени - минимальная (максимальная) концентрация горючего в окислителе, способная воспламениться от высокоэнергетического источника с последующим распространением горения на всю смесь.

Нижний концентрационный предел воспламенения определяют по предельной теплоте сгорания. Установлено, что 1 м<sup>3</sup> различных газоздушных смесей на НКПВ выделяет при горении постоянное среднее количество тепла - 1830 кДж, называемое предельной теплотой горения. Следовательно,

$$\varphi_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{пр}} \cdot 100}{Q_{\text{н}}},$$

если принять среднее значение  $Q_{\text{пр}}$  равным 1830 кДж/м<sup>3</sup>, то будет равно

$$\varphi_{\text{н}} = \frac{1830 \cdot 100}{Q_{\text{н}}},$$

где  $Q_{\text{н}}$  - низшая теплота сгорания горючего вещества, кДж/м<sup>3</sup>. Нижний и верхний КПВ могут быть определены по аппроксимационной формуле  $( ) an + b = 100$  jH B , (2.2) где  $n$  - стехиометрический коэффициент при кислороде в уравнении химической реакции;  $a$  и  $b$  - эмпирические константы, значения которых приведены в табл.

Концентрационные пределы воспламенения	Значения коэффициентов	
	$a$	$b$
Нижний	8,684	4,679
Верхний		
$n \leq 7,5$	1,550	0,560
$n > 7,5$	0,768	6,554

Концентрационные пределы воспламенения паров жидких и твердых веществ могут быть рассчитаны, если известны температурные пределы

$$\varphi_{\text{н(в)}} = \frac{100}{an + b}, \quad (2.3)$$

где  $p_{\text{н(в)}}$  - давление насыщенного пара вещества при температуре, соответствующей нижнему (верхнему) пределу воспламенения, Па;  $p_0$  - давление окружающей среды, Па. Давление насыщенного пара может быть определено по уравнению Антуана.

Практическое задание №8. Расчет температур вспышки и воспламенения

Нижний (верхний) температурный предел воспламенения - температура жидкости, при которой концентрация насыщенных паров равна нижнему (верхнему) концентрационному пределу распространения пламени. Существует несколько полуэмпирических методов расчета температурных пределов распространения пламени, однако они мало отличаются друг от друга по точности.

Температурные пределы воспламенения (ТПВ) жидкостей рассчитывают по температуре кипения

$$t_{н(в)} = kt_{кип} - l,$$

где  $t_{н(в)}$  - нижний (верхний) температурный предел воспламенения;  $t_{кип}$  - температура кипения, 0С;  $k$ ,  $l$  - константы для определенных групп (гомологических рядов) жидкостей.

Температурные пределы воспламенения могут быть определены по известным значениям концентрационных пределов

$$P_{н(в)} = \frac{\varphi_{н(в)} P_0}{100},$$

где  $P_{н(в)}$  - давление насыщенного пара, соответствующее нижнему (верхнему) концентрационному пределу воспламенения;  $\varphi_{н(в)}$  - нижний (верхний) концентрационный предел воспламенения;  $P_0$  - атмосферное давление. Из уравнения Антуана определяем температуру вещества, при которой достигается данное давление. Эта температура будет являться соответственно нижним (верхним) пределом воспламенения.

Практическое задание №9. Расчет стандартной температуры самовоспламенения

1. Определить температурные пределы воспламенения в гомологическом ряду жирных углеводородов: бутан, пентан, гексан, октан, температуры кипения которых соответственно равны 273,5, 309, 341,7, 398,7 К. Построить график изменения ТПВ от положения горючего в гомологическом ряду.
2. Сравнить температурные пределы воспламенения *n*-бутиловых эфиров муравьиной и уксусной кислот. На основании полученных данных сделать вывод об их сравнительной пожарной опасности. Температура кипения бутилформиата равна 379,8 К, а бутилацетата 399 К.
3. Определить температурные пределы воспламенения бутил- бензола по его концентрационным пределам. Значения последних рассчитать по аппроксимационной формуле.
4. По концентрационным пределам воспламенения, значения которых следует установить по аппроксимационной формуле, определить температурные пределы воспламенения ацетона и метиэтилкетона. По результатам расчета сделать вывод о сравнительной пожарной опасности этих веществ.

Практическое задание №10. Расчет температуры горения

Температура горения - температура продуктов горения в зоне химической реакции. Это максимальная температура зоны пламени. Температура горения и определяется из уравнения теплового баланса:

$$Q_H = \sum_{i=1}^n C_{p(v_i)} V_{\text{пр}} (T_{\Gamma} - T_0).$$

При этом адиабатическая температура горения

$$T_{\Gamma}^* = T_0 + \frac{Q_H}{\sum C_{p_i} V_{\text{пр}}^0},$$

а действительная температура горения

$$T_{\Gamma} = T_0 + \frac{Q_{\text{пр}}}{\sum C_{p_i} V_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\Gamma}^*$  и  $T_{\Gamma}$  - соответственно адиабатическая и действительная температуры горения;  $T_0$  - начальная температура;  $V_{\text{пр}i}$  - объем  $i$ -го продукта горения;  $Q_H$  - низшая теплота горения вещества;  $Q_{\text{пр}}$  - теплота, пошедшая на нагрев продуктов горения;  $C_{v_i}$  - теплоемкость  $i$ -го продукта горения при постоянном объеме.

### Для текущего контроля ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ОПК-3.4 Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением знаний естественных наук

Практическое занятие №17. Расчет основных параметров сжигания газа заданного состава

1. Определить теоретический объем воздуха, необходимого для горения 1 м<sup>3</sup> метана, этана, пропана, бутана и пентана. Построить график зависимости объема воздуха от положения вещества в гомологическом ряду (содержания углерода в молекуле вещества).

2. Определить теоретическую массу воздуха, пошедшего на горение 1 кг метана, метилового спирта, муравьиного альдегида, муравьиной кислоты. Объяснить причину влияния состава вещества на объем воздуха, требуемого для их горения.

3. Сколько воздуха, кг, требуется подать на сжигание 200 м<sup>3</sup> генераторного газа состава: СО – 29 %, Н<sub>2</sub> – 14 %, СН<sub>4</sub> – 3 %, СО<sub>2</sub> - 6,5 %, N<sub>2</sub> - 45 %, O<sub>2</sub> - 2,5 %, если коэффициент избытка воздуха равен 2,5? 7. Определить количество сгоревшего толуола, кг, в помещении объемом 400 м<sup>3</sup> если после пожара при отсутствии газообмена установлено, что содержание кислорода снизилось до 17 %.

4. Сколько хлора, м<sup>3</sup>, поступило на горение 300 м<sup>3</sup> водорода, если в продуктах горения избыток окислителя составил 80 м<sup>3</sup>?

5. Определить избыток воздуха в продуктах горения газовой смеси состава: СО – 15 %, С<sub>4</sub>Н<sub>10</sub> – 45 % O<sub>2</sub> – 30 %, N<sub>2</sub> – 10 %, если коэффициент избытка воздуха равен 1,9.



10. Сколько окислительной среды,  $m_3$ , состоящей из 50 % кислорода и 50 % азота, необходимо для горения 8 кг этилацетата, если коэффициент избытка равен 1,2; температура 265 К, давление 850 ГПа

Практическое занятие №18. Расчет основных параметров сжигания жидкого топлива заданного состава

Определить массу и объем (теоретический) воздуха, необходимого для горения 1 кг метилового, этилового, пропилового и амилового спиртов. Построить график зависимости объема воздуха от молекулярной массы спирта.

Практическое занятие №19. Расчет основных параметров сжигания твердого топлива заданного состава

1. Определить область горения частиц антрацита в топке при температуре 1400 К, если известно, что размеры частиц  $5 \cdot 10^{-5}$  и  $4 \cdot 10^{-3}$  м.

2. Определить объем и массу воздуха, пошедшего на горение 1 кг древесины состава: С – 47 %, Н – 8 %, О – 40 %, W – 5 %, если коэффициент избытка воздуха равен 2,8; давление 900 ГПа, температура 285 К. 5. Сколько воздуха, кг, поступило на горение 1 кг углерода, если в продуктах горения содержание кислорода составило 17 %?

Практическое занятие №20. Расчет основных параметров сжигания комбинированного топлива заданного состава

Большинство углеводородов чистого топлива пребывают в полимеризованном или иначе связанном состоянии. При поджоге топлива при помощи горелок процесс горения будет усиленно протекать только на активных полимерных участках. При соударении с водными частицами сгорание начнет останавливаться, доля топлива, а именно парафины и сера, будут сгорать частично, как следствие, это приведет к уменьшению коэффициента полезного действия оборудования, лишь частичному и медленному горению топлива, а также к вредным выбросам в атмосферу. Чтобы горение было эффективно во всем объеме топлива, нужно не только добиться обводнения топливной смеси, но и сделать ее тонкодисперсной и однородной, т.е. однородно. Полученная однородная водотопливная эмульсия идет на сжигание: поступая в горелочное устройство, распыляется форсункой, при этом диаметр глобул топлива варьируется от 0,1 до 1 мм, а глобул воды – 1 мкм. В результате нагрева такой смеси начинается закипание капель воды с образованием водяного пара, разрывающего каплю топлива, тем самым увеличивает дисперсность топлива. При этом возрастает площадь соприкосновения топлива с окислителем и улучшается качество топливовоздушной эмульсии. В топочной камере, имеющей высокотемпературную зону, глобула эмульсии снова взрывается – начинается повторное диспергирование топлива. Поэтому в топке за счет таких микровзрывов образуются очаги турбулентных пульсаций, и возрастает число элементарных капель топлива, что дает возможность увеличить объем распределения факела и более плавно заполнить его в топке. В результате этих действий уравнивается температурное поле в топке, сокращаются местные

максимальные температуры и возрастает средняя температура в топочной камере; за счет роста поверхности излучения, увеличивается светимость факела. Помимо всего перечисленного появляется возможность уменьшить количество вдуваемого воздуха и снизить теплотери, связанные с ним. Наряду с этим каталитические реакции, протекающие в факела, снижают выброс вредных газов. Сокращение концентрации вдуваемого воздуха при горении водотопливной эмульсии положительно сказывается на коэффициенте полезного действия котельного аппарата: сокращая коэффициент избытка воздуха на 0,1%, КПД котельного аппарата возрастает на 1%. Благодаря турбулентному смешиванию частиц в топочной камере, увеличивается их траектория и, следовательно, время нахождения в топке, что отражается на скорости сгорания водотопливной композиции. Маленькие глобулы топлива сгорают быстрее, при этом выделяется малое количество твердых продуктов, нежели у крупных частиц топлива, также рвутся смолисто-асфальтеновые структуры.

Факел горячей эмульсии в топочной камере уменьшается в объеме и становится прозрачным. Температура уходящих газов снижается в сравнении с обезвоженным топливом на 35°C. В результате изменения параметров сжигания топлива и состава уходящих газов увеличивается эффективность применения топлива. Находящаяся в составе водотопливной смеси дисперсная фаза может быть не полностью, но диссоциирована в предпламенных реакциях. Далее с ростом температуры в месте активного горения процесс диссоциации воды набирает темп, а избыток атомов водорода, образованный при этом, быстро смешивается с избытком кислорода, таким образом, их контакт компенсирует затраты энергии на распад воды. Присутствие некоторого количества водорода в процессе сжигания топлива приводит к росту количества продуктов сгорания. Молекулы водной фазы обладают большой скоростью, вследствие чего ускоряют реакции окислительного процесса, поэтому образуется полярный эффект, который значительно улучшает ориентацию частиц активных радикалов обводненной смеси. Не менее важным фактором, который характеризует целесообразность применения водотопливной композиции, можно назвать увеличение эффективности и срок службы топочного устройства. Существует ряд исследований, доказывающих, что перерасход топлива может быть свыше 30-35% в результате загрязнения поверхности нагрева в котлах сажей и кокосом. При горении обводненной смеси часть глобул долетает до поверхности нагрева и взрывается на них, благодаря чему существует предотвращение отложений и очистка поверхностей от старых сажистых образований. Имея дисперсность эмульсии 6-25 мкм на микроуровне в топочной камере происходит активное вскипание и микровзрыв глобулы, за счет этого во много раз возрастает поверхность взаимодействия топлива с окислителем, следовательно, процесс горения протекает интенсивнее. Микровзрывы обводненного топлива чаще проявляются при диаметре водной фазы 6 –10 мкм. Применяя диспергированные водотопливные смеси, можно наблюдать множество положительных изменений: • в топочном пространстве, где температура максимально высокая, происходит взрыв частиц тяжелого в

пламени факела – процесс повторного диспергирования. Увеличивается скорость и продуктивность горения из-за возникновения огромного числа активных сторон молекул, быстро вступающих в процесс окисления. Наблюдается почти полное преобразование углерода. Возможность горения небольшого количества кислорода при маленькой температуре сжигания – во много раз уменьшает выбросы окислов азота в окружающую среду; • за счет разрыва слабых молекулярных связей возникают более легкие углеводороды; • пары воды распадаются на свободные радикалы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ , имеющие намного большую способность возгораться, нежели замкнутые молекулы, они не замедляют горение, как крупные образования воды, напротив, свободные ионы катализируют окислительные реакции при сжигании смеси, тем самым создают нестабильные и легко окисляемые связи со свободными радикалами органического соединения. В соответствии с теорией цепных реакций: сжигание начинается с активного центра, а скорость цепной химической реакции пропорциональна содержанию. У необводненных концентрация центров всегда будет ниже, чем у обеднённых топлив. Даже при небольших температурах в зоне пламени обедённые смеси всегда имеют большие первичные содержания активных центров атомов и радикалов, чем у необводненных – это и есть превосходство над чистым топливом.

#### **Для промежуточной аттестации:**

Вопросы к зачету по дисциплине «Теория горения топлив»

1. Классификация энергетических топлив.
2. Состав твердых и жидких топлив.
3. Состав газообразных топлив.
4. Теплотехнические характеристики топлив.
5. Определение теплоты сгорания топлива.
6. Закон постоянства сумм теплот сгорания.
7. Расход воздуха и продукты сгорания топлива.
8. Коэффициент избытка воздуха.
9. Энтальпия продуктов сгорания.
10. Основное уравнение горения.
11. Уравнение неполного горения.
12. Химическое равновесие и закон действующих масс.
13. Зависимость химических равновесий от температуры.
14. Протекание и подвижность химических реакций.
15. Диссоциация водяного пара и углекислоты.
16. Влияние диссоциации на температуру горения.
17. Скорость химических реакций.
18. Классификация химических реакций.
19. Зависимость скорости реакции от температуры.
20. Влияние давления на скорость реакции.

21. Зависимость скорости реакции от состава смеси при постоянных давлении и температуре.
22. Изменение скорости реакции во времени.
23. Цепные реакции.
24. Стационарная теория теплового воспламенения.
25. Нестационарная теория теплового воспламенения.
26. Передача вещества и тепла в потоке.
27. Турбулентность, характеристики турбулентности.
28. Явление турбулентного переноса в потоке.
29. Теория переноса количества движения.
30. Перенос тепла и примесей в турбулентном потоке.
31. Уравнение диффузии.
32. Изотермическая свободная турбулентная струя.
33. Расширение турбулентной струи.
34. Геометрическая характеристика зоны смешения. Изотахи в затопленной струе. Закон сохранения импульса. Изменение скорости вдоль оси струи. Нарастание расхода жидкости по длине струи. Неизотермическая турбулентная струя. Система плоских параллельных струй.
35. Тема 2.7. Распространение пламени в газах.
36. Распространение пламени в потоке.
37. Измерение нормальной скорости распространения пламени.
38. Уравнение нормального распространения пламени.
39. Зависимость скорости распространения пламени от давления, состава и температуры смеси.
40. Пределы распространения пламени.
41. Турбулентное распространение пламени.
42. Горение однородной газовой смеси.
43. Турбулентное горение однородной газовой смеси.
44. Ламинарное диффузионное горение.
45. Турбулентное диффузионное горение.
46. Горение смеси газов с недостаточным количеством воздуха.
47. Пределы устойчивости горения ламинарного факела.
48. Искусственная стабилизация пламени.
49. Интенсификация сжигания газообразных топлив.
50. Беспламенное горение газов.
51. Классификация горелок для сжигания газов.
52. Горение жидких топлив со свободной поверхностью.
53. Горение капли жидкого топлива.
54. Сжигание жидких топлив в факеле.

55. Распыление жидких топлив.
56. Общая характеристика процесса горения частиц твердого топлива.
57. Теория гетерогенного горения.
58. Процесс химического реагирования углерода.
59. Внутреннее реагирование углеродной частицы.
60. Процесс горения углеродной частицы.
61. Удельная скорость горения углерода.
62. Общая характеристика процесса горения пылевидных топлив.
63. Горение частицы пылевидного топлива.
64. Решение задачи о воспламенении и выгорании частицы.
65. Горение монодисперсной пыли в двумерном факеле.
66. Горение угольной пыли в факеле.
67. Основные условия интенсификации сжигания пылевидных топлив.
68. Приготовление водоугольных топлив.
69. Особенности воспламенения и сжигания водоугольных топлив.
70. Приготовление водомазутных топлив.
71. Модель горения капли водомазутного топлива.
72. Приготовление мазутоугольных топлив.
73. Особенности горения мазутоугольных топлив.
74. Преимущества сжигания комбинированных топлив.