МЧС РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«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

Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность

Екатеринбург
2021

Теория горения и взрыва [Электронный ресурс] : Методические рекомендации по подготовке к экзамену по специальности 20.0.01 Техносферная безопасность / сост. Е.В. Гайнуллина. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2021. – 18 с.

Автор-составитель: Гайнуллина Е.В. доцент кафедры химии и процессов горения Уральского института ГПС МЧС России, к.т.н., доц.

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 билетов. Приведён пример ответа на экзаменационный билет. Рекомендации дополнены списком литературы по дисциплине.

Предназначено для обучающихся по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность при подготовке к экзамену по дисциплине «Теория горения и взрыва».

© ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1. Система контроля знаний по дисциплине 5
2. Порядок проведения экзамена и система оценки знаний обучающихся 6
2.1. Критерии оценки ответа 6
2.2. План проведения экзамена 9
3. Перечень вопросов для самостоятельной подготовки к экзамену 10
4. Список рекомендуемой литературы 13
5. Рекомендации по подготовке к экзамену 14
6. Пример ответа на экзаменационный билет 15

Введение

Целью преподавания дисциплины «Теория горения и взрыва» является формирование представлений о физико-химической сущности процесса горения различных веществ и материалов. Структура курса такова, что по окончании его изучения обучающиеся должны получить представление об основных законах и теориях современной науки, изучающих процессы зарождения и развития горения веществ в различных агрегатных состояниях, знание основ которых необходимы специалистам в области пожарной безопасности для успешного решения сложных задач пожаротушения и разработки мер, направленных на профилактику и расследование пожаров.

Организационными формами изучения курса являются лекции, практические, лабораторные занятия и самостоятельная проработка материала, рекомендуемого преподавателем, а также индивидуальная работа преподавателей с обучающимися.

При подготовке к сдаче экзамена по дисциплине «Теория горения и взрыва» важная роль принадлежит умению обучающихся 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 при подготовке к экзамену и содержит конкретные методические указания, направленные на организацию самостоятельной работы обучаемых на завершающем этапе изучения дисциплины.

1. Система контроля знаний по дисциплине

Дисциплина «Теория горения и взрыва» у обучающихся по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность изучается на II курсе в 4 семестре. По окончании семестра по названной дисциплине предусмотрен экзамен с оценкой. Экзамен является итоговым контролем и имеет целью проверить учебную работу обучающихся, 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 обучающегося к итоговой семестровой аттестации осуществляется по итогам его текущей работы в семестре. Основными видами текущего контроля являются: сдача коллоквиумов, решение задач в проверочных и контрольной работах, выполнение лабораторных работ, работа на практических занятиях.

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, 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 задачам, которые решались на практических занятиях и (или) предлагались в качестве заданий для самостоятельного решения. Для подготовки к экзамену, к практическим занятиям и к выполнению проверочных и контрольных работ обучающиеся могут воспользоваться многочисленными пособиями, в которых приводятся образцы решения задач. Здесь же укажем рекомендуемое в качестве основной литературы пособие: Беззапонная О.В., Гайнуллина Е.В.сборник задач по курсу «Теория горения и взрыва». – Екатеринбург: Уральский Институт ГПС МЧС России, 2013. 113 с.

Для проведения экзамена на кафедре разрабатываются следующие материалы:

- учебно-методическая документация;
- билеты для проведения экзамена;
- программные вопросы для подготовки к экзамену.

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

- учебно-методическая документация для проведения экзамена;
- билеты для проведения экзамена;
- средства материального обеспечения и справочные материалы, разрешённые для использования на экзамене согласно Перечню, приведённому в методических материалах для проведения экзамена.

2. Порядок проведения экзамена и система оценки знаний обучающихся

2.1. Критерии оценки ответа

У обучающихся экзамен с оценкой проводится в устной форме и включает в себя ответ на теоретический вопрос экзаменационного билета для проверки освоения теоретических знаний материала курса, а также решение комплексного задания по оценке пожарной опасности веществ и материалов и задачи для проверки практических умений и навыков выполнения пожарно-технических расчётов.

Изучение дисциплины направлено на формирование следующей общепрофессиональных компетенции:

- **ОПК-3:** Способен решать прикладные задачи в области обеспечения пожарной безопасности, охраны окружающей среды и экологической безопасности, используя теорию и методы фундаментальных наук.

Оценка знаний обучающихся, а также степени сформированности у них необходимых компетенций (табл. 1) на основании результатов проверки знаний и умений экзаменационных испытаний проводится по пятибалльной системе.

Таблица 1

№	Показатели для оценки устного ответа на экзамене	Показатели достижения планируемого уровня компетенций	Коды компе тен-ций	Шкала оценива-ния
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	- не раскрыто основное содержание учебного материала; – обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала; – допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после наводящих вопросов	обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине; не способен аргументированно и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые комиссией вопросы или затрудняется с ответом	ПК-3	*Оценка «2»* Неудов-летвори-тельно

1	*2*	*3*	*4*	*5*
2	– неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала; – усвоены основные категории по рассматриваемому и дополнительным вопросам; – имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, формулировках законов, исправленные после нескольких наводящих вопросов	обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы билета и дополнительные вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций	ПК-3	*Оценка «3»* Удов-лет-вори-тельно
3	- продемонстрировано умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер; – в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа; допущены один – два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию преподавателя; допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию преподавателя	Обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы билета и дополнительные вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой	ПК-3	*Оценка «4»* хорошо

1	*2*	*3*	*4*	*5*
4	- полно раскрыто содержание материала; – материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности; – продемонстрировано системное и глубокое знание программного материала; – точно используется терминология; – показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; – продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, сформированность и устойчивость компетенций, умений и навыков; – ответ прозвучал самостоятельно, без наводящих вопросов; – продемонстрирована способность творчески применять знание теории к решению профессиональных задач; – продемонстрировано знание современной учебной и научной литературы; – допущены одна – две неточности	Обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой	ПК-3	*Оценка «5»* отлично

Обучающийся считается *не сдавшим* экзамен, 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 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 проверяет готовность группы к экзамену, кратко напоминает порядок сдачи экзамена и правила поведения обучающихся.

Обучающиеся берут экзаменационные билеты и бумагу для выполнения заданий и приступают к выполнению заданий. На подготовку отводится 30 минут. По окончании отведенного времени преподаватель собирает работы.

Обучающемуся на экзамене разрешается брать лишь один билет. На экзамене разрешено пользоваться только теми информационно-справочными материалами, которые представлены в Перечне. Использовать учебники, задачники или конспекты запрещается. В случае заявления обучающегося, что он не может ответить на вопросы задания, ему выставляется оценка «не зачтено». В случае нарушения установленных правил сдачи экзамена обучающийся удаляется с экзамена и ему также выставляется оценка «не зачтено».

По готовности преподаватель проводит собеседование с обучающимся. Для ответа на каждый из вопросов билета отводится не более 5 минут. Преподаватель проверяет выполнение практического задания и задачи. После ответов на дополнительные вопросы преподавателя (не более трёх) выставляется итоговая оценка.

По окончании экзамена итоговая оценка выставляется в экзаменную ведомость. Экзаменная ведомость подписывается преподавателем и сдается в учебный отдел.

Обучающийся, не сдавший экзамен, может быть допущен к повторной сдаче экзамена в период, предусмотренный для пересдачи.

3. Перечень вопросов для самостоятельной подготовки к экзамену

Раздел 1. Основные представления о горении

Тема 1. Основы процессов горения

1. Сущность процесса горения. Необходимые и достаточные условия процесса горения. Химические и физические процессы, протекающие при горении.
2. Пламя. Структура и основные характеристики пламени. Физические и химические процессы, протекающие в пламени.
3. Классификация процессов горения: гомогенное и гетерогенное, полное и неполное, кинетическое и диффузионное, ламинарное и турбулентное, дефлаграционное и детонационное, стационарное и нестационарное.

Тема 2. Материальный баланс процессов горения

4. Уравнение материального баланса процесса горения.
5. Расход воздуха на горение. Избыток воздуха и коэффициент избытка воздуха. Расчет количества и состава продуктов горения (*решение задач*).

Тема 3. Тепловой баланс процессов горения

6. Уравнение теплового баланса. Теплоты сгорания (определение и методы её расчета).
7. Температура горения: калориметрическая, адиабатическая, теоретическая, действительная.

Тема 4. Самовоспламенение и вынужденное воспламенение горючих систем

8. Понятие самовоспламенения. Тепловая и цепная теории самовоспламенения. Условие самовоспламенения.
9. Температура самовоспламенения и её зависимость от различных факторов. Практическое значение температуры самовоспламенения.
10. Общие и отличительные особенности процессов самовоспламенения и зажигания. Виды источников зажигания.
11. Температура зажигания и минимальная энергия зажигания, их физический смысл и практическое значение.

Тема 5. Самовозгорание веществ и материалов.

12. Тепловая теория самовозгорания. Механизм процесса самовозгорания веществ и материалов. Сходство и различие явлений самовоспламенения и самовозгорания горючих систем.
13. Виды самовозгорания: классификация; причины; примеры.
14. Самовозгорание масел и жиров. Оценка склонности к самовозгоранию и его профилактика.
15. Самовозгорание каменного угля и сульфидов железа.
16. Самовозгорание торфа и других растительных продуктов.
17. Самовозгорание химических веществ.

Раздел 2. Распространение и прекращение горения

Тема 6. Горение газов

18. Общие закономерности кинетического режима горения газов.
19. Нормальная скорость распространения пламени и факторы, влияющие на ее величину.

20. Концентрационные пределы распространения пламени: определение; физический смысл; зависимость от различных факторов.

Тема 7. Горение жидкостей

21. Условия возникновения горения жидкостей. Насыщенный пар. Давление насыщенного пара: методы его определения и практическое значение.
22. Температура вспышки и температура воспламенения как характеристики пожарной опасности жидкостей (определение, физический смысл, расчёт, практическая значимость).
23. Температурные пределы распространения пламени: физический смысл; методы определения; практическое значение.
24. Скорость выгорания, её зависимость от различных факторов, методы расчета и экспериментального определения.
25. Распределение температуры в горящей жидкости. Механизм образования гомотермического слоя.
26. Вскипание и выброс жидкостей, причины этих явлений, меры по их предотвращению.

Тема 8. Горение твердых горючих материалов и пылей.

27. Основные закономерности горения твердых веществ и материалов. Группы горючести.
28. Горение древесины. Основные стадии процесса пиролиза древесины: температура горения древесины, продукты горения на разных этапах горения древесины.
29. Особенности горения полимерных материалов: классификация, особенности термического разложения, токсичность.
30. Особенности горения металлов.
31. Понятие об антипиренах. Оценка эффективности их действия.
32. Особенности горения и взрыва пылей. Классификация пылей по пожаровзрывоопасности.

Тема 9. Система показателей пожарной опасности веществ и материалов

33. Пожарная опасность веществ и материалов (знать, что понимают под пожарной опасностью; что значит «оценить пожарную опасность вещества» + уметь *выполнять задание по оценке пожарной опасности вещества*).

Тема 10. Основные представления тепловой теории потухания пламени

34. Предельные параметры процесса горения.
35. Элементы тепловой теории прекращения горения. Зависимость скорости тепловыделения и теплоотвода от температуры. Температура потухания.
36. Гашение пламени в узких каналах. Принцип работы огнепреградителей и их виды.

Раздел 3. Взрыв и взрывчатые вещества

Тема 11. Ударные волны и детонация. Явление взрыва.

37. Явление взрыва, типы взрывов.
38. Механизм образования ударной волны, форма ударной волны.

Тема 12. Виды и характеристики взрывчатых веществ.

39. Классификация и общая характеристика взрывчатых веществ.

40. Бризантное и фугасное действия взрыва.
41. Методы оценки бризантности и фугасности взрывчатых веществ.
42. Оценка чувствительности взрывчатых веществ к механическим воздействиям (удар и трение) и электрическому импульсу.

Перечень практических заданий и задач

1. Составление уравнений реакций горения.
2. Расчет количества воздуха, количества и состава продуктов горения при сгорании заданного количества индивидуального вещества в твердом, жидком и газообразном состояниях.
3. Расчет количества воздуха, количества и состава продуктов горения заданного количества вещества сложного состава в твердом, жидком и газообразном состояниях.
4. Расчет теплоты сгорания веществ по следствию из закона Гесса и формулам Д.И. Менделеева.
5. Расчет температуры горения с использованием средних значений теплоёмкостей и методом последовательных приближений.
6. Расчет концентрационных пределов воспламенения по аппроксимационной формуле и с учетом заданной температуры в % и кг/м^3.
7. Расчет избыточного давления взрыва и температуры взрыва.
8. Расчет стехиометрической концентрации в % и кг/м^3.
9. Определить по номограмме давление/концентрацию насыщенного пара жидкости при заданной температуре.
10. Расчет температуры вспышки и воспламенения заданной жидкости по формуле Блинова, по формуле Элея и через НТПВ.
11. Расчет температурных пределов распространения пламени.
12. Оценка пожарной опасности веществ, находящихся в газообразном, жидком или твердом состояниях.

4. Список рекомендуемой литературы

4.1. Основная литература

1. Русинова Е. В. Теория горения и взрыва: учебное пособие. Направление подготовки 280700 Техносферная безопасность [Текст]: допущено Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве учебного пособия для курсантов и студентов / Е.В. Русинова, О. В. Беззапонная, Е. В. Гайнуллина. Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2014 – 292 с.
2. Беззапонная О. В. Сборник задач по курсу «Теория горения и взрыва»: учеб. пособие. Направление подготовки 280700 Техносферная безопасность [Текст] : допущено Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве учебного пособия / О. В. Беззапонная, Е. В. Гайнуллина. - Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2013. - 113 с.

4.2. 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. Гайнуллина Е. В. Теория горения и взрыва. Практикум [текст] : учеб. пособие. Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность. Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность. Специальность 40.05.03 Судебная экспертиза / Е. В. Гайнуллина, О. В. Беззапонная - Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2021. - 87 с.
4. Гельфанд, Б. Е. Взрывобезопасность : учебник / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников; под ред. В. С. Артамонова. - СПб. : Астерион, 2006. - 392 с.
5. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов» М.: Изд-во стандартов. 1990. 143 с. Режим доступа: http://mobileonline.garant.ru/#/document/2321321.
6. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. От 02.07.13) Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Новосибирск : норматика, 2016. – 112 с. Режим доступа: http://mobileonline.garant.ru/#/document/12161584:1.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

При подготовке к экзамену большое значение имеет правильное распределение времени, благодаря которому вы получите возможность хорошо усвоить каждую порцию, каждый слой информации. Таким образом, запоминаемый материал сможет основательно укорениться в вашей долговременной памяти. Не забывайте, что изучение нового материала – это кумулятивный процесс, который отталкивается от того, что вы уже знаете.

Подготовку к сдаче теоретической части экзамена рекомендуется начинать по порядку следования тем изложения лекционного материала. Обучающиеся могут, в первую очередь, воспользоваться конспектами лекций. Проработку теоретического материала рекомендуется проводить по конспектам и учебному пособию Русинова Е.В. Теория горения и взрыва: учебное пособие. Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России. 2011. 178 с. Также можно пользоваться основной и дополнительной литературой, представленной 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 сущность 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 сущность 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. Также не ленитесь проговаривать, пересказывать вслух трудный для запоминания материал.

Подготовка к экзамену должна обязательно сопровождаться повторением и решением задач, поскольку это один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Для повторения и закрепления методик решения расчётных задач рекомендуется воспользоваться учебно-методическим пособием Беззапонная О.В.,

Гайнуллина Е.В. «Теория горения и взрыва: учебно-методическое пособие по решению задач и выполнению самостоятельных работ». – Екатеринбург: Уральский Институт ГПС МЧС России, 2013 – 118 с.

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

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

Приступая к самостоятельному решению задачи, необходимо обдумать план её решения, сравнивая её с предложенным 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 обучающегося 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

ФГОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России	Билет № … Кафедра химии и процессов горения Дисциплина «Теория горения и взрыва»	Утверждаю Начальник кафедры _____ «___» _____201_ г.
1. Нормальная и видимая скорости распространения пламени: зависимость от различных факторов. 2. Оценка пожарной опасности нитродифениламина. 3. Рассчитать теплоту сгорания этана, используя следствие из закона Гесса. Данные взять из справочной литературы.		

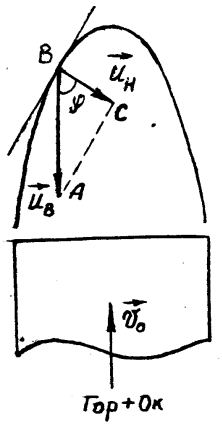
Ответ на 1 вопрос экзаменационного билета

Нормальная скорость распространения пламени $u_н$ - это минимальная скорость, с которой пламя может распространятся в горючей среде по нормали к своему фронту. Размерность ее [м/с]. Нормальная скорость является важной характеристикой горючей смеси.

Форма фронта пламени, возникшего от небольшого источника зажигания в неподвижной однородной среде - сферическая, а в ряде случаев, например, при горении в трубах, может быть плоской. Наблюдаемая в

реальных условиях скорость распространения пламени относительно неподвижных предметов (стенки трубы, сосуда и т.п.), называется видимой скоростью.

В зависимости от направления и величины линейной скорости потока газовой смеси фронт пламени может быть неподвижным (стационарным) или движущимся. Стационарное пламя возникает в тех случаях, когда горючая смесь движется навстречу фронту пламени с такой же скоростью. Типичным примером стационарного пламени являются пламена факельных горелок в промышленных печах, лабораторных горелок Бунзена, Теклю и др.



Векторы нормальной и видимой скоростей пламени в горелке Бунзена составляют угол φ, поэтому из прямоугольного треугольника ABC следует:

$$u_н = u_в \cdot cos\ \varphi\ .$$

Эта закономерность называется законом косинуса. Ее установил один из основателей теории горения, российский физик В.А. Михельсон.

Нормальная скорость распространения пламени зависит от химической природы горючего вещества (энергия активации и тепловой эффект реакции), исходной температуры и температуры реакции горения, скорости реакции окисления (концентрации горючего вещества и окислителя), теплофизических свойств (коэффициента теплопроводности и изобарной теплоёмкости).

1. Зависимость от концентрации горючего вещества: самая высокая скорость реакции окисления и как следствие, скорость распространения пламени, развивается при концентрации горючего вещества равной стехиометрической. Зависимость скорости горения от концентрации горючего в смеси имеет вид параболы.

2. Зависимость от температуры: чем выше температура, тем выше нормальная скорость распространения пламени.

3. Зависимость нормальной скорости распространения пламени от содержания флегматизаторов и ингибиторов: введение в горючую смесь азота N_2, аргона Ar, диоксида углерода CO_2 и других инертных газов разбавляет ее и тем самым снижает скорость реакции окисления и распространения пламени. При введении в смесь ингибиторов возрастает значение энергии активации, что также приводит к снижению нормальной скорости распространения пламени. Разная флегматизирующая способность

этих газов связана с различием их теплофизических свойств, в частности теплоемкости и теплопроводности.

Для различных веществ $u_н$ зависит от их химического строения и колеблется в довольно широких пределах. Для большинства смесей углеводородных топлив с воздухом $u_н < 1$ м/с.

Ответ на 2 вопрос экзаменационного билета

Пожарная опасность нитродифениламина оценивается по следующим показателям.

Молекулярная и структурная формула: $C_{12}H_{10}O_2N_2$

Свойства: горючий красный порошок.

Температура плавления. Чем ниже $t_{пл}$, тем более пожароопасно вещество, т. к. скорость испарения в жидком состоянии выше, чем в твёрдом и концентрация паров данного горючего вещества будет выше.

$t_{пл}$ = 106-108 °С - пожарная опасность довольно высокая.

Склонность к электризации: в справочнике диэлектрической постоянной ε для 3-нитродиметиламина нет. Однако, по величине удельного электрического сопротивления 10^{14} Ом·м, можно сделать заключение, что это вещество плохо проводит электрический ток и к электризации не склонно, т.е. пожароопасность невысокая.

Склонность к самовозгоранию: 3-нитродифениламин самовозгорается в атмосфере хлора, фтора, брома и йода, а также с другими сильными окислителями при дополнительном нагреве.

Температура вспышки: 3-нитродифениламина согласно справочным данным составляет 190 °С, что свидетельствует о невысокой пожарной опасности данного порошка.

Температура воспламенения: 217 °С - пожарная опасность довольно высокая.

Температура самовоспламенения

$t_{свп}$= 518 °С > 400 °С, следовательно пожароопасность невысокая.

$t_{доп} \le 0{,}8 \cdot T_{свп} \le 0{,}8 \cdot 518 \le 414{,}4$ °С

Нижний концентрационный предел распространения пламени: НКПР = 47 г/м^3 < 65 г/м^3, но > 15 г/м^3, вещество относится к взрывоопасным пылям (2 класс).

Минимальная энергия зажигания: аэрогель воспламеняется при кратковременном воздействии малокалорийного источника зажигания, что свидетельствует о высокой пожароопасности данного вещества.

Способы и средства тушения – распылённая вода со смачивателем, воздушно-механическая пена.

Вывод: 3-нитродифениламин является взрывоопасным порошком, значения анализируемых показателей пожарной опасности свидетельствуют о высокой пожарной опасности данного вещества.

Ответ на 3 вопрос экзаменационного билета

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

Решение:

1. Запишем уравнение реакции горения этана:

$$C_2H_6 + 3{,}5\cdot(O_2 + 3{,}76N_2) = 2\,CO_2 + 3\,H_2O + 3{,}76\cdot 3{,}5\,N_2$$

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

$$\Delta H_г = \Delta H_{CO_2}\cdot n_{CO_2} + \Delta H_{H_2O}\cdot n_{H_2O} - \Delta H_{C_2H_6}\cdot n_{C_2H_6} =$$

$$= -396{,}6\cdot 2 + (-242{,}2)\cdot 3 - (-84{,}68) = -793{,}2 - 726{,}6 + 84{,}68 =$$

$$= -1435{,}12(кДж/моль) < 0 \rightarrow экзотермическая\ \ реакция$$

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