

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Химии и естествознания



Т.А. Родина

« 28 » октября 2010 г.

ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

для специальности 280101.65 – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Составитель: Г.Г. Охотникова

Благовещенск

2010

Учебно-методический комплекс составлен в соответствии с Государственным стандартом для специальности 280101.65 и включает наименование тем, цели и задачи дисциплины; содержание лекционных, практических и лабораторных занятий; примеры тестовых заданий для контроля изученного материала; вопросы для самостоятельной работы; задания к домашним работам; вопросы для итоговой оценки знаний; список рекомендуемой литературы; учебно-методическую карту дисциплины.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
ТЕМАТИКА ЗАНЯТИЙ	7
ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ	8
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА	9
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ	10
ЛИТЕРАТУРА	10
СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА	12
РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ	16
РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	24
ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ	31
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ ТЕСТ	35
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ	40
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДОМАШНИХ РАБОТ	47

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель формирование у студентов представлений о физико-химических закономерностях процессов горения и взрыва, сопровождающих техногенную деятельность человека.

Задачи дисциплины - получение студентами знаний, способствующих адекватной качественной оценке процессов горения и взрыва в конкретных технологических условиях, и навыков, необходимых для количественного определения физико-химических параметров горения и взрыва.

Прослушав курс "Теория горения и взрыва", студент должен *иметь представление:*

- о ЧС на пожаро- и взрывоопасных объектах;
- о степени опасности техногенных горючих и взрывчатых веществ;
- о способах хранения и эксплуатации горючих и взрывчатых веществ;
- о способах определения основных характеристик горючих и взрывчатых веществ;
- методиках расчетов процессов горения и взрыва;
- методиках определения параметров зон разрушения при пожарах и взрывах.
- *знать:*
- теоретические основы процессов горения и взрыва;
- физико-химические процессы, протекающие в горючих и взрывчатых веществах;
- поражающие факторы пожаров и взрывов;
- основные горючие и взрывчатые вещества и способы их классификации;
- классификацию процессов горения и пламен, типы взрывов;

- особенности процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии;
- меры безопасности при работе с горючими веществами.

уметь:

- пользоваться нормативно-технической документацией по вопросам пожаро- и взрывобезопасности;
- рассчитывать материальные балансы процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии;
- рассчитывать основные характеристики и параметры процессов горения и взрыва;

Связь с другими учебными дисциплинами

Учебная дисциплина базируется на знаниях, приобретенных при изучении следующих дисциплин: “Высшая математика”, “Физика”, “Химия”, “Теплотехника”, “Гидравлика”, “Материаловедение”.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Выписка из ГОС ВПО

(утвержден 05.04.200 г. Регистрационный номер 304 тех/дс)

Федеральный компонент. ОПД. Ф. 09

Физико-химические основы горения; теории горения: тепловая, цепная, диффузионная; виды пламени и скорости его распространения; условия возникновения и развития процессов горения; взрывы: типы взрывов, физические и химические взрывы, классификация взрывов по плотности вещества, по типам химических реакций, энергия и мощность, форма ударной волны, длительность импульса

Общая характеристика процесса горения

Развитие представлений о горении, место процесса горения в развитии цивилизации. Различные подходы к определению процесса горения. Физико-химические основы процесса горения. Понятие горючей смеси и горючей системы. Стадии процесса горения.

Пространственное распространение, как характерная особенность процесса горения и механизмы распространения пламени. Понятие скорости горения.

Основы классификации горючих смесей и процессов горения.

Процесс горения в техносфере

Экологические аспекты процессов горения. Состав горючей системы и условия горения. Характеристики процесса горения: коэффициент горючести, характер свечения пламени. Горючие техногенные вещества и их классификация. Уравнения горения и методика их составления. Соотношение горючего вещества и окислителя в системе. Мольная доля горючего вещества; стехиометрический коэффициент реакции горения. Продукты сгорания и зависимость их состава от состава горючего вещества. Полное и неполное сгорание.

Расчет процесса горения

Задание состава горючего материала. Индивидуальные горючие вещества и горючие смеси. Топливо и его элементный состав. Расчет воздуха, необходимого для сгорания индивидуальных веществ и сложных горючих смесей в различном агрегатном состоянии. Теоретически необходимое и действительное количество воздуха. Избыток воздуха и коэффициент избытка. Влияние температуры и давления на процесс горения.

Продукты сгорания и их состав. Сухие и влажные продукты сгорания. Зависимость температуры горения и состава продуктов сгорания от количества окислителя. Продукты сгорания органических и неорганических веществ. Термоокислительные реакции. Расчет продуктов сгорания индивидуальных веществ и сложных горючих смесей в газообразном, жидком и твердом состоянии. Влияние внешних условий на состав и объем продуктов сгорания. Процентный состав продуктов сгорания.

Термодинамики процессов горения

Тепловые эффекты реакций горения. Теплота горения и теплота сгорания веществ. Низшая и высшая теплоты сгорания. Закон Гесса и формулы Менделеева. Расчет теплот сгорания для веществ различного состава и агрегатных состояний. Температура горения и способы ее определения. Теоретическая температура горения. Адиабатическая (калориметрическая) температура горения. Действительная температура горения (температура пожара).

Типы пламен и скорость горения

Предварительно перемешанные и предварительно не перемешанные смеси горючих веществ с окислителем. Структура пламени. Системы с различными типами пламен. Ламинарные пламена предварительно перемешанной смеси. Кинетическое горение. Зависимость скорости горения от направления потока. Ламинарные пламена предварительно не перемешанной смеси. Диффузионное горение. Турбулентные пламена предварительно перемешанной и предварительно не перемешанной смеси. Особенности применения смесей различного типа.

Инициация процессов горения

Действие источника воспламенения (зажигания) на горючую смесь. Искровое зажигание и его особенности: успешное зажигание, отказ от зажигания. Методы исследования параметров зажигания. Источники искрового зажигания: высоковольтная и низковольтная искра, их разновидности и особенности использования. Пределы зажигания. Охлаждающее действие электродов. Зажигание накаливаемой поверхностью, его особенности.

Кинетика процессов горения

Влияние различных факторов на скорость горения. Молекулярность и порядок реакций горения. Зависимость энергии активации от молекулярности реакций. Элементарные реакции. Теории горения. Перекисная теория горения. Работы Боденштейна. Теория цепных реакций. Неразветвленные и разветвленные цепные реакции. Вырожденно-разветвленные реакции. Работы Семенова и Хиншелвуда. Развитие теории цепных реакций. Температура окисления горючих веществ и факторы, на нее влияющие.

Теории самовоспламенения. Виды самовоспламенения и скорость этого процесса. Температура самовоспламенения и ее зависимость от состава горючей смеси, начальной температуры и др. факторов. Возгорание и воспламенение; температуры, характеризующие данные процессы.

Самовозгорание и его виды: тепловое, микробиологическое, химическое. Особенности процессов самовозгорания различных веществ. Температура самовозгорания.

Горение различных систем

Теория горения газовых смесей. Работы Зельдовича. Температура и скорость распространения фронта пламени. Давление при взрыве газо- и паровоздушных смесей, температура взрыва. Концентрационные пределы воспламенения, их определение и использование. Факторы, влияющие на концентрационные пределы воспламенения.

Горение жидкостей. Температурные пределы воспламенения и температура вспышки. Скорость выгорания. Вскипание, выброс.

Горение пылевоздушных смесей. Пожароопасность пылей. Теория горения аэрозвесей. Концентрационные пределы воспламенения пылей, их определение и использование.

Горение твердых веществ. Особенности состава, строения и процессов горения твердых веществ. Горение древесины. Горение металлов. Пиролиз полимерных материалов.

Оценка пожарной опасности горючих веществ. Общая характеристика процессов, протекающих при нагревании и горении веществ в различном агрегатном состоянии. Избыточное давление при взрыве веществ в различном агрегатном состоянии.

Общие представления о взрыве и взрывчатых веществах

Развитие представлений о процессе взрыва и взрывчатых веществах. Группы взрывчатых веществ. Удельная энергия взрывчатого вещества и способы ее определения. Чувствительность взрывчатых веществ. Инициация взрыва. Классификация взрывчатых веществ. Кислородный

баланс взрывчатого вещества. Гидродинамическая теория детонации. Детонационная волна. Коэффициент жесткости взрывных газов.

Типы и характеристики взрыва

Скорость детонационной волны, способы ее определения. Удельная энергия взрыва. Действие взрывных газов. Ударная волна. Распределение энергии при взрыве: энергия ударной волны, остаточная энергия, кинетическая и тепловая энергия осколков оболочки, кинетическая и тепловая энергия источника, излучение. Распространение взрыва. Кумулятивный эффект и его использование.

Взрыв в воздухе. Параметры ударной волны при взрыве в воздухе. Давление на фронте ударной волны. Скорость, время действия и импульс ударной волны. Гашение ударных волн. Фугасное и бризантное действие взрыва. Действие ударной волны на человека. Экспертные оценки фугасного поражения. Обеспечение безопасности при взрывных работах.

Взрывы в различных средах: в воде, в твердых телах.

Физические взрывы. Ядерный взрыв. Электрическая искра, кавитация. Применение взрыва в технике и народном хозяйстве.

ТЕМАТИКА ЗАНЯТИЙ

Лекции – 34 час.

1. Общие вопросы горения.
2. Процесс горения в техносфере.
3. Расчет процесса горения: состав горючей системы и расчет количества воздуха, необходимого для горения.
4. Расчет процесса горения: расчет продуктов сгорания.
5. Термодинамика процессов горения.
6. Типы пламени и скорость горения.
7. Воспламенение и возгорание горючих смесей. Инициация горения.
8. Кинетика процессов горения.
9. Теории горения.
10. Теории самовоспламенения.
11. Самовозгорание.
12. Процессы горения веществ в различном агрегатном состоянии.
13. Общие вопросы взрыва.
14. Взрывчатые вещества.
15. Теории взрыва. Виды взрыва: взрыв в воздухе.
16. Характеристики взрывной волны.
17. Взрывы в различных средах. Физические взрывы. Экспертная оценка поражающего действия взрыва.

Практические занятия – 17 час.

1. Составление уравнений горения. Определение коэффициента реакции горения и типа горючей смеси.
2. Материальный баланс процесса горения: расчет воздуха, необходимого для горения различных веществ.
3. Материальный баланс процесса горения: продукты сгорания.
4. Термодинамика процессов горения: определение теплот горения и сгорания.
5. Расчет адиабатической температуры горения.
6. Концентрационные пределы воспламенения. Определение стехиометрической концентрации горючего вещества.

7. Давление при взрыве паро- газовоздушной смеси.
8. Расчет избыточного давления при взрыве различных горючих веществ - 3 час.

Лабораторные работы – 17 час.

1. Инструктаж по технике безопасности при работе с горючими веществами. Контроль остаточных знаний по химии - 2 час.
- 2 - 3. Определение основных характеристик горения - 4 час.
4. Контроль текущих знаний - тестирование - 2 час.
5. Продукты горения. - 2 час.
6. Определение критического зазора для взрывоопасной смеси. - 2 час.
7. Контроль текущих знаний - тестирование - 2 час.
8. Критерии фугасного поражения (работа с номограммами и диаграммами). Воздействие ударной волны на человека - 3 час.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Развитие представлений о горении и взрыве.
2. Физические аспекты процессов горения.
3. Химические аспекты процессов горения.
4. Гомо- и гетерогенное горение. Горючее вещество и горючая смесь. Условия возникновения горения.
5. Классификация горючих техногенных веществ и особенности их горения: стадии процесса горения. Процессы, протекающие при горении веществ в различном агрегатном состоянии.
6. Механизмы распространения пламени.
7. Виды (классификация) горючих смесей. Скорость распространения пламени.
8. Горючесть веществ. Уравнения горения и состав продуктов сгорания. Характер свечения пламени. Полное и неполное сгорание. Влияние продуктов сгорания на процесс горения.
9. Состав горючих смесей (индивидуальные и сложные вещества). Способы задания состава горючих смесей.
10. Термодинамика процессов горения.
11. Температура пожара и температура горения, способы их определения.
12. Расчет адиабатической температуры горения.
13. Соотношения воздуха и продуктов сгорания при горении индивидуальных и сложных веществ в различном агрегатном состоянии.
14. Виды пламени. Фронт пламени, его структура и перемещение.
15. Инициация процесса горения. Влияние различных факторов на возникновение горения.
16. Тепловое самовоспламенение. Возгорание.
17. Температура самовоспламенения и факторы, на нее влияющие.
18. Температура самонагрева и способы ее определения. Факторы, влияющие на температуру самонагрева. Переход самонагрева в горение.
19. Тепловое самовозгорание различных органических и неорганических веществ.
20. Микробиологическое самовозгорание.
21. Химическое самовозгорание.
22. Теории горения газо- и паровоздушных смесей. Пожаро- и взрывоопасность смесей.
23. Определение температуры и давления при взрыве газо- и паровоздушных смесей.
24. Определение избыточного давления взрыва для различных веществ.
25. Концентрационные пределы воспламенения и методики их расчета. Использование концентрационных пределов воспламенения.

26. Влияние различных факторов на концентрационные пределы воспламенения (температура, давления, примеси, турбулентность, источник зажигания, агрегатное состояние горючего вещества).

27. Факторы, определяющие горения жидкостей. Процессы, протекающие при горении жидкостей и их влияние на скорость выгорания. Вскипание и выброс жидкости при горении.

28. Особенности горения твердых веществ. Стадии горения и процессы, протекающие при горении твердых веществ (горение металлов и древесины, пиролиз полимеров).

29. Пожарная опасность горючих веществ. Категории помещений по пожарной опасности.

30. Экологические проблемы, связанные с процессами горения в техносфере.

31. Кинетика процессов горения. Скорость реакции горения и факторы, ее определяющие.

32. Цепные реакции и их виды. Механизм цепной реакции.

33. Стадии цепной реакции. Цепные реакции в техносфере.

34. Основные типы взрывчатых веществ (ВВ), способы их классификации.

35. Удельная энергия взрывчатых веществ, ее определение и влияние на поведение взрывчатых веществ.

36. Инициация взрыва. Чувствительность ВВ к детонации. Критический диаметр детонации. Кислородный баланс ВВ.

37. Превращение ВВ при различных воздействиях. Физические и химические взрывы.

38. Гидродинамическая теория детонации.

39. Типы взрывов. Взрыв в воздухе.

40. Импульс взрыва.

41. Распределение энергии при взрыве. Энергия ударной волны.

42. Распространение взрыва.

43. Взрывы в различных средах.

44. Время действия и импульс ударной волны.

45. Давление на фронте ударной волны.

46. Скорость ударной волны.

47. Кумулятивный эффект.

48. Фугасное действие взрыва. Вторичные явления при взрыве.

49. Экспертные оценки фугасного поражения. Обеспечение безопасности при взрывных работах.

50. Физические взрывы. Ядерный взрыв.

51. Физические взрывы. Электрическая искра. Кавитация.

52. Используемые ВВ (динамиты, баллиститы, аммониты, динамомиты), их основные компоненты.

53. Использование ВВ.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа (34 час.) включает в себя:

- текущее изучение учебного материала, преподаваемого на лекционных занятиях;
- изучение рекомендованной литературы;
- подготовку к практическим занятиям;
- подготовку к контролю знаний;
- выполнение домашних работ;
- подготовку к экзамену по дисциплине.

При текущем изучении учебного материала предполагается регулярная проработка студентом конспекта лекций.

Вопросы для самостоятельного изучения (34 час.)

1. Особенности горения газов, жидкостей и твердых веществ.
2. Определение теплоты горения и теплоты сгорания горючих веществ.
3. Критерии пожарной опасности веществ.
4. Определение температуры вспышки горючих жидкостей.
5. Цепные реакции в техносфере.
6. Экологические проблемы, связанные с процессами горения в техносфере.
7. Процессы самовозгорания различных веществ: масла и жиры, каменный уголь, сульфиды металлов, фосфор, торф, растительные материалы.

Домашние работы

1. Материальный баланс процесса горения
2. Адиабатическая температура горения и концентрационные пределы воспламенения.
3. Давление и температура при взрыве газо- и паровоздушной смеси. Избыточное давление при взрыве различных веществ и определение пожароопасной категории помещений.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ

Экзамен - итоговая аттестация по дисциплине. Возможны 2 варианта проведения экзамена: устный ответ по билету или выполнение тестового задания. Форма сдачи экзамена выбирается студентом. Билет для сдачи устного экзамена включает в себя 2 вопроса по основным темам курса и расчетную задачу. Тестовое задание состоит из 50 вопросов и выполняется в течение 4 академических часов. Оценка “отлично” ставится при выполнении студентом не менее 91 % экзаменационного теста; оценка “хорошо” - при выполнении не менее 75 % теста; оценка “удовлетворительно” - при выполнении студентом не менее 55 % теста. В случае выполнения менее 55 % теста ставится оценка "неудовлетворительно".

При сдаче экзамена, помимо ответа, учитывается текущая работа студента в семестре, результаты промежуточного контроля и самостоятельной работы. Вклад составляющих “ответ на экзамене” - “работа в семестре” равноценен. К сдаче экзамена не допускаются студенты, не выполнившие лабораторные и домашние работы и (или) пропустившие более 50 % занятий в течение семестра без уважительной причины.

Все повторные пересдачи экзамена производятся устно по билетам.

В случае использования рейтинговой системы оценки условия допуска к экзамену и критерии оценки итогового (экзаменационного) тестового задания изменяются в соответствии с рейтинговой оценкой за семестр.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Кукин, П.П. Теория горения и взрыва: учеб. пособие/ П.П. Кукин [и др.]. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 435 с. (ЭБС Университетская библиотека online)
2. Кириллин, В.А. Техническая термодинамика: учеб.: доп. Мин. обр. РФ/ В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – 5-е изд., перераб. и доп.. – М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2008. – 496 с.
3. Теплотехника: учеб./ под ред. А. П. Баскакова. – 3-е изд., перераб. и доп.. – М.: БАСТЕТ, 2010. – 326 с..

Дополнительная литература

1. Орленко, Л.П. Физика взрыва и удара: учеб. пособие/ Л.П. Орленко – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 – 304 с.
2. Ерохин, В.Г. Основы термодинамики и теплотехники : учеб.: рек. Мин. обр. РФ/ В.Г. Ерохин, М.Г. Маханько. – 2-е изд.. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 224 с.
3. Варнатц, Ю. Горение: Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл; Пер. с англ. Г.Л. Агафонова, Ред. П.А. Власов. - М. : Физматлит, 2003. - 352 с.
4. Охотникова, Г.Г. Химия горения: учеб. пособие по дисц. "Теория горения взрыва" для студ. заоч. формы обучения / Г. Г. Охотникова. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 61 с.
5. Родина, Т.А. Химия углеводов: учеб. пособие/ Т.А. Родина, О.В. Лосева; Благовещенск: АмГУ, ИФФ. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2010. – 80 с.
6. Левшаков, А.М. Техническая термодинамика: метод. пособие / А. М. Левшаков, А. С. Блейхман, А. И. Яшин. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 1999. - 40 с.
7. Цветков, Ф.Ф. Задачник по совместным процессам массо- и теплообмена: Учебное пособие / Цветков Ф.Ф. - М. : Изд-во МЭИ, 1997. - 24с. с.
8. Цветков, Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену: учеб. пособие : рек. УМО / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2008. - 196 с.
9. Сборник примеров и задач по тепломассообменным процессам, аппаратам и установкам: Учеб. пособие / Горбенко В.А., Архипов Л.И., Данилов О.Л.; редактор Ефимов А.Л. - М. : Изд-во МЭИ, 1997. - 116с. с.
10. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: Справ. / Под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. - М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 1999, 2000. - 528 с.

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА

Лекция 1. Общая характеристика процесса горения

Развитие представлений о горении, место процесса горения в развитии цивилизации. Различные подходы к определению процесса горения. Физико-химические основы процесса горения. Понятие горючей смеси и горючей системы. Стадии процесса горения.

Пространственное распространение, как характерная особенность процесса горения и механизмы распространения пламени. Детонация и дефлаграция. Понятие скорости горения.

Основы классификации горючих смесей и процессов горения. Гомогенные и гетерогенные смеси. Влияние различных факторов на процесс горения.

Лекция 2. Процесс горения в техносфере

Экологические аспекты процессов горения. Понятие горючей смеси. Горючая система ее состав и условия горения. Инициация процесса горения. Виды окислителя. Характеристики процесса горения: коэффициент горючести, характер свечения пламени. Горючие техногенные вещества. Классификация горючих веществ и смесей по составу и агрегатному состоянию. Уравнения горения веществ в кислороде и на воздухе, методика их составления. Соотношение горючего вещества и окислителя в системе. Классификация гомогенных смесей по соотношению горючего вещества и окислителя. Мольная доля горючего вещества; стехиометрический коэффициент реакции горения. Продукты сгорания и зависимость их состава от состава горючего вещества. Полное и неполное сгорание.

Лекция 3. Расчет процесса горения: состав горючей системы и расчет количества воздуха, необходимого для горения.

Расчетные параметры процесса горения. Задание состава горючего материала. Индивидуальные горючие вещества и горючие смеси. Топливо и его элементный состав. Рабочая, сухая, горючая и органическая массы топлива. Условия пересчета масс. Процесс горения топлива. Расчет воздуха, необходимого для сгорания индивидуальных веществ в различном агрегатном состоянии. Условия горения, отличные от нормальных. Учет коэффициента избытка воздуха. Расчет воздуха, необходимого для сгорания сложных горючих смесей в различном агрегатном состоянии. Теоретически необходимое и действительное количество воздуха. Избыток воздуха и коэффициент избытка. Влияние температуры и давления на процесс горения. Соотношение продуктов сгорания и их состав при различных значениях коэффициента избытка воздуха.

Лекция 4. Расчет процесса горения: расчет продуктов сгорания.

Продукты сгорания и их состав. Сухие и влажные продукты сгорания. Зависимость температуры горения и состава продуктов сгорания от количества окислителя. Горение органических веществ и продукты их сгорания. Полное и неполное сгорание смеси. Горение неорганических веществ и продукты их сгорания. Термоокислительные реакции и зависимость состава их продуктов от температуры. Расчет продуктов сгорания индивидуальных веществ в различных агрегатных состояниях при нормальных условиях и в условиях, отличных от нормальных. Расчет продуктов сгорания сложных горючих газообразных смесей. Особенности расчета продуктов сгорания сложных горючих смесей в жидком и твердом состоянии. Влияние внешних условий на состав и объем продуктов сгорания. Процентный состав продуктов сгорания и особенности его расчета для горючих смесей в различном агрегатном состоянии. Оценка условий горения по процентному составу продуктов сгорания.

Лекция 5. Термодинамики процессов горения

Тепловые эффекты реакций горения. Процессы, протекающие при горении в эндо- и экзотермических реакциях. Теплота горения и теплота сгорания веществ. Расчет теплоты сгорания

на основании закона Гесса. Экспериментальное определение теплоты сгорания. Низшая и высшая теплоты сгорания. Формулы Менделеева для определения высшей и низшей теплот сгорания веществ сложного состава. Расчет теплот сгорания для веществ различного состава и агрегатных состояний. Нижний предел теплоты сгорания веществ. Температура горения и способы ее определения. Теоретическая температура горения. Адиабатическая (калориметрическая) температура горения. Расчет теплосодержания продуктов сгорания. Действительная температура горения (температура пожара). Распределение температуры в зоне пожара и ее зависимость от условий горения. Методики определения температуры пожара. Оценка пожарной опасности веществ и материалов. Классификация пожароопасных веществ. Показатели пожарной опасности веществ.

Лекция 6. Типы пламен и скорость горения

Предварительно перемешанные и предварительно не перемешанные смеси горючих веществ с окислителем. Примеры. Структура пламени. Системы с различными типами пламен. Ламинарные пламена предварительно перемешанной смеси. Распространение плоского ламинарного пламени. Пламя бунзеновской горелки. Кинетическое горение. Зависимость скорости горения от направления потока. Фоторегистрация пламени. Ламинарные пламена предварительно не перемешанной смеси. Диффузионное горение. Горение свечи. Ламинарные пламена с параллельными потоками и противотоком. Пламена предварительно не перемешанной смеси с быстрыми реакциями. Турбулентные пламена. Модели турбулентности. Турбулентные пламена предварительно перемешанной смеси. Скорость распространения турбулентного пламени. Турбулентные пламена предварительно не перемешанной смеси. Особенности применения смесей различного типа.

Лекция 7. Воспламенение и возгорание горючих смесей. Инициация процессов горения

Действие источника воспламенения (зажигания) на горючую смесь. Искровое зажигание и его особенности: успешное зажигание, отказ от зажигания. Методы исследования параметров зажигания. Поведение смесей при искровом зажигании. Источники искрового зажигания: высоковольтная и низковольтная искра, их разновидности и особенности использования. Пределы зажигания. Охлаждающее действие электродов. Влияние состава горючей смеси на характеристики источника зажигания. Зажигание накаливаемой поверхностью. Влияние температуры и площади поверхности на процесс зажигания. Особенности процесса зажигания накаливаемой поверхностью: каталитические процессы, влияние природы металла.

Процессы, протекающие при горении. Стадии горения веществ в различном агрегатном состоянии.

Лекция 8. Кинетика процессов горения

Влияние различных факторов на скорость горения. Молекулярность и порядок реакций горения. Изменение концентрации во времени для реакций первого, второго и третьего порядка. Зависимость энергии активации от молекулярности реакций. Элементарные реакции процессов окисления различных горючих веществ. Экспериментальные исследования элементарных реакций. Поверхностные реакции.

Лекция 9. Теории горения

Исследования в области кинетики цепных реакций. Перекисная теория горения, ее достоинства и недостатки. Работы Боденштейна. Теория цепных реакций. Неразветвленные и разветвленные цепные реакции. Стадии цепных реакций и факторы, влияющие на их протекание. Вырожденно-разветвленные реакции. Работы Семенова и Хиншеллуда. Развитие теории цепных реакций. Кинетика цепных реакций, протекающих при различных условиях (большая длина

цепи, присутствие ингибиторов, вырождение цепи). Критические явления в разветвленных цепных реакциях. Полуостров воспламенения. Температура окисления горючих веществ и факторы, на нее влияющие. Основные цепные реакции, протекающие в техносфере.

Лекция 10. Теории самовоспламенения.

Теории самовоспламенения. Виды самовоспламенения и скорость процесса. Тепловыделение и теплоотвод, зависимость процесса самовоспламенения от этих характеристик. Анализ кривых теплового самовоспламенения. Цепное самовоспламенение. Температура самовоспламенения, ее зависимость от состава горючей смеси, начальной температуры и др. факторов. Период индукции и факторы, на него влияющие. Возгорание и воспламенение; температуры, характеризующие данные процессы. Причины возгорания.

Лекция 11. Самовозгорание

Температура самонагревания и способы ее определения. Классификация веществ по температуре самонагревания. Изменение температурных режимов в процессе возникновения горения. Тепловое самовозгорание, пирофорные химические вещества: масла, жиры, каменный уголь, сульфиды железа, фосфор, металлы и их карбиды. Условия теплового самовозгорания. Микробиологическое самовозгорание: растительные материалы, торф, опилки. Химическое самовозгорания и его виды. Контакт с водой. Контакт с окислителем. Особенности процессов самовозгорания различных веществ.

Лекция 12. Горение различных систем

Теория горения газовых смесей. Работы Зельдовича. Температура и скорость распространения фронта пламени. Давление при взрыве газо- и паровоздушных смесей, температура взрыва. Концентрационные пределы воспламенения, их определение и использование. Факторы, влияющие на концентрационные пределы воспламенения.

Горение жидкостей. Температурные пределы воспламенения и температура вспышки. Скорость выгорания. Вскипание, выброс.

Горение пылевоздушных смесей. Пожароопасность пылей. Теория горения аэрозвесей. Концентрационные пределы воспламенения пылей, их определение и использование.

Горение твердых веществ. Особенности состава, строения и процессов горения твердых веществ. Горение древесины. Горение металлов. Пиролиз полимерных материалов.

Оценка пожарной опасности горючих веществ. Общая характеристика процессов, протекающих при нагревании и горении веществ в различном агрегатном состоянии. Избыточное давление при взрыве веществ в различном агрегатном состоянии.

Лекция 13. Общие вопросы взрыва

Развитие представлений о процессе взрыва и взрывчатых веществах. Взрывы в природе. Практическое применение взрыва. Развитие военной техники, артиллерии и взрывного дела в России. Вклад русских ученых в науку о взрыве. Развитие теоретических представлений о взрыве.

Инициация взрыва. Детонаторы. Физические и химические взрывы. Гидродинамическая теория детонации.

Лекция 14. Взрывчатые вещества

Группы взрывчатых веществ (ВВ). Виды превращений энергии и вещества при взрыве. Классификация ВВ. Основные характеристики ВВ: чувствительность, скорость детонации, температура и теплота взрыва, удельный объем продуктов взрыва, эффективность. Физическая и химическая стойкость ВВ. Свойства ВВ. Поражающее действие ВВ. Меры безопасности при

хранении, транспортировке, эксплуатации ВВ. Удельная энергия взрывчатого вещества и способы ее определения. Инициация взрыва. Кислородный баланс взрывчатого вещества.

Лекции 15 – 16. Теории взрыва. Виды взрыва: взрыв в воздухе. Характеристики взрывной волны

Детонационная волна. Коэффициент жесткости взрывных газов. Скорость детонационной волны, способы ее определения. Удельная энергия взрыва. Действие взрывных газов. Ударная волна. Теория ударных волн для газовых сред. Работы Ренкина и Гюгонио. Отражение волны. Работы Маха. Распределение энергии при взрыве: энергия ударной волны, остаточная энергия, кинетическая и тепловая энергия осколков оболочки, кинетическая и тепловая энергия источника, излучение. Распространение взрыва. Кумулятивный эффект и его использование.

Взрыв в воздухе. Параметры ударной волны при взрыве в воздухе. Давление на фронте ударной волны. Скорость, время действия и импульс ударной волны. Гашение ударных волн. Фугасное и бризантное действие взрыва. Поражающее действие взрыва: кумулятивное, осколочное, ударное, зажигательное.

Лекция 17. Взрывы в различных средах. Физические взрывы. Экспертная оценка поражающего действия взрыва

Взрывы в различных средах: в воде, в твердых телах. Наземные, приподнятые, подземные и подводные взрывы. Распределение скоростей при взрыве в среде. Параметры ударных волн при различных видах взрыва. Качественная оценка параметров взрыва. Применение взрыва в технике и народном хозяйстве.

Общие представления о физических взрывах. Физические взрывы первого, второго и третьего рода. Создание и развитие ядерного оружия. Ядерный взрыв. Реакции деления и синтеза атомных ядер. Ядерные боеприпасы и ядерные заряды. Поражающие факторы ядерного взрыва и защита от них. Проведение ядерных взрывов в мирных целях.

Электрическая искра, кавитация.

Диаграммы поражения различных объектов. Действие ударной волны на организм человека. Экспертные оценки фугасного поражения. Диаграммы и номограммы. Обеспечение безопасности при взрывных работах.

РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практическое занятие 1.

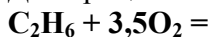
Составление уравнений горения.

Определение коэффициента реакции горения и типа горючей смеси.

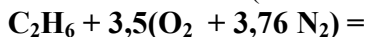
На первом практическом занятии необходимо обсудить основные горючие вещества техносферы как индивидуального состава, так и сложные смеси. Целью занятия является формирование навыков написания уравнений горения для горючих веществ, взятых в количестве 1 моль. Уравнения сначала составляются для процесса горения в кислороде, затем - для процесса горения в воздухе. Необходимо обратить внимание на написание уравнений горения веществ, в состав которых входит кислород.

Для составления уравнения горения в чистом кислороде слева указывают химическую формулу горючего вещества и кислород в количестве, необходимом для реализации окислительно-восстановительного процесса, именуемого горением, а справа - продукты горения в количестве, соответствующем левой части. Для упрощения проведения дальнейших расчетов, связанных с процессом горения удобно, чтобы горючее вещество было представлено в количестве 1 моля (коэффициент перед горючим веществом равен 1). Коэффициент перед кислородом в этом случае может быть дробным.

Для процесса горения этана левая часть уравнения будет выглядеть следующим образом:

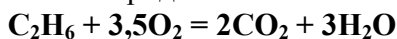


При сгорании вещества в воздухе необходимо учитывать, что в состав последнего, помимо кислорода, входят азот и негорючие примеси. Для упрощения такого уравнения считают, что воздух состоит из 21 % кислорода и 79 % азота (остальными примесями пренебрегают, включая их в состав азота). Расчет показывает, что на одну часть (по объему) кислорода приходится 3,76 объемных частей азота ($79\%/21\% = 3,76$). Тогда левая часть уравнения горения примет вид:

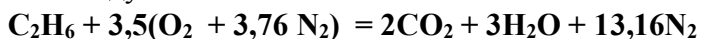


Для того, чтобы определить продукты сгорания, рассматривают состав горючего вещества и свойства отдельных его компонентов, а также количество окислителя. Если окислителя достаточно для полного протекания реакции горения, говорят о полном сгорании вещества. Полное сгорание характеризуется образованием веществ (продуктов сгорания), которые не способны к дальнейшему горению. При полном сгорании углерод превращается в оксид углерода (IV) - CO_2 , водород - в воду (H_2O). Азот в процессе горения не участвует, поэтому полностью и без изменений перейдет в продукты сгорания. В окончательном виде уравнение горения этана примет вид:

➤ в кислороде



➤ на воздухе

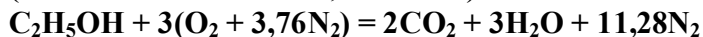
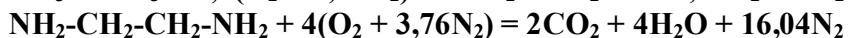
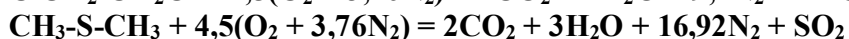
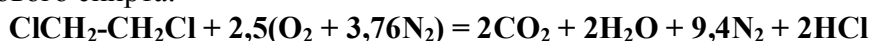


Скобки, в которых указан состав воздуха в левой части уравнения, можно не раскрывать.

В приведенных уравнениях горения состав продуктов горения обусловлен тем, что в горючее вещество состоит из двух компонентов - углерода и водорода. При сгорании любых углеводородов продуктами сгорания будут углекислый газ и вода, причем количество молекул углекислого газа определяется числом атомов углерода в горючем веществе, а число молекул воды в 2 раза меньше количества атомов водорода.

Если в состав горючего вещества входят другие компоненты, они учитываются в продуктах горения следующим образом. Хлор, входящий в состав горючего вещества, выделяется в процессе горения в виде хлороводорода - HCl . Сера окисляется до оксида серы (IV) - SO_2 , фосфор - до оксида фосфора (V) - P_2O_5 . Азот при горении выделяется в свободном виде (N_2), так как до температуры 2000°C химически инертен. Кислород, входящий в состав горючего вещества,

участвует в процессе горения и в свободном виде не выделяется. Примерами уравнений горения таких веществ являются уравнения горения дихлорэтана, диметилсульфида, этилендиамина и этилового спирта:



Если в состав горючего вещества входит кислород, то для процесса горения требуется меньше воздуха; причем, чем больше кислорода в горючем веществе, тем меньше воздуха необходимо (сравните уравнения горения этана и этилового спирта).

Если окислителя (кислорода) недостаточно, образующиеся продукты сгорания способны к продолжению горения. К таким веществам относятся оксид углерода (II), сероводород, циановодородная кислота, аммиак, альдегиды. Присутствие таких веществ в зоне горения опасно, так как при дополнительном поступлении кислорода процесс может начаться снова. Наличие дыма при горении свидетельствует о неполном сгорании веществ. Такой процесс характерен для пожаров, вызванных горением органических веществ.

Для написания уравнений горения удобнее пользоваться формулами горючих веществ, отражающими только их количественные и качественные характеристики. Например, ацетон имеет формулу CH_3COCH_3 . Для составления уравнения горения это вещество удобнее представить в виде $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$.

Практическое занятие 2.

Материальный баланс процесса горения: расчет воздуха, необходимого для горения различных веществ.

Практическое занятие посвящено закреплению лекционного материала и решению задач. Расчет воздуха производится для двух типов веществ: индивидуальных и сложных химических смесей, находящихся в различном агрегатном состоянии.

Расчет воздуха для горения индивидуальных веществ

Для того чтобы рассчитать процесс горения индивидуальных веществ, необходимо составить уравнение горения в кислороде и на воздухе. Минимальное количество воздуха, которое требуется для полного сгорания вещества, называется теоретически необходимым /3, стр. 18/. После этого процесс горения рассчитывается по следующему алгоритму:

1. Вычисляется молярная масса горючего вещества - (M) и его количество - v, используемое для сжигания.

2. Вычисляется объем воздуха, необходимый для сгорания единицы массы (объема) вещества при нормальных условиях - $V_{\text{в}}^0$.

3. При необходимости вычисляется объем 1 моля воздуха при заданных условиях (давлении и температуре) - $V_{\text{т}}$.

4. По реакции горения рассчитывается количество воздуха, необходимого для сгорания данного количества вещества в заданных условиях, и занимаемый им объем.

Для вычисления молярной массы вещества необходимо знать его состав, выраженный химической формулой. Моль - количества вещества, содержащее столько атомов, молекул, ионов, электронов или других структурных единиц, сколько содержится атомов в 12 г изотопа углерода ^{12}C . В практических расчетах это число принимают равным $6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Молярную массу рассчитывают как сумму атомных масс образующих вещество элементов, с учетом количества атомов в молекуле.

Для определения количества вещества используют формулу:

$$v = m/M,$$

где v - количество вещества (моль), m - масса вещества (г), M - молярная масса вещества (г/моль).

Для расчета теоретически необходимого объема воздуха пользуются формулой:

$$V_B^0 = 22,4v_B/v_G m$$

Если масса горючего вещества выражена в кг, то количества воздуха и горючего вещества (v_B и v_G) рассчитываются в кмоль, а объем 22,4 - в м³.

Расчет молярного объема воздуха при заданных температуре и давлении проводят по следующей формуле:

$$V_t = 22,4 \cdot P_0 \cdot (273 + t_i) / (273 \cdot P_1), (л)$$

где 22,4 л - объем 1 моля газа при температуре 0° С (273 К) и давлении 101,3 кПа (или 760 мм рт. ст.);

P_0 - 101,3 кПа (или 760 мм рт. ст.) - давление при нормальных условиях;

273 - температура при нормальных условиях (шкала Кельвина);

t_i - температура, при которой происходит горение (шкала Цельсия);

P_1 - давление, при котором происходит горение (кПа или мм рт. ст.).

При упрощении формула примет вид:

$$V_t = K \cdot (273 + t_i) / P_1, (л)$$

в которой $K = 62,36$ (если давление измерено в мм рт.ст.) или $K = 8,31$ (если давление измерено в кПа).

Для индивидуальных горючих веществ заданного количества (массы, объема) расчет воздуха, необходимого для сгорания, определяется из пропорции, составленной на основании следующих рассуждений. Так как мы рассчитываем процесс горения в воздухе, то для учета воздуха принимаем суммарный коэффициент соотношения кислорода и азота, равный 4,76 (1+3,76). Тогда для сгорания единицы количества горючего вещества требуется $\beta \cdot 4,76$ объемов воздуха. Объемы могут быть выражены как в литрах, так и в м³, в зависимости от условий задачи. Поэтому для заданного количества горючего вещества при заданных условиях воздуха потребуется:

$$V_{\text{возд.}} = V_t \cdot \beta \cdot v(C_x H_{2y}) \cdot 4,76, (л)$$

Это соотношение применимо для расчетов по сгоранию веществ в любом агрегатном состоянии. Если же горючее вещество - газ (г. г. -газообразное горючее), то расчет упрощается:

$$V_{\text{возд.}} = V_{\text{г.г.}} \cdot \beta \cdot 4,76, (л)$$

Приведенные расчеты позволяют определить теоретическое количество воздуха необходимое для сгорания горючего вещества. Практическое же значение больше, так как горение - химический процесс, в ходе которого уменьшается концентрация главного компонента - кислорода воздуха. Кроме этого, нужно учесть, что продукты горения удаляются из зоны реакции, захватывая часть воздуха. Для поддержания процесса требуется ввести избыток воздуха, который не расходуется и выводится полностью из зоны реакции. Эту часть воздуха называют избытком воздуха и обозначают $V_{\text{изб.}}$.

Следовательно,

$$V_{\text{возд. общ.}} = V_{\text{возд.}} + V_{\text{изб.}}$$

В расчетах избыток воздуха при горении учитывается введением коэффициента избытка воздуха α . Этот коэффициент показывает, во сколько раз объем поступившего в зону реакции воздуха больше теоретически рассчитанного его количества, т.е.

$$\alpha = V_{\text{возд. общ.}} / V_{\text{возд.}}$$

Избыточный объем воздуха можно рассчитать по формуле

$$V_{\text{изб.}} = V_{\text{возд.}} \cdot (\alpha - 1)$$

Общее количество воздуха для сгорания вещества можно рассчитать по формуле:

$$V_{\text{возд. общ.}} = \alpha \cdot V_{\text{г.г.}} \cdot \beta \cdot 4,76$$

Расчет воздуха для горения сложных веществ

При расчете воздуха для горения сложных веществ (смесей) используется несколько другая методика /3, стр. 18 - 19/. На основании элементного состава топлива составляют уравнения горения компонентов топлива в кислороде и устанавливают массовые соотношения реагирующих веществ.



Соотношение масс взаимодействующих веществ позволяет утверждать, что если для сгорания 12 г углерода требуется 32 г кислорода (для сгорания 12 кг углерода потребуется, соответственно, 32 кг кислорода). Тогда для сгорания 0,01 кг углерода (1% по массе) кислорода потребуется $0,01 \cdot 32/12 = 0,0267$ кг. Аналогичные рассуждения на основании уравнений горения можно провести для водорода и серы. Количество кислорода, требуемого для сгорания 1 % водорода по массе будет $0,01 \cdot 32/4 = 0,08$ кг, серы - $0,01 \cdot 32/32 = 0,01$ кг. Количество кислорода, необходимого для сгорания вещества сложного состава, содержащего углерод, водород и серу, будет рассчитываться следующим образом:

$$0,0267[\text{C}] + 0,08 [\text{H}] + 0,01 [\text{S}] = m_{\text{O}}$$

где в квадратных скобках указаны концентрации (масс. %) соответствующих компонентов в составе горючего вещества. С точки зрения элементного состава топлива рассматривается рабочая масса топлива.

Если в состав горючего сложного вещества входит кислород, он также участвует в процессе горения в качестве окислителя и расчетная формула принимает вид:

$$0,0267[\text{C}] + 0,08 [\text{H}] + 0,01 [\text{S}] - 0,01 [\text{O}] = m_{\text{O}}$$

Так как обычно процессы горения протекают в воздухе, его в качестве окислителя требуется в 77/23 (состав воздуха в % по массе) раз больше. Масса воздуха, требуемого для сгорания 1 кг вещества при н.у.:

$$L_{\text{T}} = \frac{0,0267[\text{C}] + 0,08 [\text{H}] + 0,01 [\text{S}] - 0,01 [\text{O}]}{0,23}$$

В числителе представлен элементарный состав топлива в пересчете на рабочую массу, %.

При н.у. плотность воздуха = 1,293 кг/м³, т.е. объемный расход воздуха (т, м³/кг), необходимый для сгорания 1 кг топлива, определяется следующим образом:

$$V_{\text{T}} = L_{\text{T}} / 1,293$$

$$V_{\text{T}} = 0,0889 \text{C}^{\text{P}} + 0,265 \text{H}^{\text{P}} + 0,033 (\text{S}^{\text{P}} - \text{O}^{\text{P}})$$

Действительное количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, определяется с учетом избытка воздуха (α - коэффициент избытка воздуха):

$$V_{\text{д}} = \alpha V_{\text{T}}$$

Для газообразного топлива теоретически необходимое для сгорания 1 м³ газа количество воздуха, м³, определяется также на основании уравнений горения входящих в состав газообразного вещества компонентов:

$$V_{\text{T}} = 0,0478 (0,5 \text{CO}^{\text{T}} + 0,5 \text{H}_2^{\text{T}} + 1,5 \text{H}_2\text{S}^{\text{T}} + 2,0 \text{CH}_4^{\text{T}} + \Sigma (m + n/4) \text{C}_m\text{H}_n^{\text{T}} - \text{O}_2^{\text{T}})$$

Где CO^{T} , H_2^{T} и т.д. - содержание газов в газообразном топливе в % по объему, C_mH_n - непредельные углеводороды заданного состава.

ЗАДАЧИ

Задача 1.

Определить объем воздуха, необходимого для сгорания 5,3 кг ксилола при температуре 30 °С и давлении 99,5 кПа. Каков будет коэффициент избытка воздуха, если горения происходит в помещении объемом 80 м³.

Задача 2.

Определить объем воздуха, необходимого для сгорания 29 кг ацетона при температуре 15 °С и давлении 92 кПа, если коэффициент избытка воздуха составляет 1,2.

Задача 3.

Определить объем воздуха, необходимого для сгорания 100 м³ доменного газа, если горения протекает в избытке воздуха. Коэффициент избытка воздуха равен 1,5. Состав доменного газа: угарный газ - 27,5 %, водород - 2,8 %, углекислый газ - 12,5 %, метан - 0,6 5, азот - 56,6 %.

Практическое занятие 3.

Материальный баланс процесса горения: продукты сгорания

Так же как и в предыдущем занятии, рассматривается расчет продуктов сгорания как индивидуальных веществ, так и веществ сложного состава.

Расчет продуктов сгорания индивидуальных веществ

Расчет продуктов сгорания индивидуальных веществ ведется на основании уравнений горения. При расчете объемов продуктов сгорания также учитывают условия, при которых происходит процесс горения (давление, температура).

Если горение происходит в нормальных условиях, объем продуктов сгорания определяется по формуле:

$$V_{\text{пр.ср.}} = [v(\text{CO}_2) + v(\text{H}_2\text{O}) + v(i) + v(\text{N}_2)] \cdot 22,4, \text{ л}$$

где $v(\text{CO}_2)$, $v(\text{H}_2\text{O})$, $v(\text{N}_2)$ - количество вещества продуктов сгорания (углекислого газа, воды и азота соответственно);

$v(i)$ - количество вещества других продуктов сгорания, зависящее от состава горючего вещества (оксиды серы, фосфора и т.п.);

22,4 л - объем, занимаемый 1 молекул газа при нормальных условиях.

Если горение происходит в условиях, отличных от нормальных, производят перерасчет объема 1 моля газа для заданных условий следующим образом:

$$V_t = [22,4 \cdot p_0 \cdot (273 + t)] / [p \cdot t_0], \text{ л}$$

где 22,4 л - объем 1 моля газа при температуре t_0 и давлении 101,3 кПа (или 760 мм рт. ст.);

p_0 - 101,3 кПа (или 760 мм рт. ст.) - давление при нормальных условиях;

273 - температура при нормальных условиях (по шкале Кельвина);

t - температура, при которой происходит горение (по шкале Цельсия);

p - давление, при котором происходит горение (кПа или мм рт. ст.).

Если требуется рассчитать объем продуктов сгорания единицы массы горючего вещества, то полученный объем продуктов сгорания относят к массе горючего вещества:

$$V''_{\text{пр.ср.}} = V_{\text{пр.ср.}} / m_{\text{гор.в-ва}}$$

Все ранее рассчитанные объемы являются объемами влажных продуктов. В том случае, когда необходимо определить объем сухих продуктов сгорания, образующуюся воду в ранее приведенных уравнениях не учитывают.

$$V_{\text{пр.ср.сух.}} = [v(\text{CO}_2) + v(i) + v(\text{N}_2)] \cdot 22,4, \text{ л}$$

В том случае, когда процесс горения происходит в избытке воздуха и известен коэффициент избытка воздуха α , учитывают, что в продуктах сгорания присутствует кислород и дополнительное, по отношению к уравнению горения, количество азота. Учитываются эти компоненты следующим образом:

- количество кислорода в продуктах сгорания: $v(\text{O}_2) = \beta(\alpha - 1)$
- избыточное количество азота в продуктах сгорания: $v(\text{N}_2) = 3,76 \cdot \beta(\alpha - 1)$

Для расчета процентного состава продуктов сгорания удобнее использовать мольный, а не объемный состав. Для этого необходимо рассчитать суммарное количество вещества продуктов сгорания, к которому относят количество искомого вещества.

Все расчеты продуктов сгорания газообразных, жидких и твердых веществ проводят аналогичным способом.

Расчет продуктов сгорания сложных газообразных смесей

Для проведения расчетов продуктов сгорания смесей необходимо знать их состав. В первую очередь составляются уравнения реакций горения всех компонентов смеси на воздухе. По уравнениям определяется количественный и качественный состав продуктов сгорания смеси. Полученные данные удобнее сводить в таблицу, которую в дальнейшем используют для расчетов. Среди техногенных горючих газообразных веществ наиболее часто используются (горят в производственных условиях и в быту) следующие:

- водород $\text{H}_2 + 0,5(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = \text{H}_2\text{O} + 1,88\text{N}_2$
- угарный газ $\text{CO} + 0,5(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = \text{CO}_2 + 1,88\text{N}_2$
- метан $\text{CH}_4 + 2(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 7,52\text{N}_2$
- ацетилен $\text{C}_2\text{H}_2 + 2,5(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 9,4\text{N}_2$
- этилен $\text{C}_2\text{H}_4 + 3(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 11,28\text{N}_2$
- этан $\text{C}_2\text{H}_6 + 3,5(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 13,16\text{N}_2$
- пропан $\text{C}_3\text{H}_8 + 5(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 18,8\text{N}_2$
- сероводород $\text{H}_2\text{S} + 1,5(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2) = \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 5,64\text{N}_2$

Таблица 1 составлена на основании данных уравнений горения, приведенных выше. Если в состав смеси входят другие вещества, уравнения горения пишутся аналогичным образом, и данные по ним также включаются в таблицу. Для продуктов сгорания, если они отличаются от приведенных, добавляются столбцы. Так как для газообразных веществ отношение количеств молекул (молей) веществ равно отношению их объемов (по следствию из закона Авогадро), приведенные в таблице данные можно рассматривать как объемы в кубометрах продуктов сгорания 1 м³ горючей смеси.

Расчет объема, занимаемого продуктами горения 1 м³ горючей газообразной смеси, производится с учетом процентного состава смеси. Для этого коэффициенты, приведенные в табл. 8.1 умножаются на процентное содержание компонента смеси, и определяется объем продуктов сгорания каждого компонента. Далее полученные данные суммируются - определяется общий объем ($V_{\text{уд.}}$) продуктов сгорания 1 м³ смеси. Если сгорает объем горючего вещества, отличный от 1 м³, $V_{\text{уд.}}$ необходимо умножить на заданный объем. Если сгорание происходит при условиях, отличных от нормальных, производится перерасчет в соответствии с условиями.

Таблица 1
Компоненты горючей газообразной смеси и продукты их сгорания

Продукты сгор. Компоненты смеси	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	SO ₂
H ₂ - водород	-	1,0	1,88	-	-
CO - угарный газ	1,0	-	1,88	-	-
CH ₄ - метан	1,0	2,0	7,52	-	-
C ₂ H ₂ - ацетилен	2,0	1,0	9,4	-	-
C ₂ H ₄ - этилен	2,0	2,0	11,28	-	-
C ₂ H ₆ - этан	2,0	3,0	13,16	-	-
C ₃ H ₈ - пропан	3,0	4,0	18,8	-	-
H ₂ S - сероводород	-	1,0	5,64	-	1,0

ЗАДАЧИ

Задача 1.

Определить объем продуктов сгорания и их процентный состав, если сгорает 4 кг уксусного альдегида при температуре 15 °С и давлении 740 мм. рт. ст. Коэффициент избытка воздуха 1,5.

Задача 2.

Сколько этилбензола сгорит в помещении объемом 300 м³, если горение прекращается при концентрации кислорода в воздухе 14,8 %. Условия нормальные.

Задача 3.

Определить объем и процентный состав продуктов сгорания 100 кг древесины, если горение протекает с коэффициентом избытка воздуха 1,2 при температуре 30 °С и давлении 750 мм. рт. ст. Состав древесины: углерод - 46 %, водород - 6 %, кислород - 40 %, влага - 6 %, азот - 2%.

Практическое занятие 4.

Термодинамика процессов горения: определение теплот горения и сгорания.

Для расчета количества тепла, выделяющегося в процессе горения, пользуются следствием из закона Гесса (для индивидуальных веществ) или формулами Д.И. Менделеева. Расчет теплоты сгорания индивидуальных веществ производится на основании уравнений горения. Под теплотой сгорания понимают энтальпию химической реакции горения. Поскольку "энтальпия химической реакции равна сумме энтальпий образования продуктов реакции за вычетом сумм энтальпий образования исходных веществ с учетом их стехиометрических коэффициентов", расчет теплоты сгорания производят по формуле:

$$\Delta H_{x.p.} = \sum(k_i \Delta H_i)_{\text{прод.}} - \sum(k_i \Delta H_i)_{\text{исх.}}$$

где k_i - стехиометрические коэффициенты перед соответствующими компонентами уравнения реакции горения;

$\Delta H_{\text{прод}}$ - теплота образования соответствующего продукта реакции, кДж/моль;

$\Delta H_{\text{исх.}}$ - теплота образования исходного горючего вещества, кДж/моль

Как правило, в приведенном уравнении исходные компоненты представлены только одним горючим веществом (причем в количестве 1 моля), т.к. энтальпия (теплота) образования простых веществ, из которых состоит воздух, равна 0.

Для сложных горючих смесей и топлив теплота сгорания рассчитывается на основании содержания компонентов горючего вещества. Для твердых и жидких топлив за расчетную единицу принимают 1 кг, для газообразных - 1 м³.

Различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива. Формулы Менделеева используются для определения теплот сгорания жидкого и твердого топлив и имеют вид:

$$Q_n = 338 [C] + 1025[H] - 108,5 ([O] - [S]) - 25W, \text{ кДж}$$

$$Q_v - Q_n = 224[H] + 25W, \text{ кДж}$$

В квадратных скобках указан состав соответствующего компонента смеси (в %).

Для газообразных веществ расчет низшей теплоты сгорания производится по формуле:

$$Q_n = 0,108 [H_2] + 0,126 [CO] + 0,234 [H_2S] + 0,358 [CH_4] + 0,638 [C_2H_6] + 0,913 + [C_3H_8] + 1,187 [C_4H_{10}] + 1,461 [C_5H_{12}] + 0,591 [C_2H_4] + 0,86 [C_3H_6] + 1,135 + [C_4H_8], \text{ МДж/м}^3.$$

ЗАДАЧИ

Рассчитать низшую и высшую теплоту сгорания топлива в соответствии с составом, приведенным в таблице. Состав задан по рабочей массе топлива.

№ задачи	Название вещества	C	H	O	N	S	влага	зола
01	Каменный уголь	76,0	4,8	3,6	2,8	1,8	2,8	8,2
02	Мазут	85,0	14,0	0,4	0,3	0,3	-	-

Практическое занятие 5.

Расчет адиабатической температуры горения

Расчет адиабатической температуры горения производится в соответствии с **ГОСТ 12.1.044-89: ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ. НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.** Приложение 11.

Практическое занятие 6.

Концентрационные пределы воспламенения.

Определение стехиометрической концентрации горючего вещества

Определение концентрационных пределов воспламенения производится в соответствии с **ГОСТ 12.1.044-89: ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ. НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.** Приложение 4.

Практическое занятие 7. Давление при взрыве паро- газовоздушной смеси

Определение давления и температуры при взрыве паро- и газовоздушной смеси производится в соответствии с **ГОСТ 12.1.044-89: ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ. НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ** Приложение 11.

Практическое занятие 8. Расчет избыточного давления при взрыве различных горючих веществ

Методики расчета избыточного давления при взрыве приводятся в Приложение к приказу МЧС России от 18.06.2003 № 314.

РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа 1.

Вводное занятие

(2 час.)

Специфика дисциплины обуславливает проведение особенно тщательного инструктажа по технике безопасности.

Инструктаж по технике безопасности при работе с горючими веществами является повторным для студентов 3 курса. Тем не менее, следует обратить внимание на осторожность проведения опытов, выполнение работ только в вытяжном шкафу, использовании реактивов в строго заданном количестве.

После проведения инструктажа студентов необходимо ознакомить с требованиями к дисциплине, правилами оформления лабораторных работ, требованиями к выполнению домашних заданий.

На вводном занятии студентам выдается первое домашнее индивидуальное задание, необходимые справочные материалы, список рекомендованной литературы, вопросы для самостоятельного изучения и вопросы для подготовки к экзамену. Кроме того, выдаются вопросы для подготовки к коллоквиуму (проводится на лабораторной работе 9). Если для дисциплины вводится рейтинговая система оценки (по усмотрению преподавателя), то необходимо ознакомить студентов с предъявляемыми требованиями.

В конце занятия проводится контроль остаточных знаний по химии. Тест для контроля знаний приведен в соответствующем разделе.

На основании теста определяются темы из изученных разделов химии, которые необходимо будет проработать более подробно (студентам - самостоятельно, или включить часть материала в лекции).

Лабораторная работа 2-3.

Определение основных характеристик горения

(4 час.)

В начале лабораторной работы студентов необходимо ознакомить с теоретическим материалом, необходимым для ее выполнения. Далее приводятся примеры расчетов, используемых в лабораторной работе, и только после этого студенты могут приступать к ее выполнению. Для каждой группы студентов задания выдаются в определенной последовательности.

Лабораторная работа состоит из 3 частей. В ходе выполнения первой части лабораторной работы требуется определить коэффициент горючести предложенных веществ, на основании значения коэффициента горючести сделать вывод о способности каждого из веществ к горению и на практике убедиться в правильности сделанных выводов. Для проведения эксперимента часть веществ необходимо будет получить самостоятельно. Результаты расчетов и наблюдения представляются в виде таблицы (табл.1). Вторая часть работы - определение характера свечения пламени веществ, горючесть которых установлена на первом этапе. Так же как и в первой части, сначала производятся необходимые расчеты которые затем подтверждаются (или не подтверждаются) наблюдениями. Результаты расчетов и наблюдения представляются в виде таблицы (табл. 2). Третья часть работы - классификация горючих жидкостей и производственных помещений с их использованием по температуре вспышки, при этом расчетные данные также представляются в виде таблицы (табл. 3).

Экспериментальная часть

1. Определение коэффициента горючести.

Для перечисленных ниже веществ проводится расчет коэффициента горючести и делается вывод о горючести веществ. Полученные данные заносят в таблицу 1.

Таблица 1.
Определение горючести веществ

№	Название вещества	Формула	Коэффициент горючести	Вывод	Наблюдения
1.	Метан				
2.	Этилен				
3.	Ацетилен				
4.	Бензол				
5.	Гексан				
6.	Толуол				
7.	Ксилол				
8.	Нафталин				
9.	Серная кислота				
10.	Изопропиловый спирт				
11.	Азотная кислота				
12.	Уксусная кислота				
13.	Гидроксид натрия				

В лабораторный отчет включается образец расчета для одного из веществ и таблица.

2. Определение характера свечения пламени.

Для веществ, горючесть которых установлена в первой части работы, необходимо определить характер свечения пламени. Для этого производится расчет соотношения в веществе углерода и кислорода, а затем по справочной таблице определяется характер свечения пламени. Данные расчетов заносятся в таблицу (табл. 2).

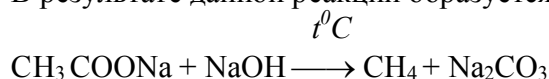
Таблица 2.
Определение характера свечения пламени

№	Название вещества	Формула	Молярная масса	Содержание углерода, %	Содержание кислорода, %	Цвет пламени	Наблюдения
1							
2							
3							

Расчетная часть выполняется студентом дома и является допуском к выполнению лабораторной работы. После выполнения расчетной части производится оценка характера свечения пламени опытным путем. Для этого часть веществ (метан, этилен) получают в лаборатории, остальные вещества используют в готовом виде.

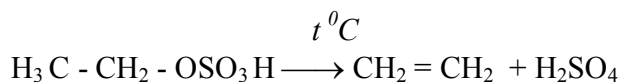
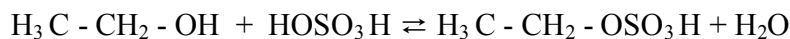
Получение метана и этилена (методика приводится по учебному пособию “Углеводороды” Т.А. Родиной, В.В. Митрофановой. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2003). В пробирку, снабженную пробкой с газоотводной трубкой, помещается смесь равных количеств обезвоженного ацетата натрия и натронной извести на высоту около 20 мм. Пробирку затыкают пробкой с газоотводной трубкой и, держа горизонтально, нагревают в пламени горелки.

В результате данной реакции образуется метан:



Выделяющийся метан поджигают и определяют цвет пламени.

Для получения этилена в пробирку наливают смесь этилового спирта и концентрированной серной кислоты (2 мл), насыпают немного песка для того, чтобы при нагревании смесь не выплескивалась из пробирки. Пробирку закрывают пробкой с Г-образной трубкой, закрепляют в штативе и нагревают. Выделяющийся этилен поджигают и определяют цвет пламени. Образование этилена выражается уравнениями:



Для установления характера свечения пламени остальных веществ, горючесть которых определена в первой части работы, эти вещества с помощью стеклянной палочки вносят в пламя горелки и производят наблюдения. Результаты наблюдений заносят в таблицу 2.

3. Определение температуры вспышки.

Для определения температуры вспышки для горючих жидкостей производятся расчеты с использованием коэффициента горючести (см. табл. 1). На основании расчетов определяется класс жидкости и тип помещения, где она хранится (используется). В лабораторной работе приводится пример расчета для одного из веществ, результаты остальных расчетов заносят в таблицу 3.

Таблица 3.
Классификация горючих жидкостей

№	Название вещества	Формула	Коэф-т горючести	T _{кип.}	T _{всп.}	Класс жидкости	Тип помещения
1.							
2.							
3.							

Лабораторная работа 4.

Контроль текущих знаний

(2 час.)

Контроль текущих знаний проводится тестированием, при этом в тестовое задание включаются материалы только тех тем, которые рассматривались на лекциях и практических занятиях. В тест по контролю текущих знаний можно также включить материал самостоятельного изучения (задания к лекционным и практическим занятиям)

Приблизительный вариант теста приведен в разделе "Примеры тестовых заданий" - промежуточный тест № 1.

Количество заданий в тесте, время его выполнения и критерии оценки определяются преподавателем.

Если в конце занятия остается свободное время, его целесообразно посвятить обсуждению вопросов теста, вызвавших наибольшие затруднения, либо дополнительной проработке изученного ранее материала.

Лабораторная работа 5. Продукты горения.

(2 час.)

Предлагаемая лабораторная работа, с одной стороны, является достаточно зрелищной, что стимулирует интерес студентов к дисциплине, с другой стороны - достаточно объемной, как в выполнении, так и в расчетах. Поэтому необходимо обратить особое внимание на выполнение всех опытов, а часть расчетов оставить в качестве домашней доработки.

"Тиоцианатная змея Вёлера"

При смешивании водных растворов тиоцианата аммония NH_4NCS и нитрата ртути $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, образуется белый осадок тиоцианата ртути $\text{Hg}(\text{NCS})_2$. Осадок горит с образованием черно-желтой "змеи", получившей название "змеи Вёлера" по имени ученого, обнаружившего данное явление. Тиоцианат ртути после поджигания быстро разлагается с образованием черного сульфида ртути HgS , желтого объемистого нитрида углерода состава C_3N_4 , углекислого газа и сернистого газа. Бурно выделяющиеся газы заставляют "ползти" змею, состоящую из твердых продуктов реакции. Внимание! Соли ртути ядовиты, и работа с ними требует осторожности и внимания.

Работа выполняется только в вытяжном шкафу!

Для выполнения опыта студенты получают заранее подготовленный, высушенный реактив, содержащий тиоцианат ртути; в качестве задания требуется рассчитать количество продуктов сгорания, образующихся при сгорании 1 г тиоцианата ртути.

"Нитратный червяк"

Работа выполняется только в вытяжном шкафу!

В емкость насыпают 3 - 4 ложки просеянного речного песка, делают из него горку с углублением в вершине и готовят реакцию смесь, состоящую из 1/2 чайной ложки нитрата аммония (калия) и 1/2 чайной ложки сахарного песка, тщательно перетертых в ступке. Затем в углубление горки наливают 1/2 столовой ложки этилового спирта и насыпают 1 чайную ложку приготовленной нитратно-сахарной смеси. После этого спирт поджигают. Сразу же на поверхности смеси появляются черные шарики обугленного сахарного песка, и вслед за ними вырастает черный блестящий и толстый "червяк", спускающийся с горки.

После выполнения опыта необходимо написать уравнение реакции горения и объяснить наблюдаемые явления.

Горение глюконата кальция

Таблетку глюконата кальция берут щипцами и вносят в пламя спиртовки. Из таблетки выползает змея, объем которой намного превышает объем исходного вещества. Разложение глюконата кальция, имеющего состав $\text{Ca}[\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{COO}]_2$ приводит к образованию оксида кальция, углерода, углекислого газа и воды.

После выполнения опыта необходимо провести расчет продуктов сгорания одной таблетки глюконата кальция и определить процентный состав газообразных веществ.

"Содовая змея"

В столовую тарелку насыпают 3 - 4 чайные ложки сухого просеянного речного песка и делают из него горку с углублением в вершине. Затем готовят реакцию смесь, состоящую из 1 чайной ложки сахарной пудры и 1/4 чайной ложки гидрокарбоната натрия (пищевой соды). Пропитывают песок 96 - 98%-ным этанолом и засыпают в углубление горки приготовленную реакцию смесь, а после этого поджигают спирт. Через 3 - 4 минуты на поверхности смеси появляются черные шарики, а у основания горки - черная жидкость. Когда почти весь спирт сгорит, смесь чернеет и из песка медленно выползает извивающаяся толстая черная "гадюка". У основания она окружена воротником догорающего спирта.

Диоксид углерода CO_2 , выделяющийся при разложении гидрокарбоната натрия и горении этилового спирта в соответствии с реакцией:



вспучивает горящую массу, заставляя ее ползти, как змея. Чем дольше горит спирт, тем длиннее получается змея, состоящая из карбоната натрия, смешанного с мельчайшими частицами угля, который образуется при окислении сахара.

После выполнения опыта необходимо провести расчет продуктов сгорания 10 г гидрокарбоната натрия и определить процентный состав сухих продуктов сгорания и объем выделяющегося углекислого газа.

Горение меди в ацетоне

Медную проволоку накаляют в пламени спиртовки. Стекланный стакан ополаскивают ацетоном и вносят в него проволоку.

Внимание! Опыт необходимо производить осторожно, так как ацетон является легко воспламеняющейся жидкостью.

Наблюдаемые явления необходимо объяснить и написать уравнение реакции.

Термическое разложение нитрата калия

Готовят насыщенный раствор нитрата калия. На белый лист бумаги кисточкой наносят рисунок, используя приготовленный раствор. Подготовленный образец сушат и горячей лучинкой инициируют реакцию.

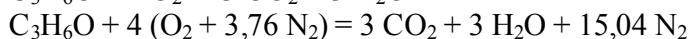
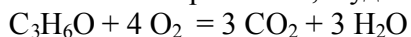
После проведения опыта необходимо объяснить наблюдаемые явления и написать уравнение реакции.

Лабораторная работа 6. Определение критического зазора для взрывоопасной смеси (2 час.)

Данная лабораторная работа проводится в специально оборудованном помещении на лабораторном стенде для исследования процесса тушения пламени в зазоре ОТ-17 (методика приводится по учебному пособию Т.А. Кардаш).

Для проведения эксперимента предварительно необходимо определить соотношение компонентов взрывоопасной смеси. Если смесь является стехиометрической, то при ее сгорании ни один из компонентов не остается в избытке, то есть сгорание происходит полностью. При проведении расчетов необходимо учитывать, что процесс горения происходит обычно не в кислороде, а в воздухе, где на 1 моль кислорода приходится 3,76 моль азота. Такое соотношение определяется по составу воздуха. Основными компонентами воздуха являются азот и кислород, а также инертные газы, оксиды азота и углерода (их содержание около 1 %). Объемные соотношения азота и кислорода 79:21, т.е. на 1 объем кислорода приходится 3,76 объемов азота. В соответствии с законом Авогадро в равных объемах различных газов содержится одинаковое число молекул, и хотя число молекул не может быть дробным, соотношение 1: 3,76 можно учитывать в молекулярных уравнениях реакций горения. $(O_2 + 3,76 N_2)$ - молекулярный состав воздуха. При горении азот не расходуется.

Рассмотрим пример расчета необходимых характеристик горючей смеси на примере смеси ацетона и воздуха. Уравнение горения ацетона в кислороде и на воздухе в том случае, если смесь является стехиометрической, будет иметь вид:



Стехиометрическая концентрация смеси будет определяться по формуле и выражаться в объемных процентах:

$$C_{ст} = 100 / (m_1 + m_2 + m_3), \text{ об.}\%$$

где $m_1 + m_2 + m_3$ - стехиометрические коэффициенты горючего вещества, кислорода и азота соответственно

Для получения стехиометрической смеси требуется рассчитать объем горючего вещества, т.е. - ацетона:

$$V = \frac{10 \cdot C_{ст} \cdot M \cdot V_n}{V_{пр} \cdot \Gamma}$$

где M - молекулярный объем

V_n - объем каждой полости (для стенда ОТ-17 = 1,0)

Γ - удельная плотность, г/л (для ацетона $\Gamma = 790,8$ г/л)

V_n - объем воздуха, приведенный к н.у.

$V_{пр} = V_0 \cdot P_0 \cdot (273 + t_i) / (293 \cdot P_1)$, (л)

где $V_0 = 22,4$ л - объем 1 моля газа при температуре 20°C (293 K) и давлении $101,3$ кПа (или 760 мм рт. ст.);

P_0 - $101,3$ кПа (или 760 мм рт. ст.) - давление при нормальных условиях;

293 - температура при нормальных условиях (шкала Кельвина);

t_i - температура, при которой происходит отбор пробы (шкала Цельсия);

P_1 - давление, при котором происходит отбор пробы (кПа или мм рт. ст.)

Расчетную величину зазора определяют из формулы Пекле:

$$P_c = \frac{u_n \cdot C_p \cdot \delta \cdot \rho}{\lambda}$$

где P_c - безразмерный критерий Пекле ($P_c = 65$)

δ - ширина тушащего зазора, м

ρ - плотность исходной смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$

λ - теплопроводность исходной смеси, $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$

u_n - нормальная скорость распространения пламени, м/час ($u_n = 4200$ м/ч)

C_p - удельная теплоемкость исходной смеси, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ($C_p = 0,25 \cdot 10^3$ $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$)

Ход выполнения работы

1. Рассчитать стехиометрическую концентрацию исследуемой смеси.
2. Определить объем горючего вещества, необходимого для проведения опыта.
3. Рассчитать величину тушащего зазора для исследуемой смеси.
4. На стенде по лимбу установить расчетный зазор.
5. Залить рассчитанный объем горючего вещества.
6. На выхлопные штуцеры под пластины положить разрывные мембраны (кальку, бумагу).
7. Закрыть щитки и выждать 2-5 мин.
8. Включить зажигание в одной из полостей. По звуковому эффекту (происходит разрыв мембраны) проконтролировать передачу взрыва в соседнюю камеру.
9. При отсутствии передачи взрыва во вторую камеру (*если зазор мал - взрыва не происходит*) произвести воспламенение нажатием на соответствующую кнопку панели управления.
10. Продуть камеры включением вентиляторов. Время продувания не менее 20 с.
11. Повторить опыт.
12. Данные занести в таблицу 1.
13. По величине тушащего зазора, при котором частота передачи взрыва составляет 50 % определить категорию взрывоопасной смеси (№ 9 в библ. списке).
14. Сделать выводы по работе.

Таблица 1
Определение тушащего зазора

№ опыта	Величина зазора	Результат эксперимента		Результат контрольного взрыва
		Полость 1	Полость 2	
1				
2				
3				

Лабораторная работа 7. Контроль текущих знаний

(2 час.)

Контроль текущих знаний проводится аналогично лабораторной работе 3. Примерный тест – промежуточный тест № 2.

Лабораторная работа 8. Критерии фугасного поражения . Воздействие ударной волны на человека

(3 час.)

Для выполнения лабораторной работы используются номограммы (примерный перечень):

- Зависимость вероятности разрушения стекол от амплитуды волны
- Диаграммы поражения ударными волнами в координатах давление – импульс
- Определение уровня фугасного поражения биообъектов в зависимости от расстояния и массы заряда ВВ
- Определение степени воздействия УВ взрыва сосредоточенного заряда конденсированного ВВ на человека
- Определение поражающего действия гидроудара на чувствительные биообъекты

Для нормальной работы на занятии необходимо обеспечить всех студентов указанными номограммами

ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

ТЕСТ

для контроля остаточных знаний по химии

1. Какие явления называются физическими, а какие химическими? К каким явлениям относятся:

- а) образование кристаллов льда при охлаждении воды
- б) образование кристаллов соли при сливании раствора хлорида бария и серной кислоты
- в) выделение пузырьков газа при нагревании пищевой соды
- д) выделение пузырьков газа при сливании соли и кислоты
- е) выделение пузырьков газа из минеральной воды
- ж) образование тумана в природе
- з) потемнение серебряных предметов на воздухе
- и) получение дистиллированной воды
- к) устранение жесткости воды
- л) образование паров фиолетового цвета при нагревании кристаллов йода

2. Что называется химическим соединением? Какие из перечисленных веществ являются смесями, и какие - химическими соединениями:

- | | | |
|-------------------|-----------------|-------------------|
| а) углекислый газ | е) нефть | к) известняк |
| б) водяной газ | ж) порох | л) оксид углерода |
| в) воздух | з) речной песок | |
| д) спирт | и) бетон | |

3. Назовите типы химических реакций. К какому типу реакций относятся следующие превращения (привести уравнения реакций):

- а) горение угля
- б) прокаливание известняка
- в) выделение водорода при действии серной кислоты на цинк
- д) хлорирование метана
- е) горение серы
- ж) гидрирование этилена
- з) получение оснований, нерастворимых в воде
- и) образование хлорида серебра при сливании растворов нитрата серебра и хлорида калия
- к) реакция взаимодействия кислоты со щелочью
- л) горение железа в хлоре

4. Определите понятия “атом”, “молекула”, “химический элемент”.

5. Какие вещества называют простыми, а какие - сложными? К каким веществам относятся:

- | | | |
|----------------------|----------------------|---------|
| а) кислород | е) оксид азота (V) | к) вода |
| б) углекислый газ | ж) аммиак | л) озон |
| в) сахар | з) перекись водорода | |
| д) оксид азота (III) | и) водород | |

6. Сформулируйте закон Авогадро. Что называется числом Авогадро?

7. Какой объем воздуха необходим для сжигания 40 л оксида углерода (IV)?

8. Сформулируйте закон сохранения массы.

9. Сколько литров ацетилен сгорело, если при этом выделилось 15 л углекислого газа?

10. Что называется тепловым эффектом химической реакции? Приведите примеры.

11. Какие реакции называют экзо- и эндотермическими? Приведите примеры.

12. Рассчитайте тепловой эффект реакции восстановления оксида хрома (III) алюминием, если известно, что теплота образования оксида хрома (III) составляет 1141 кДж/моль, а теплота образования оксида алюминия равна 1668 кДж/моль.
13. Исходя из того, что энтальпия реакции взаимодействия оксида кальция с водой равняется - 66,6 кДж/моль, вычислите тепловой эффект реакции взаимодействия с водой 1 кг оксида кальция.
14. Какой объем воздуха (21 % кислорода) теоретически необходим для сжигания 15,5 г фосфора? Сколько фосфорного ангидрида при этом образуется?
15. Сколько кубических метров кислорода будет израсходовано на сжигание 1 м³ газовой смеси, состоящей из 75% метана, 15% этана и 5% водорода?

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ТЕСТ №1

Вариант № _____

1. Автор учения о цепных реакциях

- 1) Семенов 2) Бойль 3) Бунзен 4) Шварц

2. Укажите признаки горения

- 1) выделение тепла 3) выделение света
2) выделение копоти 4) дымообразование

3. Горением называется _____

4. Вид распространения пламени, при котором тепловыделение происходит за счет химических реакций во фронте пламени, называется

- 1) дефлаграцией 3) детонацией
2) самовоспламенением 4) вспышкой

5. К взрывоопасным ЛВЖ относятся те, у которых температура не превышает

- 1) 83 °С 3) 61 °С 5) 41 °С
2) 71 °С 4) 73 °С 6) 25 °С

6. Напишите уравнение горения пара-ксилола в кислороде и на воздухе

7. Стехиометрический коэффициент реакции горения анилина равен

- 1) 1,25 2) 7,75 3) 3,25 4) 4,75

8. Коэффициент горючести этилового спирта равен

- 1) 12 2) 1 3) 16 4) 4

9. Каким пламенем горит пропанол?

- 1) яркое, не коптящее 3) яркое, коптящее
2) бесцветное 4) это вещество не горит

10. При горении какого вещества в продуктах горения процентное содержание углекислого газа больше?

- 1) Ацетилен 3) Толуол 5) одинаково
2) Этан 4) Ацетон

11. От каких факторов зависит скорость горения?

12. Полным или неполным будет горение, если в состав продуктов сгорания входят CO₂, HCl, H₂O, N₂? Ответ поясните.

13. В представленной схеме укажите горючий и рабочий состав топлива. Что обозначают приведенные символы?

	H	C	O	N	S_o	S_к	S_с	A	W

- H** - **N** - **W** -
S_o - **S_к** - **S_с** -
A - **O** - **C** -

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ТЕСТ №2

Вариант № ____

1. Какие из перечисленных веществ являются горючими смесями (ГС), а какие - горючими химическими соединениями (ГХС):
 - а) углекислый газ
 - б) природный газ
 - в) воздух
 - г) спирт
 - д) нефть
 - е) порох
 - ж) речной песок
 - з) мазут
 - и) карбид кальция
 - к) угарный газ
2. Какой объем займет моль газа при 120°C и давлении 91 кПа?
3. Какая химическая реакция называется цепной?
4. Стехиометрический коэффициент реакции горения анилина равен:
5. Какой процесс называется самовоспламенением?
 - 1) возникновение горения под действием источника зажигания
 - 2) окисление горючих веществ, переходящее в горение в результате самопроизвольного ускорения
 - 3) взаимодействие горючих веществ с кислородом воздуха с последующим возгоранием
 - 4) процесс горения, в ходе которого выделяется большое количество тепла
6. Напишите уравнение горения этилбензола в кислороде и на воздухе
7. Перечислите стадии горения и основные процессы при горении
8. В процессе диффузионного горения скорость горения определяется
 - 1) временем смесеобразования
 - 2) временем окисления
 - 3) временем транспортировки кислорода
 - 4) скоростью химической реакции
9. Термин "цепные реакции" ввел:
 - 1) Вант-Гофф
 - 2) Н.Н. Семёнов
 - 3) М. Боденштейн
 - 4) К. Хиншелвуд

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ ТЕСТ

Выбор способа сдачи экзамена предоставляется студенту. Необходимым условием для выбора является предварительное ознакомление студента с требованиями, предъявляемыми к устному ответу на экзамене и к выполнению экзаменационного теста, а также с критериями оценки за оба вида ответа.

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры

«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания

Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой

"Утверждаю": _____

Дисциплина

"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ ТЕСТ № ____

1. Какой процесс называется самовоспламенением?

- 1) возникновение горения под действием источника зажигания
- 2) окисление горючих веществ, переходящее в горение в результате самопроизвольного ускорения
- 3) взаимодействие горючих веществ с кислородом воздуха с последующим возгоранием
- 4) диссоциация продуктов сгорания при высокой температурепроцесс горения, в ходе которого выделяется большое количество тепла

2. Термин "цепные реакции" ввел

- 1) Вант-Гофф
- 2) Н.Н. Семенов
- 3) М. Боденштейн
- 4) К. Хиншелвуд

3. В процессе диффузионного горения скорость горения определяется

- 1) временем смесеобразования
- 2) временем окисления
- 3) временем транспортировки кислорода
- 4) скоростью химической реакции

4. Какая величина называется теоретической температурой горения?

- 1) температура, до которой нагреваются продукты сгорания при выполнении ряда условий
- 2) минимальная температура, при которой начинается пламенное горение
- 3) максимальная температура горючей смеси
- 4) температура, характеризующая горение с учетом процессов диссоциации продуктов сгорания
- 5) средняя температура в зоне горения

5. Самая энергоемкая стадия цепной реакции

- 1) Зарождение цепи
- 2) Продолжение цепи
- 3) Разветвление цепи
- 4) Обрыв цепи

6. Период индукции

- 1) уменьшается при увеличении концентрации
- 2) одинаков для всех типов горючих веществ
- 3) увеличивается с повышением температуры окружающей среды
- 4) уменьшается с повышением температуры окружающей среды

7. Что называется теплотой сгорания топлива?

- 1) Теплота, необходимая для нагрева продуктов реакции до температуры горения
- 2) Теплота, выделяющаяся при образовании соединений из простых веществ

- 3) Удельная теплота, выделяющаяся при полном сгорании вещества
- 4) Теплота, поглощаемая при образовании соединений из простых веществ
- 5) Сумма теплот образования продуктов реакции

8. Длиной цепи называется

- 1) количество активных частиц
- 2) количество образованных молекул
- 3) количество реакций
- 4) количество образованных атомов

9. Температура самовоспламенения

- 1) увеличивается при увеличении объема реакционного сосуда
- 2) уменьшается при увеличении объема реакционного сосуда
- 3) зависит от скорости теплоотвода
- 4) не зависит от скорости теплоотвода

10. Какой процесс называется гетерогенным горением?

- 1) горение газов и паров, поднимающихся с поверхности жидкости
- 2) горение химически однородных систем
- 3) горение предварительно перемешанной смеси
- 4) горение предварительно не перемешанной смеси
- 5) горение химически неоднородных систем

11. Концентрационные пределы воспламенения

- 1) увеличиваются с повышением температуры
- 2) уменьшаются с повышением температуры
- 3) увеличиваются с понижением температуры
- 4) не зависят от изменения температуры, а зависят от изменения концентрации

12. Обрыв цепи не происходит при

- 1) столкновении двух атомов
- 2) столкновении двух радикалов
- 3) столкновении активных центров с поверхностью твердого вещества
- 4) столкновении атомов с поверхностью твердого вещества

13. При стехиометрической концентрации горючего вещества

- 1) скорость химической реакции минимальна
- 2) скорость химической реакции максимальна
- 3) температура горючей смеси постоянна
- 4) происходит самовоспламенение горючей смеси

14. Горючая жидкость это ...

- 1) Жидкость способная самостоятельно гореть и имеющая температуру вспышки выше 61°C
- 2) Горючее вещество, которое выделяют газы и пары
- 3) Жидкость, пары которой имеют плотность $0,8 \text{ гр/м}^3$
- 4) Жидкость, которая обеспечивает быстрое сгорание горючей смеси
- 5) Жидкость, которая обеспечивает горения без свечения

15. За температуру самовоспламенения не принимают

- 1) максимальную температуру вещества (смеси веществ), при которой происходит резкое увеличение экзотермических реакции, приводящее к пламенному горению
- 2) минимальную температуру вещества (смеси веществ), при которой происходит резкое увеличение экзотермических реакции, приводящее к пламенному горению
- 3) минимальную температуру окружающей среды, при которой в данных условиях происходит самовоспламенение вещества
- 4) температуру окружающей среды, при которой период индукции максимален

16. В техносфере особо значимой является цепная реакция

- 1) взаимодействия хлора и водорода
- 2) взаимодействия водорода и кислорода
- 3) окисление метана и оксида азота (II)
- 4) взаимодействие фтора и водорода

17. В процессе кинетического горения скорость горения определяется

- 1) временем смесеобразования
- 2) временем окисления
- 3) скоростью отвода продуктов реакции
- 4) скоростью химической реакции

18. Чем отличаются процессы воспламенения и самовоспламенения

- 1) это один и тот же процесс
- 2) скоростью реакции окисления
- 3) при воспламенении ускорение реакции окисления начинается при более высокой температуре
- 4) при самовоспламенении ускорение реакции окисления начинается при более высокой температуре

19. Автор учения о цепных реакциях

- 1) Семенов
- 2) Бойль
- 3) Бунзен
- 4) Шварц

20. Укажите признаки горения

- 1) выделение тепла
- 2) выделение копоти
- 3) выделение света
- 4) дымообразование

21. Вид распространения пламени, при котором тепловыделение происходит за счет химических реакций во фронте пламени, называется

- 1) дефлagraцией
- 2) самовоспламенением
- 3) детонацией
- 4) вспышкой

22. Напишите уравнение горения фенола в кислороде и на воздухе

23. Стехиометрический коэффициент реакции горения фенола равен

- 1) 7,5
- 2) 15
- 3) 14
- 4) 7

24. Коэффициент горючести фенола равен

- 1) 32
- 2) 28
- 3) 20
- 4) 79,61

25. Каким пламенем горит фенол?

- 1) яркое, не коптящее
- 2) бесцветное
- 3) яркое, коптящее
- 4) это вещество не горит

26. При горении какого вещества в продуктах горения процентное содержание углекислого газа больше? Ответ подтвердите расчетами

- 1) Ацетилен
- 2) Этан
- 3) Толуол
- 4) Ацетон

27. Полным или неполным будет горение, если в состав продуктов сгорания входят CO, CO₂, HCl, H₂O, N₂? Ответ поясните.

28. Порох в Европе "открыл"

- 1) Семенов
- 2) Бойль
- 3) Бунзен
- 4) Шварц

29. Укажите химические аспекты горения

- 1) выделение тепла
- 2) выделение копоти
- 3) окислительные реакции
- 4) выделение света

30. При расчете массы воздуха, необходимой для сгорания веществ учитывают, что кислород и азот находятся в соотношении (%):

- 1) 25/75
- 2) 29/71
- 3) 21/79
- 4) 23/77
- 5) 50/50

31. Промышленные исследования процессов горения начал

- 1) Семенов 2) Бойль 3) Бунзен 4) Шварц

32. Смесь, в которой горючее вещество предварительно смешано с окислителем, называется

- 1) стехиометрической
- 2) богатой
- 3) гомогенной
- 4) гетерогенной

33. Скорость распространения детонационной волны превышает

- 1) 100 м/с 2) 250 м/с 3) 350 м/с 4) 500 м/с 5) 1000 м/с

34. Основы физики горения заложил

- 1) Семенов 2) Бойль 3) Бунзен 4) Маляр

35. Как классифицируется горючая смесь, задаваемая процессом $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$, по соотношению горючего вещества и окислителя

- 1) перемешанная 3) богатая
2) стехиометрическая 4) бедная

36. Критерием для классификации горючих жидкостей является

- 1) скорость детонации
- 2) температура воспламенения
- 3) температура вспышки
- 4) температура самовоспламенения

37. Дайте определение термину взрыв

- 1) Быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождается образованием сжатых газов
- 2) Быстрое преобразование веществ
- 3) Низкая температура горючего вещества, при которой оно выделяет горючие пары и газы
- 4) Горение без свечения
- 5) Все ответы не верны

38. Взрывоопасная смесь это ...

- 1) Смесь с воздухом горючих газов, паров ЛЖВ, горючих пылей или волоком
- 2) Горючее вещество, которое выделяет газы и пары
- 3) Вещество, которое быстро преобразуется
- 4) Вещество, которое быстро сгорает
- 5) Вещество, которое взрывается
- 6) Вещество, которое быстро горит без свечения

39. Горение обычно прекращается при концентрации кислорода в воздухе

- 1) 5 % 2) 10 % 3) 15 % 4) 20 % 5) 50 %

40. Кислород, как вещество, способное поддерживать горение, открыл

- 1) Пристли 2) Бойль 3) Ле Шателье 4) Шварц

41. В каких случаях газы считаются горючими

- 1) При наличии концентрационных пределов воспламенения и наличии температуры самовоспламенения
- 2) При отсутствии концентрационных пределов воспламенения и наличии температуры самовоспламенения
- 3) При наличии концентрационных пределов воспламенения
- 4) При наличии температуры вспышки
- 5) Все ответы не верны

42. Учитывая термохимическое уравнение $\text{C}(\text{к}) + \text{O}_2(\text{г}) = \text{CO}_2(\text{г}) + 412 \text{ кДж}$

определите, какая масса углерода сожжена, если выделилось 206 кДж теплоты:

1) 12 г	2) 6 г	3) 12 кг	4) 12 мг
---------	--------	----------	----------

43. Что из себя представляет взрывная волна?

44. Рассчитать, сколько сернистого газа выделится при сгорании 1,5 кг сероуглерода при н. у.

45. Какой объем займет газ при температуре 120⁰ С и давлении 91 кПа?

46. Параметрами, необходимыми для определения давления взрыва газо- и паровоздушной смеси, являются

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1) температура взрыва | 4) теплопроводность |
| 2) теплота горения | 5) температура вспышки |
| 3) теплоемкость | |

47. Приведите в соответствие температурные режимы и стадии горения древесины:

230 -250 ⁰С А. Температура верхнего слоя древесины после воспламенения

290 - 300 ⁰С Б. Температура воспламенения древесины

300 ⁰С В. Температура прогрева нижележащих слоев, необходимая для разложения

500 - 700 ⁰С Г. Температура угля на поверхности

48. Давление взрывных газов за фронтом взрывной волны не зависит от

- 1) скорости детонационной волны
- 2) жесткости взрывных газов
- 3) удельной энергии взрыва
- 4) строения взрывчатых веществ

49. Приведите классификацию взрывчатых веществ по составу. Приведите примеры.

50. В чем заключается бризантное действие взрыва?

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Развитие представлений о горении и взрыве.
 2. Особенности горения твердых веществ. Стадии горения и процессы, протекающие при горении твердых веществ (на примере горение металлов и древесины).
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Кинетика процессов горения. Скорость реакции горения и факторы, ее определяющие.
 2. Превращение ВВ при различных воздействиях. Физические и химические взрывы. Ядерный взрыв.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Физические аспекты процессов горения
 2. Цепные реакции и их виды. Механизм цепной реакции.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Химические аспекты процессов горения
 2. Факторы, определяющие горения жидкостей. Процессы, протекающие при горении жидкостей и их влияние на скорость выгорания. Вскипание и выброс жидкости при горении.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Гомо- и гетерогенное горение. Горючее вещество и горючая смесь. Условия возникновения горения.
 2. Стадии цепной реакции. Цепные реакции в техносфере.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Классификация горючих техногенных веществ и особенности их горения: стадии процесса горения. Процессы, протекающие при горении веществ в различном агрегатном состоянии.
2. Основные типы взрывчатых веществ (ВВ), способы их классификации.
3. Задача

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. Механизмы распространения пламени.
 2. Удельная энергия взрывчатых веществ, ее определение и влияние на поведение взрывчатых веществ.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. Виды (классификация) горючих смесей. Скорость распространения пламени.
 2. Инициация взрыва. Чувствительность ВВ к детонации. Критический диаметр детонации. Кислородный баланс ВВ.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Горючесть веществ. Уравнения горения и состав продуктов сгорания. Характер свечения пламени. Полное и неполное сгорание. Влияние продуктов сгорания на процесс горения.
2. Гидродинамическая теория детонации.
3. Задача

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

1. Состав горючих смесей (индивидуальные и сложные вещества). Способы задания состава горючих смесей.
 2. Типы взрывов. Взрыв в воздухе.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

1. Термодинамика процессов горения.
 2. Экологические проблемы, связанные с процессами горения в техносфере.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

1. Температура пожара и температура горения, способы их определения.
2. Использование ВВ.
3. Задача

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

1. Расчет теоретической температуры горения.
 2. Используемые ВВ (динамиты, баллиститы, аммониты, динамомиты), их основные компоненты.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

1. Соотношения воздуха и продуктов сгорания при горении индивидуальных и сложных веществ в различном агрегатном состоянии.
 2. Импульс взрыва.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

1. Виды пламени. Фронт пламени, его структура и перемещение.
2. Распределение энергии при взрыве. Энергия ударной волны.
3. Задача

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16

1. Инициация процесса горения. Влияние различных факторов на возникновение горения.
 2. Взрывы в различных средах.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17

1. Тепловое самовоспламенение. Возгорание.
 2. Распространение взрыва.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18

1. Температура самовоспламенения и факторы, на нее влияющие.
2. Время действия и импульс ударной волны.
3. Задача

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19

1. Температура самонагрева и способы ее определения. Факторы, влияющие на температуру самонагрева. Переход самонагрева в горение.
 2. Давление на фронте ударной волны.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 20

1. Тепловое самовозгорание различных органических и неорганических веществ.
 2. Скорость ударной волны.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21

1. Микробиологическое самовозгорание.
2. Кумуляция. Кумулятивный эффект и его применение.
3. Задача

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 22

1. Химическое самовозгорание.
 2. Фугасное действие взрыва. Вторичные явления при взрыве.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 23

1. Концентрационные пределы воспламенения и методики их расчета. Использование концентрационных пределов воспламенения.
 2. Определение температуры и давления при взрыве газо- и паровоздушных смесей.
 3. Задача
-

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
«__» _____ 20__ г.

Кафедра Химии и естествознания
Факультет ИФ

Курс III

Заведующий кафедрой
"Утверждаю": _____

Дисциплина
"Теория горения и взрыва"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 24

1. Теории горения газо- и паровоздушных смесей. Пожаро- и взрывоопасность смесей.
2. Неразветвленные цепные реакции. Теории цепных реакций.
3. Задача

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДОМАШНИХ РАБОТ

1. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Задание 1.

Определить коэффициент горючести и характер свечения пламени вещества в соответствии с вариантом задания (табл.1).

Таблица 1.

№ варианта	Вещество	Коэффициент избытка воздуха
01	ацетилен	1,6
02	нитробензол	1
03	толуол	1,2
04	метан	1,1
05	этанол	1,3
06	пропан	1,05
07	бензол	1,4
08	диэтиловый эфир	1
09	бутан	1,1
10	амиловый спирт (пентанол)	1
11	анилин	1,1
12	фенол	1
13	ксилол	1,2
14	этилен	1,3
15	угарный газ	1,25
16	водород	1,2
17	этиловый эфир уксусной кислоты	1
18	бутилен	1,38
19	сероуглерод	1,45
20	метанол	1,5
21	нафталин	1,08
22	тринитротолуол	1,15
23	октан	1,5
24	трибромбензол	1,25

Задание 2

Рассчитать процесс горения сложного газообразного вещества указанного состава при заданных условиях. Определить количество воздуха, необходимого для горения, объем продуктов сгорания, процентное содержание заданного компонента(табл.2) в продуктах сгорания. Составы горючих газообразных веществ приведены в табл. 3.

Таблица 2.

№ варианта	Объем смеси, м ³	Условия горения		Определяемый компонент	Состав продуктов сгорания
		Температура °С	Давление		
01	10	Н.у.	Н.у.	СО ₂	Сухой
02	5	142	730 мм.рт.ст.	Н ₂ О	Влажный

03	200	138	780 мм.рт.ст.	CO ₂	Сухой
04	70	67	96,6 кПа	CO ₂	Сухой
05	1000	127	102,3 кПа	H ₂ O	Влажный
06	100	223	127 кПа	H ₂ O	Влажный
07	150	200	787 мм.рт.ст.	H ₂ O	Влажный
08	480	20	750 мм.рт.ст.	CO ₂	Сухой
09	20	10	105,6 кПа	H ₂ O	Влажный
10	10	18	91 кПа	CO ₂	Сухой
11	100	100	780 мм.рт.ст.	H ₂ O	Влажный
12	300	22	110 кПа	H ₂ O	Влажный
13	500	30	760 мм.рт.ст.	CO ₂	Сухой
14	2000	300	95 кПа	CO ₂	Сухой
15	2	17	735 мм.рт.ст.	H ₂ O	Влажный
16	15	25	730 мм.рт.ст.	H ₂ O	Влажный
17	370	90	107,6 кПа	H ₂ O	Влажный
18	600	25	740 мм.рт.ст.	CO ₂	Сухой
19	1000	Н.у.	Н.у.	SO ₂	Сухой
20	100	150	87 кПа	SO ₂	Влажный
21	40	300	101,3 кПа	N ₂	Влажный
22	8	Н.у.	Н.у.	SO ₂	Сухой
23	110	150	110 кПа	H ₂ O	Влажный
24	10	100	780 мм.рт.ст.	H ₂ O	Сухой

Таблица 3
Составы горючих газовых смесей (в %)

№ вар	Название вещества	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂ O	H ₂ S
01	Доменный газ	27,5	2,8	0,6	12,5	–	56,6	–	–	–	–	–
02	Водяной газ	3,2	48,4	4,6	9,5	–	5,5	–	–	–	–	–
03	Водяной газ	35,0	40,0	14,0	5,0	–	6,0	–	–	–	–	–
04	Водяной газ	40,0	50,0	0,8	4,2	–	5,0	–	–	–	–	–
05	Природный газ	–	4,0	86,0	–	–	–	2,0	4,0	4,0	–	–
06	Природный газ	–	–	90,0	0,4	–	0,7	5,2	3,7	–	–	–
07	Светильн. газ	10,0	50,0	30,0	3,0	2,0	5,0	–	–	–	–	–
08	Светильн. газ	20,0	50,0	23,0	3,0	–	2,0	2,0	–	–	–	–
09	Коксовый газ	6,8	57,0	22,5	2,3	–	7,7	–	–	–	3,7	–

10	Саратовск. прир. газ	–	–	92,2	–	–	–	7,8	–	–	–	–
11	Ухтинский прир. газ	–	–	88,1	4,5	–	5,0	1,9	0,2	0,3	–	–
12	Дашавский прир. газ	–	–	97,8	–	–	1,3	0,5	0,4	–	–	–
13	Попутный нефтяной газ	–	–	42,0	–	–	8,0	20,0	20,0	8+2	–	–
14	Шебелин. природ. газ	–	–	91,8	1,4	–	2,5	2,7	1,8	0,8	–	–
15	Генератор. газ	30,0	15,0	5,0	10,0	–	40,0	–	–	–	–	–
16	Воздушн. газ	33,5	10,0	0,5	0,5	–	55,5	–	–	–	–	–
17	Бухарский газ	–	–	94,9	0,4	–	0,9	3,8	–	–	–	–
18	Сжижен-ный газ	–	–	4,0	–	–	–	6,0	79,0	11,0	–	–
19	Биогаз	–	0,5	70,5	28,0	–	0,5	–	–	–	–	0,5
20	Коксовый очищ. газ	6,8	57,5	22,5	2,3	0,8	7,8	1,9	–	–	–	0,4
21	Генератор. газ	25,5	14,7	2,2	6,5	0,2	50,6	0,3				
22	Газ кокс. печей	6,8	22,3	50,0	2,3	0,8	7,7	–	1,9	–	7,8	0,4
23	Природный газ			84,5	0,8		7,8	3,3	1,9			1,7
24	Доменный газ	28,2	1,8	1,0	14		55					

Задание 3. (№ задачи соответствует № варианта)

1. Определить объем воздуха, необходимого для сгорания диэтилового эфира при температуре 15°C и давлении 995 кПа.
2. Сгорает 10 кг пентана при $\alpha = 1,4$. Определить объем продуктов горения, их процентный состав и объем выделившихся паров воды при температуре 22°C и давлении 92 кПа.
3. Определить коэффициент избытка воздуха, если при сгорании 8,8 кг этилацетата израсходовано 212 м^3 воздуха при температуре 10°C и давлении 760 мм рт. ст.
4. Сколько этилбензола сгорит в помещении объемом 300 м^3 , сколько при этом выделится продуктов горения и какова будет концентрация углекислого газа, если горение его прекратилось при содержании кислорода в воздухе 14,8%. Условия нормальные.
5. Определить, сколько потребуется воздуха для сжигания 9,2 кг толуола при температуре 20°C и давлении 750 мм рт. ст., если горение происходит с коэффициентом избытка воздуха 1,4.
6. Рассчитать объем углекислого газа, азота и воды, процентный состав продуктов горения 1 кг этиленгликоля в воздухе (условия нормальные).

7. Определить объем воздуха, необходимого для сгорания 50 м³ ацетилена при $\alpha = 1,7$.
8. Вычислить, при горении какого вещества: этилена, ацетилена или бутилена в продуктах горения больше процентное содержание углекислого газа. Ответ подтвердите расчетом.
9. Определить, какое количество бутилацетата может сгореть в помещении объемом 200 м³, если его горение прекращается при содержании кислорода в воздухе, равном 13,8 % (условия нормальные).
10. Определить, какая масса (кг) ацетона сгорела в помещении объемом 600 м³, если горение прекратилось при содержании 16% продуктов горения в объеме помещения. Определить процентное содержание углекислого газа в помещении. Температура в помещении 100°C и давление 104 кПа.
11. Рассчитать объем сухих продуктов горения для стандартных условий при сгорании 10 кг глицерина.
12. На калориметрической установке определили, что при сгорании 0,525 г нафталина выделилось 21,15 кДж тепла. Определить теплоту сгорания и теплоту образования нафталина.
13. Сгорело 10 кг бромбензола. Определить объем выделившегося бромоводорода, коэффициент избытка воздуха и концентрацию бромоводорода, если горение протекало в помещении объемом 80 м³.
14. Сгорает 11 кг амилового спирта при $\alpha = 1,5$. Определить объем в м³ и состав в процентах продуктов горения амилового спирта при температуре 17°C и давлении 98 кПа.
15. Рассчитать, сколько сернистого газа выделится при сгорании 1,5 кг сероуглерода при нормальных условиях.
16. В кислороде сожгли 100 мл пиридина. Определить, сколько углекислого газа, паров воды и азота (в граммах) выделилось при этом. Условия стандартные.
17. Определить объем и процентный состав сухих продуктов сгорания 1 кг этилового эфира уксусной кислоты.
18. Сколько диэтилового эфира сгорело в помещении объемом 270 м³, если анализ продуктов горения показал, что они состоят из углекислого газа, воды, кислорода и азота. Содержание углекислого газа в помещении – 5,8 %. Условия нормальные.
19. Определить объем и процентный состав продуктов сгорания 18,9 кг хлоруксусной кислоты, если горение происходит при температуре 220°C и $\alpha = 1,23$.
20. Определить, сколько этилена требуется сжечь при температуре 30 °C и давлении 95 кПа, чтобы получить 300 м³ углекислого газа.
21. Рассчитать объем воздуха, необходимого для сгорания 10 кг бензола при температуре 15 °C и давлении 750 мм. рт.ст., если горение происходило при $\alpha = 1,2$.
22. Определить объем воздуха, необходимого для сгорания 2 кг анилина при температуре 15°C, давлении 100 кПа и $\alpha = 1,45$.
23. Водяной газ представляет собой смесь равных объемов водорода и оксида углерода (II). Рассчитайте объем воздуха, необходимого для сгорания 10 м³ водяного газа и объем выделившихся паров воды, если горение происходит при $\alpha = 1,15$.
24. Определить количество (кг) тринитротолуола, сгоревшего в помещении объемом 120 м³, если горение закончилось при содержании кислорода в воздухе 14,5 %. Какое количество азота содержится в воздухе после окончания горения?

Задание 4.

Рассчитать низшую и высшую теплоту сгорания топлива в соответствии с составом, приведенным в таблице. Состав (табл. 4) задан по рабочей массе топлива.

Таблица 4.

Состав топлива (в %)

№ вар.	Название вещества	С	Н	О	N	S	Др. в-ва	влага	зола
01	Каменный уголь	76,0	4,8	3,6	2,8	1,8		2,8	8,2
02	Мазут	85,0	14,0	0,4	0,3	0,3		–	–
03	Древесина	46,0	6,0	42,0	–	–		6,0	–
04	Торф	36,0	4,0	12,0	8,0			35,0	5,0
05	Нефть	84,0	14,0	–	1,0	1,0		–	–
06	Каменный уголь	79,4	5,3	10,3	–	2,82			2,18
07	Керосин	85,28	14,12	0,6	–	–		–	–
08	Древесина	41,5	6,0	43,0	2,0			7,5	
09	Полуантрацит	90,4	4,3	4,3	–	1,0		–	–
10	Торф	43,0	7,0	41,0	2,0	–		7,0	–
11	Каменный уголь	76,0	4,5	3,5	1,8	4,7		3,0	6,5
12	Мазут М100	83,4	10,0	0,1	0,3	2,9		3,0	0,3
13	Уголь	75,0	4,0	6,0	3,0	2,0		4,0	6,0
14	Сланец	38,8	3,2	4,0	0,1	1,5		15,0	37,4
15	Уголь	37,2	2,6	12,0	0,4	0,6		40,0	7,2
16	Бензин	85,0	14,9	0,02	0,03	0,15		–	–
17	Уголь	29,1	2,2	8,7	0,6	2,9		33,0	23,5
18	Березовский уголь	44,3	3,0	14,4	0,4	0,2		33	4,7
19	Мазут мало-сернистый	85,8	8,7	0,4	0,4	0,7		3,8	0,2
20	Мазут высоко-сернистый	83,7	11,5	0,5	–	4,0		–	0,3
21	Сланец	24,1	3,1	3,7	0,1	1,6	14,4 (CO ₂)	13,0	40,0
22	Уголь	61,2	4,2	6,4	1,2	3,3		7,0	16,7
23	Соляровое масло	86,5	12,8	0,2	0,1	0,4		–	–
24	Древесина	42	4	46	4			4	

Задание 5

Рассчитать процесс горения сложного (жидкого или твердого) вещества указанного состава при заданных условиях. Определить количество воздуха, необходимого для горения, объем (массу) продуктов сгорания. Для выполнения расчетов использовать:

Состав вещества – на основании таблицы 4 (задание 4).

Условия горения – на основании таблицы 2 (задание 2).

2. АДИАБАТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ПРЕДЕЛЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Задание 1.

Рассчитать температуру горения простого (табл. 1) и сложного (табл. 2) веществ в соответствии с вариантом задания.

Задание 2

Рассчитать концентрационные пределы воспламенения вещества в соответствии с вариантом задания 1 (табл. 1).

Задание 3

Рассчитать концентрационные пределы воспламенения вещества указанного состава при заданных условиях (табл.3). Составы газообразных горючих веществ приведены в таблице 4.

Таблица 1 (задание 1)

№ вар.	Вещество	Коэффициент избытка воздуха	№ вар.	Вещество	Коэффициент избытка воздуха
01	ацетилен	1,6	13	ксилол	1,2
02	нитробензол	1	14	этилен	1,3
03	толуол	1,2	15	угарный газ	1,25
04	метан	1,1	16	водород	1,2
05	этанол	1,3	17	этиловый эфир уксусной кислоты	1
06	пропан	1,05	18	бутилен	1,38
07	бензол	1,4	19	сероуглерод	1,45
08	диэтиловый эфир	1	20	метанол	1,5
09	бутан	1,1	21	нафталин	1,08
10	амиловый спирт (пентанол)	1	22	метиламин	1,15
11	анилин	1,1	23	октан	1,5
12	фенол	1	24	фторбензол	1,05

Таблица 2 (задание 1)

№ вар.	Название вещества	C	H	O	N	S	Др. в-ва	влага	зола
01	Кам. уголь	76,0	4,8	3,6	2,8	1,8		2,8	8,2
02	Мазут	85,0	14,0	0,4	0,3	0,3		–	–
03	Древесина	46,0	6,0	42,0	–	–		6,0	–
04	Торф	36,0	4,0	12,0	8,0			35,0	5,0
05	Нефть	84,0	14,0	–	1,0	1,0		–	–
06	Каменный уголь	79,4	5,3	10,3	–	2,82			2,18
07	Керосин	85,28	14,12	0,6	–	–		–	–
08	Древесина	41,5	6,0	43,0	2,0			7,5	
09	Полуантрацит	90,4	4,3	4,3	–	1,0		–	–

10	Торф	43,0	7,0	41,0	2,0	–		7,0	–
11	Кам. уголь	76,0	4,5	3,5	1,8	4,7		3,0	6,5
12	Мазут М100	83,4	10,0	0,1	0,3	2,9		3,0	0,3
13	Уголь	75,0	4,0	6,0	3,0	2,0		4,0	6,0
14	Сланец	38,8	3,2	4,0	0,1	1,5		15,0	37,4
15	Уголь	37,2	2,6	12,0	0,4	0,6		40,0	7,2
16	Бензин	85,0	14,9	0,02	0,03	0,15		–	–
17	Уголь	29,1	2,2	8,7	0,6	2,9		33,0	23,5
18	Березовский уг.	44,3	3,0	14,4	0,4	0,2		33	4,7
19	Мазут м/с	85,8	8,7	0,4	0,4	0,7		3,8	0,2
20	Мазут в/с	83,7	11,5	0,5	–	4,0		–	0,3
21	Сланец	24,1	3,1	3,7	0,1	1,6	14,4 (CO ₂)	13,0	40,0
22	Уголь	61,2	4,2	6,4	1,2	3,3		7,0	16,7
23	Соляр. масло	86,5	12,8	0,2	0,1	0,4		–	–
24	Древесн. уголь	78,0	4,8	14,2	–	–		–	3,0

Таблица 3 (задание 3)

№ вар.	Условия горения		№ вар.	Условия горения	
	Температура °С	Давление		Температура °С	Давление
01	Н.у.	Н.у.	13	30	760 мм.рт.ст.
02	142	730 мм.рт.ст.	14	300	95 кПа
03	138	780 мм.рт.ст.	15	17	735 мм.рт.ст.
04	67	96,6 кПа	16	25	730 мм.рт.ст.
05	127	102,3 кПа	17	90	107,6 кПа
06	223	127 кПа	18	25	740 мм.рт.ст.
07	200	787 мм.рт.ст.	19	Н.у.	Н.у.
08	20	750 мм.рт.ст.	20	150	87 кПа
09	10	105,6 кПа	21	300	101,3 кПа
10	18	91 кПа	22	Н.у.	Н.у.
11	100	780 мм.рт.ст.	23	150	110 кПа
12	22	110 кПа	24	27	772 мм.рт.ст.

Таблица 4 (задание 3)

№ вар	Название вещества	СО	Н ₂	СН ₄	СО ₂	О ₂	Н ₂	С ₂ Н ₆	С ₃ Н ₈	С ₄ Н ₁₀	Н ₂ О	Н ₂ С
01	Доменный газ	27,5	2,8	0,6	12,5	–	56,6	–	–	–	–	–
02	Водяной газ	3,2	48,4	4,6	9,5	–	5,5	–	–	–	–	–
03	Водяной газ	35,0	40,0	14,0	5,0	–	6,0	–	–	–	–	–
04	Водяной газ	40,0	50,0	0,8	4,2	–	5,0	–	–	–	–	–

05	Природный газ	–	4,0	86,0	–	–	–	2,0	4,0	4,0	–	–
06	Природный газ	–	–	90,0	0,4	–	0,7	5,2	3,7	–	–	–
07	Светильн. газ	10,0	50,0	30,0	3,0	2,0	5,0	–	–	–	–	–
08	Светильн. газ	20,0	50,0	23,0	3,0	–	2,0	2,0	–	–	–	–
09	Коксовый газ	6,8	57,0	22,5	2,3	–	7,7	–	–	–	3,7	–
10	Саратовск. прир. газ	–	–	92,2	–	–	–	7,8	–	–	–	–
11	Ухтинский прир. газ	–	–	88,1	4,5	–	5,0	1,9	0,2	0,3	–	–
12	Дашавский прир. газ	–	–	97,8	–	–	1,3	0,5	0,4	–	–	–
13	Попутный нефтяной газ	–	–	42,0	–	–	8,0	20,0	20,0	8+2	–	–
14	Шебелин. природ. газ	–	–	91,8	1,4	–	2,5	2,7	1,8	0,8	–	–
15	Генератор. газ	30,0	15,0	5,0	10,0	–	40,0	–	–	–	–	–
16	Воздушн. газ	33,5	10,0	0,5	0,5	–	55,5	–	–	–	–	–
17	Бухарский газ	–	–	94,9	0,4	–	0,9	3,8	–	–	–	–
18	Сжиженный газ	–	–	4,0	–	–	–	6,0	79,0	11,0	–	–
19	Биогаз	–	0,5	70,5	28,0	–	0,5	–	–	–	–	0,5
20	Коксовый очищ. газ	6,8	57,5	22,5	2,3	0,8	7,8	1,9	–	–	–	0,4
21	Генератор. газ	25,5	14,7	2,2	6,5	0,2	50,6	0,3				
22	Газ кокс. печей	6,8	22,3	50,0	2,3	0,8	7,7	–	1,9	–	7,8	0,4
23	Природный газ			84,5	0,8		7,8	3,3	1,9			1,7
24	Доменный газ	28,2	1,8	1,0	14		55					

3. Давление и температура при взрыве газо- и паровоздушной смеси

Задание 1.

Рассчитать температуру и давление при взрыве газовой смеси в соответствии с вариантом табл. 1.

Таблица 1.

№ варианта	Вещество	Концентрация, %	Начальная температура, °С	Давление, МПа
01	пентан	0,5	27	0,1
02	этиленгликоль	1,2	20	0,09
03	толуол	1,0	25	0,1
04	метан	7,0	20	0,5
05	этанол	2,0	27	0,08
06	пропан	3,0	5	0,09
07	формальдегид	1,0	20	0,5
08	диэтиловый эфир	3,0	25	0,1
09	бутан	0,7	27	0,6
10	пентанол	2,0	20	0,5
11	тетрафторметан	2,5	30	0,1
12	фенилфторметан	0,2	25	0,08
13	октан	1,5	27	0,09
14	этан	1,6	5	0,5
15	угарный газ	2,1	20	0,1
16	водород	2,8	17	0,6
17	диметиловый эфир	2,6	27	0,09
18	бутилен	2,4	25	0,5
19	сероуглерод	1,4	20	0,1
20	ацетон	1,2	27	0,09
21	ацетальдегид	0,8	21	0,4
22	гептан	1,4	35	0,2
23	муравьиная кислота	2,2	20	0,08
24	бутанол	1,2	30	0,3

Задание 2.

Рассчитать, в соответствии с вариантом задания (табл. 2), избыточное давление взрыва газовой смеси в произвольной комнате, задав ее размеры и свободный объем. Считать для нечетных вариантов $K_1 = 2$; для четных вариантов $K_1 = 3$.

Таблица 2.

№ варианта	Вещество	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Начальная температура, °С	z
01	Метан	2,76	27	0,5
02	Бутан	2,78	20	0,3
03	Ацетилен	3,39	25	0,65
04	Оксид углерода (II)	2,93	20	0,4
05	Аммиак	2,37	27	0,35
06	Водород	3,42	5	0,55
07	Этилен	3,01	20	0,5

08	Бутилен	2,89	25	0,3
09	Пропилен	2,92	27	0,65
10	Винилхлорид	2,48	20	0,4
11	Этан	2,797	30	0,35
12	Ацетон	3,11	25	0,55
13	Бензол	2,94	27	0,5
14	Гексан	2,80	5	0,3
15	Дихлорэтан	2,16	20	0,65
16	Диэтиловый эфир	2,84	17	0,4
17	Ксилол	2,83	27	0,35
18	Метанол	2,84	25	0,55
19	Пентан	2,79	20	0,5
20	Толуол	2,84	27	0,3
21	Циклогексан	2,79	21	0,65
22	Этанол	2,804	35	0,4
23	Дивинил	2,96	20	0,35
24	Пропан	2,8	30	0,55