

Министерство образования и науки РФ  
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Майкопский государственный технологический университет»  
к пос. Яблоновском

Кафедра инженерных дисциплин и таможенного дела

## **ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА**

Методические указания по изучению дисциплины  
и выполнению контрольных работ  
для студентов всех форм обучения  
специальности 20.05.02 - Пожарная безопасность

пос. Яблоновский  
2017

Составитель: старший преподаватель Хрисонида В.А.

УДК 544  
ББК 38.96

**Теория горения и взрыва:** методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольных работ для студентов всех форм обучения специальности 20.05.02 - Пожарная безопасность, 2017. – 33 с.

В методических указаниях изложены программа дисциплины, варианты контрольных заданий, темы практических занятий, вопросы к зачету, рекомендуемая литература, приведены примеры выполнения и требования к оформлению контрольных работ.

Рецензенты: канд. техн. наук, доцент кафедры БЖ А.В. Александрова

## Содержание

Введение.....	4
1 Нормативные ссылки.....	4
2 Инструкция по работе с методическим пособием.....	4
3 Программа дисциплины.....	4
4 Контрольная работа.....	11
4.1 Расчет количества воздуха, необходимого для горения вещества.....	11
4.2 Расчет объема и состава продуктов горения.....	13
4.3 Расчет теплоты сгорания веществ.....	15
4.4 Расчет температуры горения.....	16
4.5 Расчет концентрационных пределов воспламенения.....	17
4.6 Расчет температурных пределов воспламенения.....	19
4.7 Расчет температур вспышки и воспламенения.....	19
4.8 Расчет стандартной температуры самовоспламенения.....	21
4.9 Расчет потенциала горючести.....	21
5 Задания на контрольные работы .....	22
5.1 Вопросы для теоретической части контрольной работы.....	22
5.2 Задачи для контрольной работы.....	23
6 Содержание и оформление контрольных работ.....	29
7 Темы практических занятий .....	30
8 Вопросы для подготовки к экзамену.....	31
9 Список рекомендуемой литературы.....	32

## Введение

Изучение дисциплины «Теория горения и взрыва» дает возможность овладеть знаниями пожарной опасности веществ и материалов, методами расчетов параметров пожарной опасности, необходимыми для более углубленного понимания закономерностей процессов воспламенения, распространения горения и его прекращения.

Знание механизмов физико-химических процессов, количественных и качественных превращений материальных сред, различных переходов и высвобождения энергии в процессах горения и взрыва дает возможность студентам более глубоко изучать другие дисциплины, связанные с производственной и пожарной безопасностью, а также применять эти знания в практической деятельности будущих инженеров различных областей промышленности.

### 1 Нормативные ссылки

1. ССБТ ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
3. НПБ 105-2003. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
4. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

### 2 Инструкция по работе с учебно – методическим пособием

В разделе 3 «Программа дисциплины» приведены темы и указывается, что нужно знать студентам в пределах каждой темы.

В конце каждой темы приводятся вопросы для самопроверки и ссылки из списка рекомендуемой литературы с указанием страниц источников, в которых излагается данный материал.

#### **Пример**

Литература: [2, с. 3-9], [4, с.143-162],

где 2 и 4 – порядковые номера литературных источников из списка рекомендуемой литературы.

Основной материал изучается слушателем самостоятельно.

В разделе 4, 5 и 6 приводятся требования к выполнению, содержание задания на выполнение контрольной работы и требования к ее оформлению.

В разделе 7 приводятся темы лабораторных и практических занятий, которые будут проводиться в период лабораторно-экзаменационной сессии, и указывается литература для подготовки. Отчетом по выполнению

практических работ служит решение задач по теме занятия и правильность полученного результата.

В разделе 8 приводятся вопросы для подготовки к экзамену. Экзамен проводится традиционным методом в ходе экзаменационной сессии.

### **3 Программа дисциплины**

#### ***Тема 1. Горение веществ***

Процесс горения. Условия возникновения горения. Сгорание веществ. Диффузионное и кинетическое горение. Горючие системы. Диффузионное пламя. Строение ламинарного диффузионного пламени. Расход воздуха на горение. Продукты сгорания. Дым. Теплота сгорания. Температура горения. Оценка пожарной опасности веществ и материалов.

*Литература: [1, с. 7-41], [2, с. 1-13].*

*Вопросы для самопроверки:*

- 1. Какие необходимы условия для возникновения горения ?*
- 2. Что является признаком неполного сгорания веществ ?*
- 3. Какое горение называют диффузионным ?*
- 4. Какое горение называют кинетическим ?*
- 5. Какова схема строения ламинарного диффузионного пламени ?*
- 6. Что называется теоретически необходимым количеством воздуха для сгорания вещества?*
- 7. Что называют продуктами сгорания ?*
- 8. Что представляет собой дым ?*
- 9. Что называется высшей и низшей теплотой сгорания ?*
- 10. Что называют калориметрической температурой горения ?*
- 11. Каковы основные показатели пожарной опасности веществ и материалов ?*

#### ***Тема 2. Самовоспламенение и возгорание***

Кинетика химических реакций. Влияние концентрации, температуры, катализаторов. Превращение горючих веществ при нагревании. Теория окисления горючих веществ. Теория самовоспламенения. Температура самовоспламенения. Процесс возгорания и воспламенения.

*Литература: [1, с. 42-67],[ 2, с. 35-40]*

*Вопросы для самопроверки:*

- 1. Какие условия влияют на скорость химической реакции горения ?*
- 2. Какова последовательность процесса, протекающего при горении различных по агрегатному состоянию веществ ?*

3. Изложите современное представление о механизме процесса цепной реакции окисления.
4. Что является причиной теплового и цепного самовоспламенения ?
5. Что называется температурой самовоспламенения ?
6. Как подразделяют вещества в зависимости от температуры самовоспламенения ?
7. Что такое период индукции ?
8. Какие технические решения разработаны для предотвращения самовоспламенения смесей, находящихся в сосудах ?
9. Каковы методы определения температуры самовоспламенения ?
10. Что называется возгоранием ?

### **Тема 3. Склонность веществ к самовозгоранию**

Температура самонагревания. Тепловое самонагревание. Масла и жиры, другие неорганические и органические вещества. Определение способности веществ к самовозгоранию. Микробиологическое самовозгорание. Химическое самовозгорание. Вещества, самовозгорающиеся при контакте с водой. Вещества, самовозгорающиеся при контакте с окислителями.

*Литература: [1, с. 68-85],[2, с. 65-67].*

*Вопросы для самопроверки:*

1. Что называется температурой самонагревания ?
2. Какие различают виды самовозгорания ?
3. Каковы причины самовозгорания масел и жиров ?
4. Каковы причины микробиологического самовозгорания ?
5. Как возникает химическое возгорание ?
6. Назовите вещества самовозгорающиеся при контакте с водой.
7. Какие известны вещества, самовозгорающиеся при контакте с окислителями?

### **Тема 4. Горение смесей газов и паров с воздухом**

Теория горения газовых смесей. Давление при взрыве. Концентрационные пределы воспламенения. Мощность источника зажигания. Турбулентность. Примеси негорючих паров и газов. Температура смеси. Давление смеси. Методы определения концентрационных пределов воспламенения.

*Литература: [1, с. 86-107], [2, с. 41-53].*

*Вопросы для самопроверки:*

1. В чем сущность горения газовых смесей ?
2. Что называется нижним концентрационным пределом ?
3. Что называется областью воспламенения ?

4. *Что называется верхним концентрационным пределом ?*
5. *Что такое минимальное взрывоопасное содержание кислорода ?*
6. *В чем сущность метода определения концентрационных пределов распространения пламени по газо- и паровоздушным смесям ?*

### **Тема 5. Горение жидкостей**

Испарение жидкостей. Насыщенный пар. Температурные пределы воспламенения. Температура вспышки. Процесс горения жидкостей. Скорость выгорания. Скорость горения жидкостей. Прогрев жидкостей при горении. Вскипание. Выброс.

*Литература: [1, с. 108-128 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

1. *От чего зависит скорость испарения жидкости ?*
2. *Что называется нижним температурным пределом воспламенения ?*
3. *Что называется температурой вспышки ?*
4. *Изложите сущность метода определения температурных пределов воспламенения жидкости ?*
5. *Как происходит горение жидкостей ?*
6. *Что называется массовой скоростью горения жидкости ?*
7. *Что называется линейной скоростью горения ?*
8. *Что представляет собой процессы вскипания и выброса жидкости ?*

### **Тема 6. Горение пылевоздушных смесей**

Свойства, определяющие пожароопасность пылей. Дисперсность. Химическая активность. Адсорбционная способность. Склонность пыли к электрзации. Теория горения аэровзвесей. Пределы воспламенения аэровзвесей. Мощность источника зажигания. Влажность пыли и воздуха. Зольность пыли. Дисперсность пыли. Состав воздуха.

*Литература: [1, с. 129-147 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

1. *Что такое пыль ?*
2. *Что называется дисперсностью ?*
3. *От чего зависит химическая активность пыли ?*
4. *В чем опасность электрзации пыли ?*
5. *В чем особенность теории горения аэровзвесей ?*
6. *Что называется нижним концентрационным пределом воспламенения аэровзвесей ?*
7. *От чего зависит нижний концентрационный предел воспламенения аэровзвесей ?*

8. Как разделяют пыли по величине нижнего концентрационного предела взвесей ?

### **Тема 7. Горение твердых веществ**

Состав и свойства твердых горючих веществ. Горение древесины. Горение металлов.

*Литература: [1, с.148-158 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

1. Назовите особенности состава и свойств твердых веществ при горении.
2. Что называется распространением горения ?
3. Какие факторы влияют на величину скорости распространения горения ?
4. Каковы особенности горения древесины ?
5. В чем отличие горения металлов от других веществ ?

### **Тема 8. Теория химического строения А.М.Бутлерова и классификация органических веществ**

Теория химического строения А.М.Бутлерова. Изомерия. Классификация органических веществ.

*Литература: [1, с. 159-167 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

1. Какие виды изомерии существуют ?
2. Назовите основные классы органических соединений.
3. Какие изменения пожароопасных свойств наблюдаются в гомологическом ряду ?

### **Тема 9. Свойства и пожарная опасность углеводородов**

Предельные углеводороды. Непредельные углеводороды. Ароматические углеводороды. Нефть и нефтепродукты.

*Литература: [1, с. 168-185 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

1. Охарактеризуйте физические и химические свойства метана.
2. Как получают и где применяется метан ?
3. Охарактеризуйте физические и химические свойства этилена.
4. Как получают и где применяется этилен ?
5. Охарактеризуйте физические и химические свойства ацетилена.

6. Как получают и где применяется ацетилен ?
7. Охарактеризуйте физические и химические свойства бензола.
8. Охарактеризуйте физические и химические свойства стирола.
9. Охарактеризуйте физические и химические свойства нефти.

### **Тема 10. Свойства и пожарная опасность органических соединений, содержащих кислород и азот**

Спирты и простые эфиры. Альдегиды и кетоны. Сложные эфиры карбоновых кислот. Нитросоединения. Сложные эфиры азотной кислоты. Аминосоединения.

Литература: [1, с. 186-214 ].

Вопросы для самопроверки:

1. Охарактеризуйте физические и химические свойства метанола.
2. Охарактеризуйте физические и химические свойства глицерина.
3. Охарактеризуйте физические и химические свойства диэтилового эфира.
4. Охарактеризуйте физические и химические свойства уксусного альдегида.
5. Как получают и где применяется уксусный альдегид?
6. Охарактеризуйте физические и химические свойства ацетона ?
7. Где применяется ацетон ?
8. Охарактеризуйте физические и химические свойства уксусной кислоты ?
9. Охарактеризуйте физические и химические свойства этилацетата ?
10. Охарактеризуйте физические и химические свойства масел и жиров ?
11. Охарактеризуйте физические и химические свойства нитробензола?
12. Охарактеризуйте физические и химические свойства тринитротолуола?
13. Как получают и где применяются нитробензол и тринитротолуол?
14. Охарактеризуйте физические и химические свойства нитроглицерина ?
15. Охарактеризуйте физические и химические свойства нитроклетчатки ?
16. Как получают и где применяется нитроклетчатка?
17. Охарактеризуйте физические и химические свойства целлулоида ?
18. Охарактеризуйте физические и химические свойства аминов?

## **Тема 11. Свойства и пожарная опасность элементарноорганических соединений**

Кремнийорганические соединения. Металлоорганические соединения. Фосфорорганические соединения.

*Литература: [1, с.215-234 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

- 1. Что называется кремнийорганическими соединениями ?*
- 2. Как классифицируют кремнийорганические соединения ?*
- 3. Что представляют собой металлоорганические соединения ?*
- 4. Как классифицируют металлоорганические соединения ?*
- 5. Как классифицируют фосфорорганические соединения ?*
- 6. Каковы пожарные свойства фосфорорганических соединений ?*

## **Тема 12. Свойства и пожарная опасность полимеров**

Синтетические полимеры. Пластические массы. Синтетические волокна. Натуральные и синтетический каучук.

*Литература: [1, с. 235-259 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

- 1. Что представляют собой синтетические полимеры ?*
- 2. Что называется пластическими массами ?*
- 3. Что такое пластификаторы, стабилизаторы и отвердители ?*
- 4. Что представляют собой пластмассы на основе полиэтилена ?*
- 5. Что представляют собой пластмассы на основе полистирола ?*
- 6. Охарактеризуйте пластические массы на основе фенолформальдегидных полимеров ?*
- 7. Как получают и какими свойствами обладает капрон ?*
- 8. Как получают и какими свойствами обладает лавсан ?*
- 9. Чем отличается натуральный каучук от синтетического ?*

## **Тема 13. Свойства и пожарная опасность веществ, применяемых в сельском хозяйстве**

Классификация веществ, применяемых в сельском хозяйстве. Пестициды. Удобрения.

*Литература: [1, с. 260-269 ].*

*Вопросы для самопроверки:*

- 1. Как разделяют вещества, применяемые в сельском хозяйстве, по степени пожарной опасности ?*
- 2. Охарактеризуйте пожароопасные свойства пестицидов ?*

3. Как классифицируют минеральные удобрения ?
4. Охарактеризуйте пожароопасные свойства аммиачной селитры?
5. Охарактеризуйте пожароопасные свойства калиевой селитры?
6. Охарактеризуйте пожароопасные свойства мочевины?

#### 4 Контрольная работа

При выполнении контрольной работы по теории горения и взрыва студенты изучают ряд параметров пожарной опасности веществ и материалов: адиабатические температуры горения, температуры вспышки и воспламенения, температурные и концентрационные пределы воспламенения, минимальные флегматизирующие концентрации инертных газов и химически активных ингибиторов, стандартные температуры самовоспламенения и т.п. Одновременно студенты научатся пользоваться нормативными документами и справочными материалами, с тем, чтобы уметь в дальнейшем правильно подобрать материал при курсовом и дипломном проектировании.

##### 4.1 Расчет количества воздуха, необходимого для горения вещества

Для практических расчетов принимают, что воздух состоит из 21 % кислорода и 79 % азота. Таким образом, объемное соотношение азота и кислорода в воздухе составит:

$$\frac{\varphi_{N_2}}{\varphi_{O_2}} = \frac{79}{21} = 3,76, \quad (1)$$

где  $\varphi_{N_2}$ ,  $\varphi_{O_2}$  - соответственно (% об.) содержание азота и кислорода в окислительной среде.

Следовательно, на 1 м<sup>3</sup> (кмоль) кислорода в воздухе приходится 3,76 м<sup>3</sup> (кмоль) азота.

Весовое соотношение азота и кислорода в воздухе можно определить, исходя из соотношения:

$$\frac{\varphi_{N_2} \cdot M_{N_2}}{\varphi_{O_2} \cdot M_{O_2}} = \frac{79 \cdot 28}{21 \cdot 32} = 3,29, \quad (2)$$

где  $M_{O_2}$ ,  $M_{N_2}$  - молекулярные массы соответственно кислорода и азота.

Для удобства расчетов горючие вещества разделяют на три типа: индивидуальные химические соединения (метан, уксусная кислота и т.п.), вещества сложного состава (древесина, торф, нефть и т.п.), смесь газов (генераторный газ и т.п.) (табл. 1).

Таблица 1

Тип горючего вещества	Расчетная формула	Размерность
Индивидуальное вещество	$V_6^o = \frac{n_{O_2} + n_{N_2}}{n_2}$	$M^3, \frac{KMOL}{KMOL}$
	$V_6^o = \frac{n_{O_2} + n_{N_2}}{n_2} \frac{V_o}{M}$	$\frac{M^3}{KZ}$
Вещества сложного состава	$V_6^o = 0,269 \left( \frac{C}{3} + H + \frac{S - O}{8} \right)$	$\frac{M^3}{KZ}$
Смесь газов	$V_6^o = \frac{\sum \varphi_{zi} \cdot n_{O_{2i}} - \varphi_{o_2}}{21}$	$\frac{M^3}{KZ}, \frac{KMOL}{KMOL}$

$V_6^o$  - теоретическое количество воздуха,

$n_2, n_{O_2}, n_{N_2}$  - количество горючего, кислорода и азота, получаемые из уравнения химической реакции горения, кмоль,

$M$  – молекулярная масса горючего,

$V_o$  – объем 1 кмоль газа при нормальных условиях 22,4 (м<sup>3</sup>),

$C, H, S, O$  – весовое содержание соответствующих элементов в составе горючего, %,

$\varphi_{zi}$  - концентрация i-го горючего компонента, % об.,

$\varphi_{O_2}$  - концентрация кислорода в составе горючего газа, % об.,

$n_{O_{2i}}$  - количество кислорода, необходимое для окисления одного i-го кмоль горючего компонента, кмоль.

Для определения объема воздуха при горении в условиях, отличных от нормальных, пользуются следствием из уравнения состояния идеальных газов:

$$\frac{P_o \cdot V_o}{T_o} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1}, \quad (3)$$

где  $P_o$  – нормальное давление, Па,

$T_o$  - нормальная температура, К,

$V_o$  - объем воздуха при нормальных условиях,

$P_1, V_1, T_1$  – соответственно давление, объем и температура воздуха, характеризующие заданные условия горения.

Практическое количество воздуха  $V_6$  – объем воздуха, фактически поступивший в зону горения.

Отношение практического объема воздуха к теоретическому называется коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{V_6}{V_6^o}. \quad (4)$$

Разность между практическим и теоретическим объемами воздуха называется избытком воздуха  $\Delta V_g$  :

$$\Delta V_g = V_g - V_g^o. \quad (5)$$

Из этого следует, что:

$$\Delta V_g = V_g^o (\alpha - 1). \quad (6)$$

Если известно содержание кислорода в продуктах горения, то коэффициент избытка воздуха определяется по формуле:

$$\alpha = 1 + \frac{\varphi_{O_2} \cdot V_{nz}^o}{V_g^o (21 - \varphi_{O_2})}, \quad (7)$$

где  $\varphi_{O_2}$  - концентрация кислорода в продуктах горения, % об.

$V_{nz}^o$  - теоретический объем продуктов горения,

Для веществ, у которых объем продуктов горения равен объему израсходованного воздуха (например, горение серы, углерода) эта формула упрощается:

$$\alpha = \frac{21}{21 - \varphi_{O_2}}. \quad (8)$$

Если содержание кислорода в окислительной среде отличается от содержания его в воздухе, то  $\alpha$  можно найти:

$$\alpha = 1 + \frac{\varphi_{O_2} \cdot V_{nz}^o}{V_g^o (\varphi_{O_2}^o - \varphi_{O_2})} \quad (9)$$

и соответственно:

$$\alpha = \frac{\varphi_{O_2}}{\varphi_{O_2}^o - \varphi_{O_2}}, \quad (10)$$

где  $\varphi_{O_2}^o$  - содержание кислорода в окислительной среде, % об.

## 4.2 Расчет объема и состава продуктов горения

С целью упрощения расчета все горючие вещества разделены на три типа: индивидуальные, сложные, смеси горючих газов.

Таблица 2

Тип горючего вещества	Расчетная формула	Размерность
Индивидуальное вещество	$V_{пг}^o = \frac{\sum n_{пг_i}}{n_{г}}$ $V_{пг}^o = \frac{V_o \sum n_{пг_i}}{n_{г} M}$	$\frac{м^3}{м^3}, \frac{кмоль}{кмоль}$ $\frac{м^3}{кг}$
Вещества сложного состава	$V_{CO_2} = 1,86 \frac{C}{100}$	$\frac{м^3}{кг}$

	$V_{H_2O} = 11,2 \frac{H}{100} + \frac{W}{100}$	$\frac{M^3}{кг}$
	$V_{SO_2} = 0,7 \frac{S}{100}$	$\frac{M^3}{кг}$
	$V_{N_2} = \frac{1}{100} \left[ 7C + 21 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2,63S + 0,8N \right]$	$\frac{M^3}{кг}$
Смесь газов	$V_{пг}^o = \sum V_{пг_i}$	$\frac{M^3}{кг}$
	$V_{пг_i} = \frac{1}{100} \left[ \frac{\sum n_{пг_i} \varphi_j}{n_{г}} + \sum \varphi_{нг_j} \right]$	$\frac{M^3}{кг}$

где  $V_{пг}^o$  - теоретический объем продуктов горения,

$n_{пг_u}$  - количество  $i$ -го продукта горения в уравнении реакции, кмоль,

$n_{г}$  - количество горючего, кмоль,

$V_o$  - объем 1 моль газа,

$M$  - молекулярная масса горючего,

$V_{пг_i}$  - объем  $i$ -го продукта реакции,

$C, H, S, O, N$  - содержание соответствующих элементов (углерода, водорода, серы, кислорода и азота) в горючем веществе, % вес.,

$\varphi_{г_j}$  - содержание  $j$ -го горючего компонента в газовой смеси, % об.,

$\varphi_{нг_i}$  - содержание  $i$ -го негорючего компонента в составе газовой смеси, % об.,

$W$  - влажность вещества, %.

Практический (полный) объем продуктов горения состоит из теоретического объема продуктов горения и избытка воздуха:

$$V_{пг} = V_{пг}^o + \Delta V_B \quad \text{или} \quad V_{пг} = V_{пг}^o + V_B^o (\alpha - 1) \quad (11)$$

Состав продуктов горения, т.е. содержание  $i$ -го компонента, определяется по формуле:

$$\varphi_{пг_i} = \frac{V_{пг_i}}{\sum V_{пг_i}} \cdot 100, \quad (12)$$

где  $\varphi_{пг_i}$  - содержание  $i$ -го компонента в продуктах горения, % об.,

$V_{пг_i}$  - объем  $i$ -го компонента,  $M^3$ , кмоль,

$\sum V_{\text{пр}_i}$  - полный объем продуктов горения, м<sup>3</sup>, кмоль.

При горении в избытке воздуха в продуктах горения содержится кислород и азот:

$$V_{O_2} = 0,21\Delta V_B, \quad (13)$$

$$V_{N_2} = V_{N_2}^0 + 0,79\Delta V_B, \quad (14)$$

где  $V_{N_2}^0$  - теоретический объем азота в продуктах горения, м<sup>3</sup>, кмоль,

$$V_{N_2}^0 = 0,79V_B^0 \quad (15)$$

### 4.3 Расчет теплоты сгорания веществ

При расчетах теплового баланса при пожаре определяют низшую теплоту сгорания:

$$Q_B - Q_H = Q_{\text{ис}}, \quad (16)$$

где  $Q_B$  – высшая теплота сгорания,

$Q_H$  – низшая теплота сгорания,

$Q_{\text{ис}}$  - теплота испарения воды, выделяющаяся при сгорании вещества.

Таблица 3

Тип горючего вещества	Расчетная формула	Размерность
Индивидуальное вещество	$Q_H = \sum (n_i \Delta H_i - n_j \Delta H_j)$	кДж/моль
Вещества сложного состава (формула Д.И.Менделеева)	$Q_H = 339,4C + 125H - 108,9(O - S) - 25,1(9H + W)$	кДж/кг
Смесь газов	$Q_H = \frac{1}{100} \sum Q_{H_i} \varphi_{G_i}$	кДж/моль, кДж/м <sup>3</sup>

где  $\Delta H_i, \Delta H_j$  - соответственно теплоты образования одного кмоль  $i$ -го конечного продукта горения и  $j$ -го исходного вещества,

$n_i, n_j$  - соответственно количество кмоль  $i$ -го продукта реакции и  $j$ -го исходного вещества в уравнении реакции горения,

$C, H, S, W$  – соответственно содержание, % вес углерода, водорода, серы и влаги в составе вещества,

$O$  – сумма кислорода и азота, % вес,

$Q_{H_i}$  - низшая теплота сгорания  $i$ -го горючего компонента газовой смеси, кДж/кмоль, кДж/м<sup>3</sup>,

$\varphi_{G_i}$  - содержание  $i$ -го горючего компонента в газовой смеси, % об.

Расчет теплоты сгорания газоздушных смесей проводят по формуле:

$$Q_H^{CM} = \frac{1}{100} Q_H \varphi_G, \quad (17)$$

где  $Q_H^{CM}$  - теплота сгорания газозвдушной смеси, кДж/м<sup>3</sup>, кДж/кмоль,  
 $Q_H$  - низшая теплота сгорания горючего вещества, кДж/м<sup>3</sup>,  
 кДж/кмоль,

$\varphi_G$  - концентрация горючего в смеси, % об.

Удельная скорость тепловыделения при горении:

$$q = Q_H \cdot m, \quad (18)$$

где  $q$  – удельная интенсивность тепловыделения, кВт/м<sup>3</sup>,

$m$  – массовая скорость выгорания, кг/(м<sup>2</sup>с).

Скорость тепловыделения при горении:

$$Q = Q_H \cdot m \cdot F, \quad (19)$$

где  $Q$  - интенсивность тепловыделения, кВт,

$F$  - площадь горения, м<sup>2</sup>.

#### 4.4 Расчет температуры горения

Температура горения определяется из уравнения теплового баланса:

$$Q_H = \sum C_{Pi} \cdot V_{Pi} \cdot (T_G - T_O). \quad (20)$$

При этом адиабатическая температура горения:

$$T_G^* = T_a + \frac{Q_H}{\sum C_{Pi} V_{Pi}^o}, \quad (21)$$

а действительная температура горения:

$$T_G = T_O + \frac{Q_{ПГ}}{\sum C_{Pi} V_{Pi}^o + C_{PB} \Delta V_B}, \quad (22)$$

где  $T_G^*$ ,  $T_G$  - соответственно адиабатическая и действительная температуры горения,

$T_O$  – начальная температура,

$C_{PB}$ ,  $C_{Pi}$  - соответственно теплоемкости воздуха и  $i$ -го продукта горения,

$V_{Pi}$  - объем  $i$ -го продукта горения,

$\Delta V_B$  - избыток воздуха,

$Q_H$  - низшая теплота горения вещества,

$Q_{ПГ}$  - теплота, пошедшая на нагрев продуктов горения.

При этом

$$Q_{ПГ} = Q_H (1 - \eta), \quad (23)$$

где  $\eta$  - доля теплотерьер в результате излучения энергии, химического и механического недожога.

Действительная температура горения при пожаре для большинства газообразных, жидких и твердых веществ изменяется в достаточно узких пределах 1300-1800 К.

В связи с этим расчет действительной температуры горения может быть значительно упрощен, если теплоемкость продуктов горения выбирать при температуре 1500 К:

$$T_{\Gamma} = T_o + \frac{Q_{\text{пр}}}{\sum C_{Pi}^* \cdot V_{\text{пр}i}} \quad (24)$$

где  $C_{Pi}^*$  – теплоемкость  $i$ -го продукта горения при 1500 К (таб.)

Таблица 4

Вещество	Теплоемкость	
	кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	кДж/(моль·К)
Двуокись углерода	2,27	5,085·10 <sup>-2</sup>
Двуокись серы	2,28	5,107·10 <sup>-2</sup>
Вода (пар)	1,78	3,987·10 <sup>-2</sup>
Азот	1,42	3,181·10 <sup>-2</sup>
Воздух	1,44	3,226·10 <sup>-2</sup>

#### 4.5 Расчет концентрационных пределов воспламенения

Нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ)  $\varphi_H$  определяют по предельной теплоте сгорания. Установлено, что 1 м<sup>3</sup> газоздушной смеси на НКПВ выделяет при горении приблизительно постоянное количество тепла – 1830 кДж, вызываемое предельной теплотой горения. Следовательно,

$$\varphi_H = \frac{Q_{\text{пр}} \cdot 100}{Q_H}, \quad (25)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  - предельная теплота сгорания 1830 кДж/м<sup>3</sup>,

$Q_H$  - низшая теплота сгорания горючего вещества, кДж/м<sup>3</sup>.

Нижний и верхний концентрационные пределы могут быть определены по формуле:

$$\varphi_{H(B)} = \frac{100}{an + b}, \quad (26)$$

где  $n$  – стехиометрический коэффициент при кислороде в уравнении химической реакции,

$a$  и  $b$  – эмпирические константы, значения которых приведены в табл.5

Таблица 5

Концентрационные пределы воспламенения	Значения коэффициентов	
	$a$	$b$
Нижний предел	8,684	4,679

Верхний предел		
$n \leq 7,5$	1,550	0,560
$n > 7,5$	0,768	6,554

Концентрационные пределы воспламенения паров жидких и твердых веществ могут быть рассчитаны, если известны температурные пределы:

$$\varphi_{H(B)} = \frac{P_{H(B)} 100}{P_o}, \quad (27)$$

где  $P_{H(B)}$  – давление насыщенного пара вещества при температуре, соответствующей нижнему (верхнему) пределу воспламенения, Па (табл.4 прил.),

$P_o$  – давление окружающей среды, Па.

Для расчета концентрационных пределов воспламенения смесей горючих газов используют правило Ле-Шателье:

$$\varphi_{H(B)}^{CM} = \frac{1}{\sum \frac{\varphi_{H(B)i}}{\mu_i}}, \quad (28)$$

где  $\varphi_{H(B)}^{CM}$  – нижний (верхний) концентрационный предел воспламенения, % об.,

$\varphi_{H(B)i}$  – нижний (верхний) концентрационный предел воспламенения, % об.,

$\mu_i$  – мольная доля  $i$ -го горючего газа в смеси.

Следует иметь в виду, что  $\sum \mu_i = 1$ , т.е. концентрация горючих компонентов газовой смеси принимается за 100 %.

Если известны концентрационные пределы воспламенения при температуре  $T_1$ , то при температуре  $T_2$  они вычисляются по формуле:

$$\varphi_{HT2} = \varphi_{HT1} \left( 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_G - T_1} \right), \quad (29)$$

$$\varphi_{BT2} = \varphi_{BT1} \left( 1 + \frac{T_2 - T_1}{T_G - T_1} \right), \quad (30)$$

где  $\varphi_{HT1}, \varphi_{HT2}$  – нижний концентрационный предел воспламенения соответственно при температурах  $T_1$  и  $T_2$ ,

$\varphi_{BT1}, \varphi_{BT2}$  – верхний концентрационный предел воспламенения соответственно при температурах  $T_1$  и  $T_2$ ,

$T_G$  – температура горения смеси (приблизительно при определении НКПВ  $T_G$  принимают 1550 К, при определении ВКПВ – 1100 К.

При разбавлении газовой смеси инертными газами ( $N_2$ ,  $CO_2$ , пары  $H_2O$  и т.п.) область воспламенения сужается: верхний предел уменьшается, а нижний – возрастает. Концентрация инертного газа (флегматизатора), при которой нижний и верхний пределы воспламенения смыкаются, называется минимальной флегматизирующей концентрацией  $\varphi_\phi$ . Содержание кислорода в такой системе называют минимальным

взрывоопасным содержанием кислорода  $\varphi_{O_2}$  (МВСК). Некоторое содержание кислорода ниже МВСК называют безопасным  $\varphi_{O_2БЕЗ}$ . Расчет указанных параметров проводят по формулам:

$$\varphi_{\Phi} = \frac{h_f' \Delta H_f^o + h_{\Phi}' + \sum h_i' m_i}{h_{\Phi}'' - 1 + \sum h_i'' m_i}; \quad (31)$$

$$\varphi_{O_2} = \frac{100 - \varphi_{\Phi}}{4,844}; \quad (32)$$

$$\varphi_{O_2БЕЗ} = 1,2\varphi_{O_2} - 4,2, \quad (33)$$

где  $\Delta H_f^o$  - стандартная теплота образования горючего, Дж/моль,  
 $h_f', h_{\Phi}', h_{\Phi}''$  - константы, зависящие от элемента в молекуле горючего и вида флегматизатора,  
 $m_i$  - количество  $i$ -го элемента (структурной группы) в молекуле горючего.

#### 4.6 Расчет температурных пределов воспламенения

Температурные пределы воспламенения жидкостей рассчитывают по температуре кипения:

$$t_{H(B)} = K t_{КИП} - l, \quad (34)$$

где  $t_{H(B)}$  - нижний (верхний) температурный предел воспламенения,  
 $t_{КИП}$  - температура кипения, °С,  
 $K, l$  - константы для определения групп (гомологических рядов) жидкостей.

Температурные пределы воспламенения могут быть определены по известным значениям концентрационных пределов:

$$P_{H(B)} = \frac{\varphi_{H(B)} \cdot P_O}{100}, \quad (35)$$

где  $P_{H(B)}$  - давление насыщенного пара, соответствующее нижнему (верхнему) концентрационному пределу воспламенения,  
 $\varphi_{H(B)}$  - нижний (верхний) концентрационный предел воспламенения,  
 $P_O$  - атмосферное давление.

#### 4.7 Расчет температур вспышки и воспламенения

Наиболее распространенным и достаточно точным является расчет температур вспышки и воспламенения по формуле (Блинова В.И.):

$$T_{BC(ВП)} = \frac{A}{P_{ВП} \cdot D_o \cdot n}, \quad (36)$$

где  $T_{BC(ВП)}$  - температура вспышки (воспламенения)  
 $P_{ВП}$  - давление насыщенного пара при температуре вспышки (воспламенения),  
 $D_o$  - коэффициент диффузии паров горючего в воздухе,

$n$  – стехиометрический коэффициент при кислороде – количество молей кислорода, необходимое для полного окисления (до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ) одного моля горючего вещества,

$A$  - константа метода определения выбирается из табл.6

Таблица 6

Температура вспышки или воспламенения	Значение параметра $A$ , $\text{м}^2\text{К ГПа с}^{-1}\cdot 10^2$
Температура вспышки в закрытом тигле	28,0
Температура вспышки в открытом тигле	45,3
Температура воспламенения	53,3

При отсутствии данных по коэффициенту диффузии, последний определяют по формуле Эля:

$$D_o = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{\sum \Delta M_i m_i}}, \quad (37)$$

$D_o$  – коэффициент диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,

$\Delta M_i$  - атомные (элементные) составляющие.

Значение  $\Delta M_i$  зависит от числа атомов углерода и их положения в молекуле горючего:

- 1)  $\Delta M = 25$  – для атомов углерода, входящих в ароматический цикл,
- 2)  $\Delta M = 25 + 3 C$  – для атомов углерода в открытой цепи, если их количество меньше или равно восьми ( $C \leq 8$ ),
- 3)  $\Delta M = 50$  – для атомов углерода в открытой цепи при  $C > 8$ ,
- 4)  $\Delta M = 25 + 2 C$  – для атомов углерода, входящих в неароматический цикл при  $C \leq 8$ ,
- 5)  $\Delta M = 42$  – для атомов углерода, входящих в неароматический цикл, если  $C > 8$ .

Простым, но менее точным является расчет температуры вспышки в закрытом тигле по формуле:

$$t_{BC} = t_{КИП} - 18\sqrt{K}, \quad (38)$$

где  $t_{BC}$  – температура вспышки,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$t_{КИП}$  – температура кипения,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$K$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$K = 4m_C + m_H + 4m_S + m_N - 2m_O - 2m_{Cl} - 3m_F - 5m_{Br}, \quad (39)$$

где  $m_C$ ,  $m_H$ ,  $m_S$ ,  $m_N$ ,  $m_O$ ,  $m_{Cl}$ ,  $m_F$ ,  $m_{Br}$  – количество элементов углерода, водорода, серы, азота, кислорода, хлора, брома в молекуле горючего вещества.

Температура вспышки в закрытом тигле может быть определена по нижнему температурному пределу воспламенения:

$$t_{BC} = \frac{t_H + 2}{0,875}. \quad (40)$$

Эта формула применима, если  $0 \leq t_{BC} < 160^{\circ}\text{C}$ .

## 4.8 Расчет стандартной температуры самовоспламенения

Расчет температуры самовоспламенения проводят в следующей последовательности.

Определяют количество углеродных цепей:

$$m = \frac{M_p(M_p - 1)}{2}, \quad (41)$$

где  $m$  – общее число молей,

$M_p$  – количество функциональных групп в молекуле горючего вещества –  $\text{CH}_3$ ,  $-\text{OH}$ , фенил. Фенильная группа может быть как концевой, так и в середине цепи.

Определяют длину каждой цепи (количество атомов углерода) и среднюю длину цепи:

$$l_{CP} = \frac{\sum m_i c_i}{m}, \quad (42)$$

где  $c_i$  – количество атомов углерода в  $i$ -й цепи.

При определении  $c_i$  надо иметь в виду, что группа  $\text{OH}$  удлиняет цепь, а фенильная группа уменьшает ее на один атом углерода.

По справочным таблицам по средней длине цепи определяют температуру самовоспламенения. Температуру самовоспламенения можно рассчитать по формулам:

$$t_c = 300 + 116\sqrt{5 - l_{CP}} \text{ при } l_{CP} \leq 5, \quad (43)$$

$$t_c = 300 - 38\sqrt{l_{CP} - 5} \text{ при } l_{CP} > 5. \quad (44)$$

## 4.6 Расчет потенциала горючести

Потенциал горючести представляет собой избыточную (со знаком минус) или недостаточную (со знаком плюс) энергию, заключенную в горючей системе, по сравнению с энергией, необходимой для протекания горения смеси в данных условиях.

Потенциал горючести, отнесенный к некоторым условиям горения, называют приведенным потенциалом горючести. Из определения следует, если:

$\Delta P_G < 0$  – смесь горючая,

$\Delta P_G > 0$  – смесь негорючая,

$\Delta P_G = 0$  – смесь предельна по горючести.

Для многокомпонентных смесей:

$$\Delta P_{G,CM} = \sum_{i=1}^n \mu_i \Delta P_{G,i}, \quad (45)$$

где  $\Delta P_{G,CM}$  – потенциал горючести смеси газов и паров, кДж/моль,

$\Delta P_{G,i}$  – потенциал горючести  $i$ -го компонента смеси, кДж/моль,

$\mu_i$  – мольная доля  $i$ -го компонента смеси.

## 5 Задания на контрольную работу

### 5.1 Вопросы для теоретической части контрольной работы

1. Диффузионное и кинетическое горение. Диффузионное пламя.
2. Расход воздуха на горение. Продукты сгорания. Дым.
3. Теплота сгорания. Температура горения.
4. Оценка пожарной опасности веществ и материалов.
5. Кинетика химических реакций.
6. Превращение горючих веществ при нагревании.
7. Теория окисления горючих веществ.
8. Теория самовоспламенения.
9. Температура самовоспламенения.
10. Температура самовоспламенения.
11. Тепловое самовозгорание. Микробиологическое самовозгорание.
12. Химическое самовозгорание.
13. Теория горения газовых смесей.
14. Концентрационные пределы воспламенения.
15. Методы определения концентрационных пределов воспламенения.
16. Испарение жидкостей. Насыщенный пар.
17. Температурные пределы воспламенения. Температура вспышки.
18. Процесс горения жидкостей. Скорость выгорания.
19. Прогрев жидкостей при горении. Скорость выгорания.
20. Свойства, определяющие взрывоопасность пылей.
21. Теория горения аэрозвесей. Пределы воспламенения аэрозвесей.
22. Состав и свойства твердых горючих веществ.
23. Горение древесины.
24. Горение металлов.
25. Теория химического строения А.М.Бутлерова. Изомерия. Классификация органических веществ.
26. Свойства и пожарная опасность предельных и непредельных углеводородов.
27. Свойства и пожарная опасность ароматических углеводородов.
28. Свойства и пожарная опасность нефти и нефтепродуктов.
29. Свойства и пожарная опасность спиртов и простых эфиров.
30. Свойства и пожарная опасность альдегидов и кетонов.
31. Свойства и пожарная опасность карбоновых кислот, сложных эфиров карбоновых кислот.
32. Свойства и пожарная опасность нитросоединений, сложных эфиров азотной кислоты.
33. Свойства и пожарная опасность аминсоединений.
34. Свойства и пожарная опасность кремнийорганических соединений.
35. Свойства и пожарная опасность металлоорганических соединений.
36. Свойства и пожарная опасность фосфорорганических соединений.
37. Синтетические полимеры, способы их получения.

38. Свойства и пожарная опасность пластических масс и синтетических волокон.

39. Свойства и пожарная опасность натурального и синтетического каучуков.

40. Свойства и пожарная опасность пестицидов и удобрений.

## 5.2 Задачи для контрольной работы

Задача 1. Определить теоретическое количество воздуха, необходимого для горения  $1\text{ м}^3$  газа при нормальных условиях.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Газ	метан	этан	пропан	бутан	пентан	метан	этан	пропан	бутан	пентан

Задача 2. Определить объем теоретического количества воздуха, необходимого для горения 1 кг вещества.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	бензол	Метиловый спирт	Анилин	Нитробензол	Этилен	Сера	Муравьиная Кислота	Диметиловый эфир	Алюминий	Глицерин

Задача 3. Определить объем воздуха, необходимого для горения 1 кг органической массы состава: С, Н, О, N, W (влажность), если коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ , температура воздуха T, давление P.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Показатель										
С, %	60	65	70	75	50	55	45	65	85	60
Н, %	5	7	6	3	4	1	2	3	4	5
О, %	25	15	10	12	30	27	30	25	5	20
N, %	5	7	5	5	8	10	13	3	3	5
W, %	5	6	9	5	8	7	10	4	3	5
$\alpha$ ,	2,5	1,8	1,9	2,1	2,3	2,4	2,0	2,1	2,5	5
T, К	305	310	320	325	300	305	310	305	315	310
P, ГПа	995	990	999	995	998	995	990	995	999	995

Задача 4. Какое количество продуктов горения выделится при сгорании вещества объемом  $V$ ,  $\text{м}^3$ , если температура горения  $T$ , К.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Показатель										
Вещество	Ацетилен	Этилен	Пропилен	Бутилен	Ацетилен	Этилен	Пропилен	Бутилен	Этилен	Пропилен
$V, \text{ м}^3$	1	2	1	2	2	1	2	1	3	3
$T, \text{ К}$	1450	1550	1250	1350	1550	1400	1300	1200	1500	1400

Задача 5. Определить объем продуктов горения при сгорании вещества, массой  $m$ , кг, если температура горения  $T$ , К, давление  $P$ , ГПа, коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ .

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Показатель										
Вещество	Фенол	Диэтиловый эфир	Уксусная кислота	Анилин	Нитробензол	Глицерин	Нитротолуол	Динитробензол	Муравьиная кислота	Серовуглерод
$m, \text{ кг}$	1	1	5	1	2	1	2	1	1	20
$T, \text{ К}$	1200	1500	1200	1550	1800	1600	1340	1400	2600	1270
$P, \text{ ГПа}$	950	1014	1200	1550	1800	1600	1340	1650	2600	970
$\alpha$	1,5	1,4	2,6	1,7	1,8	2,1	2,6	1,1	2,5	1,6

Задача 6. Определить объем продуктов горения при сгорании органической смеси состава:  $C, O, H, S, N, W, \%$ , массой  $m$ , кг, если температура горения  $T$ , К, коэффициент избытка воздуха -  $\alpha$ .

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Показатель										
$C, \%$	55	80	60	70	80	65	60	75	57	69
$O, \%$	13	5	7	14	8	10	6	11	17	14
$H, \%$	5	5	21	6	6	15	12	9	15	5
$S, \%$	7	3	2	3	2	2	5	1	3	2
$N, \%$	3	2	5	3	1	3	8	2	4	3
$W, \%$	17	5	5	4	3	5	9	2	4	7
$T, \text{ К}$	1800	1270	1035	1013	1600	1550	1350	1500	1320	1018
$\alpha$	1,6	2,1	1,7	1,8	1,9	2,6	2,5	1,4	1,5	2,0

Задача 7. Определить низшую теплоту сгорания вещества, если теплота образования его -  $Q_o$ , кДж/моль.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	этан	пропан	ацетон	пентан	гексан	уксусная кислота	ацетон	глицерин	спирт этиловый	бутан (газ)
$Q_o$ , кДж/моль	88,4	125,3	248,1	184,4	211,2	485,6	248,1	675,4	278,2	132,4

Задача 8. Рассчитать низшую теплоту сгорания органической массы состава:  $C, H, O, S, \%$ .

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$C, \%$	62	63	60	64	59	61	67	65	68	65
$H, \%$	8	7	10	6	11	9	7	5	2	5
$O, \%$	28	27	25	26	22	23	21	24	23	25
$S, \%$	2	3	5	4	8	7	5	6	7	5

Задача 9. Определить интенсивность тепловыделения на пожаре органической массы, если скорость выгорания  $m$ , кг/( $m^2 \cdot c$ ), а площадь пожара  $F$ ,  $m^2$ .

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$C, \%$	62	63	60	64	59	61	67	65	68	65
$H, \%$	8	7	10	6	11	9	7	5	2	5
$O, \%$	28	27	25	26	22	23	21	24	23	25
$S, \%$	2	3	5	4	8	7	5	6	7	5
$m$ , кг/( $m^2 \cdot c$ )	0,015	0,016	0,013	0,018	0,012	0,014	0,015	0,013	0,016	0,014
$F, m^2$	150	130	120	150	200	250	180	190	140	190

Задача 10. По предельной теплоте сгорания определить нижний концентрационный предел воспламенения горючего вещества в воздухе.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	этан	уксусный альдегид	фенол	гептан	гексан	анилин	бутен	пропан	аммиак	бутан
Низшая теплота сгорания, кДж/моль	1562,0	1173,2	3067,1	4814,3	4150,6	3484,0	2723,9	2223,2	384,2	2882,3

Задача 11. Каково минимальное количество горючего вещества, кг, способное при испарении в емкости объемом  $350 \text{ м}^3$  создать взрывоопасную концентрацию.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	диэтиловый эфир	ацетон	укусный альдегид	толуол	этиловый спирт	метиловый спирт	этиленгликоль	бензол	кислота укусная	спирт изоамиловый
НКПВ, %	1,7	2,2	4,0	1,3	3,6	6,0	3,8	1,4	3,3	1,07

Задача 12. Определить, возможно ли образование взрывоопасной концентрации в объеме  $V, \text{ м}^3$  при испарении  $m$  кг вещества, если температура окружающей среды  $T, \text{ К}$ .

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	аммиак	бутан	водород	ацетилен	метан	этан	пропан	этилен	бутилен	серо-водород
$V, \text{ м}^3$	50	60	45	30	65	55	40	50	60	20
$m, \text{ кг}$	3	4	2	5	6	3	7	5	4	3
$T, \text{ К}$	300	310	305	290	320	315	330	305	320	310
НКПВ, %	15	1,9	4,0	2,0	5,0	2,9	2,1	3,0	1,6	4,3
ВКПВ, %	28,0	9,1	75,0	81,0	15,0	15,0	95,0	32,0	9,4	46,0

Задача 13. Определить температурный предел воспламенения (ТПВ) вещества, если его температура кипения  $T, \text{ }^\circ\text{С}$ .

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	метиловый спирт	октан	2-метилбутанол	декан	2,2,3-триметилгексанол-3	2-метилпропанол-2	2,2-диметилпентанол-1	октан	2,3-диметилпентан	3-метилпентанол
$K$ при НКПВ	0,5746	0,6957	0,5746	0,6885	0,5746	0,5746	0,5746	0,6957	0,6885	0,5746
$K$ при ВКПВ	0,6928	0,7874	0,6928	0,7900	0,6928	0,6928	0,6928	0,7874	0,7900	0,6928
$l$ при НКПВ	33,7	73,8	33,7	74,9	33,7	33,7	33,7	73,8	74,9	33,7
$l$ при	16,0	50,3	16,0	52,2	16,0	16,0	16,0	50,3	52,2	16,0

ВКПВ										
$T, ^\circ\text{C}$	65	200	127	174	170	167	114	200	90	123

Задача 14. Определить температурные пределы воспламенения вещества, если известны его концентрационные пределы в воздухе *НКПВ* и *ВКПК* при нормальном атмосферном давлении.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	ацетон	альдегид уксусный	бензол	спирт метиловый	эфир диэтиловый	толуол	стирол	спирт этиловый	эфир уксусно-изоамиловый	спирт этиловый
<i>НКПВ</i>	2,2	4,0	1,4	6,0	1,7	1,3	1,08	3,6	0,2	3,6
<i>ВКПК</i>	13,0	55,0	7,1	34,7	49	6,7	5,2	19,0	4,35	19,0

Вещество	Давление насыщенных паров некоторых веществ, ГПа									
	1,3	13,3	26,7	53,3	80,0	133,3	266,6	533,3	1013,25	
	Температура, К									
Ацетон	213,6	241,9	252,2	263,6	271,0	280,7	295,7	312,5	329,5	
Альдегид уксусный	191,5	216,2	225,2	235,2	241,6	250,4	263,0	277,9	293,3	
Бензол	236,3	261,5	270,4	280,6	288,4	299,1	315,2	333,6	353,1	
Спирт бензиловый	331,0	365,6	378,8	392,8	402,3	414,7	433,0	456,0	477,7	
Спирт метиловый	229,0	256,8	267,0	278,0	285,1	294,2	307,8	322,9	337,7	
Спирт этиловый	241,7	270,7	281,0	292,0	299,0	307,9	321,4	336,5	351,4	
Толуол	246,3	279,4	291,4	304,8	313,3	324,9	342,5	362,5	383,6	
Эфир диэтиловый	198,7	224,9	234,5	245,2	251,2	261,5	275,2	290,9	307,6	
Стирол	266,0	303,8	317,6	332,8	342,5	355,0	374,3	395,5	418,2	

Задача 15. Определить температуру воспламенения вещества по формуле Блинова В.И.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	Бутиловый спирт	Ацетон	Окись этилена	Сероуглерод	Толуол	Этилбензол	Октан	Бромистый бензол	Уксусноэтиловый эфир	Пропиловый спирт

Задача 16. Рассчитать температуру вспышки вещества в закрытом тигле.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	метиловый спирт	уксусный альдегид	2-метилбутан	уксуснопропиловый эфир	изобутиловый спирт	ацетон	амиловый спирт	бензол	толуол	стирол

Задача 17. Рассчитать температуру вспышки вещества в открытом тигле.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	пропилбензол	этилбензол	амиловый спирт	бутилбензол	этиловый спирт	метиловый спирт	ацетон	толуол	стирол	уксуснометиловый эфир

Задача 18. Рассчитать температуру самовоспламенения вещества. Сравнить значение со справочными данными  $T_c$ ,  $K$  и определить относительную ошибку расчета.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	2,2-диметилгексан	изопропиловый спирт	1-метил-4-этилбензол	анилин	стирол	спирт изобутиловый	спирт этиловый	кислота уксусная	эфир диэтиловый	толуол
Табл. $T_c, K$	643	693	712	835	803	828	677	727	437	809

Задача 19. Определить, является ли горючей смесь содержащая  $A$  % окиси углерода,  $B$  % метана,  $C$  % двуокиси углерода,  $D$  % паров 1, 2-дибромтетрафторэтан (фреон 114В2). Потенциал горючести окиси углерода (-159,2), метана (-239,7), двуокиси углерода 70,0, 1,2-дибромтетрафторэтан 951,1 кДж/моль.

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$A$ %	30	35	40	25	25	25	20	35	20	30
$B$ %	40	35	30	35	35	35	40	25	20	30
$C$ %	25	20	10	5	10	20	20	35	35	10
$D$ %	5	10	20	35	30	10	20	5	25	30

Задача 20. Определить предельную по горючести смесь, состоящую из веществ, имеющих приведенный потенциал горючести  $\Delta P_G$ .

Вариант	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вещество	этилен	метил-этил-кетон	ацетон	бутан	пропан	бензол	н-пентан	этиловый спирт	этилен	изобутан
$\Delta P_G$	-641,1	-733,3	-472,0	-683,0	-586,6	-838,0	-879,9	-385,5	-641,1	-670,4
Вещество	дифтор-хлор-бром-метан	трифтор-бром-метан	тетрафтор-метан	этан	дихлор-метан	бром-этан	гелий	хлор-бром-метан	этил-мер-каптан	этан
$\Delta P_G$	527,9	628,5	104,8	511,2	57,4	33,4	37,7	477,7	536,3	511,2

## 6 Оформление контрольной работы

Вариант контрольного задания выбирается по последним двум цифрам шифра зачётной книжки: по последней цифре - номера теоретических вопросов и задач, по предпоследней цифре - вариант в задаче.

**Пример** Предпоследние цифры шифра 62 - номера вопросов 2, 12, 22, 32, задачи 2, 12, внутри задачи – вариант 6.

Вариант	Номера контрольных вопросов	Номера задач
1	1, 11, 21, 31	1, 11
2	2, 12, 22, 32	2, 12
3	3, 13, 23, 33	3, 13
4	4, 14, 24, 34	4, 14
5	5, 15, 25, 35	5, 15
6	6, 16, 26, 36	6, 16
7	7, 17, 27, 37	7, 17
8	8, 18, 28, 38	8, 18
9	9, 19, 29, 39	9, 19
0	10, 20, 30, 40	10, 20

6.1 Требования к оформлению контрольной работы: контрольная работа выполняется рукописно в тетради. На обложке тетради или на титульном листе формата А4 по ГОСТ 2.301-68 следует указать фамилию, имя, отчество студента, шифр зачетной книжки и номер специальности, дату отправки. Текст следует размещать, соблюдая размеры поля:

- правое – 15,
- левое – 30,
- верхнее – 15,
- нижнее – 25 мм.

При оформлении текста, заголовков, иллюстраций, таблиц и др. следует руководствоваться с требованиями ГОСТ Р 1.5-2012, ГОСТ 2.105-95, используя стандартную терминологию, а при ее отсутствии принятую в технической литературе.

Листы контрольной работы нумеруют арабскими цифрами. Номер листа проставляют на нижнем поле листа справа. На титульном листе номер листа не проставляют.

Оформление иллюстраций в форме графиков и диаграмм выполняют по требованиям Р 50-77-88.

6.2. Требования к структуре и содержанию разделов контрольной работы:

- *Содержание* – располагают после титульного листа и записывают строчными буквами с первой прописной, в которое включают наименования всех разделов;

- *Нормативные ссылки* – приводятся ссылки на использованные при выполнении контрольной работы ГОСТ, СНиП и др.;

- *Введение* – кратко излагают цель контрольной работы;

- *Основная часть* – излагаются вопросы по варианту и приводятся решения задач с подробными пояснениями. Все вычисления необходимо делать полностью, оставляя место для замечаний преподавателя.

- *Список использованной литературы* – приводятся сведения об использованных источниках, упомянутых в тексте контрольной работы в порядке упоминания по ГОСТ 7.1-2003.

### **Пример**

**Пожарная безопасность:** Учебное пособие / А.Н.Баратов, В.А.Пчелинцев – М.: изд-во АСВ, 1997.- 176 с. с илл.- 10000 экз.- ISBN 87829-045-6.

## **7 Темы практических занятий**

1. Расчет количества воздуха, необходимого для горения веществ.

Литература: [1, с.18-23].

2. Расчет объема и состава продуктов горения.

Литература: [1, с.23-29].

3. Расчет теплоты сгорания веществ.

Литература: [1, с.29-33].

4. Расчет температуры горения.

Литература: [1, с.33-38].

5. Расчет концентрационных пределов воспламенения.

Литература: [1, с.94-104, 141-148].

6. Расчет температурных пределов воспламенения.  
Литература: [1, с.114-119].

7. Расчет температуры вспышки и воспламенения.  
Литература: [1, с.114-119].

8. Расчет стандартной температуры самовоспламенения.  
Литература: [1, с.56-65].

9. Расчет потенциала горючести.  
Литература: [1, с.33-38].

## **8 Вопросы для подготовки к экзамену**

1. Диффузионное и кинетическое горение.
2. Диффузионное пламя.
3. Расход воздуха на горение.
4. Продукты сгорания. Дым.
5. Теплота сгорания.
6. Температура горения.
7. Оценка пожарной опасности веществ и материалов.
8. Кинетика химических реакций.
9. Превращение горючих веществ при нагревании.
10. Теория окисления горючих веществ.
11. Теория самовоспламенения.
12. Температура самовоспламенения.
13. Температура самовоспламенения.
14. Тепловое самовозгорание.
15. Микробиологическое самовозгорание.
16. Химическое самовозгорание.
17. Теория горения газовых смесей.
18. Концентрационные пределы воспламенения.
19. Методы определения концентрационных пределов воспламенения.
20. Испарение жидкостей.
21. Насыщенный пар.
22. Температурные пределы воспламенения.
23. Температура вспышки.
24. Процесс горения жидкостей.
25. Скорость выгорания.
26. Прогрев жидкостей при горении.
27. Скорость выгорания.
28. Свойства, определяющие взрывоопасность пылей.
29. Теория горения аэрозвесей.
30. Пределы воспламенения аэрозвесей.

31. Состав и свойства твердых горючих веществ.
32. Горение древесины.
33. Горение металлов.
34. Теория химического строения А.М.Бутлерова.
35. Изомерия. Классификация органических веществ.
36. Свойства и пожарная опасность предельных углеводородов.
37. Свойства и пожарная опасность непредельных углеводородов.
38. Свойства и пожарная опасность ароматических углеводородов.
39. Свойства и пожарная опасность нефти и нефтепродуктов.
40. Свойства и пожарная опасность спиртов и простых эфиров.
41. Свойства и пожарная опасность альдегидов и кетонов.
42. Свойства и пожарная опасность карбоновых кислот.
43. Свойства и пожарная опасность сложных эфиров карбоновых кислот.
44. Свойства и пожарная опасность нитросоединений.
45. Свойства и пожарная опасность сложных эфиров азотной кислоты.
46. Свойства и пожарная опасность аминосоединений.
47. кремнийорганических соединений.
48. Свойства и пожарная опасность металлоорганических соединений.
49. Свойства и пожарная опасность фосфорорганических соединений.
50. Свойства и пожарная опасность синтетических полимеров и способы их получения.
51. Свойства и пожарная опасность пластических масс.
52. Свойства и пожарная опасность синтетических волокон.
53. Свойства и пожарная опасность натурального и синтетического каучуков.
54. Свойства и пожарная опасность пестицидов и удобрений.

## **9 Список рекомендуемой литературы**

1. Кукин П.П. Теория горения и взрыва : учеб. пособие для вузов по напр. 280100 "Безопасность жизнедеятельности" спец. 280101.65 "Безопасность жизнедеятельности в техносфере" / П. П. Кукин, В. В. Юшин, С. Г. Емельянов : Юго-запад. ун-т; МАТИ-РГТУ. - М.: Юрайт, 2014 (401313). - 435 с.
2. Девисилов В. А. Теория горения и взрыва [Электронный ресурс]: учебник / В. А. Девисилов, Т. И. Дроздова, А. И. Скушникова. - М. : НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 262 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=489911>.
3. Девисилов В. А. Теория горения и взрыва. Практикум [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Девисилов, Т. И. Дроздова, С. С. Тимофеева. - М. : ФОРУМ [и др.], 2015. - 384 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=489498>
4. Демидов П. Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. - 2-е изд., переб.- М.: Химия, 1981.- 272 с.

5. Розловский А.И. Взрывобезопасность паро-газовых систем в технологических процессах [Текст]. – М.: Химия.- 1973.- 130 с.
6. Пожарная безопасность: Учебное пособие. / А.Н.Баратов, В.А. Пчелинчев – М.: изд-во АВС.- 1997.- 176 с.
7. Анохин А.Г. Пожарная опасность пластмасс в строительстве.- М.: изд-во лит. по строительству, 1969.-108 с.
8. Блинов В.И. Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей.- М.: изд-во АН СССР.- 1961.- 208 с.
9. Доглов О.Н., Воронков М.Г., Гинблат М.П. Кремнийорганические жидкие каучуки и материалы на их основе.- М.: Химия.- 1974.-111 с.
10. Безопасность жизнедеятельности в металлургии. Учебник для вузов / Л.С.Стрижко, Е.П.Потоцкий, И.В.Бабацев и др.- М.: Металлургия. - 1996. - 416 с.
11. Розловский А.И. основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами.- М.: Химия.- 1980.- 376 с.
12. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли.- М.: Химия.- 1996.- 216 с.
13. Злобинский Б.М., Иоффе В.Г., Злобинский В.Б. Воспламеняемость и токсичность металлов и сплавов.- 1972.- 264 с.
14. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение.- М.: Химия.- 1991.- 432 с.
15. Справочник. Пожарная опасность веществ и материалов. Под общ. ред. Рябова И.В.- М.: Стройиздат.- 1970.- 3376 с.
16. Тагер А.А. Физикохимия полимеров.- М.: Химия.- 1978.- 543с.
17. Хитрин А.Н. Физика горения и взрыва.- М.: изд. МГУ.- 1957.- 422 с.

# ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

Методические указания

Составитель: Хрисониди В.А.

Редактор

В.А. Хрисониди

Компьютерная верстка

В.А. Хрисониди

---

Подписано в печать

2017 г.

Формат 60×84/16

Бумага офсетная

Офсетная печать

Печ. л.

Изд. № \_\_\_\_\_

Усл. печ. л.

Тираж \_\_\_\_\_ экз.

Уч.- изд. л.

Заказ № \_\_\_\_\_

Цена

руб.

---

Филиал ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в пос. Яблоновском  
385140, пос. Яблоновский, ул. Связи, 11, корп. 2