



МЧС РОССИИ

«Уральский институт Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

кафедра химии и процессов горения

ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

Методические рекомендации по подготовке к экзамену

для обучающихся по специальности 40.05.03 Судебная экспертиза

Екатеринбург
2022

Теория горения и взрыва [Электронный ресурс] : методические рекомендации по подготовке к экзамену для обучающихся по специальности 40.05.03 Судебная экспертиза / А.В. Кокшаров. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2022. – 20 с.

Автор-составитель:

Кокшаров А.В., начальник кафедры химии и процессов горения Уральского института ГПС МЧС России, к.х.н., доцент

Излагаются рекомендации для подготовки к экзамену по дисциплине «Теория горения и взрыва». Описывается порядок проведения и система оценки знаний на экзамене. Приводится перечень вопросов и задач по дисциплине, которые используются при составлении экзаменационных заданий. Приведён пример ответа на экзаменационный билет. В рекомендациях представлен список рекомендуемой основной и дополнительной литературы для подготовки к экзамену по дисциплине.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 40.05.01 Судебная экспертиза при подготовке к экзамену по дисциплине «Теория горения и взрыва».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	5
2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА	6
И СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ	6
2.1. Критерии оценки ответа.....	6
2.2 План проведения экзамена.....	7
3. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ	9
4. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	11
5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ	12
6. ПРИМЕР ОТВЕТА НА ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ	14

ВВЕДЕНИЕ

Целью преподавания дисциплины «Теория горения и взрыва» является знакомство студентов с основными физическими и химическими явлениями и процессами, протекающими при возникновении, развитии и прекращении горения. Данные знания представляют высокое значение при проведении судебных экспертиз, связанных с расследованием причин пожара.

Курса составлен таким образом, что по его окончании учащиеся должны получить представление об основных законах и теориях современной науки, изучающих процессы возникновения, развития и прекращения горения, знание основ которых необходимо экспертам в судебной практике при назначении экспертиз.

Изучение материала курса осуществляется на лекционных, практических, лабораторных занятиях, при самостоятельной проработке материала, рекомендуемого преподавателем, а также индивидуальная работа преподавателей с обучаемыми.

При подготовке к сдаче экзамена по дисциплине «Теория горения и взрыва» важная роль принадлежит умению обучаемых эффективно организовать самостоятельную работу, в ходе которой дорабатываются вопросы, рассмотренные на лекциях, происходит ознакомление с литературой, справочными пособиями, указанными в методических рекомендациях, а также проводится повторение основных методик решения задач. Данное методическое пособие составлено для помощи обучающимся в подготовке к экзамену и содержит методические указания, направленные на организацию самостоятельной работы учащихся на завершающем этапе изучения дисциплины.

1. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Дисциплина «Теория горения и взрыва» изучается на II курсе (4-й семестр). По окончании семестра по названной дисциплине предусмотрен экзамен в устной форме. Экзамен является итоговым контролем и имеет целью проверить учебную работу студентов, уровень полученных ими знаний и умение применять их при решении профессиональных практических задач.

Количество квалификационных заданий готовится не менее чем на 15 % больше числа обучающихся в учебной группе, а их содержание охватывает весь пройденный материал.

Допуск студента к промежуточной аттестации осуществляется по итогам его текущей работы в семестре. Основными видами текущего контроля являются: курсовая работа, сдача коллоквиумов, решение задач на проверочных и на контрольной работе, выполнение лабораторных работ, работа на практических занятиях.

Контрольная работа проводится по первому разделу курса как итоговый контроль уровня освоения обучаемыми методики решения практических расчётных задач. Аудиторные проверочные работы и сдача коллоквиумов для студентов проводятся во время лабораторных работ в количестве 4-х штук.

Для выполнения курсовой работы на кафедре разработано учебно-методическое пособие, в котором представлены варианты заданий, требования к оформлению работы, а также пример выполнения расчётов.

До экзамена допускаются студенты, сдавшие на удовлетворительные оценки:

- курсовую работу;
- контрольную работу;
- 4 отчёта выполнения лабораторных работ;
- 4 коллоквиума.

Итоговая семестровая аттестация проводится по экзаменационным билетам в устной форме. В каждом билете формулируются два теоретических вопроса и одна задача.

Для подготовки к сдаче экзамена по теоретической части курса рекомендуется воспользоваться конспектом лекций, а также учебным пособием [Русинова Е. В. Теория горения и взрыва: учебное пособие. Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2011 – 178 с]. При подготовке к экзамену можно пользоваться также дополнительной литературой, перечень которой представлен в рабочей программе дисциплины.

Задачи к билетам подбираются аналогичные тем, которые решались на практических занятиях и (или) предлагались на самостоятельную работу.

Для проведения экзамена на кафедре разрабатываются следующие материалы:

- учебно-методическая документация;
- экзаменационные билеты;
- вопросы для подготовки к экзамену.

В аудитории, где проводится экзамен, должны находиться следующие документы и материалы:

- учебная программа по дисциплине;
- учебно-методическая документация для проведения экзамена;
- билеты для проведения экзамена;
- экзаменационная ведомость;
- зачетные книжки обучающихся;
- журнал учебной группы;
- средства материального обеспечения и справочные материалы, разрешённые для использования на экзамене согласно перечню, приведённому в методической разработке для проведения экзамена.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА И СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

2.1. Критерии оценки ответа

Экзамен проводится в устной форме и включает в себя ответ на 2 теоретических вопроса экзаменационного билета для контроля освоения теоретического курса, а также решение задачи для проверки практических умений и навыков выполнения инженерно-технических расчётов.

Оценка знаний обучающихся на основании результатов проверки знаний и умений экзаменационных испытаний проводится по пятибалльной системе.

В том случае, если теоретические вопросы изложены в полном объёме, грамотным научным языком, практическое задание (задача) выполнено правильно (допускаются неточности в арифметических расчётах, не влияющие на конечный результат и не искажающие его смысл), на дополнительные вопросы преподавателя получены верные, исчерпывающие ответы, то курсант получает оценку «отлично».

Если теоретические вопросы в целом раскрыты, допускаются неточности в формулировках, не искажающие суть излагаемого вопроса, задача решена полностью (допускаются неточности в арифметических расчётах, не влияющие на конечный результат и не искажающие его смысл) на дополнительные вопросы преподавателя получены верные, исчерпывающие ответы, то курсант получает оценку «хорошо».

Если теоретические вопросы раскрыты недостаточно либо имеются

существенные неточности при их изложении, практическое задание выполнено не в полном объёме или со значительными недочётами, ошибками в записи формул и уравнений, грубыми арифметическими ошибками, искажающими смысл полученного результата, на дополнительные вопросы экзаменуемый отвечает с затруднением, путается в формулировках и выводах, то получает оценку «удовлетворительно».

Студент считается не сдавшим экзамен (оценка «неудовлетворительно»), если он неграмотно и неточно формулирует материал и не умеет применять полученные знания на практике (при решении практических заданий и задач); не в полном объеме (со значительными недочётами, ошибками в записи формул и уравнений, грубыми арифметическими ошибками, искажающими смысл полученного результата) или не выполнил практическое задание, на дополнительные вопросы преподавателя ответить не может.

2.2 План проведения экзамена

Подготовка к экзамену: за 5-10 минут до начала экзамена дежурный раздаёт средства материального обеспечения, разрешённые для использования на экзамене.

Проведение экзамена: экзамен проводится в течение 6 учебных часов (3 пары).

В начале экзамена преподаватель кратко напоминает порядок сдачи экзамена, правила поведения, объявляет фамилии освобожденных либо не допущенных до экзамена.

В аудитории остаётся 6 человек. Вызванный для сдачи экзамена студент докладывает о прибытии, предъявляет зачетную книжку, берет билет и бумагу для выполнения задания, называет номер билета и приступает к выполнению. На подготовку отводится 40 минут. Остальные экзаменуемые заходят в аудиторию по мере сдачи экзамена ранее вошедшими.

Курсанту на экзамене разрешается брать лишь один билет. На экзамене разрешено пользоваться только теми информационно-справочными материалами, которые утверждены в установленном порядке. Использовать учебники, задачники или конспекты запрещается. Если экзаменуемый не может ответить на вопросы задания, ему выставляется оценка «неудовлетворительно».

В случае нарушения установленных правил сдачи экзамена курсант удаляется с экзамена и ему выставляется неудовлетворительная оценка.

По готовности преподаватель проводит собеседование с экзаменуемым. Для ответа на каждый из вопросов билета отводится не более 3 минут. Преподаватель проверяет выполнение практического задания (задачи). После ответа на дополнительные вопросы преподавателя

(не более трёх) выставляется итоговая оценка, которая оглашается экзаменуемому.

По окончании экзамена итоговая оценка выставляется в экзаменационную ведомость и зачетную книжку. Экзаменационная ведомость подписывается преподавателем и сдается в учебно-методический отдел.

Студент, не сдавший экзамен, может быть допущен к повторной сдаче экзамена в период, предусмотренный для пересдачи. Пересдача экзамена с целью повышения положительной оценки не допускается.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Сущность процесса горения. Необходимые и достаточные условия процесса горения.
2. Химические реакции горения, их особенности и механизм.
3. Химические и физические процессы, протекающие при горении.
4. Пламя. Структура и основные характеристики пламени. Физические и химические процессы, протекающие в пламени.
5. Классификация процессов горения: гомогенное и гетерогенное, кинетическое и диффузионное, ламинарное и турбулентное, дефлаграционное и детонационное.
6. Уравнение материального баланса процесса горения.
7. Избыток воздуха и коэффициент избытка воздуха.
8. Закон Гесса и следствие из закона Гесса.
9. Уравнение теплового баланса.
10. Высшая и низшая теплоты сгорания, физический смысл и расчёт.
11. Температура горения: калориметрическая, адиабатическая, теоретическая, действительная. Способы расчета температуры горения.
12. Тепловая теория самовоспламенения Н.Н. Семёнова (привести график с объяснениями). Условие самовоспламенения.
13. Цепная теория самовоспламенения.
14. Температура самовоспламенения и её зависимость от различных факторов.
15. Практическое значение температуры самовоспламенения, экспериментальные и расчетные методы определения температуры самовоспламенения паров и газов в воздухе.
16. Тепловая теория самовозгорания.
17. Виды самовозгорания: причины, температуры самонагрева, меры по предотвращению.
18. Сходство и различие явлений самовоспламенения и самовозгорания горючих систем.
19. Самовозгорание масел и жиров: классификация масел, понятие йодного числа и метод его расчета.
20. Самовозгорание химических веществ.
21. Общие и отличительные особенности процессов самовоспламенения и зажигания. Виды источников зажигания.
22. Зажигание нагретым телом и электрической искрой.
23. Тепловая теория зажигания. Критическое условие зажигания.
24. Минимальная энергия зажигания.
25. Температура зажигания и зависимость её от различных факторов.

26. Общие закономерности кинетического режима горения.
27. Нормальная скорость распространения пламени и факторы, влияющие на ее величину.
28. Концентрационные пределы распространения пламени: определение; физический смысл; зависимость от различных факторов; методы определения.
29. Флегматизаторы и ингибиторы горения.
30. Режимы протекания реакций окисления.
31. Условия перехода дефлаграции в детонацию в горючих газовых смесях.
32. Механизм образования ударной волны, форма ударной волны, параметры ударной волны.
33. Условия возникновения горения жидкостей.
34. Температура вспышки и температура воспламенения, как характеристики пожарной опасности жидкостей (определение, физический смысл, расчёт, практическая значимость).
35. Температурные пределы распространения пламени: физический смысл; методы определения; практическое значение.
36. Скорость выгорания, методы расчета и экспериментального определения.
37. Распределение температуры в горящей жидкости.
38. Вскипание и выброс жидкостей, причины этих явлений, меры по предотвращению.
39. Химические основы процессов термического разложения ТГМ.
40. Гомогенный и гетерогенный режимы горения древесины.
41. Горение древесины. Основные стадии процесса пиролиза древесины: температура горения древесины, продукты горения на разных этапах горения древесины.
42. Горение полимерных материалов, классификация полимеров по показателю токсичности продуктов горения.
43. Основные закономерности горения твердых органических веществ.
44. Группы горючести, метод расчета коэффициента горючести.
45. Индекс распространения пламени, его определение и использование для характеристики твердых веществ.
46. Особенности горения металлов.
47. Показатели пожарной опасности твёрдых веществ.
48. Пыли и их свойства. Классификация пылей по пожаровзрывоопасности.
49. Особенности горения и причины взрывов пылей.
50. Показатели пожарной опасности пылей.

51. Пожарная опасность веществ и материалов (что понимают под пожарной опасностью?; что значит «оценить пожарную опасность вещества») Привести пример оценки пожарной опасности газа (на выбор).

52. Основные показатели пожарной опасности горючих газов, аэродисперсных систем, жидкостей, твердых веществ. Их взаимосвязь и методы расчета.

53. Оценка пожарной опасности веществ и материалов.

54. Тепловая теория потухания пламени. Способы достижения температуры гашения. (Привести схему с объяснениями).

55. Зависимость скорости тепловыделения и теплоотвода от температуры.

56. Температура гашения и способы ее достижения.

57. Принцип работы огнепреградителей, виды огнепреградителей.

58. Способы прекращения горения.

59. Взрывы: типы взрывов, физические и химические взрывы.

60. Отличия механизмов дефлаграционного горения и взрыва.

61. Максимальное давление взрыва и скорость нарастания давления при взрыве как показатели пожаровзрывоопасности горючих систем.

62. Классификация и характеристика взрывчатых веществ.

63. Бризантное и фугасное действия взрыва. Теоретические и экспериментальные методы оценки бризантности и фугасности взрывчатых веществ.

64. Оценка чувствительности взрывчатых веществ к механическим воздействиям (удар и трение) и электрическому импульсу.

4. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Русинова Е. В. Теория горения и взрыва: учебное пособие : допущено Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве учебного пособия для курсантов и студентов. Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2011 – 178 с.
2. Теория горения и взрыва: практикум : учеб. специальность 20.05.01 Пожарная безопасность, направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, специальность 40.05.03 Судебная экспертиза / авт.сост. Е. В. Гайнуллина О. В. Беззапонная, М.Л. Кондратьева - Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2021. - 87 с.

Дополнительная литература

1. Гайнуллина Е. В. Теория горения и взрыва : информационно-справочный материал. Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность. Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / сост. : Е. В. Гайнуллина, О. В. Беззапонная. - Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2020. - 52 с.

2. Гайнуллина Е.В. Оценка пожарной опасности веществ и материалов [Текст] : учебное пособие. Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность, направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, специальность 40.05.03 Судебная экспертиза / Е. В. Гайнуллина, А. В. Кокшаров – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2019. – 54 с.;
3. Гельфанд, Б. Е. Взрывобезопасность : учебник / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников; под ред. В. С. Артамонова. - СПб. : Астерион, 2006. - 392 с.
4. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов» М.: Изд-во стандартов. 1990. 143 с. Режим доступа: <http://mobileonline.garant.ru/#/document/2321321>.
5. Федеральный закон Российской Федерации от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : \\172.16.1.12\GarantClient\garant.exe.
6. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. От 02.07.13) Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Новосибирск : норматика, 2016.–112с.
Режим доступа: <http://mobileonline.garant.ru/#/document/12161584:1>.
7. Корольченко, А. Я. Процессы горения взрыва / А. .Я. Корольченко. - М. : Пожнаука, 2007. - 266 с.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

Подготовку к сдаче теоретической части экзамена рекомендуется начинать по порядку следования тем изложения лекционного материала. Проработку теоретического материала можно проводить по конспектам и учебному пособию *Русинова Е.В.* Теория горения и взрыва: учебное пособие. Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2013. – 178 с. [1] Также можно пользоваться основной, дополнительной литературой и методическими разработками кафедры, представленными в списке рекомендуемой литературы в разделе 4. При первом чтении материала не стоит задерживаться на математических выводах и запоминании уравнений, сначала следует получить общее представление о рассматриваемых вопросах, а также выявить сложные и непонятные моменты. Внимательно прочитывайте текст, старайтесь выявить суть вопросов и не пытайтесь сразу запомнить все определения и детали. Такой подход, при котором все физико-химические процессы рассматриваются на уровне сущности, а не набора отдельных понятий и фактов, способствует не только более глубокому и прочному усвоению материала, но и формированию логического мышления, способности воспринимать и осмысливать суть процессов и явлений, протекающих при горении. При последующей проработке материала в прочитанном тексте выделяются главные идеи, устанавливаются логические взаимосвязи

между ними, большее внимание уделяется деталям, особенностям протекания тех или иных процессов и явлений, материал повторяется несколько раз для лучшего запоминания определений и формул.

Чтобы лучше запомнить и усвоить изучаемый материал, рекомендуется завести рабочую тетрадь и кратко, в виде тезисов, записывать в неё формулировки законов, основные понятия и определения, формулы и уравнения реакций и т.д. Во всех случаях, когда материал поддаётся систематизации, составляйте схемы, диаграммы и таблицы – такой подход структурирует и облегчает восприятие больших объёмов информации и уменьшает её объём при конспектировании, что очень облегчает запоминание материала, в том числе и визуально.

Подготовка к экзамену должна обязательно сопровождаться повторением и решением задач, поскольку это один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

Следует напомнить, что для качественного освоения материала, облегчения подготовки к экзамену и успешной его сдачи необходимо *систематическое* выполнение заданий при самостоятельной работе по изучению материала дисциплины в течение семестра.

При планировании ответа на экзаменационный билет нужно быть готовым не только коротко и чётко изложить теоретические и ответить на дополнительные вопросы, но и при необходимости обосновать свои действия при решении задачи.

Следует отметить, что не нужно стремиться изложить ответ на теоретические вопросы на бумаге. На это может не хватить времени. Необходимо написать себе план ответа, если необходимо схематично привести закономерности тех процессов, которые будут освещаться при ответе на вопрос.

Приступая к самостоятельному решению задачи, необходимо обдумать план её решения, сравнивая её с предложенными в задачнике, и имеющимися в конспекте вариантами решения типовых задач. В случае появления неясностей при выборе решения следует обратиться к теоретическому материалу той темы, на основании которого построена задача. При записи решения задачи следует приводить весь ход решения и математические преобразования. Решение должно быть аккуратно оформлено, написано четким разборчивым почерком.

Если у студента возникают затруднения при подготовке к экзамену, то следует обратиться за консультацией к преподавателю.

6. ПРИМЕР ОТВЕТА НА ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ

Образец билета для сдачи устного экзамена

Уральский институт ГПС МЧС России	Билет № ... Кафедра химии и процессов горения Дисциплина «Теория горения и взрыва»	Утверждаю Начальник кафедры «__» ____ 202__ г.
<ol style="list-style-type: none">1. Концентрационные пределы распространения пламени. Зависимость от различных факторов.2. Определить условия пожаровзрывобезопасного обращения с <i>m</i>-ксилолом на основании анализа показателей пожарной опасности, а также предложить средства его тушения.3. Рассчитать теплоту сгорания этана, используя следствие из закона Гесса. Недостающие данные взять из справочной литературы.		

Ответ на 1 вопрос экзаменационного билета

Нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения), соответственно, минимальное и максимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания. Обозначается НКПРП (φ_n) и ВКПРП (φ_v).

Область концентраций горючего, заключенная между КПРП, называется областью распространения пламени или областью воспламенения.

Горючие смеси, в которых концентрация горючего вещества находится вне области воспламенения, не могут быть зажжены даже от самого мощного источника зажигания. Если смесь не имеет КПРП, то она будет негорючей.

КПРП связаны с критической скоростью распространения пламени, которая, в свою очередь, зависит от скорости, теплового эффекта химической реакции, температуры горения, и т. д. Следовательно, КПР зависят от химических, теплофизических свойств, а также параметров состояния горючего вещества и окислителя. Рассмотрим влияние на КПР важнейших из них.

1. Зависимость КПР пламени от химической природы горючего вещества.

КПРП существенно зависят от длины углеродной цепи и от класса органического вещества, т.е. наличия различных функциональных групп.

Так, в гомологическом ряду с увеличением числа углеродных атомов в цепи снижаются оба КПП пламени, причем область воспламенения существенно сужается. Например, для гомологического ряда метана данная зависимость показана на рис.1.

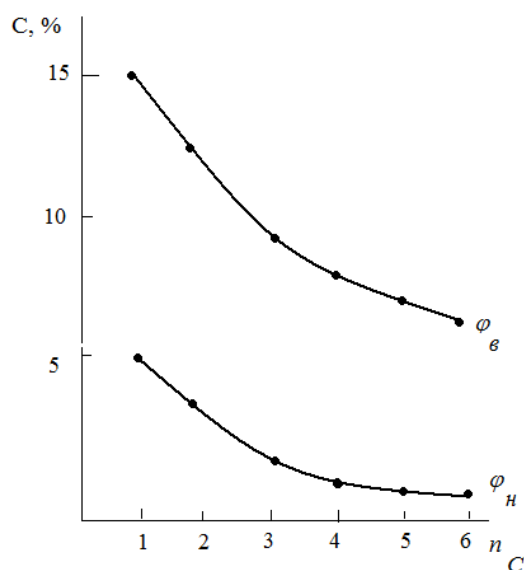


Рисунок 1. Изменение КПП в гомологическом ряду метана

2. Влияние энергии (мощности) источника зажигания.

С увеличением мощности искры область воспламенения заметно расширяется. Зависимость КПП от минимальной энергии зажигания представлена на рис. 2.

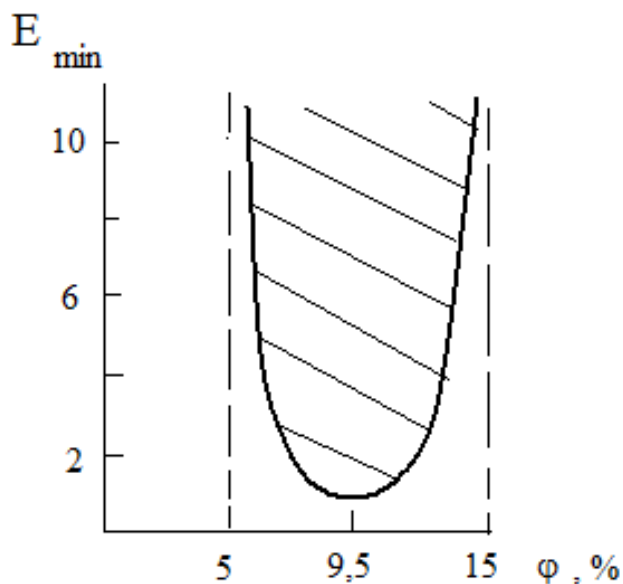


Рисунок 2. Изменение КПП в зависимости от энергии источника зажигания

Особенностью ее является то, что на пределах распространения пламени энергия зажигания стремится к бесконечности. Это означает, что смесь, в которой концентрация горючего вещества находится вне области воспламенения, нельзя зажечь ни одним из существующих источников зажигания.

3. Влияние исходных температуры и давления горючей смеси.

При увеличении начальной температуры горючей смеси область воспламенения расширяется в основном за счет увеличения ВКПР. При давлениях выше атмосферного НКПР практически не меняется. Изменение ВКПРП зависит от вида горючего. При разрежении область воспламенения сужается вплоть до нуля. При еще более низких давлениях смесь становится негорючей.

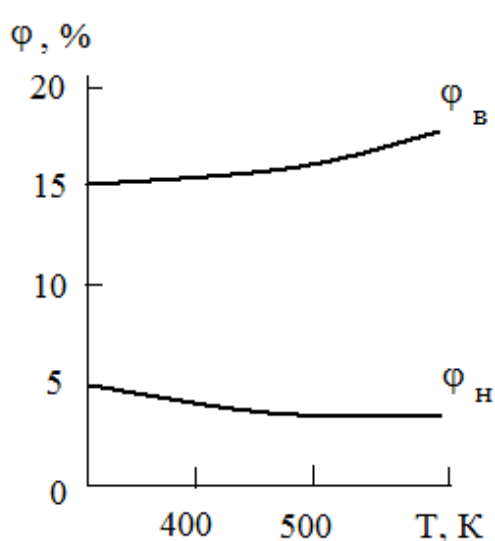


Рис. 3 Зависимость КПР метано-воздушной смеси от начальной температуры

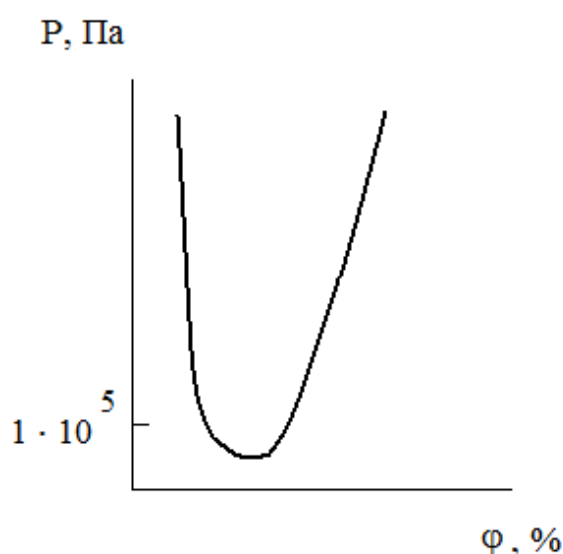


Рис. 4 Влияние давления на область воспламенения метана

4. Влияние флегматизаторов и ингибиторов.

При введении инертных газов в газопаровоздушную смесь область воспламенения сужается, причем в основном за счет уменьшения ВКПР. Нижний предел возрастает незначительно. Графически зависимость $\text{КПР} = f(\varphi_{\text{ф}})$ имеет вид треугольника и часто носит название «полуострова флегматизации» (рис. 5).

Ингибиторы горения, например хладоны, по своей огнетушащей способности в десятки раз превосходят инертные газы. «Полуостров флегматизации» у хладонов почти незаметен на графике, поскольку их минимальная флегматизирующая концентрация не превышает 2,5 % об.

КПР пламени для реальных горючих веществ определяется экспериментально по ГОСТу 12.1.044. Там же приведены инженерные методы расчета КПР в воздухе.

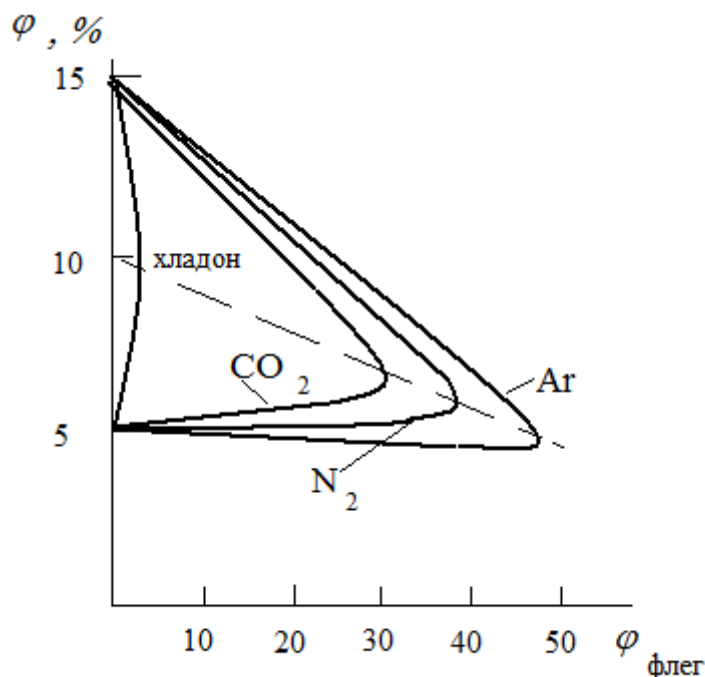


Рис. 5. Изменение КПР метана в зависимости от количества и вида инертных газов

Ответ на 2-й вопрос экзаменационного билета

Установление условий пожаровзрывобезопасного обращения с веществом осуществляется на основании анализа справочных данных физико-химических параметров и показателей пожарной опасности.

Молекулярная (формула ксилола: C_8H_{10}) относится к классу ароматических соединений с достаточно высокой реакционной способностью.

Молярная масса ксилола 106 г/моль, что превышает молярную массу воздуха, которая составляет 29 г/моль.

Следовательно пары данной жидкости тяжелее воздуха и будут скапливаться в нижней части помещения. При работе с ксилолом воздухозаборное устройство вытяжной вентиляции устанавливается внизу.

Учитывая, что плотность данной жидкости $\rho = 856,69 \text{ кг/м}^3$ меньше чем плотность воды, кроме того она с водой не смешивается. Следовательно тушение водой нецелесообразно. Кроме того температура кипения составляет 139°C , что превышает температуру кипения воды. При даче воды или низкократной пены в горящий ксилол может привести к его вскипанию и выбросу, что приведёт к увеличению площади пожара.

Склонность к самовозгоранию необходимо знать для того, чтобы

определить условия совместного хранения веществ.

Согласно [8] ксилол самовозгорается в атмосфере хлора, фтора, брома и йода, а также с другими сильными окислителями при дополнительном нагреве, следовательно, совместное хранение *м*-ксилола с вышеупомянутыми галогенами недопустимо.

По значению минимального взрывоопасного содержания кислорода, которое для *м*-ксилола составляет 11,2 %, можно сказать, что он относится к группе горючих веществ.

Температура вспышки составляет $26\text{ }^{\circ}\text{C} < 61\text{ }^{\circ}\text{C}$ (з.т.), следовательно, согласно ГОСТ 12.1.044-89, *м*-ксилол относится к классу легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). Помещение, в котором хранится или используется данная жидкость относится к категории «А», т. к. температура вспышки меньше 28°C (з.т.).

Безопасная температура при которой не будет образовываться пожаровзрывоопасная концентрация при разливе, согласно ГОСТ 12.1.044-89, должна быть на 35 градусов ниже температуры вспышки и составляет $t_{\text{без}} = -9\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура самовоспламенения *м*-ксилола $t_{\text{свп}} = 528\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По $T_{\text{свп}}$ можно определить допустимую температуру нагрева технологического оборудования.

$$t_{\text{доп}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{свп}} \leq 0,8 \cdot 528 \leq 422,4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Таким образом, температура технологического оборудования в целях пожаровзрывобезопасности не должна превышать $422,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Концентрационные пределы распространения пламени (область распространения пламени):

Если $\varphi_{\text{н}} < 10\text{ }%$, то пожароопасность данного вещества высокая. Для *м*-ксилола $\varphi_{\text{н}} = 1,1\text{ }%$, следовательно, пожароопасность *м*-ксилола высокая.

Предельно допустимая взрывобезопасная концентрация:

$$\text{ПДВК} \leq K_{\text{без}} \cdot \varphi_{\text{н}} \leq 0,05 \cdot 1,1 \leq 0,06\text{ } \%$$

Согласно справочным данным, температурные пределы распространения пламени *м*-ксилола составляют: $t_{\text{н}} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{в}} = 58\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Безопасный режим хранения и эксплуатации *м*-ксилола:

$$t_{\text{без}} \leq t_{\text{н}} - 10\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ и } t_{\text{без}} \geq t_{\text{в}} + 15\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ т. е. } t_{\text{без}} \leq 14\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ и } t_{\text{без}} \geq 73\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Минимальная энергия зажигания *м*-ксилола при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $84,5\text{ мДж} \gg 0,24\text{ мДж}$, следовательно, пожарная опасность паров данной жидкости невысокая; при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $0,534\text{ мДж}$, т.е. пожарная опасность значительно повышается.

$$\text{При } 25\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ } E_{\text{доп}} \leq 0,4 \cdot E_{\text{мин}} \leq 33,8\text{ мДж};$$

$$\text{при } 30\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ } E_{\text{доп}} \leq 0,4 \cdot E_{\text{мин}} \leq 0,21\text{ мДж}.$$

Давление взрыва для ксилола $P_{\text{взр}} = 765\text{ кПа}$ – высокое, т. е. пожароопасность *м*-ксилола высокая

Обобщая все выводы по показателям пожарной опасности

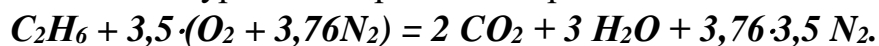
рассматриваемого вещества, можно сделать заключение о том, что пожарная опасность *m*-ксилола высокая.

Ответ на 3-й вопрос экзаменационного билета

Задача. Рассчитать теплоту сгорания этана, используя следствие из закона Гесса. Недостающие данные взять из справочной литературы.

Решение

1. Запишем уравнение реакции горения этана:



2. Теплоту сгорания рассчитываем согласно следствию из закона Гесса. Значения теплоты образования углекислого газа, воды и этана берём из информационно-справочного материала.

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{с}} &= \Delta H_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{CO}_2} + \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} \cdot n_{\text{C}_2\text{H}_6} = \\ &= -396,6 \cdot 2 + (-242,2) \cdot 3 - (-84,68) = -793,2 - 726,6 + 84,68 = \\ &= -1435,12 (\text{кДж} / \text{моль}) < 0 \rightarrow \text{экзотермическая реакция} \end{aligned}$$

Ответ: теплота сгорания этана составила $-1435,12$ кДж/моль.