

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИВАНОВСКАЯ ПОЖАРНО-  
СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ  
СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ  
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И  
ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**



# **Методические рекомендации для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Теория горения и взрыва»**

Специальность  
20.05.01 Пожарная безопасность

Профиль  
«Пожарная безопасность государства»

**Иваново 2024**

**Мочалова Т.А., Сторонкина О.Е.**

Методические рекомендации для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Теория горения и взрыва» (далее – методические рекомендации) по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность, профиль «Пожарная безопасность государства» – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2024.– 23 с.

Методические рекомендации содержат краткое изложение дисциплины «Теория горения и взрыва» в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность и основной профессиональной образовательной программы высшего образования по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность, советы по планированию и организации времени, необходимого на изучение дисциплины, пожелания по изучению отдельных тем курса, рекомендации по использованию материалов учебно-методического комплекса, рекомендации по работе с литературой; советы по подготовке к промежуточной аттестации.

Методические рекомендации рассмотрены на заседании кафедры государственного надзора и экспертизы пожаров (в составе УНК «Государственный надзор»).

Протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Методические рекомендации обсуждены и одобрены на заседании методико-педагогического совета Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Протокол № «\_\_» от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

№ п/п	Наименование раздела	Стр.
1.	Введение	4
2.	Методические рекомендации по изучению тем дисциплины	5
2.1	Тема 1. Физико-химические основы горения	5
2.2	Тема 2. Материальный и тепловой баланс процесса горения	7
2.3	Тема 3. Условия возникновения и развития горения	10
2.4	Тема 4. Пожаровзрывоопасные газо-, паро- и пылевоздушные смеси	12
2.5	Тема 5. Взрывы: типы взрывов, классификация взрывов	14
2.6	Тема 6. Диффузионное и кинетическое горение	15
3.	Методические рекомендации для подготовки к промежуточной аттестации	18
4.	Словарь терминов по дисциплине «Теория горения и взрыва»	20

## ВВЕДЕНИЕ

Предметом изучения дисциплины «Теория горения и взрыва» являются физические и химические процессы и явления, связанные с горением на стадии его возникновения, развития и прекращения.

Использование знаний о механизмах протекания горения дает возможность управлять горением на пожаре, организовывать профилактические меры против возникновения самовоспламенения, самовозгорания, воспламенения, меры по снижению интенсивности горения на пожаре, его локализации и тушению. Глубокое понимание явления горения обеспечивает успешную борьбу с пожарами.

Знание химической и физической сути горения необходимо для успешно работы инженера пожарной безопасности в любой области его деятельности. Дисциплина «Теория горения и взрыва» является теоретической основой ряда специальных дисциплин. Среди них: «Физико-химические основы развития и тушения пожаров», «Пожарная тактика», «Пожарная техника», «Пожарно-техническая экспертиза», «Планирование и организация тушения пожаров», «Прогнозирование опасных факторов пожара». В свою очередь, «Теория горения и взрыва» базируется на таких дисциплинах, как «Химия», «Физика», «Теплофизика», «Высшая математика».

Учебный материал реализуется на лекциях, практических занятиях и лабораторных работах. Завершается изучение дисциплины сдачей экзамена.

## Методические рекомендации по изучению тем курса

### Тема 1. Физико-химические основы горения

1. Изучите данную тему с использованием материала лекций и учебной литературы.
2. Заучите определения основных понятий (см. опорные термины, словарь терминов расположен в конце данных методических указаний).
3. Горение – основной процесс на пожаре, поэтому изучение явления горения следует начинать с рассмотрения механизма протекания элементарных реакций. Следует вспомнить законы химической кинетики, которые изучались в курсе общей химии (влияние температуры, концентрации реагирующих веществ и наличия катализаторов/ингибиторов на скорость химической реакции). Обратите внимание на условия возникновения горения, механизмы его протекания.
4. Разберите классификацию процессов горения. Классифицируйте горение костра (свечи, газовой горелки, газового фонтана, жидкости в резервуаре) по всем параметрам. Результаты удобно записать в виде таблицы.

По механизму распространения зоны горения по горючей смеси	
По агрегатному состоянию горючего вещества и окислителя.	
По соотношению скорости смесеобразования и скорости реакции горения	
По газодинамическому состоянию компонентов смеси	
По полноте сгорания	

### Вопросы для самоконтроля

1. Дать определение процессам горения и взрыва.
2. Перечислите условия, необходимые для возникновения горения.
3. Какие явления сопровождают процесс горения?
4. Назовите поражающие факторы дыма.
5. Какие виды источников зажигания вы знаете?
6. Назовите способы передачи тепла от пламени к горючему веществу.
7. Классификация процессов горения по механизму распространения зоны горения по горючей смеси и по агрегатному состоянию горючего вещества и окислителя.
8. Классификация процессов горения по соотношению скорости смесеобразования и скорости реакции горения и по газодинамическому состоянию компонентов смеси.
9. Классификация процессов горения по полноте сгорания. Приведите примеры продуктов полного и неполного сгорания. Что влияет на полноту горения, почему?
10. Понятие энергии активации.

**Опорные термины** по теме «Физико-химические основы горения»: горение, окислитель, восстановитель, пламя, взрыв.

### Вопросы для самостоятельного изучения

Используя материал учебного пособия [1], изложенный на с. 5 – 8, изучите и законспектируйте материал по теме «Развитие науки о горении».

Используя материал, изложенный в главе 2 книги Корольченко А.Я. «Процессы горения и взрыва» [2] изучить вопросы:

1. Понятие о цепных реакциях. Зарождение, продолжение и обрыв цепей.
2. Химические процессы при горении водорода, оксида углерода II, углеводов.

#### Литература

1. Мочалова Т.А. Физико-химические основы горения: учебное пособие / Т.А. Мочалова, Д.В. Батов, А.В. Петров, Н.А. Таратанов – Иваново: ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2014. – С. **9 - 20**.
2. Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с., ил. электронные ресурсы:
3. Цифровая среда Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

## Тема 2. Материальный и тепловой баланс процесса горения

В данной теме предусмотрено изучение теоретического материала, решение практических задач, выполнение лабораторной работы.

1. Изучите данную тему с использованием материала лекций и учебной литературы.
2. Заучите определения основных понятий.
3. Обратите внимание на понятия теплоты и температуры горения, способы их расчета и измерения. Разберитесь, в чем состоит отличие низшей и высшей теплоты сгорания. Изучите виды температуры горения, в чем между ними разница, для чего необходимо знать теплоту и температуру горения.
4. Разберите правила составления реакции горения. Это особенно важный момент, так как практически все расчеты по дисциплине «Теория горения и взрыва» начинаются с составления реакции горения. Попробуйте самостоятельно составить реакции горения различных веществ, приведенных в справочнике [1], используя правила составления уравнений реакций горения:

**Правило № 1.** В левой части уравнения записываем горючее вещество и окислитель [воздух в виде ( $O_2 + 3,76N_2$ )].

**Правило № 2.** В правой части уравнения записываем продукты реакции горения, учитывая, что:

углерод (C), содержащийся в горючем веществе, превращается в  $CO_2$ ,  
 сера (S), содержащаяся в горючем веществе, превращается в  $SO_2$ ,  
 фосфор (P), содержащийся в горючем веществе, превращается в  $P_2O_5$ ,  
 водород (H), содержащийся в горючем веществе, превращается в  $H_2O$ ,  
 хлор (Cl), содержащийся в горючем веществе, превращается в  $HCl$ ,  
 фтор (F), содержащийся в горючем веществе, превращается в  $HF$ ,  
 бром (Br), содержащийся в горючем веществе, превращается в  $HBr$ ,  
 йод (I), содержащийся в горючем веществе, превращается в  $HI$ ,  
 кислород (O), содержащийся в горючем веществе, входит в состав образующихся оксидов ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2O$ ) как и кислород воздуха.

азот (N), при температуре горения ниже  $2000\text{ }^{\circ}C$  не вступает в реакцию. Поскольку, в условиях реального пожара температура не превышает значения  $1500 - 1600\text{ }^{\circ}C$ , то принимают, что азот выделяется в свободном виде ( $N_2$ ). Следовательно,  $3,76$  молей  $N_2$  из воздуха переходят в неизменном виде в продукты горения.

Если горючее вещество содержит другие элементы, то они переходят в высшие оксиды, как указанные выше углерод, водород и фосфор.

**Правило № 3.** Атомы кислорода, входящие в состав молекул горючего вещества (например,  $C_2H_6OS$  - 2-тиолэтанол), участвуют в реакции горения в качестве окислителя, как кислород воздуха.

**Правило № 4.** Уравниваем реакцию горения для того, чтобы в исходных веществах (левая часть уравнения) и получившихся из них продуктах реакции (правая часть уравнения) содержалось одинаковое количество атомов данного вида. При подсчете количества атомов данного вида стехиометрические коэффициенты и индексы, указывающие количество атомов в молекуле, перемножаются.

Рекомендуется придерживаться следующей последовательности действий.

Перед формулой горючего вещества всегда ставится коэффициент **1**, так как все расчеты ведут на 1 моль горючего вещества;

Перед формулой углекислого газа ставится коэффициент равный количеству атомов углерода в молекуле горючего вещества.

Уравниваются атомы элементов, входящих в состав молекул горючего вещества, за исключением H, O и N.

Уравниваются атомы водорода, учитывая их содержание в молекулах галогеноуглеводородов и воды.

Уравниваются атомы кислорода, рассчитав их количество в правой части уравнения и учитывая атомы кислорода, содержащиеся в молекуле горючего вещества.

Коэффициент, поставленный перед молекулой кислорода, переносим в правую часть уравнения и ставим перед  $3,76N_2$ . Уравниваем атомы азота, содержащиеся в молекуле горючего вещества.

Рассмотрим несколько примеров составления реакций горения веществ в воздухе, в которых использованы описанные выше правила.

Завершает изучение темы «Материальный и тепловой баланс процесса горения» выполнение лабораторной работы по определению температуры горения веществ.

Для подготовки к данной лабораторной работе необходимо:

- изучить теоретический материал по теме «Материальный и тепловой баланс процесса горения» (см. конспект и список литературы);
- уметь ответить на контрольные вопросы (см. вопросы для самоконтроля по теме «Общие сведения о горении и взрыве» и по теме «Материальный и тепловой баланс процесса горения») и знать определения основных понятий;
- знать назначение, принцип действия и устройство прибора ОППИР-017 (см. список литературы);
- в тетради для лабораторных работ оформить отчет: название работы, цели работы, материально-техническое обеспечение, теоретические основы работы (основные определения; формулы расчета; назначение, принцип действия, устройство и рисунок прибора ОППИР-017).

#### Вопросы для самоконтроля

1. Классификация взрывов.
2. Какие правила необходимо соблюдать при составлении реакций горения?
3. Какие вещества называют горючими, трудногорючими и негорючими?
4. Как определить горючесть вещества по коэффициенту горючести?
5. Избыток воздуха, коэффициент избытка воздуха.
6. Какие вещества называются сложными?
7. Дать определение индивидуальным химическим соединениям.
8. Сформулируйте закон Гесса и следствие из закона Гесса.
9. Теплота сгорания, ее виды.
10. Дайте определение калориметрической температуре сгорания.



11. Какие факторы влияют на температуру горения?
12. Для чего необходимо знать температуру горения?
13. Как определяют температуру горения? Почему действительная температура горения, как правило, оказывается ниже калориметрической, адиабатической и теоретической?
14. Строение ламинарного диффузионного пламени.
15. Изложите в общем виде методику расчета объема воздуха, необходимого для сгорания индивидуальных химических соединений и сложных веществ.

**Опорные термины** по теме «Материальный и тепловой баланс процесса горения»: температура горения, температура внутреннего пожара, температура наружного пожара, теплота сгорания, низшая теплота сгорания, высшая теплота сгорания.

### **Задания для самостоятельного изучения**

Используя материал, изложенный в главах 2.3 и 2.4 книги Марков В.Ф., Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России изучить и законспектировать вопросы:

1. Окислители.
2. Газовые законы.

Изучите экспериментальные методы определения группы горючести веществ и материалов ([1] стр. 13-18).

Изучить методику решения задачи по расчету объема продуктов горения и их процентного состава при сгорании смеси газов [4] стр. 32-44.

### **Литература**

1. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004.
2. Мочалова Т.А., Физико-химические основы горения: учебное пособие / Т.А.Мочалова, Д.В.Батов, А.В.Петров, Н.А.Таратанов – Иваново: ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2014. **стр. 21-38.**
3. Марков В.Ф., Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России / В.Ф.Марков, Л.Н. Маскаева, М.П. Миронов, С.Н. Пазникова, Екатеринбург: УрО РАН.2009. **стр. 22-27.**
4. Батов Д.В. Материальный и тепловой баланс процесса горения: учебно-методическое пособие. / Д.В. Батов, Т.А. Мочалова, О.Е. Сторонкина, Т.В. Фролова – Иваново: ООНИ ИПСА ГПС МЧС России, 2017. – 100 с.

### **электронные ресурсы:**

5. Цифровая среда Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

### Тема 3. Условия возникновения и развития горения

Возникновение горения является наиболее важной и сложной стадией процесса горения. Детальное изучение механизмов возникновения горения очень важно для всех видов и аспектов профилактики пожаров.

В данной теме предусмотрено изучение теоретического материала, решение практических задач, выполнение лабораторных работ. Материал данной темы в полном объеме изложен в пособии [2], которое рекомендуется в качестве основного источника для изучения темы «Условия возникновения и развития процессов горения».

1. Изучите данную тему с использованием материала лекций и учебной литературы.
2. Заучите определения основных понятий.
3. Разберите особенности тепловой и цепной теорий горения.
4. Обратите внимание на сходные и отличительные особенности процессов самовоспламенения и самовозгорания.
5. Рассмотрите, как происходит тепловое, химическое и микробиологическое самовозгорание.
6. Разберите методики решения основных типов задач по данной теме. Методика решения задач по расчету температуры самовоспламенения по средней длине углеродной цепи в молекуле данного класса соединений изложена в работе [2] на страницах 12 - 23.

Для закрепления теоретического материала по теме предусмотрено выполнение двух лабораторных работ.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Основы тепловой теории академика Н.Н. Семёнова.
2. Тепловое и цепное самовоспламенение, условия их возникновения.
3. Примеры (схемы) разветвляющейся и не разветвляющейся цепной реакции.
4. Температура самовоспламенения, её практическое значение. Методы определения.
5. Огнепреградители. Принцип работы, область применения.
6. Влияние объема и формы сосуда на температуру самовоспламенения.
7. Влияние состава газовой смеси на температуру самовоспламенения.
8. Влияние давления, наличия катализаторов на температуру самовоспламенения.
9. Сущность процесса самовозгорания, его отличие от самовоспламенения и воспламенения
10. Тепловое самовозгорание масел.
11. Способы определения склонности масел, жиров и олиф к самовозгоранию. Йодное число. Меры профилактики самовозгорания промасленных материалов
12. Самовозгорание каменных углей. Профилактика самовозгорания.
13. Причины самовозгорания сульфидов металлов. Способы предупреждения самовозгорания сульфидов металлов.
14. Микробиологическое самовозгорание. Профилактика самовозгорания.

15. Самовозгорание химических веществ, при контакте с кислородом воздуха, режим их хранения.
16. Самовозгорание веществ при контакте с водой, способы их хранения.
17. Способы тушения щелочных металлов, карбидов и гидридов щелочных и щелочноземельных металлов.
18. Вещества, самовозгорающиеся при контакте с окислителями.
19. Факторы, влияющие на самовозгорание материалов.

**Опорные термины** по теме «Условия возникновения и развития процессов горения»: самовоспламенение, температура самовоспламенения, самовозгорание, йодное число.

### **Задание для самостоятельного изучения**

Используя материал, изложенный на страницах 11 - 13 [2] изучить и законспектировать вопрос «Огнепреградители. Принцип работы, область применения».

### **Литература**

1. Мочалова Т.А., Физико-химические основы горения: учебное пособие / Т.А.Мочалова, Д.В.Батов, А.В.Петров, Н.А.Таратанов – Иваново: ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2014. – **стр. 50-76.**
2. Мочалова Т.А., Основы теории самовоспламенения. Самовозгорание веществ и материалов: учебное пособие для обучающихся очного отделения и слушателей-заочников, обучающихся по специальности 280705.65 – «Пожарная безопасность» и направлению подготовки бакалавра 280700.62 «Техносферная безопасность» (профиль подготовки 280707.62 «Защита в чрезвычайных ситуациях», профиль подготовки 280706.62 «Пожарная безопасность») / Т.А.Мочалова, А.В.Петров, Д.В.Батов. - Иваново: ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2014. – **стр. 11-13..**

#### **Тема 4. Пожаровзрывоопасные газо-, паро- и пылевоздушные смеси**

В данной теме предусмотрено изучение теоретического материала и решение практических задач.

1. Изучите данную тему с использованием материала лекций и учебной литературы.
2. Заучите определения основных понятий.
3. Обратите внимание на понятия концентрационных и температурных пределов распространения пламени. Проанализируйте влияние на них различных факторов.
4. Выучите классификацию жидкостей по температуре вспышки.
5. Разберитесь в механизмах горения пылевоздушных смесей. Обратите внимание на свойства, определяющие пожароопасность пылей ([1], стр. 123 - 125).
6. Разберите методики решения основных типов задач по данной теме.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение нижнему и верхнему концентрационным пределам распространения пламени, области воспламенения.
2. Раскройте влияние на область воспламенения мощности источника зажигания, турбулентности, температуры давления смеси.
3. Проанализируйте влияние объема и диаметра сосуда, примесей негорючих газов на область воспламенения веществ.
4. Раскройте влияние дисперсности и адсорбционной способности пыли на ее пожароопасность.
5. Влияние химической активности и склонности к электризации на пожароопасность пыли. Способы электризации пыли.
6. Какие условия должны быть обеспечены для быстрого протекания реакции горения пыли?
7. В чем сходство и отличие горения пыли и горения газо-воздушных смесей?
8. Классификация пылей по пожароопасности.
9. В чем заключаются основные меры предупреждения пожаров и взрывов пылей в производственных условиях?
10. Какие факторы влияют на скорость распространения пламени при горении пыли?
11. Какой показатель лежит в основе классификации жидкостей по пожароопасности?
12. Температура вспышки бутанола равна  $35^{\circ}\text{C}$ . К какому разряду ЛВЖ он относится?
13. К какому разряду ЛВЖ относится этиловый спирт, если его температура вспышки равна  $13^{\circ}\text{C}$ ?
14. Может ли температура вспышки жидкости иметь отрицательное значение?
15. Какую температуру вспышки в закрытом тигле имеют горючие жидкости (ГЖ)?
16. Какое вещество принимается за «А» при расчете температуры вспышки смеси жидкостей?
17. Для чего следует знать и применять значение температуры вспышки, температуры воспламенения и температурных пределов распространения пламени?

**Опорные термины** по теме «Пожаровзрывоопасные газо-, паро- и пылевоздушные смеси»: Нижний/верхний концентрационный предел распространения пламени, минимальное взрывоопасное содержание кислорода, минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора, температура вспышки, температура воспламенения, температурные пределы распространения пламени.

**Задание для самостоятельного изучения:**

Используя материал, изложенный на стр. 123 – 125 [1], изучить вопрос:  
- распространение горения в пылевых смесях.

**Литература**

1. Мочалова Т.А., Физико-химические основы горения: учебное пособие / Т.А.Мочалова, Д.В.Батов, А.В.Петров, Н.А.Таратанов – Иваново: ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2014. Стр. 87 – 92, 99 – 100, 120 – 127.
2. ГОСТ - 12.1.044.- 89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М. Издательство стандартов. 1990.
3. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А.. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. Пожнаука, 2004. – Ч.І. – 713 с.
4. Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Миронов М.П., Пазникова С.Н. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России / Под ред. В.Ф.Маркова. Екатеринбург: УрО РАН.2009.

### **Тема 5. Взрывы: типы взрывов, классификация взрывов**

В рамках данной темы предусмотрено проведение лекций и практических занятий.

С целью глубокой проработки материала, рассматриваемого в указанной теме обучающимся рекомендуется:

1. Изучить тему с использованием материала лекций и учебной литературы.
2. Заучить определения основных понятий.
3. Разобраться в классификации взрывов по типам химических реакций и по плотности вещества.
4. Проанализировать условия, благоприятствующие переходу горения во взрыв.
5. Разобраться в методиках решения основных типов задач по данной теме (расчет температуры и давления взрыва, расчет удельного тротилового эквивалента и параметров взрыва в проходящей и отраженной взрывной волне).

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Классификация взрывов по типам химических реакций.
2. Классификация взрывов по плотности вещества.
3. Понятие взрывчатого вещества, условная классификация взрывчатых веществ.
4. Особенности горения взрывчатых веществ.
5. Изобразить график распределения давления в детонационной волне.
6. При каком соотношении теплоотвода и тепловыделения может произойти взрыв?
7. Понятие детонации, особенности детонационной волны по сравнению с дефлаграционным режимом горения.
8. Взрыв аэрозвесей твердых и жидких веществ.
9. Энергия и мощность взрыва. Тротиловый эквивалент.

#### **Опорные термины по теме «Типы взрывов, классификация взрывов»:**

нормальная скорость распространения пламени, взрыв, источник инициирования взрыва, детонация.

#### **Задание для самостоятельного изучения**

Используя материал, изложенный в [1] на страницах 91 – 92, изучить вопрос – в каких случаях возможен переход дефлаграционного горения в детонацию.

#### **Литература**

1. Корольченко А.Я., Процессы горения и взрыва. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с., ил.
2. Мочалова Т.А., Физико-химические основы горения: учебное пособие / Т.А.Мочалова, Д.В.Батов, А.В.Петров, Н.А.Таратанов – Иваново: ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2014. – С. 130 – 149.

## Тема 6. Диффузионное и кинетическое горение

В рамках данной темы предусмотрено проведение лекций, практических занятий и лабораторных работ.

С целью глубокой проработки материала, рассматриваемого в указанной теме обучающимся рекомендуется:

1. Изучить тему с использованием материала лекций и учебной литературы. При этом рекомендуется придерживаться следующей системы изучения:

а) Начните с изучения горения газообразных горючих веществ. Вспомните, что механизм распространения пламени и его характеристики были изучены на примере кинетического гомогенного горения. Распространение этого вида пламени определяется законами передачи тепла по механизму молекулярной теплопроводности и передачи вещества – диффузией. Поэтому скорость распространения пламени не зависит от того, находится смесь в покое или движется в ламинарном режиме.

При изучении диффузионного пламени целесообразно сравнивать все его параметры с кинетическим. Проанализируйте влияние конвективных потоков на структуру и параметры диффузионного пламени.

б) Горючие жидкости при нагреве интенсивно испаряются, над их поверхностью образуется паровоздушная смесь. Горение жидкости после воспламенения происходит в гомогенном режиме в диффузионной области. Обратите внимание на то, что в механизме воспламенения и горения жидкостей важное место занимает лучистый тепловой поток от факела пламени к поверхности жидкости. Изучите влияние конвективных потоков на массообмен, диффузию. Разберитесь в характеристиках горения жидкостей (массовой и линейной скорости выгорания). Проанализируйте их зависимость от различных факторов.

Объясните смысл таких характеристик, как температура вспышки, температура воспламенения, температурные пределы воспламенения.

Поскольку параметры горения обусловлены температурой жидкости, являются важными показателями пожарной опасности, необходимо знать методы определения температуры вспышки, температуры воспламенения, температурных пределов распространения пламени, их взаимосвязь с концентрационными пределами.

В) Горение твердых горючих веществ и материалов еще более сложно по своей природе, так как механизм горения определяется поведением твердых веществ и материалов при нагревании, их физическими свойствами, геометрией, дисперсностью и т.д. Обратите внимание на то, что нелетучие металлы и уголь горят гетерогенно на поверхности раздела фаз. Изучите особенности теплообмена, скорости горения, показатели пожарной опасности.

2. Заучить определения основных понятий.

3. Разобраться в методиках решения основных типов задач по данной теме (расчет температуры вспышки индивидуальных веществ и смесей жидкостей, расчет температуры воспламенения, расчет температурных пределов распространения пламени).

В рамках изучения данной темы предусмотрено выполнение лабораторных работ по определению температуры вспышки и исследование влияния различных

факторов на скорость распространения пламени по поверхности твердых горючих материалов.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Механизм распространения пламени в горючих газозодушных смесях.
2. Изобразите схематично структуру фронта пламени, отметьте основные зоны.
3. Изобразите график изменения температуры и концентрации исходных компонентов во фронте пламени.
4. Нормальная скорость распространения пламени. Закон косинуса.
5. Охарактеризуйте влияние температуры, давления смеси, концентрации горючего и кислорода на нормальную скорость распространения пламени.
6. Структура диффузионного пламени на примере газового фонтана.
7. Факторы, влияющие на высоту диффузионного пламени.
8. Механизм возникновения и распространения пламени по поверхности жидкостей.
9. Факторы, влияющие на скорость распространения пламени по поверхности жидкости.
10. Скорости выгорания жидкости и условия на них влияющие.
11. В каком режиме могут гореть твердые горючие материалы? Приведите примеры.
12. Какие процессы предшествуют воспламенению древесины?
13. Какие существуют режимы горения древесины?
14. Дайте характеристику основным стадиям горения древесины.
15. Как осуществляется передача тепла от пламени к поверхности твердого материала?
16. В чем заключается механизм распространения пламени по древесине?
17. Какие факторы влияют на скорость распространения пламени по поверхности твердого горючего материала?
18. Как влияют на параметры горения ориентация и размеры образца?
19. Как влияет влажность горючего материала на скорость распространения пламени по его поверхности?
20. Как влияет толщина твердого горючего материала на скорость распространения пламени?
21. Как влияют теплофизические характеристики ТГМ (теплоемкость, теплопроводность, время зажигания) на скорость распространения фронта пламени?
22. Как влияет форма образца ТГМ на скорость распространения фронта пламени, при условии, что образцы изготовлены из одного материала?
23. В чем состоят особенности горения полимерных материалов?
24. Особенности горения летучих и нелетучих металлов.



**Опорные термины** по теме «Диффузионное и кинетическое горение»: нормальная скорость распространения пламени, температура вспышки, температура воспламенения, температурные пределы распространения пламени, линейная скорость распространения пламени, массовая скорость распространения пламени.

### **Задания для самостоятельного изучения**

Используя материал, изложенный в [1] на страницах 157 – 160, изучить вопросы:

- в чем отличие видимой скорости распространения пламени от нормальной скоростей горения?

- как влияет увеличение содержания кислорода в смеси на скорость горения?

Используя материал, изложенный в [2] на страницах 127-128, изучить вопрос:

1. Особенности горения металлов.

### **Литература:**

#### **Основная:**

1. Марков В.Ф., Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России / В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, М.П. Миронов, С.Н. Пазникова, Екатеринбург: УрО РАН.2009.- 274 с.

2. Мочалова Т.А., Физико-химические основы горения: учебное пособие / Т.А. Мочалова, Д.В. Батов, А.В. Петров, Н.А. Таратанов – Иваново: ООНИ ЭКО ИВИ ГПС МЧС России, 2014. – 170 с.

#### **Дополнительная:**

3. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

4. ГОСТ - 12.1.044.- 89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М. Издательство стандартов. 1990.

## **Методические рекомендации для подготовки к промежуточной аттестации**

Психолог советует: не бойтесь приближения экзамена. Рассматривайте экзамен как возможность показать обширность своих знаний и получить вознаграждение за проделанную работу. Отведите себе время с запасом, особенно для дел, которые надо выполнить перед экзаменом, и приходите на экзамен незадолго до его начала. Не старайтесь повторить весь материал в последнюю минуту.

Универсальных методов для подготовки к экзамену/зачету не существует, поэтому важно выбрать наиболее приемлемый для Вас. Приведенные ниже правила можно рассматривать в качестве общего руководства.

1. Предусмотрите как можно больше времени для подготовки. Если Вы оставляете основную работу на последний момент, это снижает Ваши шансы на успех. Развивается состояние стресса, снижается способность к концентрации.
2. Составьте расписание занятий. Спланировать подготовку к экзаменам нужно за несколько недель до их начала (лучше всего - в начале семестра). Твердо следуйте намеченному плану.
3. Отдыхайте. Усердная подготовка – очень тяжелая работа. Важно время от времени давать себе возможность расслабиться. Предусмотрите в своем расписании время на отдых.
4. Делайте перерывы. После часа занятий сделайте 15 -20-минутный перерыв и с новыми силами возвращайтесь к продуктивной работе.
5. Контролируйте степень готовности. Используйте список вопросов к экзамену, чтобы отслеживать степень усвоения материала. Отмечайте уже проработанные вопросы. Сконцентрируйте свое внимание на тех вопросах, которые Вы знаете хуже.
6. Делайте краткие записи. Часто подготовка оказывается не очень эффективной, если Вы просто читаете материал. Делайте краткие записи, отмечая ключевые мысли. Старайтесь не просто запомнить факты, а понять стоящие за ними идеи.
7. Тренируйтесь отвечать на вопросы. Проработав каждую тему, попробуйте ответить на проверочные вопросы. Некоторые из них приведены в разделе «Контрольные вопросы» после каждой темы. Вначале Вам, возможно, потребуется заглядывать в книгу или конспект, но к концу подготовки Вы сможете отвечать на вопросы самостоятельно, как на экзамене. Старайтесь проговаривать ответы на вопросы вслух, это способствует более глубокому усвоению материала и является хорошей тренировкой перед экзаменом.

### **Критерии оценки устного ответа**

1. Соответствие ответа поставленному вопросу.
2. Полнота ответа, глубина знаний.
3. Владение терминологией, отчетливость и точность формулировки понятий.
4. Логичность изложения материала.
5. Аргументированность ответа (присутствие и доказательность примеров).
6. Использование знаний из других учебных дисциплин и дополнительного материала.

7. Культура речи.

8. Правильность решения и оформления задачи.

Оценка за устный ответ на экзамене выставляется в следующем порядке:

«Отлично» - если обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, тесно увязывает с задачами и деятельностью МЧС, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать материал, не допускает ошибок;

«Хорошо» - если обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических заданий;

«Удовлетворительно» - если обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, не совсем правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий;

«Неудовлетворительно» - если обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большим затруднением выполняет практические задания, задачи.

**Словарь терминов  
по дисциплине «Теория горения и взрыва»**

- 1) **Горение** – экзотермическая реакция окисления вещества сопровождающаяся, по крайней мере, одним из трёх факторов: пламенем, свечением, выделением дыма.
- 2) **Горение** – быстропротекающий, окислительно-восстановительный, экзотермический, самоподдерживающийся процесс, часто сопровождающийся образованием пламени.
- 3) **Гомогенное горение** – процесс взаимодействия горючего и окислителя, находящихся в зоне химической реакции в одинаковом агрегатном состоянии.
- 4) **Гетерогенное горение** – процесс взаимодействия горючего и окислителя, находящихся в различных агрегатных состояниях, горение происходит на поверхности раздела фаз.
- 5) **Кинетическое горение** – процесс горения гомогенной однородной (предварительно перемешанной) горючей смеси.
- 6) **Диффузионное горение** – процесс горения неоднородной (предварительно не перемешанной) горючей смеси, в котором существенную роль играют процессы диффузии окислителя к фронту пламени.
- 7) **Ламинарное горение** – процесс, при котором массообмен и перенос тепла происходят путем молекулярной диффузии и возникающих конвективных потоков окислителя и горючего вещества к зоне химической реакции. При этом наблюдается спокойное, безвихревое пламя устойчивой геометрической формы.
- 8) **Турбулентное горение** – процесс, при котором массообмен и перенос осуществляются не только за счет молекулярной, но и турбулентной диффузии, в результате макроскопического вихревого движения газовых слоев горючей смеси.
- 9) **Дефлаграционное горение** – горение, при котором передача тепловой энергии к свежей горючей смеси осуществляется за счет излучения и теплопроводности (скорость движения тепловой волны по горючей смеси от 0,5 до 50 м/с).
- 10) **Детонационное горение** – горение, при котором передача тепловой энергии к свежей горючей смеси осуществляется за счет быстрого сжатия, достаточно интенсивного, чтобы довести реагирующую среду до состояния адиабатического воспламенения (без теплообмена с окружающей средой). Скорость движения тепловой волны по горючей смеси более 50 м/с (до 2000 м/с).
- 11) При **полном сгорании** веществ, образуются продукты, не способные к дальнейшему взаимодействию ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ).
- 12) При **неполном сгорании** образуются продукты, способные к дальнейшему горению ( $\text{CO}$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{NH}_3$ ).
- 13) **Пламя** – это газовый объём, в котором непосредственно происходит реакция горения.
- 14) Наиболее высокотемпературная поверхность пламени, где протекают окислительно-восстановительные процессы, называется реакционной зоной или **фронтом пламени**.
- 15) **Фронт пламени** – это узкая зона, в которой происходит подогрев горючей сре-

ды и протекает химическая реакция.

- 16) **Взрыв** – быстрое превращение вещества (взрывчатое горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу. (ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования).
- 17) **Энергия активации** – минимальная энергия реагентов, достаточная для того, чтобы они вступили в химическую реакцию, то есть преодолели барьер на поверхности потенциальной энергии, через который должна пройти система в ходе элементарного акта химического превращения.
- 18) **Источник инициирования взрыва** – источник, обладающий запасом энергии или температуры, достаточным для инициирования взрыва взрывоопасной среды производственного процесса.
- 19) **Негорючие** – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе.
- 20) **Трудногорючие** – вещества и материалы, способные к горению в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления.
- 21) **Горючие** – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.
- 22) **Коэффициент избытка воздуха** показывает во сколько раз больше поступает в зону горения воздуха, чем теоретически необходимо для полного сгорания вещества.
- 23) **Закон Г. И. Гесса:** тепловой эффект реакции при постоянных давлении или объеме зависит только от природы, состояния реагентов и продуктов реакции и не зависит от пути её протекания.
- 24) **Теплотой образования** называется тепловой эффект химической реакции образования данного соединения из простых веществ, отвечающих наиболее устойчивому состоянию простого вещества при стандартных условиях.
- 25) **Теплотой сгорания** называется тепловой эффект химической реакции взаимодействия горючего вещества с кислородом с образованием продуктов полного окисления.
- 26) **Следствие из закона Гесса:** тепловой эффект реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования реагентов с учётом их стехиометрических коэффициентов.
- 27) Максимальная температура, до которой нагреваются продукты горения, называется **температурой горения**.
- 28) Под **калориметрической температурой горения** понимается температура, до которой нагреваются продукты горения при условии: начальная температура 273.15 К; коэффициент избытка воздуха 1; всё выделяющееся при горении тепло идёт на нагрев продуктов горения.
- 29) Под **действительной температурой горения** понимают температуру, до которой нагреваются продукты горения в реальных условиях с учетом состава горючей смеси и теплопотерь.
- 30) **Самовоспламенение** - резкое увеличение скорости экзотермических объемных реакций, сопровождающееся пламенным горением или взрывом.

- 31) Условием теплового самовоспламенения является превышение скорости выделения тепла над скоростью теплоотвода.
- 32) Условием цепного самовоспламенения является превышение в системах числа разветвляющихся цепей над числом обрывающихся цепей.
- 33) **Температура самовоспламенения ( $T_{cv}$ )** – самая низкая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся пламенным горением.
- 34) **Самовозгорание** - процесс резкого увеличения скорости экзотермических процессов в веществе, приводящее к возникновению очага горения.
- 35) **Температурой самонагревания** называется самая низкая температура вещества (материала, смеси), при которой возникает его самонагревание, обусловленное происходящими в них химическими и физическими экзотермическими процессами (окисления, разложения, замещения, адсорбции и др.).
- 36) Вещества, имеющие температуру самонагревания ниже  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , называются **пирофорными**.
- 37) **Тепловым называют самовозгорание**, вызванное самонагреванием, возникшим под воздействием внешнего нагрева вещества (материала, смеси) выше температуры самонагревания.
- 38) **Микробиологическое самовозгорание** - это самовозгорание в результате самонагревания, возникшего под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов в массе вещества (материала, смеси).
- 39) **Химическое самовозгорание** - самовозгорание, возникающее в результате химического взаимодействия.
- 40) **Йодное число** – количество грамм йода, поглощенных ста граммами масла.
- 41) **Нижним (верхним) концентрационным пределом распространения пламени** называется - минимальное (максимальное) содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.
- 42) **Минимальное взрывоопасное содержание кислорода** - концентрация кислорода в горючей смеси, состоящей из горючего вещества, воздуха и флегматизатора, меньше которой распространения пламени по смеси становится невозможным при любой концентрации горючего в смеси, разбавленной данным флегматизатором.
- 43) **Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора** - наименьшая концентрация флегматизатора в смеси с горючим и окислителем, при которой смесь становится неспособной к распространению пламени при любом соотношении горючего и окислителя.
- 44) **Температура вспышки** - наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает.
- 45) **Температура воспламенения** - наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары или газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания

наблюдается воспламенение.

- 46) **Температурные пределы распространения пламени** – такие температуры вещества, при которых его насыщенный пар образует в окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему (НТП) и верхнему (ВТП) концентрационным пределам распространения пламени.
- 47) **Детонация** – разновидность процесса взрыва, в ходе которого возникает мощная, самоподдерживающаяся, сверхзвуковая ударная волна, сжимающая вещество до такой степени, что в месте её прохождения мгновенно начинается химическая реакция, сопровождаемая выделением значительного количества энергии.
- 48) **Ударная волна** представляет собой границу скачкообразного перехода состояния вещества от исходного к сжатому.
- 49) **Тротиловый эквивалент** - это масса в кг ТНТ (тринитротолуола), которая вызывает эквивалентное разрушение на таком же расстоянии от центра взрыва.
- 50) **Максимальным давлением взрыва** называется наибольшее избыточное давление, возникающее при дефлаграционном сгорании газозвушных смесей в замкнутом сосуда при начальном давлении смеси 101,3 кПа.
- 51) **Нормальная скорость распространения пламени** - это скорость распространения фронта пламени относительно свежей смеси в направлении по нормали к его поверхности.
- 52) **Массовая скорость распространения пламени** (массовая скорость горения) показывает массу вещества, сгорающую в единицу времени с единицы поверхности фронта пламени.
- 53) **газы** - вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25°C и давлении 101,3 кПа превышает 101,3 кПа;
- 54) **жидкости** - вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25°C и давлении 101,3 кПа меньше 101,3 кПа. К жидкостям относят также твердые плавящиеся вещества, температура плавления или каплепадения которых меньше 50°C;
- 55) **твердые вещества и материалы** - индивидуальные вещества и их смесевые композиции с температурой плавления или каплепадения больше 50°C, а также вещества, не имеющие температуру плавления (например, древесина, ткани и т.п.);
- 56) **пыли** - диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм.