ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ИрГУПС)

УТВЕРЖДЕНА
приказом и.о. ректора
от «07» июня 2021 г. № 79

Б1.О.25 Теория горения и взрыва

рабочая программа дисциплины

Специальность/направление подготовки – 20.03.01 Техносферная безопасность
Специализация/профиль – Безопасность технологических процессов и производств
Квалификация выпускника – Бакалавр
Форма и срок обучения – очная форма 4 года
Кафедра-разработчик программы – Техносферная безопасность

Общая трудоемкость в з.е. – 3
Часов по учебному плану (УП) – 108
В том числе в форме практической подготовки (ПП) – 17
(очная)

Формы промежуточной аттестации
очная форма обучения:
экзамен 6 семестр

Очная форма обучения **Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр	6	**Итого**
Вид занятий	Часов по УП	**Часов по УП**
Аудиторная контактная работа по видам учебных занятий/ в т.ч. в форме ПП*	51/17	**51/17**
– лекции	17	**17**
– практические (семинарские)	34/17	**34/17**
– лабораторные		
Самостоятельная работа	21	**21**
Экзамен	36	**36**
Итого	108/17	**108/17**

* В форме ПП – в форме практической подготовки.

ИРКУТСК

Электронный документ выгружен из ЕИС ФГБОУ ВО ИрГУПС и соответствует оригиналу
Подписант ФГБОУ ВО ИрГУПС Трофимов Ю.А.
00920FD815CE68F8C4CA795540563D259C с 07.02.2024 05:46 по 02.05.2025 05:46 GMT+03:00
Подпись соответствует файлу документа

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, утвержденным Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 25.05.2020 № 680.

Программу составил(и):
д.х.н., доцент, профессор, Н.В. Руссавская

Рабочая программа рассмотрена и одобрена для использования в учебном процессе на заседании кафедры «Техносферная безопасность», протокол от «4» июня 2021 г. № 13

Зав. кафедрой, д. т. н., профессор Е.А. Руш

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1 Цели дисциплины	
1	формирование основополагающих знаний о теории горения и взрыва и опасности этих процессов
2	применение приобретенных знаний для обеспечения пожаровзрывобезопасности в сфере производственной деятельности
1.2 Задачи дисциплины	
1	получение знаний и формирование навыков, способствующих адекватной качественной оценке процессов горения и взрыва в конкретных технологических условиях
2	формирование навыков и умений, необходимых для количественного определения и расчета физико-химических параметров горения и взрыва
3	формирование знаний об экологических проблемах, возникающих в ходе использования процессов горения и взрыва
1.3 Цель воспитания и задачи воспитательной работы в рамках дисциплины	
Научно-образовательное воспитание обучающихся	
Цель научно-образовательного воспитания – создание условий для реализации научно-образовательного потенциала обучающихся в форме наставничества, тьюторства, научного творчества. Цель достигается по мере решения в единстве следующих задач: – формирование системного и критического мышления, мотивации к обучению, развитие интереса к творческой научной деятельности; – создание в студенческой среде атмосферы взаимной требовательности к овладению знаниями, умениями и навыками; – популяризация научных знаний среди обучающихся; – содействие повышению привлекательности науки, поддержка научно-технического творчества; – создание условий для получения обучающимися достоверной информации о передовых достижениях и открытиях мировой и отечественной науки, повышения заинтересованности в научных познаниях об устройстве мира и общества; – совершенствование организации и планирования самостоятельной работы обучающихся как образовательной технологии формирования будущего специалиста путем индивидуальной познавательной и исследовательской деятельности	
Профессионально-трудовое воспитание обучающихся	
Цель профессионально-трудового воспитания – формирование у обучающихся осознанной профессиональной ориентации, понимания общественного смысла труда и значимости его для себя лично, ответственного, сознательного и творческого отношения к будущей деятельности, профессиональной этики, способности предвидеть изменения, которые могут возникнуть в профессиональной деятельности, и умению работать в изменённых, вновь созданных условиях труда. Цель достигается по мере решения в единстве следующих задач: – формирование сознательного отношения к выбранной профессии; – воспитание чести, гордости, любви к профессии, сознательного отношения к профессиональному долгу, понимаемому как личная ответственность и обязанность; – формирование психологии профессионала; – формирование профессиональной культуры, этики профессионального общения; – формирование социальной компетентности и другие задачи, связанные с имиджем профессии и авторитетом транспортной отрасли	

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП	
Блок/часть ОПОП	Блок 1. Дисциплины / Обязательная часть
2.1 Дисциплины и практики, на которых основывается изучение данной дисциплины	
1	Б1.О.22 Экология
2	Б1.О.31 Медико-биологические основы безопасности
3	Б1.О.36 Экологический мониторинг
4	Б1.О.44 Аналитическая химия и физико-химические методы анализа
5	Б2.О.02(Н) Учебная - научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)
2.2 Дисциплины и практики, для которых изучение данной дисциплины необходимо как предшествующее	
1	Б1.О.30 Производственная безопасность
2	Б1.О.32 Электробезопасность
3	Б1.О.33 Система управления охраной труда
4	Б1.О.34 Инженерные методы защиты окружающей среды
5	Б1.О.35 Производственная санитария и гигиена труда
6	Б1.О.37 Расчет и проектирование систем безопасности
7	Б1.О.38 Промышленная экология
8	Б1.О.39 Защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях
9	Б1.О.41 Охрана труда на железнодорожном транспорте

10	Б1.О.43 Энергоснабжение и энергоаудит
11	Б1.В.ДВ.03.01 Экономика природопользования
12	Б2.О.03(П) Производственная - эксплуатационная практика
13	Б2.О.04(Пд) Производственная - преддипломная практика
14	Б3.01(Д) Подготовка к процедуре защиты выпускной квалификационной работы
15	Б3.02(Д) Защита выпускной квалификационной работы

3 ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ТРЕБОВАНИЯМИ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения
ОПК-3 Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом государственных требований в области обеспечения безопасности.	ОПК-3.1 Осуществляет профессиональную деятельность с учетом государственных требований в области промышленной, пожарной безопасности и охраны труда	Знать: природу и условия возникновения процессов самовоспламенения, самовозгорания и зажигания; механизм распространения пламени по поверхности горючих материалов, механизм их выгорания; основы гидродинамической теории детонации и ударных волн
		Уметь: использовать принципы организации работы небольшого коллектива инженерно-технических работников для обеспечения безопасной работы технологического оборудования; оценить опасность технологического процесса и производства в целом; учитывать пожаровзрывоопасность веществ и материалов, обращающихся при производстве
		Владеть: навыками использования современных компьютерных технологий моделирования опасных производственных ситуаций; методами расчета показателей пожарной опасности веществ и материалов; методами оценки возможности и условий перехода горения во взрыв
ПК-1 Способен разрабатывать в организации мероприятия по охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности и документально оформлять отчетность в соответствии с установленными требованиями	ПК-1.4 Разрабатывает и внедряет мероприятия, направленные на предупреждение возникновения ЧС природного и техногенного характера	Знать: общие положения теории воспламенения горючих смесей; особенности распространения горения по поверхности жидких и твердых веществ; основы теории прекращения горения; особенности теории взрыва
		Уметь: анализировать влияние ряда факторов на скорость распространения пламени по горючим веществам; определять влияние факторов на импульс ударной волны
		Владеть: методами качественной оценки температурных и концентрационных пределов горючих систем; основными методами по предотвращению и прекращению процессов горения; способами количественной оценки механического воздействия ударной волны; навыками организации и руководства деятельностью подразделений по защите персонала и производственной среды в режиме чрезвычайной ситуации

4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код	Наименование разделов, тем и видов работ	Очная форма					*Код индикатора достижения компетенции
		Семестр	Часы				
			Лек	Пр	Лаб	СР	
1.0	**Раздел 1. Физико-химические основы горения и взрыва.**						
1.1	Основные теории горения. Условия возникновения и развития процессов горения. Механизм химического взаимодействия при горении.	6	1			2	ОПК-3.1 ПК-1.4
1.2	Расчет параметров горючих газов и приведение их к нормальным и стандартным условиям	6		2			ОПК-3.1 ПК-1.4
1.3	Физико-химические и физические процессы и явления, сопровождающие горение. Скорости реакций горения по закону действия масс	6	1	2		1	ОПК-3.1 ПК-1.4
2.0	**Раздел 2. Материальный и тепловой баланс процессов горения.**						

4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код	Наименование разделов, тем и видов работ	Очная форма					*Код индикатора достижения компетенции
		Семестр	Часы				
			Лек	Пр	Лаб	СР	
2.1	Материальный и тепловые балансы процессов горения	6	1			2	ОПК-3.1 ПК-1.4
2.2	Расчет массы и объема веществ в реакции горения	6		2			ОПК-3.1 ПК-1.4
2.3	Расчет объема и состава продуктов в реакциях горения	6		4/4			ОПК-3.1 ПК-1.4
2.4	КР по теме «Материальный баланс процесса горения»	6		2		1	ОПК-3.1 ПК-1.4
2.5	Теплота и температура горения	6	1			2	ОПК-3.1 ПК-1.4
2.6	Термохимия процесса горения. Теплота сгорания	6		4/4			ОПК-3.1 ПК-1.4
3.0	**Раздел 3. Условия возникновения и развитие процесса горения.**						
3.1	Общие положения теории о процессах самовоспламенения. Температура самовоспламенения и ее зависимость от природы горючего. Самовоспламенение гетерогенных систем.	6	4			2	ОПК-3.1 ПК-1.4
3.2	Расчет температуры самовоспламенения (зависимость от скорости химической реакции, от температуры и давления, величины удельной поверхности, зависимость от строения горючего вещества, йодное число	6		4/4		2	ОПК-3.1 ПК-1.4
3.3	Вынужденное воспламенение (зажигание). Элементы тепловой теории зажигания нагретым телом и электрической искрой. Влияние различных факторов на температуру и минимальную энергию зажигания.	6	2	2/2		2	ОПК-3.1 ПК-1.4
3.4	Воспламенение жидкостей, показатели их пожарной опасности. Условия образования горючих газо-, паровоздушных смесей над поверхностью твердых веществ и материалов. Горение пылевоздушных смесей	6	4	2		2	ОПК-3.1 ПК-1.4
3.5	Расчет температуры вспышки и воспламенения	6		6/2			ОПК-3.1 ПК-1.4
3.6	КР по теме «Развитие процессов горения»	6		2		2	ОПК-3.1 ПК-1.4
4.0	**Раздел 4. Источники и условия образования ударных волн.**						
4.1	Источники образования ударных волн	6	1			1	ОПК-3.1 ПК-1.4
4.2	Возникновение и распространение детонационной волны	6	2			1	ОПК-3.1 ПК-1.4
4.3	Расчет температуры и давления взрыва для стехиометрической горючей смеси	6		2/1		1	ОПК-3.1 ПК-1.4
	Форма промежуточной аттестации – экзамен	6	36				
	Итого часов (без учёта часов на промежуточную аттестацию)		17	34/17		21	

5 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине оформлен в виде приложения № 1 к рабочей программе дисциплины и размещен в электронной информационно-образовательной среде Университета, доступной обучающемуся через его личный кабинет

6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

6.1.1 Основная литература

	Библиографическое описание	Кол-во экз. в библиотеке/ онлайн
6.1.1.1	Девисилов, В. А. Теория горения и взрыва : учебник / В. А. Девисилов, Т. И. Дроздова, А. И. Скушникова. М. : ИНФРА-М, 2015. - 262с.	17
6.1.1.2	Тотай, А. В. Теория горения и взрыва : учебник и практикум для вузов / А. В. Тотай [и др.] ; под общей редакцией А. В. Тотая, О. Г. Казакова. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2024. — 254 с. — URL: https://urait.ru/bcode/535794 (дата обращения: 22.04.2024). — Текст : электронный.	Онлайн
6.1.2 Дополнительная литература		
	Библиографическое описание	Кол-во экз. в библиотеке/ онлайн
6.1.2.1	Скушникова, А. И. Теоретические основы процессов горения и взрыва : учеб. пособие по дисциплине "Теория горения и взрыва" / А. И. Скушникова. Иркутск : ИрГУПС, 2012. - 136с.	39
6.1.2.2	Скушникова, А. И. Физика и химия горения и взрыва : учеб.-метод. пособие по дисциплине "Теория горения и взрыва" / А. И. Скушникова, Т. И. Дроздова. Иркутск : ИрГУПС, 2011. - 127с.	35
6.1.2.3	Шапров, М. Н. Теория горения и взрыва : учебное пособие / М. Н. Шапров, И. С. Мартынов, В. Ю. Мисюряев. — 2-е изд., пер. — Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2022. — 100 с. — URL: https://e.lanbook.com/book/339266 (дата обращения: 15.04.2024). — Текст : электронный.	Онлайн
6.1.3 Учебно-методические разработки (в т. ч. для самостоятельной работы обучающихся)		
	Библиографическое описание	Кол-во экз. в библиотеке/ онлайн
6.1.3.1	Руссавская, Н. В. Методические указания по изучению дисциплины Б1.О.25 Теория горения и взрыва по направлению подготовки 23.03.01 Техносферная безопасность, профиль Безопасность технологических процессов и производств / Н. В. Руссавская: ИрГУПС. – Иркутск : ИрГУПС, 2023. – 14 с. - Текст: электронный. - URL: https://www.irgups.ru/eis/for_site/umkd_files/mu_655_1486_2021_1_signed.pdf	Онлайн
6.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»		
6.2.1	Электронно-библиотечная система «Издательство Лань», https://e.lanbook.com/	
6.2.2	Электронно-библиотечная система «Образовательная платформа ЮРАЙТ», https://urait.ru/	
6.2.3	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн», https://biblioclub.ru/	
6.3 Программное обеспечение и информационные справочные системы 6.3.1 Базовое программное обеспечение		
6.3.1.1	Microsoft Windows Professional 10, государственный контракт от 20.07.2021 № 0334100010021000013-01	
6.3.1.2	Microsoft Office Russian 2010, государственный контракт от 20.07.2021 № 0334100010021000013-01	
6.3.1.3	FoxitReader, свободно распространяемое программное обеспечение http://free-software.com.ua/pdf-viewer/foxit-reader/	
6.3.1.4	Adobe Acrobat Reader DC свободно распространяемое программное обеспечение https://get.adobe.com/ru/reader/enterprise/	
6.3.1.5	Яндекс. Браузер. Прикладное программное обеспечение общего назначения, Офисные приложения, лицензия – свободно распространяемое программное обеспечение по лицензии BSD License	
6.3.2 Специализированное программное обеспечение		
6.3.2.1	Не предусмотрено	
6.3.3 Информационные справочные системы		
6.3.3.1	Не предусмотрены	
6.4 Правовые и нормативные документы		
6.4.1	Не предусмотрены	

7 ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1	Корпуса А, Б, В, Г, Д, Е ИрГУПС находятся по адресу г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15; корпус Л ИрГУПС находится – по адресу г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.80
2	Учебная аудитория Г-201 для проведения лекционных и практических занятий, лабораторных работ,

	групповых и индивидуальных консультаций, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), текущего контроля и промежуточной аттестации. Основное оборудование: специализированная мебель, мультимедиапроектор, экран, (ноутбук переносной). Для проведения занятий имеются учебно-наглядные пособия (презентации, плакаты).
3	Учебная аудитория Д-317 для проведения лекционных и практических занятий, лабораторных работ, групповых и индивидуальных консультаций, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), текущего контроля и промежуточной аттестации. Основное оборудование: специализированная мебель
4	Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключенной к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду ИрГУПС. Помещения для самостоятельной работы обучающихся: – читальные залы; – учебные залы вычислительной техники А-401, А-509, А-513, А-516, Д-501, Д-503, Д-505, Д-507; – помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования – А-521

8 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вид учебной деятельности	Организация учебной деятельности обучающегося
Лекция	Лекция (от латинского «lection» – чтение) – вид аудиторных учебных занятий. Лекция: закладывает основы научных знаний в систематизированной, последовательной, обобщенной форме; раскрывает состояние и перспективы развития соответствующей области науки и техники; концентрирует внимание обучающихся на наиболее сложных, узловых вопросах; стимулирует познавательную активность обучающихся. Во время лекционных занятий обучающийся должен уметь сконцентрировать внимание на изучаемых проблемах и включить в работу все виды памяти: словесную, образную и моторно-двигательную. Для этого весь материал, излагаемый преподавателем, обучающемуся необходимо конспектировать. На полях конспекта следует помечать вопросы, выделенные обучающимся для консультации с преподавателем. Выводы, полученные в виде формул, рекомендуется в конспекте подчеркивать или обводить рамкой, чтобы лучше запоминались. Полезно составить краткий справочник, содержащий определения важнейших понятий лекции. К каждому занятию следует разобрать материал предыдущей лекции. Изучая материал по учебнику или конспекту лекций, следует переходить к следующему вопросу только в том случае, когда хорошо усвоен предыдущий вопрос. Ряд вопросов дисциплины может быть вынесен на самостоятельное изучение. Такое задание требует оперативного выполнения. В конспекте лекций необходимо оставить место для освещения упомянутых вопросов. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, то необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии
Практическое занятие	Практическое занятие – вид аудиторных учебных занятий, целенаправленная форма организации учебного процесса, при реализации которой обучающиеся по заданию и под руководством преподавателя выполняют практические задания. Практические задания направлены на углубление научно-теоретических знаний и овладение определенными методами работы, в процессе которых вырабатываются умения и навыки выполнения тех или иных учебных действий в данной сфере науки. Практические занятия развивают научное мышление и речь, позволяют проверить знания обучающихся, выступают как средства оперативной обратной связи; цель практических занятий – углублять, расширять, детализировать знания, полученные на лекции, в обобщенной форме и содействовать выработке навыков профессиональной деятельности. На практических занятиях подробно рассматриваются основные вопросы дисциплины, разбираются основные типы задач. К каждому практическому занятию следует заранее самостоятельно выполнить домашнее задание и выучить лекционный материал к следующей теме. Систематическое выполнение домашних заданий обязательно и является важным фактором, способствующим успешному усвоению дисциплины
Самостоятельная работа	Обучение по дисциплине «Теория горения и взрыва» предусматривает активную самостоятельную работу обучающегося. В разделе 4 рабочей программы, который называется «Структура и содержание дисциплины», все часы самостоятельной работы расписаны по темам и вопросам, а также указана необходимая учебная литература: обучающийся изучает учебный материал, разбирает примеры и решает разноуровневые задачи в рамках выполнения как общих домашних заданий, так и индивидуальных домашних заданий (ИДЗ) и других видов работ, предусмотренных рабочей программой

	дисциплины. При выполнении домашних заданий обучающемуся следует обратиться к задачам, решенным на предыдущих практических занятиях, решенным домашним работам, а также к примерам, приводимым лектором. Если этого будет недостаточно для выполнения всей работы можно дополнительно воспользоваться учебными пособиями, приведенными в разделе 6.1 «Учебная литература». Если, несмотря на изученный материал, задание выполнить не удается, то в обязательном порядке необходимо посетить консультацию преподавателя, ведущего практические занятия, и/или консультацию лектора. Домашние задания, индивидуальные домашние задания и другие работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины должны быть выполнены обучающимся в установленные преподавателем сроки в соответствии с требованиями к оформлению текстовой и графической документации, сформулированным в Положении «Требования к оформлению текстовой и графической документации. Нормоконтроль»
Комплекс учебно-методических материалов по всем видам учебной деятельности, предусмотренным рабочей программой дисциплины (модуля), размещен в электронной информационно-образовательной среде ИрГУПС, доступной обучающемуся через его личный кабинет	

Приложение № 1 к рабочей программе

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

1. Общие положения

Фонд оценочных средств (ФОС) является составной частью нормативно-методического обеспечения системы оценки качества освоения обучающимися образовательной программы.

Фонд оценочных средств предназначен для использования обучающимися, преподавателями, администрацией ИрГУПС, а также сторонними образовательными организациями для оценивания качества освоения образовательной программы и уровня сформированности компетенций у обучающихся.

Задачами ФОС являются:

– оценка достижений обучающихся в процессе изучения дисциплины;

– обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс;

– самоподготовка и самоконтроль обучающихся в процессе обучения.

Фонд оценочных средств сформирован на основе ключевых принципов оценивания: валидность, надежность, объективность, эффективность.

Для оценки уровня сформированности компетенций используется трехуровневая система:

– минимальный уровень освоения, обязательный для всех обучающихся по завершению освоения образовательной программы; дает общее представление о виде деятельности, основных закономерностях функционирования объектов профессиональной деятельности, методов и алгоритмов решения практических задач;

– базовый уровень освоения, превышение минимальных характеристик сформированности компетенций; позволяет решать типовые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения по известным алгоритмам, правилам и методикам;

– высокий уровень освоения, максимально возможная выраженность характеристик компетенций; предполагает готовность решать практические задачи повышенной сложности, нетиповые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения в условиях неполной определенности, при недостаточном документальном, нормативном и методическом обеспечении.

2. Перечень компетенций, в формировании которых участвует дисциплина.
Программа контрольно-оценочных мероприятий.
Показатели оценивания компетенций, критерии оценки

Дисциплина «Теория горения и взрыва» участвует в формировании компетенций:

ОПК-3. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом государственных требований в области обеспечения безопасности.

ПК-1. Способен разрабатывать в организации мероприятия по охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности и документально оформлять отчетность в соответствии с установленными требованиями

Программа контрольно-оценочных мероприятий очная форма обучения

№	Наименование контрольно-оценочного мероприятия	Объект контроля	Код индикатора достижения компетенции	Наименование оценочного средства (форма проведения*)
6 семестр				
1.0	**Раздел 1. Физико-химические основы горения и взрыва**			
1.1	Текущий контроль	Основные теории горения. Условия возникновения и развития процессов горения. Механизм химического взаимодействия при горении.	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
1.2	Текущий контроль	Расчет параметров горючих газов и приведение их к нормальным и стандартным условиям	ОПК-3.1 ПК-1.4	Разноуровневые задачи (задания/письменно)
1.3	Текущий контроль	Физико-химические и физические процессы и явления, сопровождающие горение. Скорости реакций горения по закону действия масс	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
2.0	**Раздел 2. Материальный и тепловой баланс процессов горения**			
2.1	Текущий контроль	Материальный и тепловые балансы процессов горения	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
2.2	Текущий контроль	Расчет массы и объема веществ в реакции горения	ОПК-3.1 ПК-1.4	Разноуровневые задачи (задания/письменно)
2.3	Текущий контроль	Расчет объема и состава продуктов в реакциях горения	ОПК-3.1 ПК-1.4	В рамках ПП**: Разноуровневые задачи (задания/письменно)
2.4	Текущий контроль	КР по теме «Материальный баланс процесса горения»	ОПК-3.1 ПК-1.4	Контрольная работа (КР) (письменно)
2.5	Текущий контроль	Теплота и температура горения	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
2.6	Текущий контроль	Термохимия процесса горения. Теплота сгорания	ОПК-3.1 ПК-1.4	В рамках ПП**: Разноуровневые задачи (задания/письменно)
3.0	**Раздел 3. Условия возникновения и развитие процесса горения**			
3.1	Текущий контроль	Общие положения теории о процессах самовоспламенения. Температура самовоспламенения и ее зависимость от природы горючего. Самовоспламенение гетерогенных систем.	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
3.2	Текущий контроль	Расчет температуры самовоспламенения (зависимость от скорости химической реакции, от	ОПК-3.1 ПК-1.4	В рамках ПП**: Разноуровневые задачи (задания/письменно)

		температуры и давления, величины удельной поверхности, зависимость от строения горючего вещества, йодное число		
3.3	Текущий контроль	Вынужденное воспламенение (зажигание). Элементы тепловой теории зажигания нагретым телом и электри-ческой искрой. Влияние различных факторов на темпе-ратуру и минимальную энергию зажигания.	ОПК-3.1 ПК-1.4	В рамках ПП**: Разноуровневые задачи (задания/письменно)
3.4	Текущий контроль	Воспламенение жидкостей, показатели их пожарной опасности. Условия образования горючих газо-, паровоздушных смесей над поверхностью твердых веществ и материалов. Горение пылевоздушных смесей	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
3.5	Текущий контроль	Расчет температуры вспышки и воспламенения	ОПК-3.1 ПК-1.4	В рамках ПП**: Разноуровневые задачи (задания/письменно)
3.6	Текущий контроль	КР по теме «Развитие процессов горения»	ОПК-3.1 ПК-1.4	Контрольная работа (КР) (письменно)
4.0	**Раздел 4. Источники и условия образования ударных волн**			
4.1	Текущий контроль	Источники образования ударных волн	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
4.2	Текущий контроль	Возникновение и распространение детонационной волны	ОПК-3.1 ПК-1.4	Тестирование (компьютерные технологии)
4.3	Текущий контроль	Расчет температуры и давления взрыва для стехиометрической горючей смеси	ОПК-3.1 ПК-1.4	В рамках ПП**: Разноуровневые задачи (задания/письменно)
	Промежуточная аттестация	Раздел 1. Физико-химические основы горения и взрыва. Раздел 2. Материальный и тепловой баланс процессов горения. Раздел 3. Условия возникновения и развитие процесса горения. Раздел 4. Источники и условия образования ударных волн.		Экзамен (собеседование) Экзамен - тестирование (компьютерные технологии)

*Форма проведения контрольно-оценочного мероприятия: устно, письменно, компьютерные технологии.
**ПП – практическая подготовка

Описание показателей и критериев оценивания компетенций. Описание шкал оценивания

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация обучающихся проводятся в целях установления соответствия достижений обучающихся поэтапным требованиям образовательной программы к результатам обучения и формирования компетенций.

Текущий контроль успеваемости – основной вид систематической проверки знаний, умений, навыков обучающихся. Задача текущего контроля – оперативное и регулярное управление учебной деятельностью обучающихся на основе обратной связи и корректировки. Результаты оценивания учитываются в виде средней оценки при проведении промежуточной аттестации.

Для оценивания результатов обучения используется четырехбалльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и двухбалльная шкала: «зачтено», «не зачтено».

Перечень оценочных средств, используемых для оценивания компетенций, а также краткая характеристика этих средств приведены в таблице.

Текущий контроль

№	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Контрольная работа (КР)	Средство для проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по разделу дисциплины. Может быть использовано для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности обучающихся	Типовое задание для выполнения контрольной работы по разделам/темам дисциплины
2	Разноуровневые задачи (задания)	Различают задачи: – репродуктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины; может быть использовано для оценки знаний и умений обучающихся; – реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей; может быть использовано для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности обучающихся; – творческого уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения; может быть использовано для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности обучающихся	Комплект разноуровневых задач и заданий или комплекты задач и заданий определенного уровня
3	Тестирование (компьютерные технологии)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося. Может быть использовано для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности обучающихся	Фонд тестовых заданий

Промежуточная аттестация

№	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Экзамен	Средство, позволяющее оценить знания, умения, навыков и (или) опыта деятельности обучающегося по дисциплине. Может быть использовано для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности обучающихся	Перечень теоретических вопросов и практических заданий (образец экзаменационного билета) к экзамену
2	Тест – промежуточная аттестация в форме экзамена	Система автоматизированного контроля освоения компетенций (части компетенций) обучающимся по дисциплине (модулю) с использованием информационно-коммуникационных технологий. Может быть использовано для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности обучающихся	Фонд тестовых заданий

Критерии и шкалы оценивания компетенций в результате изучения дисциплины при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена. Шкала оценивания уровня освоения компетенций

Шкала оценивания	Критерии оценивания	Уровень освоения компетенции
«отлично»	Обучающийся правильно ответил на теоретические вопросы. Показал отличные знания в рамках учебного материала. Правильно выполнил практические задания. Показал отличные умения и владения навыками применения полученных знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы	Высокий
«хорошо»	Обучающийся с небольшими неточностями ответил на теоретические вопросы. Показал хорошие знания в рамках учебного материала. С небольшими неточностями выполнил практические задания. Показал хорошие умения и владения навыками применения полученных знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов	Базовый
«удовлетворительно»	Обучающийся с существенными неточностями ответил на теоретические вопросы. Показал удовлетворительные знания в рамках учебного материала. С существенными неточностями выполнил практические задания. Показал удовлетворительные умения и владения навыками применения полученных знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. Допустил много неточностей при ответе на дополнительные вопросы	Минимальный
«неудовлетворительно»	Обучающийся при ответе на теоретические вопросы и при выполнении практических заданий продемонстрировал недостаточный уровень знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов	Компетенция не сформирована

Тест – промежуточная аттестация в форме экзамена

Критерии оценивания	Шкала оценивания
Обучающийся верно ответил на 90 – 100 % тестовых заданий при прохождении тестирования	«отлично»
Обучающийся верно ответил на 80 – 89 % тестовых заданий при прохождении тестирования	«хорошо»
Обучающийся верно ответил на 70 – 79 % тестовых заданий при прохождении тестирования	«удовлетворительно»
Обучающийся верно ответил на 69 % и менее тестовых заданий при прохождении тестирования	«неудовлетворительно»

Критерии и шкалы оценивания результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости

Контрольная работа

Шкалы оценивания		Критерии оценивания
«отлично»	«зачтено»	Обучающийся полностью и правильно выполнил задание контрольной работы. Показал отличные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала. Контрольная работа оформлена аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями
«хорошо»		Обучающийся выполнил задание контрольной работы с небольшими неточностями. Показал хорошие знания и умения в рамках усвоенного учебного материала. Есть недостатки в оформлении контрольной работы
«удовлетворительно»		Обучающийся выполнил задание контрольной работы с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания

		и умения в рамках усвоенного учебного материала. Качество оформления контрольной работы имеет недостаточный уровень
«неудовлетворительно»	«не зачтено»	Обучающийся не полностью выполнил задания контрольной работы, при этом проявил недостаточный уровень знаний и умений

Разноуровневые задачи (задания)

Шкалы оценивания		Критерии оценивания
«отлично»	«зачтено»	Демонстрирует очень высокий/высокий уровень знаний, умений, навыков в соответствии с критериями оценивания. Все требования, предъявляемые к заданию, выполнены
«хорошо»		Демонстрирует достаточно высокий/выше среднего уровень знаний, умений, навыков в соответствии с критериями оценивания. Все требования, предъявляемые к заданию, выполнены
«удовлетворительно»		Демонстрирует средний уровень знаний, умений, навыков в соответствии с критериями оценивания. Большинство требований, предъявляемых к заданию, выполнены. Демонстрирует низкий/ниже среднего уровень знаний, умений, навыков в соответствии с критериями оценивания. Многие требования, предъявляемые к заданию, не выполнены
«неудовлетворительно»	«не зачтено»	Демонстрирует очень низкий уровень знаний, умений, навыков в соответствии с критериями оценивания. Не ответа.

Тестирование

Шкалы оценивания		Критерии оценивания
«отлично»	«зачтено»	Обучающийся верно ответил на 90 – 100 % тестовых заданий при прохождении тестирования
«хорошо»		Обучающийся верно ответил на 80 – 89 % тестовых заданий при прохождении тестирования
«удовлетворительно»		Обучающийся верно ответил на 70 – 79 % тестовых заданий при прохождении тестирования
«неудовлетворительно»	«не зачтено»	Обучающийся верно ответил на 69 % и менее тестовых заданий при прохождении тестирования

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

3.1 Типовые контрольные задания для выполнения контрольных работ

Контрольные варианты заданий выложены в электронной информационно-образовательной среде ИрГУПС, доступной обучающемуся через его личный кабинет.

Ниже приведен образец типовых вариантов заданий для выполнения контрольных работ.

Образец типового варианта контрольной работы
по теме «Материальный баланс процесса горения»

1. 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.

Ответ: *Спирты простые вещества. Поэтому составляем уравнения горения для каждого вещества (CH_3OH, C_2H_5OH, C_3H_7OH, C_5H_9OH). Объем воздуха необходимого для сгорания 1 кг каждого спирта равен, соответственно, 5; 6,95;8; 8,68 м^3. Масса воздуха 6,25; 8,9; 10,24; 11,11 кг.*

2. Рассчитать объем образующихся продуктов, м^3, и содержание в них азота (% об) при горении вещества:

Горючее вещество	Химическая формула	Количество горючего	Состав окислительной среды	Условия горения
Фенола	C_6H_6	1 кг	воздух	T = 1200 K, P = 95000 Па α = 1,5

Ответ: объем продуктов горения составляет 55,9 м^3.

3. Рассчитать температуру горения:

Горючее вещество	Химическая формула	Состав окислительной среды	Условия горения
древесина состава	C – 45 %; H – 5 %; S – 0 %; O – 35%; N – 1%; A – 4%; W – 10%	воздух	α = 1,4 η = 15%

Ответ: температура горения древесины в данных условиях равна 1573 К.

Образец типового варианта контрольной работы
по теме «Развитие процессов горения»

1. Что называется температурой самовоспламенения? От чего она зависит?

Ответ: *Температура самовоспламенения – это температура при которой нагретый нефтепродукт в контакте с воздухом воспламеняется самопроизвольно без внешнего источника. Температура самовоспламенения зависит и от фракционного состава и от преобладания углеводородов различного состава. Чем ниже пределы кипения нефтяной фракции, тем она менее опасна с точки зрения самовоспламенения.*

2. Рассчитать стехиометрическую концентрацию паров пентана в воздухе при температуре 18 °С и давлении 750 мм рт. ст.

Ответ: стехиометрическая концентрация паров пентана в воздухе составляет 2,72 % об., 78,8 кг/м^3.

3. Определить температурные пределы воспламенения ацетона, если его концентрационные пределы в воздухе равны 2,2 – 13,0%. Атмосферное давление – нормальное.

Ответ: температурные пределы воспламенения ацетона составляют 248,8 и 280,4 К.

3.2 Типовые контрольные задания для решения разноуровневых задач (практических заданий)

Контрольные варианты заданий выложены в электронной информационно-образовательной среде ИрГУПС, доступной обучающемуся через его личный кабинет.

Ниже приведен образец типовых вариантов заданий для решения разноуровневых задач (практических заданий).

Образец заданий для решения разноуровневых задач
по теме 1 «Составление уравнения горения. Определение коэффициента горючести»

Цель: научиться определять коэффициент горючести, составлять уравнения горения в кислороде и на воздухе.

1.1. Теоретическая часть работы

Горение – сложный физико – химический процесс на основе быстропротекающих реакций окислительно – восстановительного типа, сопровождающихся интенсивным выделением тепла, продуктов взаимодействия и светового излучения. Пламя – область пространства, заполненная газообразными веществами, в которой реализуются все диффузионные процессы подготовки горючей смеси к химическому взаимодействию и непосредственное горение. При горении веществ на воздухе в ламинарном режиме пламя имеет характерное строение, в котором можно выделить несколько зон: подготовительную, горения, смешанную: из продуктов горения и воздуха, холодного воздуха. В каждой из зон протекают различные по характеру процессы, определяющие разницу температур пламени в зависимости от высоты точки замера. Имеются и характерные различия в цвете пламени при горении веществ различного типа. Спецификой окислительно – восстановительных реакций, выделяющей их из других видов химических взаимодействий, является перенос электронов от одного реагента (восстановителя) к другому (окислителю). Важным понятием для окислительно – восстановительных процессов является степень окисления, характеризующая состояние атома в молекуле и позволяющая количественно определить возможную глубину окисления атома в соединениях. Составление уравнений окислительно – восстановительных реакций, лежащих в основе процесса горения, выполняют по химическим правилам, с соблюдением электронного баланса и учетом радикально – цепного механизма их реализации. Для удобства анализа реакций горения методика их составления предусматривает:

1. Уравнение реакции приводится к 1 молю горючего вещества путем деления стехиометрических коэффициентов на стехиометрический коэффициент у горючего компонента. Приведенное уравнение может содержать дробные стехиометрические коэффициенты.

2. В реакциях горения в среде воздуха сразу учитывают в уравнении его состав в молях, как (O2 + 3,76N2). Мольный состав воздуха носит условный характер, следующий из примерного в нем содержания кислорода (21%) и азота с другими инертными газами (79 %). Это эквивалентно тому, что на 1 моль кислорода воздуха приходится 79 : 21 = 3,76 молей азота.

3. В реакциях горения веществ на воздухе в продуктах взаимодействия учитывают только химические соединения в высшей степени окисления, условно считая, что процесс идет до полного сгорания горючего вещества, а воздух имеется в необходимом стехиометрическом соотношении. Условное число молей воздуха, необходимое для полного сгорания, определяется стехиометрическим коэффициентом β:

$$\text{Горючее вещество} + \beta\,(O_2 + 3{,}76N_2) = \text{Продукты горения}. \qquad (1.1)$$

4. Кроме продуктов полного окисления веществ (углерод – CO_2, водород – H_2O, сера – SO_2, фосфор – P_2O_5, кремний – SiO_2, металлы – высшие оксиды) в продуктах реакций горения могут учитываться галогеноводороды (HF, HCl, HBr, HI), которые полагают образовавшимися в результате взаимодействия соответствующих галогенов (F, Cl, Br, I) с атомами водорода в составе горючего вещества. Например, реакция горения дихлорэтана ($C_2H_4Cl_2$) в воздушной среде описывается уравнением:

$$C_2H_4Cl_2 + 2{,}5\,(O_2 + 3{,}76N_2) = 2CO_2 + H_2O + 2HCl + 2{,}5 \cdot 3{,}76N_2\,. \qquad (1.2)$$

5. В молекулах горючих веществ может содержаться кислород и он выполняет роль внутреннего окислителя до полного сгорания. Наиболее характерно внутримолекулярное окисление для реакций горения взрывчатых и пиротехнических веществ, Например нитроглицерина ($C_3H_5(NO_3)_3$):

$$C_3H_5(NO_3)_3 = 3CO_2 + 2{,}5H_2O + 0{,}25O_2 + 1{,}5N_2. \qquad (1.3)$$

6. Уравнивание элементов в левой и правой частях реакций горения начинают с атомов углерода, затем серы, фосфора и кремния (металлов), галогенов, водорода. В последнюю очередь уравнивают количество атомов кислорода и азота. Коэффициент β можно рассчитать по формуле:

$$\beta = C + S + 0{,}25\,(H - \text{Галоген}) - 0{,}5O + 1{,}25P, \qquad (1.4)$$

где C, S, H, Галоген, O, P – число атомов соответствующих химических элементов.

7. **Пример выполнения задания по составлению реакций горения бутана**: Бутан (C_4H_{10}) в составе молекулы содержит углерод и водород, продуктами полного окисления которых являются CO_2 и H_2O. Соответственно, эти соединения должны находится в правой части уравнений реакции горения.

Составляем уравнение горения бутана в среде кислорода:

$$2C_4H_{10} + 13O_2 \rightarrow 8CO_2 + 10H_2O. \quad (1.5)$$

Записываем уравнение реакции (1.5) в приведенной к 1 молю горючего вещества форме:

$$C_4H_{10} + 6{,}5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O. \quad (1.6)$$

Составляем уравнение реакции горения бутана в среде воздуха:

$$C_4H_{10} + 6{,}5\ (O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 6{,}5 \cdot 3{,}76N_2\ . \quad (1.7)$$

$$\beta = 6{,}5.$$

1.2. Вопросы для самодиагностики

1. Кратко сформулировать суть перекисной теории окисления и теории цепных реакций.
2. Дать определение физико – химической системы и горения.
3. Какие факторы определяют возможность развития химической реакции?
4. Дать классификационные отличия горения: гомогенного и гетерогенного, диффузного и кинетического, дефлаграционного и детонационного, ламинарного и турбулентного.
5. Дать определение пламени и пояснить структуру пламени.
6. От каких факторов зависит цвет пламени и температура в различных зонах диффузного пламени?
7. Какие процессы протекают в различных зонах пламени?
8. Назвать отличительный признак окислительно-восстановительных реакций.
9. Перечислить продукты полного сгорания индивидуальных веществ, учитываемых при составлении реакций горения.
10. Дать состав воздуха и особенности составления реакций горения в среде воздуха.

Образец заданий для решения разноуровневых задач
по теме 2 «Расчет массы и объема веществ в реакции горения»

Цель: научиться рассчитывать теоретически необходимый расход воздуха на горение, рассчитывать объем продуктов горения, составлять материальный баланс процесса горения

2.1. Теоретическая часть работы

Основу горения, как сложного физико-химического процесса, составляют окислительно-восстановительные реакции, а условия их реализации зависят от баланса между реагентами и продуктами взаимодействия. Горючая смесь, состав которой отвечает уравнению реакции горения, называется смесью стехиометрического состава. Такие смеси наиболее полно отвечают механизму взаимодействия, реакция протекает с максимальной скоростью и потому они наиболее легко воспламеняются и обеспечивают максимальное выделение тепла. Для практических целей необходимо прогнозировать огнеопасность веществ и рассчитывать оптимальные условия горения, при которых горючее вещество наиболее эффективно взаимодействует с окислителем. Концентрация горючего вещества, отвечающая его стехиометрическому соотношению в реакции горения, называется стехиометрической.

Объемная стехиометрическая концентрация горючего вещества ($\varphi_{сгв}$) может быть рассчитана по формулам:

$$\text{в смеси с кислородом } \varphi_{сгв} = 100/\ (1+\beta),\ \%\ , \quad (2.1)$$

$$\text{в смеси с воздухом } \varphi сгв = 100\ /\ (1+4{,}76\ \beta),\ \%\ . \quad (2.2)$$

В формуле (2.2) учтен условный состав воздуха (79 % N_2 и 21 % O_2), что позволяет производить эквивалентную замену 1 моля кислорода в реакциях горения на воздушно – азотную смесь ($O_2 + 3{,}76N_2$), в которой суммарно представлено 1 + 3,76 = 4,76 молей газовой

смеси.

Массовую стехиометрическую концентрацию горючего вещества ($\varphi'_{сгв}$) рассчитывают с учетом соответствующих значений объемной концентрации:

$$\varphi'_{сгв} = 10 \cdot \varphi_{сгв} \cdot M/V_м \text{ , г/м}^3, \quad (2.3)$$

где М – молярная масса вещества, кг/кмоль; $V_м$ – молярный объем газа при данной температуре, $м^3$ / кмоль.

Значение молярного объема газа при заданной температуре (Т, К) и давлении (Р, кПа) определяется по формуле:

$$V_м = 22{,}4 \cdot 101{,}3 \cdot T/273P, \text{ м}^3\text{/кмоль}. \quad (2.4)$$

Составление материального баланса выполняется с целью определения объема воздуха, необходимого для полного сгорания горючего вещества, а также объема образующихся продуктов горения. Для горения веществ в воздушной среде различают удельное и полное, теоретическое и действительное количество воздуха. Удельное количество воздуха – количество воздуха, необходимое для сгорания единицы количества горючего вещества (1 моль, 1 кг, 1 $м^3$). Полное количество воздуха – количество воздуха, необходимое для сгорания произвольного количества горючего вещества. Теоретическое количество воздуха – минимальное количество воздуха, необходимое для полного сгорания горючего вещества.

Действительное количество воздуха – количество воздуха, реально затраченное на сгорание горючего вещества при данных условиях. Разность между действительным и теоретическим количеством воздуха называют избытком воздуха. Коэффициент избытка воздуха (α) характеризует степень обеспеченности реакции горения воздухом:

$$\alpha = V_в / V_в^o, \quad (2.5)$$

где $V_в^o$ – удельный теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания горючего вещества, $м^3$ / кг;

Vв – удельный действительный объем воздуха, поступающий на горение, $м^3$/кг.

Избыток воздуха ($\Delta V_в$) не затрачивается на реализацию непосредственно химического взаимодействия и переходит в продукты сгорания:

$$\Delta V_в = V_в - V_в^o = V_в^o (\alpha - 1). \quad (2.6)$$

Продукты реакции горения могут быть представлены газообразными, твердыми и жидкими веществами, образующимися при реализации окислительно-восстановительных взаимодействий горючего вещества и окислителя. Состав горючего вещества и условий реакционного взаимодействия определяют состав продуктов сгорания, в которых могут содержаться инертные примеси исходной горючей смеси, избыток горючего или окислителя – результат нестехиометрии. Вся система веществ – продуктов сгорания называется дымом. По физико-химической классификации дисперсных систем дым относят к дисперсиям, состоящим из твердых и жидких частиц дисперсной фазы, зависших в газовой дисперсионной среде.

Уравнение реакций горения индивидуальных веществ в воздухе в общем виде может записываться:

$$1 \text{ ГВ} + \beta (O_2 + 3{,}76N_2) = \sum_{i=1}^{1} n_i \cdot ПГ_i, \quad (2.7)$$

где ГВ – горючее вещество, n_i – количество молей вещества i – го вида (от i = 1 до l); $ПГ_i$ – вещества i – го вида в продуктах горения.

Соответственно, из уравнений реакций горения типа (2.7) определяют теоретическое число молей воздуха (nво), которое необходимо для полного сгорания 1 моля горючего вещества:

$$n_в^o = \beta(1 + 3{,}76) = 4{,}76 \cdot \beta \text{ , моль / моль}. \quad (2.8)$$

Удельное теоретическое число молей продуктов сгорания ($n_{пг}^{o}$) по реакции (2.7) равно сумме молей всех веществ, входящих в состав продуктов горения:

$$n_{пг}^{o} = \sum_{i=1}^{n} n_i \qquad (2.9)$$

В условиях горения вещества с избытком воздуха определяют удельное действительное число молей воздуха ($n_в$) и, соответственно, продуктов горения ($n_{пг}$):

$$n_в = \alpha \cdot n_в^{o}, \qquad (2.10)$$

$$n_{пг} = n_{пг}^{o} + (\alpha - 1) \cdot n_в^{o}. \qquad (2.11)$$

Известные из реакции (2.7) числа молей веществ i – го вида продуктов горения ($n_{пгi}$) и рассчитанное по (2.11) значение $n_{пг}$, – позволяют рассчитать процентный состав продуктов горения:

$$\%\ ПГi = 100 \cdot n_{пгi} / n_{пг}, \%. \qquad (2.12)$$

При расчетах следует учесть, что горение с избытком воздуха обусловливает переход неучаствующих непосредственно в реакции горения компонентов воздуха в продукты сгорания, в которых будет отмечаться их избыток:

$$\%\ O_2 = 100\ (\alpha - 1)\ \beta / n_{пг}, \% \qquad (2.13)$$

$$\%\ N_2 = 100 \cdot \alpha \cdot 3{,}76 \cdot \beta / n_{пг}, \%. \qquad (2.14)$$

При расчетах следует учитывать возможность нахождения горючего вещества в различном агрегатном состоянии, что требует перевода единиц измерения. Если горючее вещество в газообразном состоянии (горючий газ – ГГ), то на 1 кмоль ($V_м^{гв} = 22{,}4 \cdot 101{,}3 \cdot T / 273P$, м^3/кмоль) расходуется теоретический объем воздуха ($n_в^{o} \cdot V_м^{в}$) м^3 или действительный объем воздуха ($n_в \cdot V_м^{в}$) м^3. Условия соответствия можно записать:

1 кмоль ГГ ———— $n_в^{o} = 4{,}76 \cdot \beta$, кмолей воздуха

$V_м^{гв}$ м^3 ГГ ———— $n_в^{o} \cdot V_м^{в} = 4{,}76 \cdot \beta \cdot V_м^{в}$, м^3 воздуха

1 м^3 ГГ ———— $V_в^{o}$, м^3 воздуха.

Эти условия позволяют составлять пропорции, в частности, удельный теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания 1 м^3 горючего газа:

$$V_в^{o} = 4{,}76 \cdot \beta \cdot V_м^{в} / V_м^{гв}, \text{ м}^3 \qquad (2.15)$$

Когда можно принять, что горючий газ и воздух находятся в одинаковых условиях, то $V_м^{в} = V_м^{гв}$ и на сгорание 1 м^3 горючего газа будет расходоваться следующий удельный объем воздуха:

$$\text{теоретический: } V_в^{o} = 4{,}76 \cdot \beta, \text{ м}^3/\text{м}^3 \qquad (2.16)$$

$$\text{действительный: } V_в = 4{,}76 \cdot \beta \cdot \alpha, \text{ м}^3/\text{м}^3. \qquad (2.17)$$

Аналогично можно составить пропорции для расчета объема продуктов сгорания горючего газа и при равенстве условий нахождения горючего газа и продуктов сгорания ($V_м^{гг} = V_м^{пг}$):

$$\text{теоретический: } V_{пг}^{o} = \Sigma n_{пгi}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \qquad (2.18)$$

$$\text{действительный: } V_{пг} = V_{пг}^{o} + (\alpha - 1) \cdot 4{,}76 \cdot \beta, \text{ м}^3/\text{м}^3. \qquad (2.19)$$

Полный объем воздуха и продуктов сгорания горючего газа конкретного объема определяют: объем горючего газа умножается на соответствующие значения $V_в$ и $V_{пг}$.

Тепловое расширение продуктов сгорания приводит к увеличению их объема. Объем продуктов сгорания при этом определяют согласно универсального газового закона:

$$V_{пг}^{к} = V_{пг}^{н} \cdot T^{к} \cdot P^{н} / T^{н} \cdot P^{к}, \qquad (2.20)$$

где индексы «н» и «к» относятся к начальным и конечным значениям соответствующих параметров состояния.

Для горючих веществ в конденсированном виде (твердые, жидкие) перевод единиц размерности учитывает, что 1 кмоль соответствует молярной массе вещества (М, кг).

Следовательно, на 1 кг горючего вещества удельные объемы воздуха и продуктов горения составляют

воздуха: теоретический: $V_{во} = V_м^в \cdot 4{,}76\ \beta / M$, м^3/кг , (2.21)

действительный: $V_в = \alpha \cdot V_м^в \cdot 4{,}76\beta / M$, м^3/кг, (2.22)

продуктов горения: теоретический: $V_{пг}^о = (V_{пг}^м \cdot \Sigma n_{пгi}) / M$, м^3/кг (2.23)

действительный: $V_{пг} = V_{пг}^о + (\alpha - 1) \cdot V_в^о$, м^3/кг (2.24)

При горении определенного количества конденсированного горючего вещества вычисления соответствующих объемов необходимого воздуха и продуктов горения проводят путем перемножения их удельных значений на заданную массу горючего вещества.

Состав сложных горючих веществ выражают массовыми долями или процентным содержанием конкретных химических элементов. Для сложных горючих веществ, состоящих из водорода, углерода и серы, удельный теоретический объем воздуха рассчитывают по формуле:

$$V_в^о = (4{,}76 \cdot V_м/(4 \cdot 100)) \cdot [\varphi c/3 + \varphi н - (\varphi о - \varphi s)/8] \approx 0{,}29\ [\varphi c/3 + \varphi н - (\varphi о - \varphi s)/8],\ м^3/кг \quad (2.25)$$

Объем продуктов сгорания сложного вещества рассчитывают с учетом аддитивного вклада каждого химического элемента вего составе:

$$V_{пг}^о = \Sigma\, V_{пгi} \cdot g_i,\ м^3/кг, \quad (2.26)$$

где $g_i = \varphi_i/100$ – массовая доля i – го элемента в составе горючего вещества.

При нормальных условиях удельный расход продуктов сгорания некоторых элементов рассчитан заранее для упрощения расчетов (табл. 2.1)

Таблица 2.1.

Удельные объекты продуктов сгорания

Элементы горючего вещества	Удельный объем, м^3/кг				
	CO_2	H_2O	N_2	SO_2	P_2O_5
C	1,87	–	7,00	–	–
H	–	11,20	21,10	–	–
S	–	–	2,63	0,7	–
P	–	–	3,40	–	0,36
N	–	–	0,80	–	–
O	–	–	–2,63	–	–
H_2O (влага)	–	1,24	–	–	–

2.2. Методика расчетов

2.2.1. Расчеты выполняют применительно к реакциям горения веществ в среде воздуха.

2.2.2. Рассчитать по уравнению реакции горения объемную и массовую стехиометрические концентрации горючего вещества по формулам (2.2), (2.3).

2.2.3. Составить материальный баланс горения в форме (2.7) и определить удельное теоретическое число молей воздуха и продуктов сгорания по формулам (2.8), (2.9).

2.2.4. Определить с учетом коэффициента избытка воздуха действительные значения удельного теоретического числа молей воздуха и продуктов сгорания по уравнениям (2.10), (2.11).

2.2.5. Рассчитать состав продуктов горения по формулам (2.12) – (2.14).

2.2.6. Определить молярную массу вещества и молярный объем газа при данных условиях по формуле (2.4).

2.2.7. Определить теоретические объемы воздуха и продуктов горения по уравнениям (2.21), (2.23).

2.2.8. Определить действительные объемы воздуха и продуктов сгорания при заданных условиях по формулам (2.22), (2.24).

2.3. Методика расчета материального баланса горения сложного вещества.

2.3.1. По формуле (2.25) рассчитать удельный теоретический объем воздуха для полного сгорания сложного вещества с заданным элементным составом.

2.3.2. Определить действительный удельный объем воздуха с учетом коэффициента избытка

(2.17).
2.3.3. Определить удельный теоретический объем продуктов горения с учетом аддитивного вклада каждого элемента в состав сложного вещества (2.26), для облегчения расчетов воспользовавшись табл. 2.1.
2.3.4. Рассчитать полный действительный объем продуктов горения с учетом коэффициента избытка воздуха по уравнению (2.24).
2.3.5. Определить действительный объем продуктов горения при данных условиях по формуле (2.20).
2.4. Пример расчета материального баланса горения индивидуального горючего вещества.
2.4.1. Уравнение реакции горения бутана в среде воздуха ранее уже составлено (1.7):

$$C_4H_{10} + 6{,}5\ (O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 6{,}5 \cdot 3{,}76N_2\ . \qquad (2.27)$$

2.4.2. Рассчитываем объемную и массовую стехиометрические концентрации горючего вещества:

$$\varphi_{сгв} = 100 / (1 + 4{,}76 \cdot 6{,}5) = 3{,}13\ ,\ \%, \qquad (2.28)$$

$$\varphi'_{сгв} = 10 \cdot 3{,}13 \cdot 58 / 24{,}35 = 74{,}55,\ г/м^3, \qquad (2.29)$$

где множитель 58 – молекулярная масса бутана: М = 4· 12 + 10 · 1 = 58 (кг/кмоль), множитель 24,35 –молярный объем бутана при данных условиях (2.4):

$$V_м = 22{,}4 \cdot 101{,}3 \cdot 293 / 273 \cdot 100 = 24{,}35\ (м^3/кмоль).$$

2.4.3. Определяем удельное теоретическое число молей воздуха и продуктов горения (2.8), (2.9):

$$n_o^в = \beta\ (1 + 3{,}76) = 6{,}5 \cdot 4{,}76 = 30{,}94\ моль\ /\ моль, \qquad (2.30)$$

$$n_{пг}^o = 4 + 5 + 6{,}5 \cdot 3{,}76 = 33{,}44\ моль\ /\ моль. \qquad (2.31)$$

2.4.4. Учитываем коэффициент избытка воздуха и по формулам (2.10), (2.11) определяем действительные значения удельного числа молей воздуха и продуктов горения:

$$n_в = 30{,}94 \cdot 1{,}5 = 46{,}41\ моль\ /\ моль, \qquad (2.32)$$

$$n_{пг} = 33{,}44 + (1{,}5 – 1) \cdot 30{,}94 = 48{,}91\ моль\ /\ моль. \qquad (2.33)$$

2.4.5. Рассчитываем состав продуктов горения:

$$CO_2 = 4 \cdot 100 / 48{,}91 = 8{,}18\ (\%) \qquad (2.34)$$

$$H_2O = 5 \cdot 100 / 48{,}91 = 10{,}22\ (\%) \qquad (2.35)$$

$$O_2 = 100 \cdot (1{,}5 - 1) \cdot 6{,}5 / 48{,}91 = 6{,}64\ (\%) \qquad (2.36)$$

$$N_2 = 100 \cdot 1{,}5 \cdot 3{,}76 \cdot 6{,}5 / 48{,}91 = 74{,}96\ (\%). \qquad (2.37)$$

2.4.6. Определяем удельные теоретические объемы воздуха и продуктов горения (М и $V_м$ определены ранее в п. 2.4.2) по формулам (2.21), (2.23):

$$V_в^0 = 24{,}35 \cdot 4{,}76 \cdot 6{,}5 / 58 = 12{,}99\ м^3/\ кг, \qquad (2.38)$$

$$V_{пг}^o = 24{,}35\ (4 + 5 + 6{,}5 \cdot 3{,}76) / 58 = 14{,}04\ м^3/кг. \qquad (2.39)$$

2.4.7. Определяем действительные удельные значения объема воздуха и продуктов горения бутана в воздушной среде (2.22), (2.24):

$$Vв = 12{,}99 \cdot 1{,}5 = 19{,}49\ м^3/кг \qquad (2.40)$$

$$Vв = 14{,}04 + (1{,}5 – 1) \cdot 12{,}99 = 20{,}54\ м^3/кг. \qquad (2.41)$$

2.4.8. Обобщаем результаты расчетов и делаем выводы: а) Наиболее огнеопасную смесь: бутан – воздух следует ожидать для стехиометрической концентрации бутана 3,13 (% объема) или 74,55 г/м^3; б) для полного сгорания 1 кг бутана теоретически необходимо 12,99 м^3 воздуха, а теоретический объем продуктов сгорания составит 14,04 м^3; в) действительный объем воздуха на 1 кг при заданном коэффициенте избытка составит 19,49 м^3, а объем продуктов сгорания 20,54 м3; г) в продуктах сгорания будут содержаться CO_2, H_2O, O_2 и N_2 – в количестве (%): 8,18, 10,22, 6,64 и 74,96, соответственно.
2.5. Контрольные задачи и пример решения по составлению материального баланса горения сложных веществ.
2.5.1. Варианты контрольных задач соответствуют списочному номеру студента в группе (табл. 2.2) или выдаются преподавателем индивидуально.
2.5.2. Условиями задачи определено, что горит твердое горючее вещество в количестве 7 кг. Начальные параметры окружающей среды, температура горения и коэффициент избытка воздуха заданы. Горючее вещество имеет известный элементный состав, а требуется

определить удельные и полные объемы воздуха, продуктов сгорания и содержание водяного пара в дыме.

2.5.3. Согласно уравнения (2.25) определяем удельный теоретический объем воздуха (вариант 25):

$$V_в^0 = (4{,}76 \cdot 22{,}4 / 4 \cdot 100) \cdot (55 /3 + 10 – (20 – 4{,}5) /8) = 7.04 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2.42)$$

2.5.4. Действительный расход воздуха с учетом коэффициента избытка составит:

$$V_в = 7{,}04 \cdot 1{,}5 = 10{,}56 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2.43)$$

Таблица 2.2

Условия задания

Вариант	Содержание элементов и влаги в веществе. %					$T^н$, °С	$T^г$, °С	$P^к$, кПа	α
	С	Н	О	S	H_2O				
25	55	10	20	4,5	10,5	15	900	90	1,5

2.5.5. Определяем полный действительный расход воздуха на сгорание 7 кг сложного вещества:

$$V_в = 10{,}56 \cdot 7 = 73{,}92 \text{ м}^3. \quad (2.44)$$

2.5.6. Составляем таблицу удельных объемов продуктов горения элементов, с учетом их содержания (мас. доли) в составе сложного вещества.

Элементы горючих веществ и их массовая доля в составе		Объем продуктов сгорания, м^3 / кг			
		CO_2	H_2O	SO_2	N_2
С	0,55	1,87 · 0,55	-	-	7,00 · 0,55
Н	0,10	-	11,2 · 0,10	-	21,10 · 0,10
S	0,045	-	-	0,7· 0,045	2,63 · 0,045
О	0,20	-	-	-	-2,63 · 0,20
W (влага)	0,105	-	1,24 · 0,105	-	-
Всего	1,000	1,0285	1,2502	0,0315	5,55235

2.5.7. Суммируя итоговые значения объемов продуктов сгорания в составленной таблице, получаем удельный теоретический объем продуктов сгорания сложного вещества:

$$V_{пг}^0 = 1{,}03 + 1{,}25 + 0{,}03 + 5{,}55 = 7{,}86 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2.45)$$

2.5.8. Рассчитываем удельный и полный действительные объемы продуктов горения с учетом заданного коэффициента избытка воздуха и количества сгорающего вещества:

$$V_{пг} = 7{,}86 + (1{,}5 – 1) \cdot 10{,}56 = 8{,}33 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2.46)$$

$$V_{пг} = 8{,}33 \cdot 7 = 58{,}31 \text{ м}^3. \quad (2.47)$$

2.5.9. Рассчитываем объем продуктов горения при заданных условиях окружающей среды и температуры горения:

$$V_{пг}^к = 58{,}31 \cdot (900 + 273) \cdot 101{,}3 / (15 + 273) \cdot 90 = 267{,}31 \text{ м}^3 \quad (2.48)$$

2.5.10. Определяем содержание влаги (паров воды) в продуктах горения (дыме):

$$\varphi H_2O = 1{,}2502 \cdot 100 / 8{,}33 = 15{,}01 \ (\%). \quad (2.49)$$

2.5.11. Обобщаем результаты решения контрольной задачи и делаем вывод, что сгорание 7 кг твердого горючего вещества сложного состава потребует 73,92 м^3 воздуха и будет сопровождаться образованием 267,31 м^3 газообразных продуктов горения, содержащих 15,01 % водяного пара.

2.3. Вопросы для самодиагностики

1. Пояснить понятие материальный баланс реакции горения.
2. Почему стехиометрическая концентрация горючего вещества характеризует реакцию горения?
3. Изложить суть полного и неполного сгорания веществ.
4. Назвать различия полного и неполного сгорания веществ, находящихся в различном агрегатном состоянии.

5. Коэффициент избытка воздуха и особенности его учета при горении веществ в различном агрегатном состоянии.
6. Дать определение продуктам горения и охарактеризовать соединения в их составе.
7. Указать отличия при расчете продуктов полного и неполного сгорания.
8. Назовите составляющие компоненты дыма и укажите их токсичность.
9. Как взаимосвязаны исходные параметры окружающей среды с параметрами горения?
10. Охарактеризуйте влияние продуктов горения сложных веществ на окружающую среду.

Образец заданий для решения разноуровневых задач
по теме 3 «Тепловой баланс реакций горения и определение температуры горения»

Цель: Научиться составлять тепловой баланс, определять температуру горения

3.1. Теоретическая часть работы

В отличие от материального баланса, в основе которого закон сохранения массы, тепловой баланс базируется на законе сохранения энергии, в частности, тепловой. Тепловой баланс позволяет определять ряд энергетических характеристик горения и его основных параметров. Применяемые методы расчетов заимствованы из соответствующих разделов термохимии и термодинамики изолированных систем. Для реакций горения имеются особенности расчетов, т.к. они протекают с выделением тепла (экзотермические), а энтальпия реакции (тепловой эффект) является, по сути, теплотой сгорания. Теплота сгорания может быть выражена в различных единицах измерения в зависимости от способа выражения количества вещества, в результате сгорания которого она выделена (молекулярная, кДж / моль; массовая кДж / кг; объемная кДж / м3). Различают высшую и низшую теплоту сгорания вещества. Высшая (Qв) рассчитывается из условия, что в продуктах горения вода находится в жидком агрегатном состоянии (учитывается теплота конденсации). Для низшей теплоты сгорания (Qн) расчѐты ведут при допущении нахождения воды в продуктах сгорания в газообразном виде, в форме пара.

Теплота сгорания отождествляется с энтальпийным эффектом реакции горения и в связи с тем, что такая реакция всегда экзотермична, знак «-» не учитывают. Молярная теплота сгорания рассчитывается на основе справочных термодинамических данных как разность между изменениями энтальпий образования из элементов всех продуктов реакции и изменениями энтальпий образования из элементов всех исходных компонентов с учетом соответствующих стехиометрических коэффициентов. В связи с тем, что изменение энтальпии образования из элементов для индивидуальных веществ равно нулю (для азота и кислорода, в частности), а стехиометрический коэффициент у горючего вещества в реакциях горения приводят к единице, то согласно закону Гесса:

$$Q_{гор} = |\Delta H_{гор}| = |\Sigma(\Delta H^{o}_{пг i} \cdot n_{пг i}) - \Delta H^{o}_{гв}|, \text{ кДж / моль}, \quad (3.1)$$

где $\Delta H^{o}_{гв}$, $\Delta H^{o}_{пг i}$ – стандартные значения изменения энтальпий образования из элементов соединения горючего вещества и соединений продуктов реакции в газообразном состоянии, кДж/моль; $n_{пг i}$ – стехиометрические коэффициенты (число молей) i – тых продуктов горения.

Для пересчета молярной теплоты сгорания в массовую ($Q'_{гор}$) и объемную ($Q''_{гор}$) теплоты сгорания применяют формулы:

$$Q'_{гор} = Q_{гор} \cdot 1000 / M, \text{ кДж/кг}, \quad (3.2)$$

$$Q''_{гор} = Q_{гор} \cdot 1000 / V_{м}, \text{ кДж /м}^3 . \quad (3.3)$$

Для сложных веществ с известным элементным составом можно определить молярные теплоты сгорания каждого из элементов, выразить их в форме массовых теплот сгорания по формуле (3.3) и с учетом долевого аддитивного вклада в веществе составить общую расчетную формулу для теплоты сгорания. Такой подход применен для составления формулы Менделеева, в которой также учтено отличие $Q'_{в}$ от $Q'_{н}$ на значение теплоты конденсации ($Q_{конд}$,) пара воды в составе продуктов горения:

$$Q'_{н} = Q'_{в} - Q'_{конд}, \text{ кДж/кг}. \quad (3.4)$$

$$Q_в, = 339{,}4\ C + 1257\ H + 108{,}9\ (S - O - N) - 25{,}1\ (9H + W),\ кДж\ /\ моль,$$

где C, H, O, N, S,W – процентное содержание углерода, водорода, кислорода, азота, серы и влаги в сложном веществе. Сравнивать эффективность сгорания различных видов горючих веществ можно по теплоте сгорания, которая позволяет также соотнести тепловую энергию с другими видами энергии. С этой целью в практику введено понятие единица условного топлива, за которую принята теплота сгорания 7000 ккал / кг (1 ккал = 4,184 Дж).

В зоне горения выделяется тепловая энергия, которая расходуется на предварительный нагрев горючего вещества и продуктов горения, а также на тепловые потери в окружающую среду. Температура, до которой нагреваются продукты горения, названа температурой горения и она взаимосвязана с расходом тепла на нагрев продуктов горения ($Q_{пг}$):

$$Q_{пг} = V_{пг} \cdot c_р \cdot (T_{гор} - T_о),\ кДж/м^3, \qquad (3.6)$$

где $V_{пг}$ – объем продуктов горения, $м^3$; $c_р$ – удельная объемная теплоемкость продуктов горения кДж/($м^3$· К); $T_о$ – начальная температура горючей смеси, К; $T_к$ – температура горения, К.

Из (3.6) температура горения может быть выражена в виде:

$$T_{гор} = Q_{пг} / (c_р \cdot V_{пг}) + T_о,\ К\ . \qquad (3.7)$$

Выделяемое в реакции тепло, расходуемое на нагрев продуктов горения, зависит от условий протекания реакции горения. В зависимости от различий в условиях реализации процесса горения различают калориметрическую, теоретическую, адиабатическую и действительную температуру горения.

Калориметрическая температура горения характеризует нагрев продуктов горения при условиях:

- все тепло реакции горения расходуется на нагрев продуктов горения (Qн = Qпг);
- реализуется полное сгорание горючей смеси стехиометрического состава (α = 1);
- в продуктах горения не происходит их термической диссоциации;
- начальные условия заданы $T_о$ = 273 К, $P_о$ = 101,3 кПа.

Теоретическая температура горения начинает отличаться от калориметрической температуры выше 1700°С, когда теплопотерями в окружающую среду пренебрегают, но учитывают расход энергии на процессы диссоциации соединений в продуктах горения:

$$2CO_2 = 2CO + O_2 - 566\ кДж, \qquad (3.8)$$

$$2H_2O = 2H_2 + O_2 - 478\ кДж. \qquad (3.9)$$

Адиабатическая температура горения имеет отличия от калометрической в условиях: горит смесь, состав которой отличается от стехиометрического и горение может проходить с избытком или недостатком воздуха. Другие условия аналогичны: 273 К и 101,3 кПа параметры горючей смеси в начальный момент, тепло потерями в окружающую среду можно пренебречь, вся тепловая энергия реакции горения затрачивается на нагрев продуктов горения.

Действительная температура определяется реальными параметрами процесса, по значению всегда меньше адиабатической и близка калориметрической. Экспериментальное определение действительной температуры горения сопряжено с рядом сложностей и часто ограничиваются расчетом адиабатической температуры на основе закона сохранения энергии и химического состава горючего вещества. При этом используют или термодинамические методы расчета с учетом температурной зависимости теплоемкостей соединений в реакции горения, или метод линейной интерполяции по справочным данным изменений энтальпии продуктов горения. Второй из отмеченных методов менее точен, но проще для выполнения расчетов и предполагает ряд этапов расчета:

- по составленному уравнению реакции горения определяют число молей продуктов горения ($n_{пг}$) с учетом заданного коэффициента избытка воздуха;
- определяют низшую теплоту сгорания $Q_н$ (см. работы №1 и №2);
- рассчитывают среднюю энтальпию продуктов горения ($\Delta H_{ср}$):

$$\Delta H_{ср} = Q_н / n_{пг}\ ; \qquad (3.10)$$

- в справочных данных для изменения энтальпии азота по значению $\Delta H_{ср}$ в первом

приближении определяют температуру горения (T_1);

- определяют энтальпию продуктов горения при T_1:

$$\Delta H_{пг\ 1} = (\Delta H_{пгi} \cdot n_{пгi}),\ кДж/моль; \qquad (3.11)$$

- определяют значение температуры горения во втором приближении (T_o), принимая ее значение больше, чем T_1 (при $\Delta H_{пг\ 1} < Q_н$) или меньше T_1 (при $\Delta H_{пг\ 1} > Q_н$);

- определяют энтальпию продуктов горения при T_2 по уравнению (3.11), но при изменившемся значении температуры;

- рассчитывают температуру горения методом линейной интерполяции:

$$T_{ад} = T_1 + (T_2 - T_1) \cdot (Q_н - \Delta H_{пг\ 1}) / (\Delta H_{пг2} - \Delta H_{пг\ 1}),\ К \qquad (3.12)$$

3.2. Практическая часть работы

3.2.1. Индивидуальные задания выполняются для горючих веществ, которые заданы при выполнении работы №1.

3.2.2. Согласно заданию требуется определить высшую и низшую молярную, массовую и объемную теплоту сгорания горючего веществ в среде кислорода. Начальные условия горения – нормальные. Рассчитать массовую теплоту сгорания по формуле Менделеева и оценить погрешность.

3.3. Пример выполнения задания

3.3.1. Реакция горения бутана в среде кислорода составлена в работе №1:

$$C_4H_{10} + 6{,}5O_2 = 4CO_2 + 5H_2O. \qquad (3.13)$$

3.3.2. По справочным термодинамическим данным находим энтальпии образования веществ, участвующих в реакции (3.13) при нормальных условиях:

$$\Delta H(CO_2) = -\ 393{,}78\ кДж/моль;\ \Delta H(H_2O_{пар}) = -\ 241{,}84\ кДж/моль;$$

$$\Delta H(H_2O_ж) = -\ 285{,}84\ кДж/моль;\ \Delta HC_4H_{10} = -135{,}00\ кДж/моль.$$

3.3.3. По закону Гесса определяем молярную высшую и низшую теплоты сгорания бутана по реакции (3.13):

$$Q_в = 4 \cdot (-\ 393{,}78) + 5 \cdot (-\ 285{,}84) – (-\ 135{,}00) = 2869{,}32\ кДж/моль, \qquad (3.14)$$

$$Q_н = 4 \cdot (-\ 393{,}78) + 5 \cdot (-\ 241{,}84) – (-\ 135{,}00) = 2649{,}32\ кДж/моль, \qquad (3.15)$$

3.3.4. Молярная масса и молярный объем бутана при нормальных условиях определены в работе №2 п. 2.4.2:

$$M = 58\ кг / кмоль,\ V_м = 24{,}35\ м^3/кмоль.$$

3.3.5. Выполняем пересчет $Q_в$ и $Q_н$ из молярных единиц измерения в массовые:

$$Q'_в = 2869{,}32 \cdot 1000 / 58 = 49471{,}03\ кДж / кг, \qquad (3.16)$$

$$Q'_н = 2649{,}32 \cdot 1000 / 58 = 45677{,}93\ кДж / кг. \qquad (3.17)$$

3.3.6. Пересчитываем молярную теплоту сгорания в объемную:

$$Q_в'' = 2869{,}32 \cdot 1000 / 22{,}4 = 128094{,}64\ кДж/м^3, \qquad (3.18)$$

$$Q_н'' = 2649{,}32 \cdot 1000 / 22{,}4 = 118273{,}21\ кДж/м^3. \qquad (3.19)$$

3.3.7. Обобщаем результаты: при заданных условиях горения бутана в кислороде достигаются теплоты сгорания:

а) молярная $Q_в$ = 2869,32 кДж / моль, Qн = 2649,32 кДж/моль;

б) массовая $Q'_в$ = 49471,03 кДж / кг, Qн, = 45677,93 кДж/кг;

в) объемная$Q''_в$ = 12809,64 кДж / м3, Qн" = 118273,21 кДж/м^3.

3.3.8. Определяем массовое содержание элементов в молекуле бутана, чтобы иметь возможность применить формулу Менделеева:

$$\%\ C = 4 \cdot 12 \cdot 100 / 58 = 82{,}76\ \%, \qquad (3.20)$$

$$\%\ H = 1 \cdot 10 \cdot 100 / 58 = 17{,}24\ \%. \qquad (3.21)$$

3.3.9. Определяем низшую массовую теплоту сгорания бутана по формуле Менделеева (3.5):

$$Q'_н = 339{,}4 \cdot 82{,}76 + 1257 \cdot 17{,}24 – 25{,}1\ (9 \cdot 17{,}24 – 0) = 45864{,}9\ кДж/кг. \qquad (3.22)$$

3.3.10. Сравниваем результаты расчетов Qн, по (3.22) и (3.17) и определяем погрешность (Δ):

$$\Delta = (45864{,}9 – 45677{,}93) \cdot 100 / 45864{,}9 = 0{,}41\ \% \qquad (3.23)$$

3.3.11. Делаем вывод по результатам выполнения индивидуального задания: а) значения теплоты горения бутана в кислороде определены для Qв и Qн в различных единицах измерении, удобных для практического применения (п.3.3.7); б) применение формулы

Менделеева для расчета Qн, вполне обосновано, т.к. значение погрешности очень мало (< 1%).

3.4. Вопросы для самодиагностики

1. Почему тепловой баланс для сложных систем выполняется после составления материального баланса?
2. На каком законе основывается составление теплового баланса реакций горения?
3. В чем суть закона Гесса и с какой целью его применяют при составлении теплового баланса?
4. Назовите и охарактеризуйте виды теплоты сгорания.
5. С какой целью применяют различные размерности теплоты сгорания?
6. Какой подход применялся при выводе формулы Менделеева для расчета теплоты сгорания сложных веществ?
7. Дайте определение понятию единица условного топлива.
8. В чем различие калориметрической и теоретической температуры горения?
9. В чем различие адиабатической и действительной температуры горения с калориметрической?
10. Какими методами расчетов можно определить температуру адиабатического горения?

Образец заданий для решения разноуровневых задач
по теме 4 «Расчет температуры самовоспламенения (зависимость от скорости химической реакции, от температуры и давления, величины удельной поверхности, зависимость от строения горючего вещества, йодное число»

Цель: научиться рассчитывать температуру самовоспламенения горючего вещества и работать со справочной литературой.

Работа выполняется в рамках практической подготовки с целью формирования навыков оценивания технологических параметров и эффективность эксплуатации средств и систем защиты окружающей среды в организации.

Многие горючие вещества способны к самовоспламенению, т.е. возгоранию без участия источника воспламенения (зажигания). Процесс самовоспламенения может протекать при определенной температуре, характерной для того или иного горючего вещества.

Самая низкая температура вещества, при которой пламенное горение паро-, газообразных продуктов разложения возникает самопроизвольно за счет химической реакции окисления горючего вещества, будет являться температурой самовоспламенения ($T_{св}$).

Самовоспламенение может быть без распространения пламени. Такое горение является тлением. Тление характерно только для твердых веществ.

Так как самопроизвольное пламенное горение и тление твердых веществ возникает лишь при нагреве до определенных температур – температур самовоспламенения, эти температуры служат одним из важнейших показателей пожароопасности горючих веществ. Для определения этого показателя пожароопасности имеются различные методы расчета $T_{св}$.

Определение температуры самовоспламенения горючего вещества, ее зависимость от различных факторов определяются ГОСТ Р 51330.5-99 (МЭК 60079-4-75) «Метод определения температуры самовоспламенения».

Температура самовоспламенения горючего вещества не является постоянной величиной. Она зависит от следующих факторов:

- состава горючей смеси;
- давления;
- наличия катализаторов;
- степени измельчения.

Образец заданий для решения разноуровневых задач
по теме 5 «Расчет концентрационных пределов распространения пламени »

Цель: научиться рассчитывать стехиометрическую концентрацию, рассчитывать концентрационные пределы распространения пламени (КПР), рассчитывать безопасные концентрации газов и паров.

Работа выполняется в рамках практической подготовки с целью формирования навыков оценивания технологических параметров и эффективность эксплуатации средств и систем защиты окружающей среды в организации.

Вопросы для самодиагностики

1. Охарактеризуйте виды возникновения горения.
2. Какие общие черты существуют в различных видах возникновения горения?
3. Какими причинами обусловлено наличие времени индукции зажигания?
4. Дайте определение понятию горючей среды.
5. Какое значение концентрации горючего вещества считают нижним концентрационным пределом распространения пламени?
6. Какие обстоятельства определяют необходимость установления безопасных концентраций горючего вещества в воздухе?
7. Отметьте на шкале концентраций область взрывоопасных и пожароопасных концентраций горючего вещества.
8. На каком принципе основан метод определения φн по значению нижней теплоты сгорания горючего вещества на воздухе?
9. Представьте выражение для расчета φн иφвчерез стехиометрический коэффициент реакции горения горючего вещества на воздухе.

Образец заданий для решения разноуровневых задач
по теме 6 «Испарение и горение жидкостей»

Цель: определить давление насыщенного пара по уравнению Антуана, рассчитывать объемные концентрации паров по давлению насыщенного пара, определять температурные пределы распространения пламени.

Реакция горения жидкости начинается и протекает сложнее, чем у газов. Рассмотрим жидкость, налитую в открытый сосуд. Жидкости непрерывно испаряются даже при низких температурах. Поэтому над зеркалом жидкости всегда присутствует парообразная смесь с воздухом из- за того, что часть молекул на поверхности, которые имеют большую кинетическую энергию, покидают жидкость и смешиваются с воздухом. При этом поверхность жидкости охлаждается. Благодаря тепловому движению молекулы постепенно распространяются за пределы открытого сосуда. Плотность пара жидкостей по воздуху больше единицы, т.е. пар тяжелее воздуха. Он оседает вниз, скапливаясь на поверхности земли, пола и т.п. В результате длительного испарения могут образовываться взрывоопасные паровоздушные облака очень большой протяженности - до нескольких десятков и даже сотен метров.

Иначе ведут себя жидкости в закрытом сосуде. В этом случае пары уже не могут рассеиваться в окружающую среду. По мере испарения концентрация пара в свободном пространстве сосуда повышается и в итоге достигает состояния насыщения. Устанавливается динамическое равновесие, за время, при котором количество испаряющихся молекул жидкости равно количеству молекул пара, конденсирующихся обратно в жидкость. Такой пар называют насыщенным, а его парциальное давление - давлением насыщенного пара. Как правило, давление насыщенного пара обозначается *PS*. Концентрация насыщенного пара во всем закрытом объеме одинакова.

Давление насыщенного пара горючих жидкостей часто используется в пожарно-

технических расчетах.

Вопросы для самодиагностики

1. Приведите примеры конденсированных горючих веществ.
2. Какое явление обусловливает горение конденсированных веществ?
3. Как влияет температура на процесс испарения конденсированных веществ?
4. В чем различие испарения горючих жидкостей, находящихся в закрытых и открытых сосудах?
5. Почему для оценки взрывопожароопасности горючих жидкостей чаще применяют значения температурных, а не концентрационных пределов распространения пламени?
6. Какие причины обусловливают возможность сопоставления значений температурных и концентрационных пределов распространения пламени?
7. Дайте определение нижнему и верхнему температурным пределам распространения пламени.
8. Почему для практического применения горючих жидкостей важно знать безопасные температурные пределы распространения пламени?
9. Перечислите основные методы расчета tн и tв.
10. Какие показатели определяют возможность расчета безопасных температур эксплуатации горючих жидкостей?

Образец заданий для решения разноуровневых задач
по теме 7 «Расчет температуры и давления взрыва для стехиометрической горючей смеси»

Цель: освоить методы расчета температуры и давления при взрыве. Научится использовать для расчетов справочные данные.

Работа выполняется в рамках практической подготовки. При выполнении работы вырабатываются навыки определять нормативные уровни допустимого негативного воздействия на окружающую среду

При горении газовых смесей в замкнутом объеме продукты горения не совершают работу, поэтому энергия взрыва расходуется на нагрев продуктов взрыва. В этом случае полная энергия определяется как сумма внутренней энергии взрывчатой парогазовоздушной смеси и теплоты горения данного вещества Q гор.

По температуре взрыва находят давление взрыва. Давление при взрыве газовоздушной смеси в закрытом объеме зависит от температуры взрыва и отношения числа молекул продуктов горения к числу молекул по взрывчатой смеси. При взрыве газовоздушных смесей давление обычно не превышает 1,0 МПа, если первоначальное давление смеси было нормальным.

При замене воздуха во взрывчатой смеси кислородом резко увеличивается давление взрыва, поскольку увеличивается температура горения.

При взрыве даже стехиометрической газовоздушной смеси значительное количество теплоты затрачивается на нагревание азота, находящегося в смеси, поэтому температура взрыва таких смесей намного ниже температуры взрыва смесей с кислородом. Так, давление взрыва стехиометрических смесей метана, этилена, ацетона и метилового эфира с кислородом составляет 1,5–1,9 МПа, а стехиометрических смесей их с воздухом – 1,0 МПа.

Максимальное давление взрыва используют при расчетах взрывоустойчивости аппаратуры, а также в расчетах предохранительных клапанов, разрывных мембран и оболочек взрывонепроницаемого электрооборудования.

Вопросы для самодиагностики

1. Дайте определение взрыва и отметьте особенности взрывного горения.
2. Какими причинами обусловлен риск взрыва сосудов, полностью заполненных сжиженными газами?
3. С какой целью оставляют свободным объем сосуда при заполнении сжиженным газом?

4. По какой формуле оценить значение возникающего давления в сосуде со сжиженным газом при резком перепаде температур?
5. Поясните смысл величин, входящих в формулу для определения работы по истечению сжатого газа из герметичного сосуда.
6. С какой целью определяют предельно допустимые значения давления для сосудов и как они зависят от толщины стенки и внутреннего диаметра сосуда?
7. Какое допущение позволяет рассчитывать энергию взрывного горения по формуле (7.5)?
8. Почему в формуле (7.5) учитывается полное изменение числа молей реакции горения, развивающегося во взрывном режиме?
9. Почему в формуле (7.5) учитывают низшую теплоту сгорания?
10. Следствием какого закона является формула (7.6) для расчета давления взрыва в адиабатно – изохорном приближении к реакции горения?

3.3 Типовые контрольные задания для проведения тестирования

Фонд тестовых заданий по дисциплине содержит тестовые задания, распределенные по разделам и темам, с указанием их количества и типа.

Структура фонда тестовых заданий по дисциплине

Индикатор достижения компетенции	Тема в соответствии с РПД/РПП	Характеристика ТЗ	Количество тестовых заданий, типы ТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Основные понятия теории горения. Физико-химические свойства горючих веществ	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	10 – ОТЗ 10 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	10 – ОТЗ 10 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Условия возникновения процесса горения	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	10 – ОТЗ 10 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Развитие процессов горения	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	10 – ОТЗ 10 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Материальный балансы горения	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Тепловой баланс процесса горения	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	5– ОТЗ 5– ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	10 – ОТЗ 10 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Горючие газо-, паро- и пылевоздушные смеси	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	10 – ОТЗ 10 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Диффузионное горение газов и жидкостей	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ

		Умение	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	10 – ОТЗ 10 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Источники и условия образования ударных волн	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
ОПК-3.1 ПК-1.4	Детонация	Знание на выбор	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Умение	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Навыки и (или) опыт деятельности	5 – ОТЗ 5 – ЗТЗ
		Итого	150 – ОТЗ 150 – ЗТЗ

Полный комплект ФТЗ хранится в электронной информационно-образовательной среде ИрГУПС и обучающийся имеет возможность ознакомиться с демонстрационным вариантом ФТЗ.

Ниже приведен образец типового варианта итогового теста, предусмотренного рабочей программой дисциплины.

Образец типового варианта итогового теста,
предусмотренного рабочей программой дисциплины
(образец одного варианта из 18 вопросов 9 - ОТЗ/ 9- ЗТЗ)

1. Для возникновения горения необходимы условия:

   а) твердое вещество, тепло, искра;
   б) горючее вещество, кислород, азот;
   в) **горючее вещество, окислитель, источник зажигания**;
   г) источник зажигания, азот, горючее.

2. Понижение давления при неизменной температуре _____ на равновесие системы $2SO_2 + O_2 \leftrightarrow 2SO_3 + Q$. (Ответ: *влияет*)

3. Температурный коэффициент реакции равен 2. Температуру надо уменьшить на _____ градусов, чтобы скорость реакции уменьшилась в 16 раз. (Ответ: *40°*)

4. Концентрационные пределы воспламенения …

   а) **увеличиваются с повышением температуры**;
   б) уменьшаются с повышением температуры;
   в) увеличиваются с понижением температуры;
   г) не зависят от изменения температуры, а зависят от концентрации.

5. Определите низшую теплоту горения уксусной кислоты CH_3COOH по формуле Д. И. Менделеева. (Ответ: *26460 кДж/кг*)

6. За температуру самовоспламенения не принимают

   а) **максимальную температуру вещества (смеси веществ), при которой происходит резкое увеличение экзотермических реакции, приводящее к пламенному горению;**

б) минимальную температуру вещества (смеси веществ), при которой происходит резкое увеличение экзотермических реакции, приводящее к пламенному горению;
в) минимальную температуру окружающей среды, при которой в данных условиях происходит самовоспламенение вещества;
г) температуру окружающей среды, при которой период индукции максимален.

7. Определите характер свечения пламени бензола. (Ответ: *пламя яркое, коптящее*)

8. Йодным числом называется **...**
а) количество граммов йодида калия поглощенных ста граммами масла;
б) количество граммов масла поглощенных ста граммами йода;
в) **количество граммов йода поглощенных ста граммами масла**;
г) количество граммов масла поглощенных ста граммами йодида калия.

9. Критический гасящий диаметр – это...

а) диаметр трубы, при котором удельная поверхность теплоотвода наименьшая;
б**) диаметр трубы, при котором удельная поверхность теплоотвода наибольшая**;
в) диаметр трубы, при котором скорость распространения пламени наибольшая;
г) наименьший возможный диаметр трубы.

10. Мгновенное сгорание смеси воздуха и паров горючих веществ, сопровождающееся ярким кратковременным свечением называется_____*(введите ответ).(Ответ: вспышкой)*

11. Показатели пожарной опасности для жидкостей это:

а) **температурные пределы распространения пламени**;
б) индекс распространения пламени;
в) температура самонагревания;
г) **концентрационные пределы распространения пламени**;
д) **температура вспышки**.

12. Дым представляет опасность для человека по следующим причинам …

а) вызывает сильные конвективные потоки;
б) возможность взрыва;
в) **токсичность**;
г) повышение содержания кислорода;
д) **непрозрачность;**
е) **высокая температура**.

13. Процесс химического превращения системы окислитель – восстановитель, представляющий собой совокупность ударной волны, распространяющейся с постоянной скоростью, и следующей за фронтом зоны химических превращений исходных веществ детонационной волны, называется _____(*введите ответ*). (Ответ: *детонация*)

14. Критическая высота – это...

а) минимальная высота резервуара, при которой может наступить самотушение;

б) **высота от поверхности жидкости до кромки борта, при которой может наступить самотушение**;

в) максимальная высота резервуара, при которой может наступить самотушение;

г) высота слоя жидкости в резервуаре, при которой может наступить самотушение.

15. Процесс инициирования начального очага горения в горючей смеси, после чего возникший фронт пламени самопроизвольно распространяется по всему объему, называется _____(*введите ответ*). (Ответ: *самовоспламенение*)

16. Установите соответствие между объектом и видом самовозгорания

Вещество	Вид самовозгорания
1. Льняное масло	**а)** химическое
2. Сено, хлопок	**б)** тепловое
3. Смесь азотной кислоты и этилового спирта	**в)** микробиологическое

Ответ: 1= б; 2 = в; 3 = а.

17. В процессе кинетического горения скорость реакции определяется_____ (*дополнить фразу*). (Ответ: *скоростью химической реакции*)

18. Рассчитать действительную температуру горения фенола ($\Delta H_{обр}$ = 4,2 кДж/моль), если потери тепла излучением составили 25 % от Qн, а коэффициент избытка воздуха при горении 2,2. (Ответ: *1185 К*)

3.4 Перечень теоретических вопросов к экзамену

(для оценки знаний)

1. Физико-химическая природа процессов горения и взрыва. Химические реакции горения, их особенность.
2. Механизм химического взаимодействия при горении. Понятие о разветвленных радикально-цепных реакциях.
3. Классификация процессов горения: кинетическое и диффузионное, гомогенное и гетерогенное, дефлаграционное и детонационное горение.
4. Явление взрыва. Химический и физический взрывы. Типы взрывов.
5. Самовоспламенение. Элементы тепловой теории Н.Н.Семенова. Критические условия теплового взрыва.
6. Понятие о цепном взрыве(воспламенении).
7. Влияние концентрации горючего и объема сосуда на температуру самовоспламенения.
8. Самовозгорание веществ и материалов в воздухе. Склонность к самовозгоранию масел и жиров.
9. Вынужденное воспламенение. Виды источников зажигания. Общие и отличительные особенности процессов самовоспламенения и зажигания.
10. Элементы тепловой теории зажигания нагретым телом. Критические условия зажигания.
11. Тепловая теория зажигания электрической искрой. Критические условия зажигания. Минимальная энергия зажигания.
12. Влияние состава горючей смеси и давления на температуру и минимальную энергию зажигания.
13. Материальный и тепловой балансы процесса горения.
14. Низшая теплота сгорания. Адиабатная и действительная температуры горения. Методы расчета.

15. Природа концентрационных пределов распространения пламени (КПРП), минимальная температура горения.
16. Влияние начальной температуры и давления на КПРП.
17. Механизм действия нейтральных газов и химически активных ингибиторов на КПРП. Значения МФКФ.
18. Паровоздушные смеси над поверхностью горючих жидкостей. Температурные пределы распространения пламени, температуры вспышки и воспламенения. Методы расчета.
19. Условия образования горючих паровоздушных смесей над поверхностью твердых горючих материалов.
20. Пылевоздушные горючие смеси. Пределы распространения пламени.
21. Система показателей пожарной опасности веществ и материалов.
22. Диффузионное горение газов, структура и параметры диффузионного пламени.
23. Влияние начальной температуры горючей жидкости на механизм и скорость распространения пламени по ее поверхности.
24. Выгорание жидкости. Связь между тепло- и массообменом. Скорость выгорания и ее зависимость от различных факторов.
25. Основные закономерности процесса горения твердых веществ и материалов.
26. Гомогенный и гетерогенный режимы горения древесины.
27. Влияние различных факторов на скорость распространения пламени и скорость выгорания твердых горючих материалов.
28. Особенности и закономерности горения пластмасс.
29. Горение металлов.
30. Кинетическое горение газов. Механизм распространения пламени в газовоздушных смесях. Структура фронта пламени.
31. Элементы тепловой и диффузионной теории распространения пламени.
32. Нормальная скорость распространения пламени, ее зависимость от различных факторов.
33. Распространение пламени в ограниченном объеме. Расчет давления взрыва.
34. Взрывоопасные и взрывчатые вещества (ВВ).
35. Давление и температура взрыва. Горения и взрыв газообразных и конденсированных ВВ.
36. Ударная волна, механизм ее образования. Параметры ударной волны.
37. Возникновение и распространение детонационных волн в газах.
38. Скорость детонации и факторы, влияющие на ее величину.
39. Энергия и мощность взрыва. Тротиловый эквивалент.
40. Виды пределов в горении.
41. Пределы детонации.
42. Элементы тепловой теории потухания.
43. Теоретические принципы тушения.

3.5 Перечень типовых простых практических заданий к экзамену

(для оценки умений)

1. Вычислите коэффициент горючести для $C_6H_5NHNHCSNNC_6H_5$.
2. Определите характер свечения пламени глицерина $C_3H_8O_3$.
3. Энтальпия горения этана $\Delta H_{гор}$ = – 1430,4 кДж/моль. Чему равно значение теплоты горения этана в кДж/моль и кДж/м^3. Условия стандартные.
4. Энтальпия горения нафталина $C_{10}H_8$ $\Delta H_{ГОР}$ = –5161,2 кДж/моль. Выразить величину теплоты горения этого вещества в кДж/кг.
5. Вычислить иодное число масла состава: глицеридов стеариновой кислоты $C_{17}H_{35}COOH$ – 20 %; глицеридов клупадоновой кислоты $C_{19}H_{35}COOH$ – 35 %; глицеридов линолевой кислоты $C_{17}H_{31}COOH$ – 45 %.
6. Сравните температуры самовоспламенения горючей газо-воздушной смеси в сосудах в форме шара диаметром: № 1 – 10 см: № 2 – 20 см; № 3 – 30 см.
7. В каком из образцов торфа теплоотвод будет максимальным? Образец № 1 – куб с ребром 0,5 м; образец № 2 – куб с ребром 0,75 м; образец № 3 – куб с ребром 1 м.

8. Рассчитать температуру самовозгорания витамина B_2, если известно, что $\lg t_c = 1{,}716 + 0{,}220 \cdot \lg S$; $\lg t_c = 2{,}140 - 0{,}30 \cdot \lg \tau$, а упаковка имеет размеры 1×1×1 метр.
9. Определить концентрационные пределы смеси состоящей из 10% ацетилена, 40 % бутана, 30 % этана и 20 % этилена.
10. Определить тротиловый эквивалент взрыва паровоздушного облака, образовавшегося при аварийном разливе и испарении 1000 кг метана. Оценить безопасное расстояние по действию ударной воздушной волны.
11. По формуле Элея рассчитать температуру вспышки 2-метилгексана(температура кипения = 90,1 °С

3.6 Перечень типовых практических заданий к экзамену
(для оценки навыков и (или) опыта деятельности)

1. Какой объем воздуха необходим для полного сгорания 15 кг бутиламина $C_4H_9NH_2$? Температура – 50°С, давление 1,1 ат, коэффициент избытка воздуха 1,4.
2. Рассчитать объем воздуха, необходимый для полного сгорания 25 м^3 светильного газа, состоящего из 3 % диоксида углерода, 8 % оксида углерода, 35 % метана, 48 % водорода, 3 % азота и 3 % этана. Условия нормальные, α = 1,5.
3. Какой объем воздуха необходим для полного сгорания 100 кг древесины, состоящей из 46 % углерода, 6 % водорода, 42 % кислорода, 2 % азота, 2 % воды и 2 % золы, при t =170°С и Р =1,3 ат, α = 2,1.
4. Сгорело 10 кг пропанола C_3H_7OH. Определить объем и процентный состав образовавшихся продуктов горения. t = 170° ^{C} и Р =1,3 ат, α = 2,2.
5. Определить объем и процентный состав продуктов горения, образовавшихся при полном сгорании 1000 м^3 генераторного газа, состоящего из 24 % диоксида углерода, 7 % водорода, 1 % метана, 5 % оксида углерода и 63 % азота. Условия стандартные, α = 1,3.
6. Определить объем и процентный состав продуктов горения, образовавшихся при полном сгорании 3 кг нитроклетчатки, состоящей из 28,6 % углерода, 57,1 % кислорода, 3,2 % водорода и 11,1 % азота, при t =20 °С и Р =110 КПа, α = 2,0.
7. Рассчитать температуру горения бензола, если потери тепла излучением составляют 20 %, а коэффициент избытка воздуха 1,8.
8. Определить температуру горения торфа состава: 56,4 % углерода, 6,56 % водорода, 24,0 % кислорода, 0,6 % серы, 3,6 % азота и 9,84 % золы. η = 0,4, α = 2,0.
9. Вычислить температуру горения газовой смеси состава: пропан – 60 %, бутан – 40 %. η = 0,3, α = 1,7.
10. По предельной теплоте сгорания определить, как изменяется нижний концентрационный предел воспламенения в воздухе от положения непредельных углеводородов (этин, пропин, бутин, гептин, гексин) в гомологическом ряду. Постройте график зависимости НКПВ от молекулярной массы горючего.

4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

В таблице приведены описания процедур проведения контрольно-оценочных мероприятий и процедур оценивания результатов обучения с помощью оценочных средств в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Наименование оценочного средства	Описания процедуры проведения контрольно-оценочного мероприятия и процедуры оценивания результатов обучения
Контрольная работа	Преподаватель на установочном занятии доводит до обучающихся: темы, количество заданий в контрольной работе. Контрольная работа должна быть выполнена в установленный срок и в соответствии с правилами к оформлению (текстовой и графической частей), сформулированными в Положении «Требования к оформлению

	текстовой и графической документации. Нормоконтроль» в последней редакции. Выполненная контрольная работа передается для проверки преподавателю в установленные сроки. Если контрольная работа выполнена не в соответствии с указаниями или не в полном объеме, она возвращается на доработку
Разноуровневая задача (задание)	Выполнение разноуровневых задач (заданий), предусмотренных рабочей программой дисциплины, проводятся во время практических занятий. Во время выполнения задач (заданий) разрешается пользоваться учебниками, справочниками, конспектами лекций, тетрадями для практических занятий
Тестирование (компьютерные технологии)	Тестирование проводится по результатам освоения тем или разделов дисциплины или по окончанию ее изучения во время практических занятий. Во время проведения тестирования пользоваться учебниками, справочниками, конспектами лекций, тетрадями для практических занятий не разрешено. Преподаватель на практическом занятии, предшествующем занятию проведения теста, доводит до обучающихся: темы, количество заданий в тесте, время выполнения. Результаты тестирования видны обучающемуся на компьютере сразу после прохождения теста

Для организации и проведения промежуточной аттестации составляются типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

Перечень теоретических вопросов и типовые практические задания разного уровня сложности для проведения промежуточной аттестации обучающиеся получают в начале семестра через электронную информационно-образовательную среду ИрГУПС (личный кабинет обучающегося).

Описание процедур проведения промежуточной аттестации в форме экзамена и оценивания результатов обучения

Промежуточная аттестация в форме экзамена проводится путем устного собеседования по билетам или в форме компьютерного тестирования.

При проведении промежуточной аттестации в форме собеседования билеты составляются таким образом, чтобы каждый из них включал в себя теоретические вопросы и практические задания.

Билет содержит: два теоретических вопроса для оценки знаний. Теоретические вопросы выбираются из перечня вопросов к экзамену; два практических задания: одно из них для оценки умений (выбирается из перечня типовых простых практических заданий к экзамену); другое практическое задание для оценки навыков и (или) опыта деятельности (выбираются из перечня типовых практических заданий к экзамену).

Распределение теоретических вопросов и практических заданий по экзаменационным билетам находится в закрытом для обучающихся доступе. Разработанный комплект билетов (25-30 билетов) не выставляется в электронную информационно-образовательную среду ИрГУПС, а хранится на кафедре-разработчике фондов оценочных средств.

На экзамене обучающийся берет билет, для подготовки ответа на экзаменационный билет обучающемуся отводится время в пределах 45 минут. В процессе ответа обучающегося на вопросы и задания билета, преподаватель может задавать дополнительные вопросы.

Каждый вопрос/задание билета оценивается по четырехбалльной системе, а далее вычисляется среднее арифметическое оценок, полученных за каждый вопрос/задание. Среднее арифметическое оценок округляется до целого по правилам округления

При проведении промежуточной аттестации в форме компьютерного тестирования вариант тестового задания формируется из фонда тестовых заданий по дисциплине случайным образом, но с условием: 50 % заданий должны быть заданиями открытого типа и 50 % заданий – закрытого типа.

Образец экзаменационного билета

ИРГУПС 20__-20__ учебный год	**Экзаменационный билет № X** **по дисциплине «Теория горения и взрыва»**	Утверждаю: Заведующий кафедрой «_____» ИрГУПС _____

1. Нормальная скорость распространения пламени, ее зависимость от различных факторов.

2. Низшая теплота сгорания, ее практическое применение.

3. По формуле Элея рассчитать температуру вспышки 2-метилгексана (температура кипения равна 90,1°С).

4. Определить, при какой концентрации (в кг/м) неопентилового спирта ($C_5H_{12}O$) давление взрыва будет максимальным, если известно, что Т = 326 К, Р = 97 кПа.