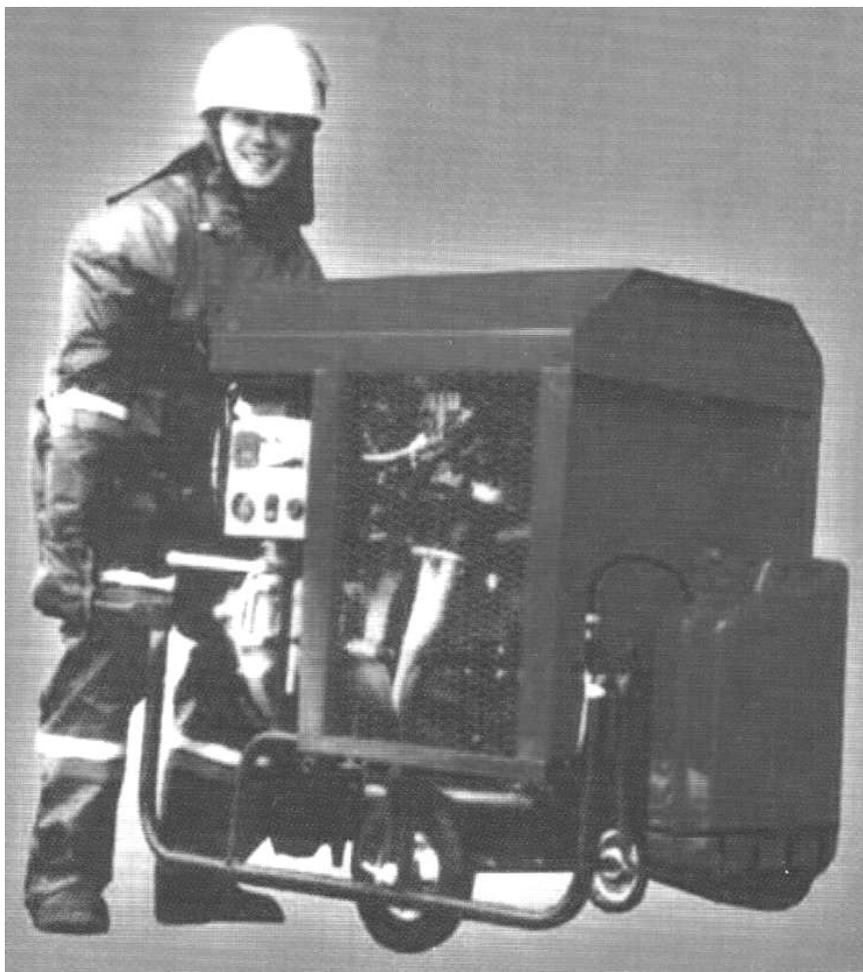


**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**КАФЕДРА «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ»**

**ХРИСТОФОРОВ Е.Н.**  
**САКОВИЧ Н.Е.**

## **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**



Передвижная мотопомпа

**Учебное пособие**

**Брянская область**  
**2015**

**УДК 504.614.8.084**

**ББК 208я73**

**X 93**

**Христофоров Е.Н. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.** Учебное пособие. Методические указания для выполнения лабораторных работ и практических занятий/*Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович* – Брянск: Изд-во ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ», 2015. – 178 с.

Учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной формы обучения направления 280700 (29.93.01) Техносферная безопасность, изучающих дисциплину «Пожарная безопасность», «Теория горения и взрыва»».

Учебное пособие является дополнением к лекционным курсам по данным дисциплинам.

Рецензенты:

д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ» Л.М. Маркарянц

начальник штаба по ГОЧС ФГБОУ ВО Брянского ГИТУ П.И. Хома

Учебное пособие одобрено методической комиссией инженерно-технологического факультета. Протокол №7 от 16 апреля 2015 г.

© Христофоров Е.Н., 2015

© Сакович Н.Е., 2015

© Брянский ГАУ, 2015

## **Содержание**

Общие положения. Пожарная безопасность.....5

### **Раздел I Методические указания для выполнения лабораторных работ**

1. Лабораторная работа №1 Тестирование нефти и нефтепродуктов.....	9
1.1 Аппаратура, реактивы и материалы .....	10
1.2 Подготовка к испытанию нефтепродуктов.....	11
1.3 Аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ – ПХП.....	15
1.4 Руководство по эксплуатации аппарата ТВЗ – ПХП.....	19
1.5 Правила хранения и транспортировки аппарата ТВЗ – ПХП.....	22
1.6 Комплектация и техническая документация аппарата ТВЗ – ПХП.....	22
2 Лабораторная работа №2 Основные средства пожаротушения.....	25
2.1 Общие требования безопасности.....	27
2.2 Конструкция мотопомпы GP – 51.....	29
2.3 Правила безопасной эксплуатации мотопомпы GP – 51.....	39
2.4 Техническое обслуживание мотопомпы GP – 51.....	44
2.5 Хранение и транспортировка мотопомпы GP – 51.....	53

### **Раздел II Методические указания для выполнения практическое занятие**

1. Практическое занятие №1. Оценка обстановки при возникновении пожара.....	59
1.2 Расчет средств пожаротушения .....	62
1.3 Противопожарное водоснабжение.....	77
1.4 Определение категории взрывопожарной опасности производств.....	79
1.4 Расчет параметров эвакуации людей и животных.....	83
1.5 Задачи для самостоятельного решения.....	89
2. Практическое занятие №2. Взрывы. Расчеты очага поражения.....	91
2.1 Взрыв пылевоздушных смесей.....	92
2.2 Взрыв топливоздушных, газоздушных смесей.....	96
2.3 Взрыв емкостей (сосудов) под давлением.....	101

2.4 Оценка устойчивости оборудования к скоростному напору ударной волны.....	103
2.5 Задачи для самостоятельного решения.....	110
3. Практическое занятие № 3. Расчет количества воздуха, необходимого для горения веществ и материалов.....	111
3.1 Индивидуальное химическое соединение.....	111
3.1.1 Сложная смесь веществ.....	120
3.1.2 Задачи для самостоятельного решения.....	121
3.2 Расчет объема и состава продуктов горения.....	122
3.2.1 Индивидуальное химическое соединение.....	122
3.2.2 Сложная смесь химических соединений.....	124
3.2.3 Смесь газов.....	126
3.2.4. Задачи для самостоятельного решения.....	127
3.3 Концентрационные и температурные пределы воспламенения.....	129
3.3.1 Концентрационные пределы воспламенения.....	129
3.3.2. Температурные пределы воспламенения жидкостей.....	130
3.3.3. Задачи для самостоятельного решения.....	131
3.4.1. Теплота горения.....	132
3.4.2 Температура горения.....	134
3.4.3 Задачи для самостоятельного решения.....	136
4. Практическое занятие №4. Расчет избыточного давления при взрыве газопаровоздушных, пылевоздушных, газовоздушных смесей и конденсированных взрывчатых веществ.....	139
4.1 Взрывы газовоздушных смесей в открытом пространстве.....	139
4.2 Взрывы пылевоздушных смесей в производственных помещениях.....	141
4.3 Взрывы газопаровоздушных смесей в помещениях.....	142
4.4 Взрывы конденсированных взрывчатых веществ.....	144
4.5 Взрывы на магистральных газопроводах.....	145
4.6 Задачи для самостоятельного решения.....	148
Литература.....	153
Приложения.....	155

## **1. Общие положения. Пожарная безопасность**

Человек сильнее огня. Даже тогда, когда пожар возник, человек может его победить. Для этого необходимы определенные знания по пожарной профилактической работе, т. е. нужно знать различные предупредительные меры. Пожар легче предупредить, чем потушить.

Большой пожар всегда начинается с маленького загорания. Если его сразу обнаружить и иметь наготове средства тушения огня, то можно избежать беды.

*Пожар представляет собой сложный физико-химический процесс* горения, сопровождаемый выделением тепла и различных газообразных продуктов.

На пожарах выделяется много дыма, в состав которого входит углекислый газ. Этот газ, смешиваясь с воздухом, понижает концентрацию содержания в нем кислорода. При снижении концентрации кислорода в окружающем воздухе с 21 до 14% наступает так называемое кислородное голодание, а при 8 – 11 % человек может погибнуть.

Обычно в воздухе содержится не более 0,04 % углекислого газа. Если во время пожара концентрация его в воздухе возрастает до 4 – 5%, то увеличивается частота дыхания, возникают шум в ушах, головокружение, при 8 – 10% человек теряет сознание, а при 20 % наступает смерть.

Выделяющийся на пожаре дым сильно раздражает органы дыхания и слизистые оболочки глаз. Особенно большую опасность для организма человека представляет выделяющаяся при неполном сгорании окись углерода.

При горении может выделяться также синильная кислота, оказывающая отравляющее влияние на организм человека.

Наибольшую опасность на пожаре в жилых домах представляет паника, особенно при большом скоплении людей. Известны случаи, когда даже при возникновении незначительного загорания люди, преувеличивая опасность, с криками бросаются к выходам, вызывая общее смятение. Это приводит к давке, заторам в проходах, ушибам, а иногда даже и к гибели людей. Во время пожара,

выбегая из домов, люди оставляют открытыми двери, в результате пламя быстро распространяется через дверные проемы, охватывая новые помещения. Бывает, что люди пытаются выйти через помещения, охваченные огнем, не защитив себя от воздействия высоких температур. В таких случаях даже один вдох раскаленного воздуха приводит к параличу дыхательных путей и трагическому исходу.

Особенно опасны пожары в подвалах жилых домов, если выходы из них ведут на лестничную клетку. Именно здесь будет скапливаться дым, из-за возможности отравления которым люди верхних этажей не в состоянии будут спуститься вниз по лестнице. Дым на пожарах, пожалуй, не менее опасен, чем пламя.

Пожары причиняют людям большое несчастье. Для того чтобы избежать их, нужно строго соблюдать установленные для всех правила пожарной безопасности. Они требуют только одного: осторожного обращения с огнем.

*Как известно, для возникновения и развития пожара необходимы три фактора – так называемый пожарный треугольник:*

▶ **горючая среда** — среда, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания, т. е. горючие вещества, материалы в жидком, твердом и газообразном агрегатном состоянии, соединенные с окислителем — как правило, кислородом воздуха;

▶ **источник зажигания** — средство энергетического воздействия, инициирующее возникновение горения. Источник зажигания должен иметь температуру, достаточную для возникновения горения, и находиться непосредственно в горючей среде или на расстоянии, достаточном для ее воспламенения;

▶ **условия развития пожара** — условия, благоприятствующие распространению огня по горючим материалам, строительным конструкциям, оборудованию, инженерным системам, имуществу, мебели и т. п.

Только все три фактора, вместе взятые, приводят к возникновению и развитию пожара. Следовательно, предотвратить пожар можно путем исключения одного из них, одной из «вершин треугольника огня». Другими

словами, там, где есть горючие материалы, не должно быть источников зажигания или окислителя; там, где есть постоянный источник зажигания, не должно быть горючей среды. Этот принцип используется при тушении любых пожаров во всем мире.

Полную гарантию предотвращения пожара в квартире во время вашего отсутствия дает ее осмотр перед закрытием и уходом из дома с целью выявить возможные источники зажигания.

При осмотре следует убедиться, что все электрические розетки в квартире свободны от штепсельных вилок электроприборов (в том числе аудио- и видеотехники, компьютеров и т.д.), кроме холодильника. Затем удостовериться, что электронагревательные приборы стоят на несгораемых подставках (особенно те, которыми вы недавно пользовались), а их нагретые поверхности не соприкасаются с горючими материалами.

При осмотре кухни удостоверьтесь, выключена ли газовая или электрическая плита, перекрыта ли подача газа из газопровода, нет ли рядом с плитами горючих предметов.

Если в доме есть курящие, проверьте, погашены ли окурки и куда они выброшены; выбрасывать окурки в мусорное ведро допустимо только после того, как они будут смочены водой.

Закройте окна и форточки (известны случаи, когда выброшенные из окна вышерасположенного этажа окурки были занесены ветром в открытые форточки соседних квартир и вызвали пожар). По этой же причине не храните на незастекленных балконах (лоджиях) сгораемое имущество. Кроме того, захламленный балкон может сыграть роковую роль в случае возникновения пожара, лишив вас реального пути к спасению.

Поверьте, что со временем, по мере приобретения навыков пожаробезопасного поведения, осмотр помещения станет для вас обыденным делом, и не будет отнимать много времени. Результатом же этой привычки будут ваша безопасность и безопасность, ваших близких.

Изучение дисциплины формирует следующие компетенции:

- способностью принимать решения в пределах своих полномочий (ОК-9);
- способностью принимать участие в инженерных разработках среднего уровня сложности в составе коллектива (ПК-3);
- способностью пропагандировать цели и задачи обеспечения безопасности человека и природной среды в техносфере (ПК-11).

# **Раздел I МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

## **Лабораторная работа №1**

### **ТЕСТИРОВАНИЕ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Сущность тестирования нефти и нефтепродуктов заключается в определении самой низкой температуры горючего вещества, при которой в условиях испытания над его поверхностью образуется смесь паров и газов с воздухом, способная вспыхивать в воздухе от источника зажигания, по скорости их образования еще недостаточна для последующего горения. Для этого испытуемый продукт нагревают в закрытом тигле с постоянной скоростью при непрерывном перемешивании и испытывают на вспышку через определенные интервалы температур.

#### **Цель работы.**

Тестирование нефти и нефтепродуктов в соответствии с ГОСТ 6356 – 91, путем определения минимальной температуры воспламенения нефтепродуктов в закрытом герметичном тигле с использованием аппарата ТВЗ – ПХП.

#### **Порядок выполнения работы.**

1. Изучить методику проведения исследований, по определению температуры вспышки в закрытом тигле, с помощью аппарата ТВЗ – ПХП.
2. Изучить меры безопасности при работе с аппаратом ТВЗ – ПХП
3. Изучить конструкцию устройство и руководство по эксплуатации аппарата ТВЗ – ПХП
4. Выполнить исследования нефтепродуктов в закрытом тигле – минимальную температуру воспламенения.

#### **Применяемое оборудование и материалы.**

1. Аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ – ПХП.
2. Реактивы:

- нефтепродукты (бензин, керосин, нефть, дизельное топливо)
- химические материалы

### **1.1 Аппаратура, реактивы и материалы**

1. При определении температуры вспышки и закрытом тигле применяют: аппарат для определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле типа ТВЗ – ПХП (ТВЗ, ТВ – 1), а также автоматический прибор типа АТВЗ (АТВ – 1) обеспечивающие точность метода.

*Допускалось до 01.01.97 применять приборы типов ПВНЭ и ПВНО. При наличии разногласий в оценке качества нефтепродуктов применяют аппараты типа ТВЗ (ТВ – 1):*

2. Термометры типов ТИН 1 – 1, ТИН1 – 2, ТН1 – 1, ТН1 – 2, ТН – 6 по ГОСТ 400. Термометр ТН – 6 применяют при испытании продуктов с температурой вспышки ниже 12 °С;

3. Растворители: нефрасы С2 – 80/120, СЗ – 80/120 по НТД, С 50/170 по ГОСТ 8505 или бензин прямой перегонки, не содержащий присадок, или углеводороды галоидопроизвольные;

4. Секундомер:

5. Барометр или барометр-анероид по технической документации, утвержденной в установленном порядке;

6. Экран, окрашенный с внутренней стороны черной краской, каждая секция которого имеет ширину около 46 см и высоту 61 см;

7. Кальций мористый гранулированный или натрий хлористый по ГОСТ 4233, или натрий серноокислый безводный по ГОСТ 4166;

8 Бумага фильтровальная лабораторная по ГОСТ 12026;

9. Смесь охлаждающая или камера холодильная.

**Допускается применять импортную посуду, аппаратуру и реактивы соответственно класса точности и квалификации не ниже предусмотренных стандартом.**

*Примечание.* Индекс «3» указывает на назначение прибора или аппарата (для определения температуры вспышки » закрытом тигле).

## **1.2 Подготовка к испытанию нефтепродуктов**

### **1.2.1 Подготовка образца**

1. Испытуемый образец продукта перед испытанием перемешивают в течение 5 мин встряхиванием в склянке, заполненной не более чем на 2/3 ее вместимости.

Образцы продуктов, имеющих температуру вспышки ниже 50 °С, охлаждают до температуры, которая не менее чем на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки

2. Образцы очень вязких и твердых продуктов перед испытанием нагревают до достаточной текучести, но не выше температуры, которая на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки.

3. Образцы нефтепродуктов, содержащие воду в количестве более 0.05 %, обезвоживают обработкой их свежeproкаленным и охлажденными хлористым натрием, хлористым кальцием или серноокислым натрием, или фильтрованием через фильтровальную бумагу, после этого на испытание берут верхний слой.

*При необходимости* (в случае содержания в образце воды) допускается непродолжительный нагрев образца, но не выше температуры, которая на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки.

4. Если предполагается, что образец нефтепродукта содержит летучие примеси, то обработки, описанные в пп. 2 и 3, исключают и на испытание берут верхний слой.

### **1.2.2 Подготовка прибора**

1. Прибор устанавливают на ровном устойчивом столе в таком месте, где нет заметного движения воздуха и свет настолько затемнен, что вспышка хорошо видна. Для защиты от движения воздуха прибор с трех сторон окружают экраном. *Допускается при применении нескольких приборов соответственно увеличить ширину экрана.*

2. Тигель и крышку прибора промывают растворителем, высушивают, удаляя все следы растворителя, и охлаждают до температуры не менее чем на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки.

3. При испытании продуктов с температурой вспышки до 50 °С нагревательную ванну охлаждают до температуры окружающей среды. ***Тигель должен иметь температуру образца, подготовленного по п. 1.***

4. Испытуемый продукт наливают в тигель до метки, не допуская смачивания стенок тигля выше указанной метки.

5. Тигель закрывают крышкой, устанавливают в нагревательную ванну, вставляют термометр и зажигают зажигательную лампочку, регулируя пламя так, чтобы форма его была близкой к шару диаметром от 3 до 4 мм.

6. При испытании токсичного продукта или продукта, который выделяет токсичные вещества при разложении и горении, испытание проводят при соблюдении правил по технике безопасности, принятых для работ с токсичными веществами. В этом случае прибор устанавливают в вытяжном шкафу или применяют соответствующий противогаз и дегазационные средства.

### **1.2.3 Проведение испытаний**

1. Нагревательную ванну включают и нагревают испытуемый продукт в тигле.

2. Перемешивание ведут, обеспечивая частоту вращения мешалки от 1.5 до 2,0 с<sup>-1</sup>, а нагрев продукта со скоростью от 5 °С до 6 °С в 1 мин.

3. Измеряют барометрическое давление.

4. Испытания на вспышку проводят при достижении температуры на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки

Испытание на вспышку проводят при повышении температуры на каждый 1 °С для продуктов с температурой вспышки до 104 °С и на каждые 2 °С для продуктов с температурой вспышки выше 104 °С.

В момент испытания на вспышку перемешивание прекращают, приводят в действие расположенный на крышке механизм, который открывает заслонку

и опускает пламя. При этом пламя опускают в паровое пространство за 0.5 с, оставляют в самом нижнем положении 1 с и поднимают в верхнее положение.

5. За температуру вспышки каждого определения принимают показания термометра в момент четкого появления первого (синего) пламени над поверхностью продукта внутри прибора. Не следует принимать за температуру вспышки окрашенный (голубоватый) ореол, который иногда окружает пламя перед тем, как оно вызывает фактическую вспышку.

При появлении неясной вспышки ока должна быть подтверждена последующей вспышкой при повышении температуры на 1 °С или 2 °С. Если при этом вспышки не произойдет, испытание повторяют вновь.

6. При применении газовой зажигательной лампочки последняя в процессе испытания должна находиться в зажженном состоянии для исключения возможности проникновения газа в тигель.

Если в процессе какого-либо испытания на вспышку зажигательная лампочка погаснет в момент открытия отверстий крышки, то результат этого определения не учитывают.

7. Если испытанию подвергают продукт с неизвестной температурой вспышки, то проводят предварительно определение по пп 1 – 5. Этот результат не учитывают, если расхождения между этим определением и последующим превышают норму, указанную в подразделе 1.2.4 пп. 2 – 4.

## **1.2.4 Обработка результатов**

### **1.2.4.1 Поправка на барометрическое давление**

Вычисляют температуру вспышки с поправкой на стандартное барометрическое давление 101,325 кПа, 1,013 бар, 760 мм рт. ст. алгебраическим сложением найденной температуры и поправки, определенной по формуле (1) или (2) или (3).

$$\Delta t = \frac{101,325 - P}{3,3} \cdot 0,9 \quad (1)$$

$$\Delta t = \frac{1,013 - P}{0,033} \cdot 0,9 \quad (2)$$

$$\Delta t = 0,0362(760 - P) \quad (3)$$

где  $P$  – фактическое барометрическое давление в (1) – кПа, (2) – барах, (3) – мм рт. ст.

Допускается пользоваться поправками, вычисленными с погрешностью не более 1 °С по формуле (3), приведенными в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Поправки для вычисления температуры вспышки

Барометрические давление			Поправка °С
кПа	бар	мм. рт. ст	
84,8 – 88,4	0,848 – 0,884	636 – 663	Плюс 4
88,5 – 92,1	0,885 – 0,921	664 – 691	Плюс 3
92,2 – 95,7	0,922 – 0,957	692 – 718	Плюс 2
95,8 – 99,4	0,958 – 0,994	719 – 746	Плюс 1
103,2 – 106,8	1,032 – 1,068	774 – 801	Минус 1

2. За результат испытания принимают среднеарифметическое не менее двух последовательных определений. Полученное значение температуры вспышки (ГС) округляют до целого числа.

### 1.2.5 Точность метода

**1. Сходимость.** Два результата определений, полученные одним исполнителем в одной лаборатории, признаются достоверными (с 95 % – ной доверительной вероятностью), если расхождения между ними не превышают значений, указанных в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Значения результатов испытаний

Температура вспышки	Сходимость	Воспроизводимость
до 104	2	4
свыше 104	5	8

**2. Воспроизводимость.** Два результата испытаний, полученные в двух разных лабораториях, признаются достоверными (с 95 % – ной доверительной

вероятностью), если расхождения между ними не превышают значений, указанных в таблице 2.

3. При проведении испытаний на приборах типов ПВНЭ и ПВНО допускаемые расхождения между последовательными определениями не должны превышать значений, указанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Значения при проведении испытаний приборами ПВНЭ и ПВНО

Температура вспышки, °С	Допускаемые расхождения, °С
<b>нефтепродукты</b>	
до 104	2
свыше 104	6
<b>химические органические продукты</b>	
до 50	2
свыше 50	3

### **1.3 Аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ – ПХП**

#### **1.3.1 Указание мер безопасности**

1. К работе с аппаратом должны допускаться лица, имеющие необходимую квалификацию, обученные правилам техники безопасности и изучившие данную инструкцию по эксплуатации аппарата.

2. Лица, работающие на аппарате, должны изучить техническое описание и инструкцию по эксплуатации аппаратов ТВЗ – ПХП и стандарт ГОСТ 6356 – 91.

3. Аппарат соответствует общим требованиям безопасности ГОСТ 12.2.003. – 91.

4. По способу защиты человека от поражения электрическим током аппарат соответствует классу 1 ГОСТ 12.2.007.0.

*5. Аппарат должен быть обязательно заземлен.*

### 1.3.2 Стандарты

Аппарат ТВЗ – ПХП (далее по тексту – прибор) разработан и изготовлен в соответствии с государственным стандартом методики тестирования нефти и нефтепродуктов ГОСТ 6356 – 91, описывающем методику определения минимальной температуры воспламенения нефтепродуктов в закрытом герметичном тигле.

Прибор соответствует также методике тестирования ISO 2719 и ASTM D93.

### 1.3.3 Назначение и условия эксплуатации

Данный аппарат используется в соответствии с ГОСТ 6356 – 91, согласно которому в закрытом тигле нагреванием создается смесь паров нефтепродукта и воздуха, затем при соприкосновении с пламенем данная смесь воспламеняется для определения минимальной температуры воспламенения нефтепродукта в закрытом тигле.

#### *Условия эксплуатации:*

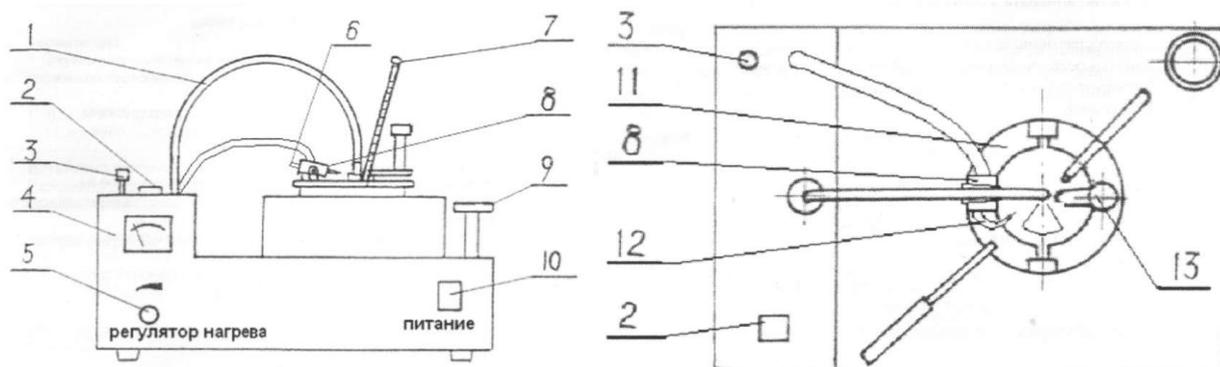
1. Источник электропитания: переменный ток 220 В ± 5%, 50 Гц
2. Температура окружающей среды от –10 до 50 °С
3. Влажность < 85%

### 1.3.4 Устройство

Внешний вид аппарата ТВЗ-ПХП представлен на рисунке 1, схема на аппарата на рисунке 2.



Рисунок 1 – Внешний вид аппарата ТВЗ – ПХП



а) вид спереди

б) вид сверху

Рисунок 2 – Схема аппарата:

- 1 – привод размешивателя; 2 – кнопка останова и включения нагрева и мешалки; 3 – регулировочный вентиль подачи газа; 4 – вольтметр; 5 – регулятор напряжения; 6 – регулятор шарика пламени; 7 – термометр; 8 – игнитрон; 9 – подставка тигля; 10 – переключатель питания; 11 – тигель; 12 – фитиль (по ГОСТ – газовая зажигательная лампочка); 13 – поворотная ручка крышки тигля

### 1.3.5 Основные технические характеристики

#### 1.3.5.1 Электронагреватель

Корпус нагревателя изготовлен из SiC, мощность – 500 Вт. Мощность регулируется при помощи регулятора на передней панели прибора, увеличиваясь по часовой стрелке от 10 до 260 В. Регулировка мощности регулятором на передней панели прибора, увеличение по часовой стрелке.

Максимальная температура нагрева: от окружающей среды до +370°C.

Скорость нагрева от 5 до 6 °C/мин.

*Примечание.* При работе в области температур, ниже температуры окружающей среды, требуется охлаждение тигля с образцом, например, в морозильной камере. В этом случае следует учитывать влияние температуры среды на параметры процесса.

#### 1.3.5.2 Электромешалка

Электромешалка состоит:

1. Двигателя 45ТСУ.
2. Тип провода – гибкий вал.
3. Размеры лопастей: 8 x 40 мм.

4. Скорость вращения: в соответствии ГОСТ 6356 – 91.

### **1.3.5.3 Стандартный тигель**

Тигель имеет следующие характеристики:

1. Внутренний диаметр 50,8 мм.
2. Глубина 56 мм.
3. Глубина нанесения рисок равна 34,2 мм.
4. Вместимость около 70 мл.

### **1.3.5.4 Воспламенитель (игнитрон)**

Воспламенитель имеет следующие характеристики:

1. Источник пламени – бытовой, сжиженный газ.
2. Размер выходного отверстия горелки от 0,6 до 0,8 мм.
3. Давление газа от 40 до 50 кПа (от 0,4 до 0,5 кгс/см<sup>2</sup>).
4. Расход газа не более  $8,5 \times 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с}$ .

Воспламенитель состоит:

- трубки;
- регулировочного вентиля;
- шарика выравнивания пламени.

*Примечание.* Пламя опытным путем настраивается в виде шарика диаметром от 3 до 4 мм

### **1.3.5.5 Термометры**

В эксплуатации прибора применяются ртутные термометры с внутренней маркировкой или стержневой, которые должны соответствовать требованиям ГОСТ 6356 – 91.

Характеристика термометров:

1. Диапазон измерений температуры от 0 до +170 °С, градуировка –1 °С.  
ртуть
2. Диапазон измерений от +130 до +300 °С, градуировка –1 °С, ртуть

### **1.3.5.6 Источник электропитания аппарата**

Переменного тока 220 В ± 5%, 50 Гц Сопротивление: >2 М'Q

Габаритные размеры и масса: 395 x 360 x 275 мм, 9 кг.

### **1.3.5.7 Особенности эксплуатации:**

1. Высокая скорость нагрева и простота ее регулировки.
2. Ровное перемешивание продукта.
3. Точность воспламенения, удобство в работе.
4. Высокая повторяемость результатов измерений.

## **1.4 Руководство по эксплуатации аппарата ТВЗ – ПХП**

### **1.4.1 Подготовка к испытанию**

В соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 6356 – 91, аппарат устанавливают на ровном устойчивом столе в таком месте, где нет заметного движения воздуха и свет настолько затемнен, что вспышка хорошо видна. Для защиты от движения воздуха аппарат с трех сторон окружают экраном. Допускается при применении нескольких аппаратов соответственно увеличить ширину экрана.

Тигель и крышку аппарата промывают растворителем, высушивают, удаляя все следы растворителя, и охлаждают до температуры не менее чем на 17°С ниже предполагаемой температуры вспышки.

При испытании продуктов с температурой вспышки до 50°С нагревательный отсек охлаждают до температуры окружающей среды. Тигель должен иметь температуру образца.

Испытуемый продукт наливают в тигель до метки, не допуская смачивания стенок тигля выше указанной метки.

Тигель закрывают крышкой, устанавливают в нагревательный отсек, вставляют термометр и зажигают зажигательный фитилек (по ГОСТ 6356 – лампочку), регулируя пламя так, чтобы форма его была близкой к шару диаметром от 3 до 4 мм.

### **1.4.2 Проведение испытания**

1. Регулятором напряжения установите скорость нагрева и начните нагрев нефтепродукта. Одновременно с этим включите электродвигатель, при этом гибкий вал будет передавать вращательный момент для перемешивания продукта. Далее контролируйте процесс нагрева. Тигель будет нагреваться, а его содержимое – перемешиваться для обеспечения равномерного нагрева нефтепродукта.

2. При достижении температуры нефтепродукта на  $17^{\circ}\text{C}$  ниже предполагаемой вспышки, включите подачу газа и зажгите горелку и фитилек. Настройте язычок пламени соответственно ГОСТ 6356 – 91.

3. Испытание на вспышку проводят при повышении температуры на каждый  $1^{\circ}\text{C}$  для продуктов с температурой вспышки до  $104^{\circ}\text{C}$  и на каждые  $2^{\circ}\text{C}$  для продуктов с температурой вспышки выше  $104^{\circ}\text{C}$ .

4. В момент испытания на вспышку перемешивание прекращают, рукояткой приводят в действие расположенный на крышке механизм, открывающий заслонку и опускающий пламя. При этом игнитрон сам опустится вниз. Пламя опускают в паровое пространство за 0,5 с, оставляют в самом нижнем положении 1с и поднимают в верхнее положение. Наблюдайте за вспышкой пламени.

5. Газовый фитиль (зажигательная лампочка по ГОСТ 6356) в процессе испытания должен находиться в зажженном состоянии для исключения возможности проникновения газа в тигель. Если в процессе какого-либо испытания на вспышку зажигательный фитилек погаснет в момент открытия отверстий крышки, то результата этого определения не учитывают.

6. Методика дальнейших измерений соответствует методике, приведённой в ГОСТ 6356-91.

### **1.4.3 Примечания**

1. Для контроля правильности результатов определения, а также проверки аппарата используют стандартные образцы температуры вспышки в закрытом

тигле ГСО 4088-87...4092-87 ГСО 8159 – 02 серии ТЗТ или других образцов аналогичного назначения. Порядок применения ГСО изложен в свидетельстве.

2. При испытании токсичного продукта или продукта, который выделяет токсичные вещества при разложении и горении, испытание проводят при соблюдении правил по технике безопасности, принятых для работ с токсичными веществами. В этом случае аппарат устанавливают в вытяжном шкафу или применяют противогаз.

3. Для обеспечения безопасности использования, источник электропитания должен быть заземлен (*корпус аппарата должен быть заземлен через кабель питания. При необходимости установите розетку с заземлением*).

4. По окончании работы с инструментом, выключите нагреватель и мешалку.

5. Когда аппарат не используется, тигель допускается оставлять на подставке.

6. Максимальная сила тока на нагревателе – 2,7 А.

7. Аппарат предназначен для определения температуры вспышки нефтепродукта в закрытом тигле при температуре до +300 °С. Возможно производить нагревание продукта до +400 °С, но так как органические соединения свыше + 300 °С подвержены разложению и результаты анализа являются не совсем достоверными, этот диапазон температур не упоминается.

Принципиальная электрическая схема представлена на рисунке 3.

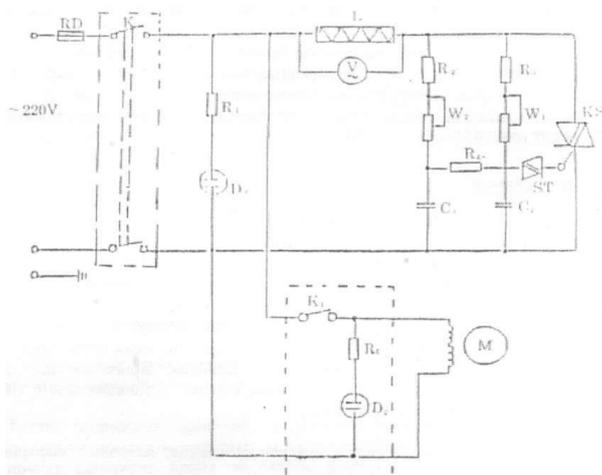


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема аппарата ТВЗ – ПХП

## **1.5 Правила хранения и транспортировки аппарата ТВЗ – ПХП**

Аппарат в течение гарантийного срока хранения должен храниться в упаковке при температуре от (+5 до +35)°С и относительной влажности до 85% при температуре 25°С. Хранение аппарата без упаковки следует производить при температуре окружающего воздуха от (+15 до +35)°С и относительной влажности до 75%.

Аппарат может транспортироваться всеми видами транспорта в крытых транспортных средствах в диапазоне температур (-50 до +50)°С и относительной влажности не более 95%.

### **1.5.1 Гарантийные обязательства**

Изготовитель гарантирует работоспособность аппарата при соблюдении условий транспортировки, хранения и эксплуатации.

Гарантийный срок составляет 1 год со дня продажи аппарата. В течение этого времени изготовитель обязуется безвозмездно проводить ремонт или замену аппаратов с заводским браком.

При неисправности аппарата в период гарантийного срока потребителю следует составить рекламацию с указанием неисправностей, заводского номера аппарата, даты выпуска и контактных телефонов пользователя.

**В случае несанкционированного вскрытия аппарата. Вы лишаетесь права на гарантийный ремонт.**

На гарантийное обслуживание аппарат надлежит отправлять в стандартной упаковке в комплекте с паспортом и оригиналом рекламации. По согласованию с изготовителем, в ремонт может быть отправлена только неисправная часть аппарата.

## **1.6 Комплектация и техническая документация аппарата ТВЗ – ПХП**

1. Комплектация аппарата представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2– Комплектация аппарата

№	Наименование	Кол – во	Колич. запас. частей	Примечания
1	Аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ – ПХП	1	-	
2	Термометр $0 \approx +170$	1		ТН – 1 исп.1
3	Термометр $+170 \approx +300$	1		ТН – 1 исп.2

2. Техническая документация:

1. Паспорт с руководством по эксплуатации 1 экз.

Основные неисправности и методы их устранения представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Основные неисправности и методы устранения

№	Неисправность	Причина	Метод устранения
1	Не горит индикатор источника питания	– отсутствует электропитание; – вышел из строя индикатор; – вышел из строя предохранитель	– проверьте внешний источник питания; – замените индикатор; – замените предохранитель
2	Корпус бьет током	ненадежное заземление	проверьте заземление
3	Электронагреватель не красного цвета	– вышел из строя реостат; – вышел из строя нагреватель	– замените реостат – замените электродвигатель

### 3. Свидетельство о приёмке аппарата

#### Отчет о работе

1. Краткий конспект мер безопасности при проведении исследований аппарата ТВЗ – ПХП.

2. Краткое описание устройства аппарата ТВЗ – ПХП.

3. Краткое описание методики выполнения исследования по определению минимальной температуры воспламенения с помощью аппарата ТВЗ – ПХП.

4. Результаты полученных исследований (табл. 1.4)

Таблица 1.4 – Результаты исследований

№	Вид нефтепродуктов	Результаты, °С
1	Бензин марки АИ – 80	
2	Бензин марки АИ – 92	
3	Бензин марки АИ – 95	
4	Бензин марки АИ – 98	
5	Дизельное топливо – ДТ (зимнее)	
6	Дизельное топливо – ДТ (летнее)	
7	Керосин	

## Лабораторная работа №2

### ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ

#### Общие положения

Основные виды пожарной техники, предназначенной для защиты от пожаров предприятий, зданий и сооружений (далее – объекты), а также требования к ее размещению и обслуживанию, установлены ГОСТом 12.4.009 – 83 (2000 г.) ССБТ.

**Для тушения пожаров применяют различную пожарную технику следующих видов:**

- 1 – пожарные машины (автомобили, мотопомпы и прицепы);
- 2 – установки пожаротушения;
- 3 – установки пожарной сигнализации;
- 4 – огнетушители;
- 5 – пожарное оборудование;
- 6 – пожарный ручной инструмент;
- 7 – пожарный инвентарь;
- 8 – пожарные спасательные устройства.

Каждое производственное помещение, здание или сооружение должно быть обеспечено пожарной техникой того или иного вида в соответствии с Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ – 01 – 93).

#### **Установки пожаротушения классифицируют:**

**1. По степени мобильности на:** стационарные, полустационарные и передвижные.

**2. В зависимости от рода и составов огнегасительных веществ их делят на:** аэрозольные (галоидоуглеводородные), водяные (спринклерные, дренчерные и установки с лафетными стволами), газовые (азотные, углекислотные), жидкостные, паровые и порошковые.

**Стационарными называют** установки пожаротушения, смонтированные внутри производственного объекта (здания, сооружения) и постоянно готовые к действию. **Они могут быть автоматические и дистанционные.**

**Автоматические** установки при возникновении пожара действуют без участия обслуживающего персонала.

**Дистанционные** установки приводятся в действие людьми.

**Автоматические средства тушения пожара** применяют в случаях, когда возникновение и развитие пожара могут привести к несчастным случаям с людьми, дестабилизации деятельности всего предприятия и значительному материальному ущербу.

**К объектам, защищаемым такими средствами, относятся** энергетические узлы, газораздаточные станции и пункты, насосные станции по перекачке легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), а также склады и помещения, в которых на 1 м<sup>2</sup> находится более 100 кг горючих материалов.

**Пожарные машины** – очень эффективные технические средства пожаротушения. Они предназначены для доставки к месту пожара различных огнегасительных веществ и составов, боевого расчета и пожарно-технического оборудования.

**К этим средствам относят:**

- ▶ пожарные автоцистерны;
- ▶ автонасосные станции;
- ▶ автонасосы;
- ▶ насосно – рукавные автомобили;
- ▶ автомобили воздушно-пенного, порошкового, углекислотного, газоводяного и комбинированного тушения;
- ▶ пожарные автолестницы;
- ▶ коленчатые и телескопические автоподъемники;
- ▶ автомобили связи и освещения, газодымозащитные, дымоудаления, рукавные и т. п.

**Пожарные автомобили** оборудуют на базе серийных грузовых автомобилей преимущественно высокой проходимости и окрашивают в красный цвет, нанося белые полосы. Например:

► **автоцистерна АЦ – 40(131)**, смонтированная на шасси автомобиля ЗиЛ–131, имеет пожарный насос, два пеногенератора ГПС-600, лафетный ствол, 400м напорных рукавов и способна перевозить до 2400 л воды и до 150 л пенообразователя. Она способна обеспечить подачу в зону горения 40 л/с воды, а при использовании лафетного ствола – 200 л/с пены.

► **пожарный автомобиль АП – 5 (53213)** предназначен для тушения порошковыми составами. Он выполнен на шасси автомобиля КамАЗ – 53213 и может доставить к месту пожара до 5,8 т порошка. Выброс огнегасительного вещества обеспечивается за счет энергии сжатого до 15 МПа воздуха, находящегося в девяти 50 – литровых баллонах.

► **пожарный автомобиль комбинированного тушения АКТ –2/2,5 (133ГЯ)** на шасси ЗиЛ – 133ГЯ способен перевозить до 2500 л воды, 180 л пенообразователя и 3 тонны порошка.

Существуют и другие марки пожарных автомобилей (**АЦ – 2, АЦ – 30, ПНС – 131** и т. д.), различающиеся (по эффективности пожаротушения) грузоподъемностью и подачей огнегасительного средства.

**Переносные и прицепные мотопомпы** служат для подачи воды от ее источников к месту тушения пожара. Они состоят из двигателя внутреннего сгорания, центробежного насоса, вакуум-аппарата, предназначенного для заполнения водой всасывающего патрубка насоса, и приспособления для транспортировки. Прицепные **мотопомпы МП – 1400** и **МП – 1600** смонтированы на шасси специальной конструкции и доставляются к водоисточнику автомобилями или тракторами. Переносные мотопомпы **МП – 600А** и **МП – 800Б** можно перемещать вручную, на грузовых автомобилях, в прицепах и т.д. Цифра в маркировке мотопомп означает обеспечиваемую ими подачу воды в л/мин. Мотопомпы создают давление 0,6....0,8 МПа.

### **Цель работы.**

Изучить конструкцию, правила эксплуатации и способы применения мотопомпы GP – 1 для тушения пожаров.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Изучить меры безопасности при эксплуатации переносной мотопомпы GP – 1
2. Изучить конструкцию, руководство по эксплуатации переносной мотопомпы GP – 1
3. Выполнить мероприятия по тушению начинающего пожара переносной мотопомпой GP – 1.
4. Выполнить консервацию мотопомпы

### **Применяемое оборудование и материалы.**

1. Переносная мотопомпы GP – 1.
2. Огнетушащие вещества (вода в водоеме).
3. Инструмент механика.

## **2.1 Общие требования безопасности**

### **2.1.1 Предостережение**

Внимательно прочтите данное руководство. Ознакомьтесь с работой рычагов управления. Ознакомьтесь с мотопомпой и её работой, прежде чем приступать к эксплуатации. **Знайте, что делать в экстренных ситуациях.**

### **2.1.2 Для обеспечения безопасной работы**

Для обеспечения безопасной работы необходимо:

1. Водяной насос (мотопомпа) сконструирован таким образом, что он безопасен и надежен, если он эксплуатируется в соответствии с инструкциями. Прежде чем приступить к эксплуатации насоса прочтите и усвойте Руководство по эксплуатации. Если Вы этого не сделаете, результатом может явиться травма или повреждение оборудования.

2. Во время работы глушитель и В<sup>^</sup>Р система отвода выхлопных газов сильно нагревается и остается горячим еще некоторое время после выключения двигателя. Не прикасайтесь к глушителю, пока он горячий. Прежде чем отправить насос на хранение в помещение, дайте двигателю остыть.

3. Перед запуском двигателя нужно обязательно проводить предварительный осмотр мотопомпы. Этим можно предотвратить несчастный случай или повреждение оборудования.

4. В целях безопасности запрещается перекачивать воспламеняющиеся или коррозионные жидкости, как, например, бензин или кислоту. Кроме того, чтобы избежать коррозии насоса, не перекачивайте морскую воду, химические растворы или такие едкие жидкости как отработанное масло, а также вино или молоко.

5. Устанавливайте насос на твердую и ровную поверхность. При наклоне или переворачивании насоса может вылиться топливо и масло из двигателя.

6. Для предотвращения пожара и обеспечения хорошей вентиляции устанавливайте насос для работы на расстоянии, по крайней мере, одного метра

от стенок здания или оборудования. Не ставьте близко к насосу горючие предметы.

7. Не подпускайте близко к зоне работы детей и домашних животных, т.к. они могут получить ожоги от соприкосновения с горячими деталями двигателя.

8. Вам необходимо знать, как быстро остановить насос, и четко уяснить назначение и принцип действия всех органов управления. Никогда не разрешайте никому работать с насосом, если этот человек не ознакомлен должным образом с инструкцией по эксплуатации.

9. Заправку топливного бака следует производить на открытом воздухе или в хорошо проветриваемых помещениях и при неработающем двигателе.

10. Запрещается курить или допускать открытое пламя и искрящие предметы в местах заправки топливом, а также в местах хранения емкостей с бензином.

11. Запрещается запускать двигатель в закрытых и небольших по объему помещениях. Отработавшие газы содержат окись углерода – токсичный газ, вдыхание которого может вызвать *потерю сознания и привести к смерти*.

**Обратите особое внимание на информацию, которой предшествуют следующие заголовки:**

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ!** Обозначает высокую вероятность получения серьезных травм или гибели людей в случае нарушения инструкций

**ВНИМАНИЕ!** *Обозначает вероятность повреждения оборудования при несоблюдении инструкций.*

**ПРИМЕЧАНИЕ!** Обозначает дополнительные полезные сведения.

## **2.2 Конструкция мотопомпы GP – 51**

### **2.2.1 Общий вид мотопомпы GP – 51**

Общий вид детали и расположение рычагов управления представлены на рисунках 5, 6.

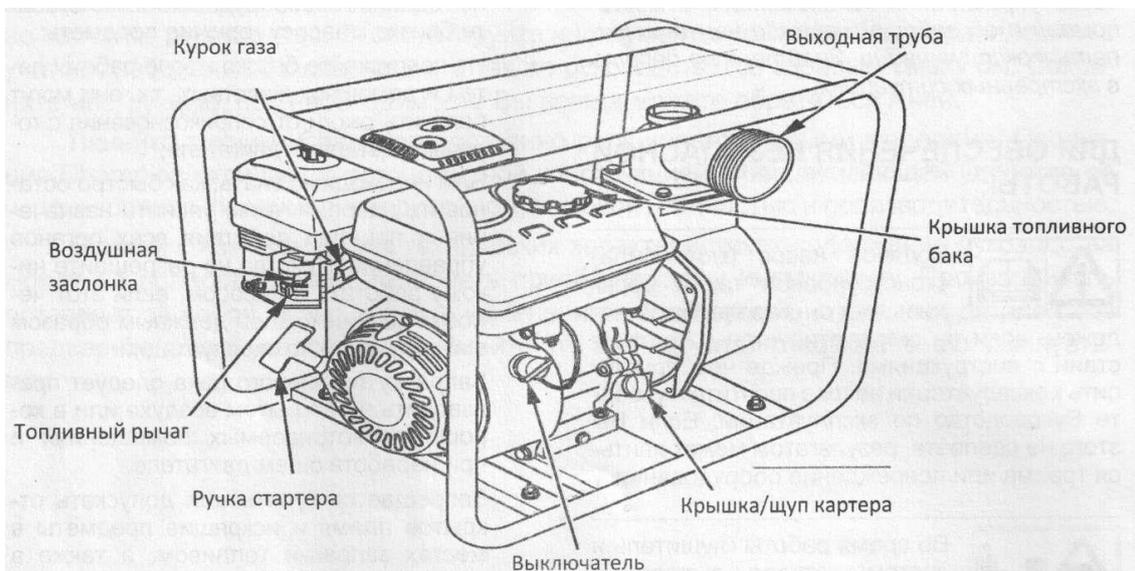


Рисунок 5 – Схема мотопомпы (вид спереди )

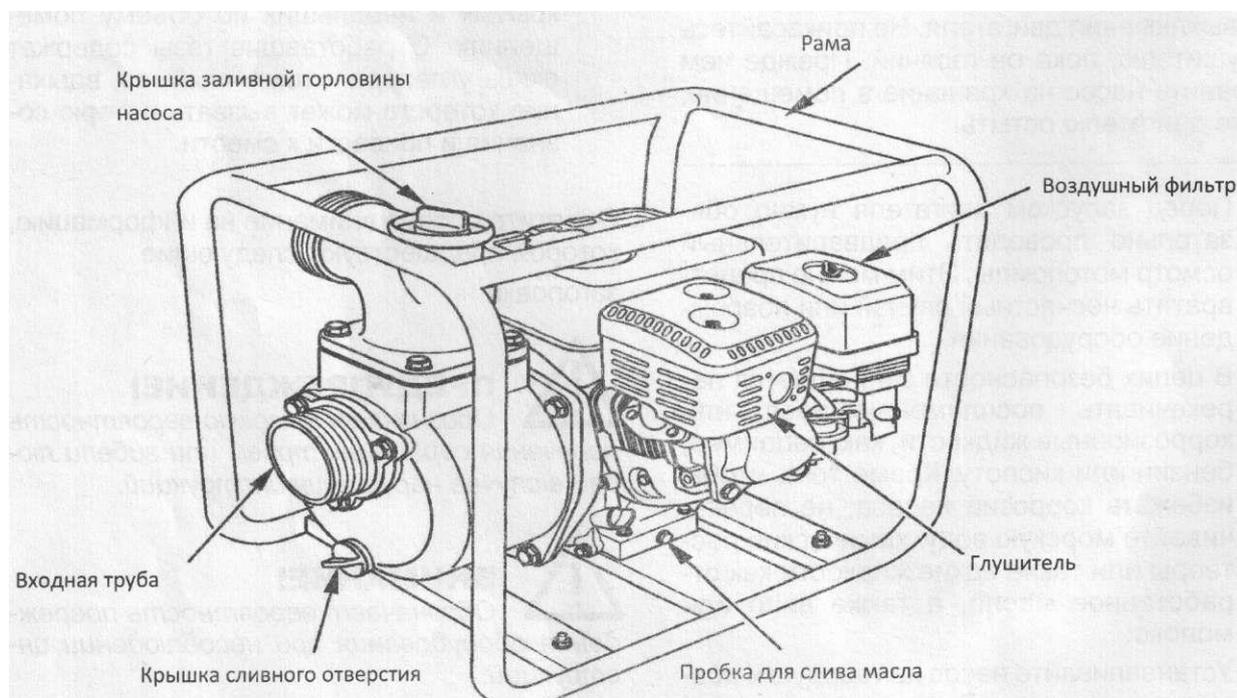


Рисунок 6 – Схема мотопомпы (вид сзади)

## 2.2.2 Рычаги управления

1. **Топливный рычаг** открывает или закрывает поступление топлива из бака в карбюратор. Для работы двигателя топливный рычаг должен быть установлен в положении **On** (Вкл. рис. 7).

**Внимание!** Когда двигатель не эксплуатируется, поставьте топливный рычаг в положении **Off** (Выкл), чтобы исключить вероятность протечки топлива и защитить двигатель от заливания.

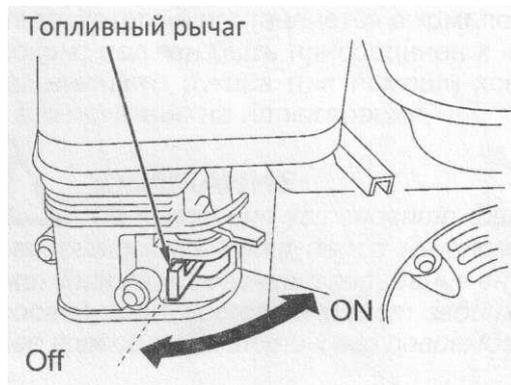


Рисунок 7 – Топливный рычаг управления

**2. Выключатель зажигания** контролирует работу системы зажигания.

Для работы двигателя выключатель должен быть установлен в положении **On (Вкл)**. Переключение выключателя двигателя в положение **Off (Выкл)** останавливает двигатель (рис. 8).

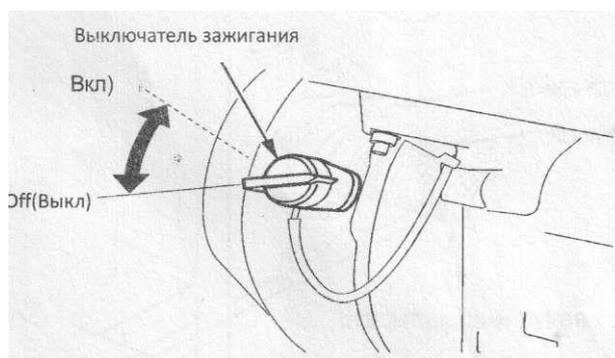


Рисунок 8 – Выключатель зажигания

**3. Рычаг воздушной заслонки** открывает и закрывает воздушную заслонку на карбюраторе.

Положение «**Закрыто**» обогащает топливную смесь для запуска холодного двигателя.

Положение «**Открыто**» обеспечивает правильную топливную смесь для работы после запуска и для повторного запуска прогретого двигателя (рис.9).



Рисунок 9 – Рычаг воздушной заслонки

4. **Курок газа** контролирует обороты двигателя. Движение курка газа в направлениях, показанных на картинке, ускоряют или замедляют работу двигателя (рис. 10).



Рисунок 10 – Курок газа

Производительность насоса мотопомпы контролируется курком газа. В крайнем левом положении курка газа, мотопомпа будет выдавать максимальный объем воды на выходе. Передвижение курка газа в правую сторону, будет уменьшать объем воды на выходе

5. **Ручной стартер.** Вытягивание шнура стартера запускает двигатель (рис. 11)



Рисунок 11 – Ручной стартер

## 2.2.3 Проверка и подготовка к работе

### 2.2.3.1 Подсоединение рукав к всасывающему патрубку

Используйте имеющиеся в продаже рукава, соединители и хомуты. Необходимо использовать армированные рукава, исключая «переламывание». Длина всасывающего рукава не должна превышать необходимую величину, так как максимальная эффективность работы насоса достигается тогда, когда насос расположен не слишком далеко от воды. Время самопрокачки также пропорционально длине рукава.

Фильтр, который поставляется в комплекте с насосом, должен быть присоединен к концу всасывающего рукава при помощи хомута, как это показано на иллюстрации (рис. 12).

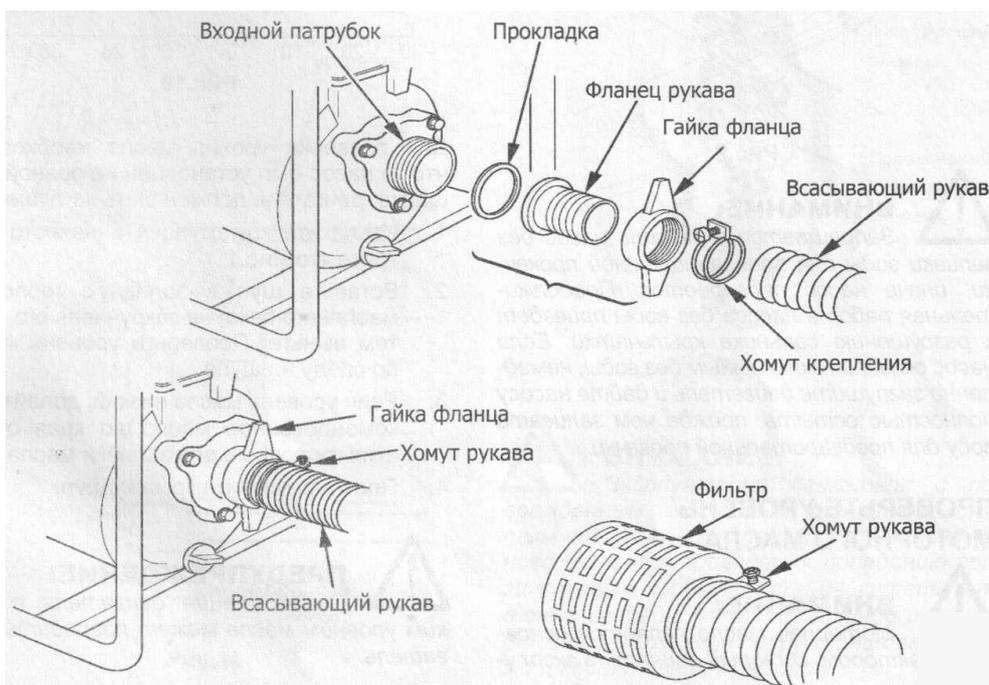


Рисунок 12 – Подсоединение рукав к всасывающему патрубку

**ВНИМАНИЕ.** *Обязательно установите фильтр на всасывающий рукав перед началом откачки. Фильтр исключает попадание внутрь насоса мусора, который может забить рабочее колесо и привести к его повреждению.*

**ПРИМЕЧАНИЕ.** *Во избежание подсосывания воздуха и потери разрежения во всасывающем рукаве, хорошо затяните хомут крепления рукава. При плохой затяжке хомута крепления всасывающего рукава снижается эффективность работы насоса и его способность к самопрокачке.*

### 2.2.3.2 Присоединение рукав к выпускному патрубку

Используйте имеющиеся в продаже рукава, соединители и хомуты. Наибольшая эффективность достигается при использовании короткого рукава большого диаметра. При использовании длинных или тонких рукавов повышается вязкостное трение, что приводит к снижению производительности насоса (рис. 13).

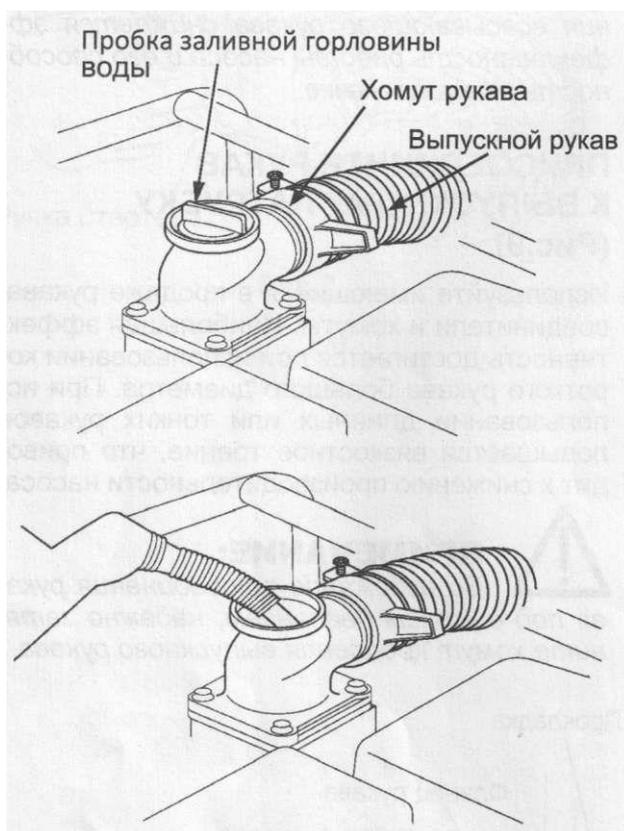


Рисунок 13 – Присоединение рукав к выпускному патрубку

**ПРИМЕЧАНИЕ.** *Во избежание отсоединения рукава под высоким давлением, надежно затяните хомут крепления выпускного клапана.*

### 2.2.3.3 Проверка наличия воды для предварительной прокачки

Перед началом работы необходимо полностью заполнить рабочую камеру насоса водой (рис. 14).

**ВНИМАНИЕ.** *Запрещается включать насос без заливки воды для предварительной прокачки, иначе насос перегреется. Продолжительная работа насоса без воды приведет к разрушению сальника крыльчатки. Если насос оказался включенным без воды, немедленно заглушите двигатель и*

*дайте насосу полностью остыть, прежде чем заливать воду для предварительной прокачки.*

#### 2.2.3.4 Проверка уровня моторного масла

Моторное масло является основным фактором, который влияет на эксплуатационные характеристики двигателя и определяет его ресурс. Для эксплуатации рекомендуется применять масло Champion для 4 – х тактных двигателей, или аналогичное по своим свойствам высококачественное моторное масло для 4 – х тактных двигателей с воздушным охлаждением, обладающее высокими моющими свойствами, и соответствующее по своим характеристикам требованиям класса SF, SH по классификации API (масла, классифицированные как соответствующие требованиям класса SF, SH, должны иметь соответствующую маркировку на упаковке).

Вязкость моторного масла должна соответствовать средней температуре воздуха в вашем регионе (рис. 2.10)

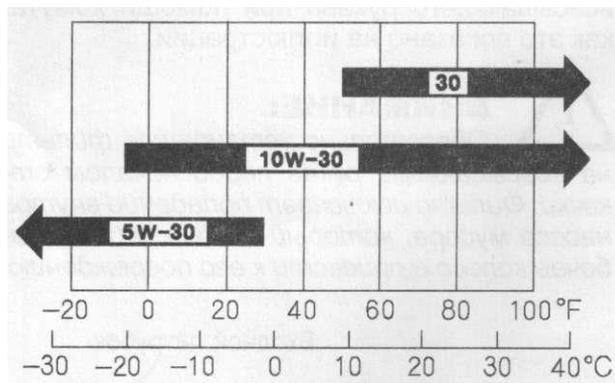


Рисунок 14 – Шкала для определения вязкости масла

Для проверки уровня масла необходимо, чтобы насос был установлен на ровной площадке, двигатель должен быть заглушён.

Извлеките крышку/щуп и начисто протрите его (рис. 15)

Вставьте щуп в заливную горловину масляного бака, не закручивая его, а затем выньте. Проверьте уровень масла по следу на щупе.

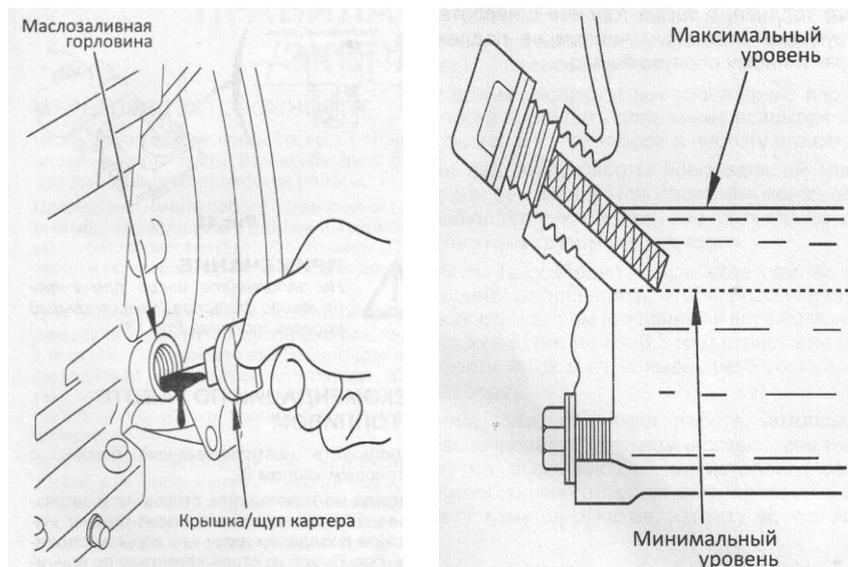


Рисунок 15 – Проверка уровня масла

Если уровень масла низкий, долейте рекомендованное масло до края отверстия горловины для заливки масла.

Плотно закрутите крышку/щуп.

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.** Эксплуатация двигателя с низким уровнем масла может повредить двигатель.

**ВНИМАНИЕ.** Мотопомпа поставляется без масла в картере двигателя. Перед началом эксплуатации обязательно залейте необходимое количество рекомендованного масла.

### 2.2.3.5 Проверка состояния воздушного фильтра

Засоренный воздушный фильтр препятствует потоку воздуха в карбюратор, снижая производительность двигателя и мотопомпы. Открутите гайки и снимите крышку воздушного фильтра и фильтр (рис. 16). Проверьте состояние фильтрующего элемента воздухоочистителя и убедитесь, что он находится в чистом и нормальном состоянии. При необходимости, очистите или замените фильтрующий элемент. Убедитесь, что все детали, показанные ниже, находятся на месте. Переустановите воздушный фильтр и крышку фильтра. Плотно закрутите барашковые гайки.

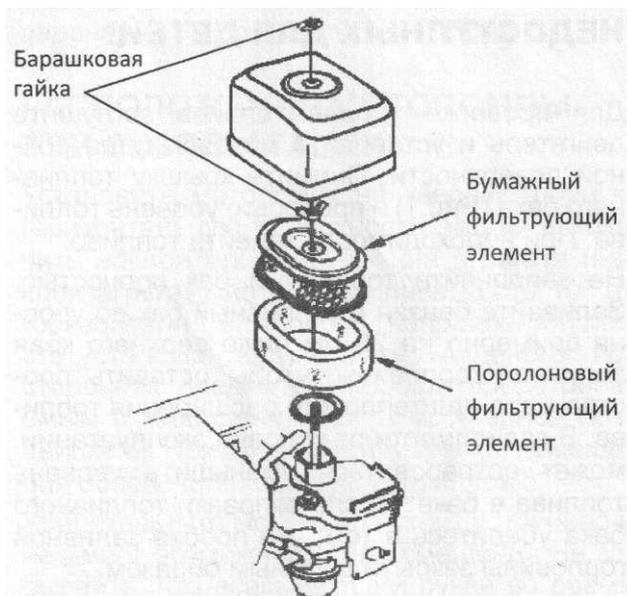


Рисунок 16 – Проверка состояния воздушного фильтра

**ВНИМАНИЕ.** Эксплуатация двигателя с поврежденным воздушным фильтром, снятым воздухоочистителем или без воздушного фильтра приведет к попаданию грязи и пыли в карбюратор и двигатель, что в свою очередь, станет причиной их выхода из строя. Данное повреждение не подлежит гарантийному ремонту

#### 2.2.3.6 Проверка уровня топлива

Бензин является исключительно легковоспламеняющимся веществом и при определенных условиях взрывоопасен. Заправку топливного бака следует производить на открытом воздухе или в хорошо проветриваемых помещениях и при неработающем двигателе. Запрещается курить или допускать открытое пламя и искрящие предметы в местах заправки топливом, а также в местах хранения емкостей с бензином. Будьте осторожны, чтобы не пролить бензин при заправке топливного бака. Пролитое топливо или его пары могут воспламениться. Если вы случайно пролили топливо, вытрите насухо все брызги и подтеки, прежде чем запускать двигатель. Избегайте частых или продолжительных контактов кожи с бензином, не вдыхайте пары бензина.

**ХРАНИТЕ БЕНЗИН В МЕСТАХ НЕДОСТУПНЫХ ДЛЯ ПОСТОРОННИХ!**

Для проверки уровня топлива заглушите двигатель и установите мотопомпу на ровной поверхности. Снимите крышку топливного бака (рис. 2.1) и проверьте уровень топлива. При необходимости залейте топливо.

Не заполняйте топливный бак полностью. Заливайте бензин в топливный бак до уровня примерно на 25 мм ниже верхнего края заливной горловины, чтобы оставить пространство для теплового расширения топлива. В зависимости от условий эксплуатации, может потребоваться уменьшить уровень топлива в баке. После заправки топливного бака убедитесь в том, что пробка заливной горловины закрыта должным образом (рис.17).

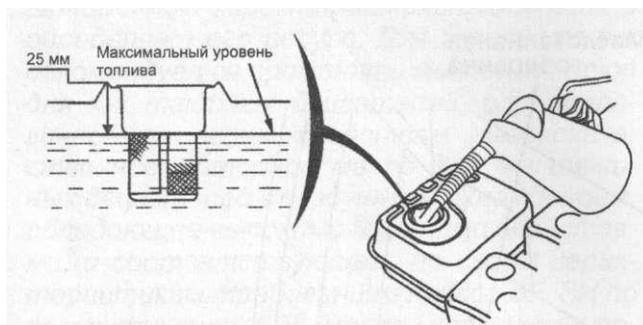


Рисунок 17 – Проверка уровня топлива

**ПРИМЕЧАНИЕ.** *Не заполняйте выше плеча топливного фильтра (максимальный уровень топлива (рис. 17)*

Для работы с топливом используйте неэтилированный бензин, с октановым числом 92.

Никогда не используйте старый или загрязненный бензин или смесь масло – бензин. Избегайте попадания грязи или воды в топливный бак. Выход из строя двигателя по причине использования некачественного или старого топлива, а также топлива с несоответствующим октановым числом не подлежит гарантийному обслуживанию.

## **2.3 Правила безопасной эксплуатации мотопомпы GP – 51**

### **2.3.1 Меры безопасности**

1. Чтобы безопасно реализовать весь потенциал данной мотопомпы, вам необходимо полное понимание принципов ее работы. Прежде чем начать

работу с двигателем первый раз, ознакомьтесь с Важной информацией по безопасности с главой «Проверка и подготовка к работе» и с данным разделом.

2. Для вашей безопасности, избегайте работы двигателя в замкнутых пространствах, таких как гараж. Выхлопные газы вашего двигателя содержат ядовитый оксид углерода, который может быстро накопиться в замкнутом пространстве и стать причиной болезни или смерти.

3. Используйте мотопомпу по назначению, только для перекачивания чистой воды, не предназначенной для питья. Выкачивание воспламеняющихся жидкостей, таких как бензин или масло, может вызвать пожар или взрыв, причиняя серьезные повреждения. Выкачивание морской воды, напитков, кислот, химических растворов или других жидкостей, вызывающих коррозию, может повредить мотопомпу.

4. Во время эксплуатации необходимо периодически проверять положение всасывающего рукава в точке забора и чистоту его сетки. Для надежной работы всасывающей магистрали рекомендуется утяжелить конец всасывающего рукава в районе фильтра дополнительным грузом и в процессе работы (и особенно при запуске помпы) периодически проверять, чтобы всасывающий рукав с фильтром находился в вертикальном положении (не менее 0,3 м от стенок или дна емкости и 0,2 м от наименьшего уровня водозабора).

5. Кроме того, надежная работа мотопомпы обеспечивается герметичностью соединений на всасывающей магистрали, поэтому необходимо периодически проверять затяжку хомутов рукавов, затяжку винтов крепления улитки, патрубков и всасывающего фильтра. Касание сетки клапана всасывающей магистрали о грунт водоема или дна емкости не допускается.

6. Не допускайте деформации всасывающего рукава при работе мотопомпы. Во время работы контролируйте работу устройства на случай возникновения посторонних шумов в двигателе или насосе.

7. Во время работы контролируйте работу устройства на случай возникновения посторонних шумов в двигателе или насосе.

**ВНИМАНИЕ.** При возникновении постороннего шума в работе двигателя или насоса немедленно заглушите двигатель. Выход из строя двигателя или насоса в результате эксплуатации с посторонними стуками или шумами не подлежит гарантийному ремонту.

### 2.3.2 Правила установки мотопомпы при эксплуатации

Установите мотопомпу на твердую ровную горизонтальную поверхность, чтобы исключить наклон или заглобление агрегата (наклон агрегата не должен превышать  $10^\circ$  от горизонтали в любом направлении). Место установки должно быть очищено от посторонних предметов, хорошо проветриваемым и защищенным от атмосферных воздействий. При эксплуатации внутри помещения обеспечьте хорошую вентиляцию. Убедитесь, что мотопомпа стоит устойчиво и не имеет возможности для смещения. Не забывайте, что всасывающий рукав во время работы стремится переместить агрегат в направлении источника воды. Необходимо установить мотопомпу как можно ближе к источнику воды. Чем меньше перепад по высоте между насосным агрегатом и поверхностью воды, тем быстрее происходит подача воды и выше производительность насоса.

### 2.3.4 Запуск двигателя

**ВНИМАНИЕ.** Перед каждым запуском двигателя обязательно проверить уровень масла в картере.

1. Поверните рычаг топливного крана в положение ON (*открыто*) (рис. 19).

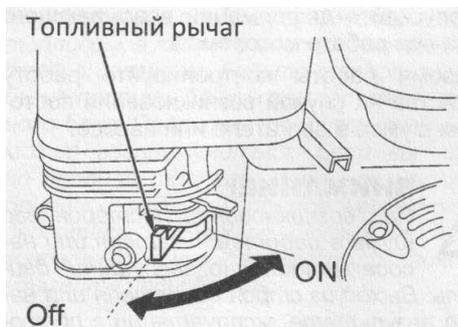


Рисунок 19 – Проверка рычага топливного крана

2. Закройте воздушную заслонку (рис. 20).

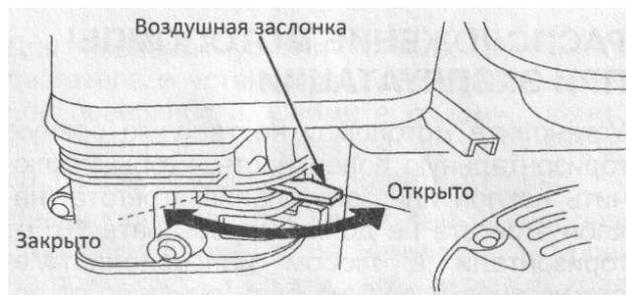


Рисунок 20 – Установка положения воздушной заслонки

3. Поверните выключатель зажигания в положение ON (*включено*) (рис. 21).



Рисунок 21 – Установка выключателя зажигания

4. Поверните рычаг управления дроссельной заслонкой немного влево.

5. Слегка потяните рукоятку стартера до тех пор, пока вы не почувствуете сопротивление, затем резко дерните рукоятку (рис. 22).

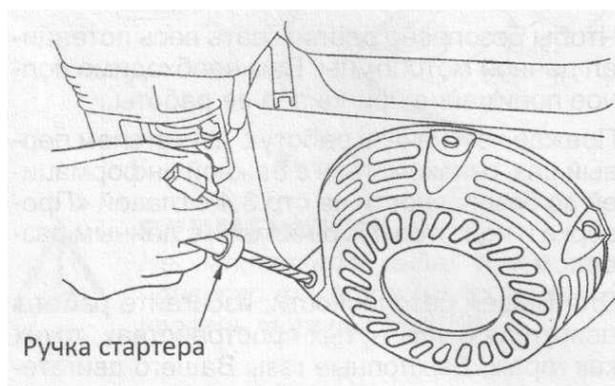


Рисунок 22 – Действия ручкой стартера

### **ВНИМАНИЕ:**

1. *Всегда строго выполняйте пункт 5 во избежание динамического удара на детали стартера и поломки стартера.*

2. *Не отпускайте рукоятку стартера резко с верхнего положения, иначе шнур наматывается на маховик и произойдет поломка стартера.*

3. *Отпускайте рукоятку медленно во избежание повреждения стартера. Невыполнение этих требований инструкции часто приводит к поломке стартера и не подлежит гарантийному обслуживанию.*

4. После запуска прогрейте двигатель примерно в течение одной минуты, открывая по мере прогрева воздушную заслонку. Отрегулируйте желаемые обороты двигателя с помощью рычага управления дроссельной заслонкой.

**ВНИМАНИЕ.** Не закрывайте при запуске воздушную заслонку, если двигатель теплый, а также при высокой температуре окружающего воздуха.

### 2.3.5 Остановка двигателя

Для того, чтобы остановить двигатель в экстренной ситуации сдвиньте выключатель двигателя в положение Off (Выкл). При нормальных условиях, выполняйте следующие процедуры:

1. Сдвиньте курок газа в положение «*Медленно*» (рис. 23).

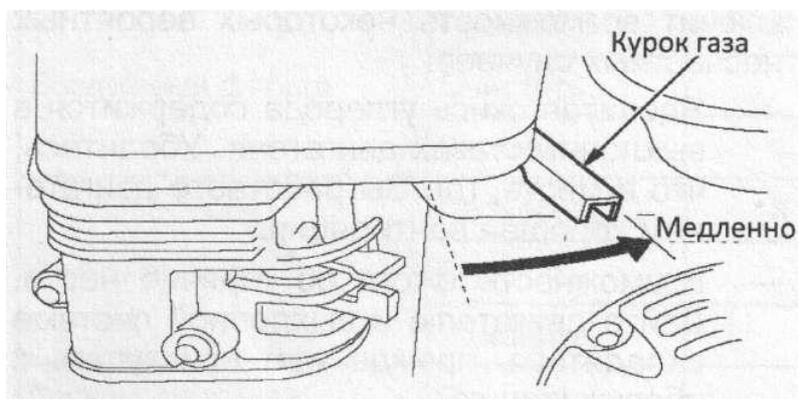


Рисунок 23 – Место положения курка газа

2. Сдвиньте выключатель зажигания в положение Off (**выкл**) (рис. 24).

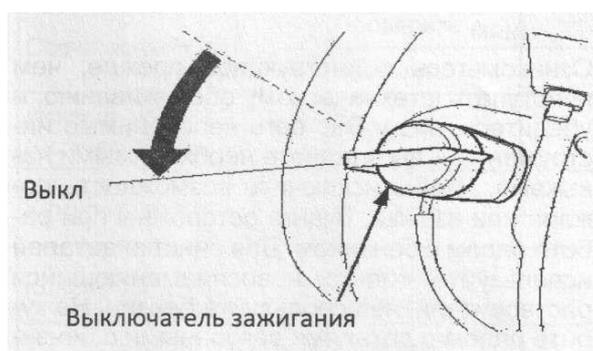


Рисунок 24 – Место положения выключателя зажигания

3. Сдвиньте топливный рычаг в положение Off (**выкл**) (рис. 25).

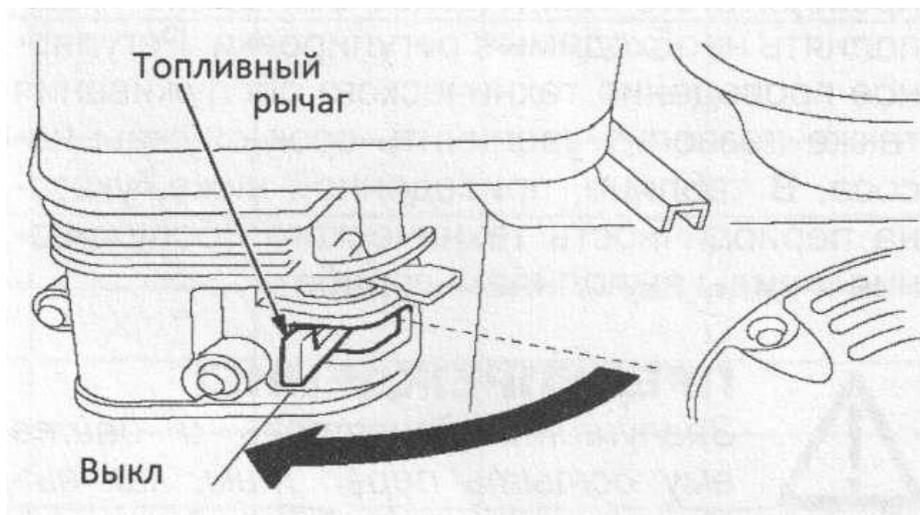


Рисунок 25 – Место положения топливного рычага

После окончания работы, открутите крышку сливного отверстия и крышку заливной горловины и полностью слейте воду с камеры мотопомпы. Закрутите крышку сливного отверстия и залейте в камеру мотопомпы чистую воду. Медленно (без рывков) протяните несколько раз за стартер, провернув тем самым рабочее колесо насоса. Открутите крышку сливного отверстия и дайте воде стечь из камеры мотопомпы, затем установите крышки заливного и сливного отверстий.

## 2.4 Техническое обслуживание мотопомпы GP – 51

Для поддержания высокой эффективности работы насоса необходимо периодически проверять его техническое состояние и выполнять необходимые регулировки. Регулярное проведение технического обслуживания также позволит увеличить срок службы насоса. В таблице, приведенной ниже, указана периодичность технического обслуживания и виды выполняемых работ.

### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:**

1. *Заглушите двигатель и дайте ему остыть перед тем, как выполнять какие – либо работы по техническому обслуживанию. Несвоевременное техническое обслуживание или не устранение проблемы перед работой, может стать причиной поломки мотопомпы и не покрывается гарантией.*

2. *Всегда выполняйте проверку и рекомендации по техническому обслуживанию по графику, указанному в данном руководстве.*

**ВНИМАНИЕ.** При техническом обслуживании и ремонте используйте только оригинальные запасные части Champion. Использование неоригинальных запасных частей, или запасных частей, не обладающих соответствующим качеством, может привести к повреждению насоса и не покрывается гарантией.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** График технического обслуживания применим к нормальным рабочим условиям. Если Вы эксплуатируете двигатель в экстремальных условиях, таких как длительная высокая нагрузка, работа при высоких температурах, при сильной влажности или запыленности, необходимо сократить сроки между техническим обслуживанием (ТО).

#### **2.4.1 Безопасность технического обслуживания**

##### **МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ:**

1. Убедитесь, что двигатель выключен, прежде чем вы приступите к какому – либо техническому обслуживанию или ремонту. Это исключит возможность некоторых вероятных несчастных случаев:

2. Ядовитая окись углерода содержится в выхлопных газах двигателя. Убедитесь, что в месте, где вы работаете двигателем хорошая вентиляция.

3. Возможность ожога об горячие части. Дайте двигателю и выхлопной системе охладиться, прежде чем приступать к обслуживанию.

4. Травмирование об движущиеся части. Не запускайте двигатель, если в этом нет необходимости согласно инструкциям.

5. Ознакомьтесь с инструкцией прежде, чем приступать к техническому обслуживанию, и убедитесь, что у вас есть необходимые инструменты и вы владеете необходимыми навыками. Чтобы исключить возможность пожара или взрыва, будьте осторожны при работе рядом с бензином. Для очистки деталей используйте только невоспламеняющийся растворитель, не используйте бензин.

**НЕ КУРИТЕ РЯДОМ С ДЕТАЛЯМИ СВЯЗАННЫМИ С БЕНЗИНОМ, НЕ ДОПУСКАЙТЕ ПРИСУТСТВИЯ ОГНЯ И ИСКР!**

Периодичность технического обслуживания представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Периодичность технического обслуживания агрегатов МОТОПОМПЫ

График регулярного обслуживания Выполняется в каждый указанный месяц или каждое количество часов, смотря, что случается раньше.		Каждое исполь- зование	Каждые 3 месяца или 50 часов	Каждые 6 месяцев или 100 часов	Каждый год или 300 часов	При необх о димос ти
Моторное масло	Проверить уровень Заменить	+	+			
Воздушный фильтр	Проверить Очистить Заменить	+	+(1)		+(1)	
Фильтр бензобака	Проверить Очистить Заменить	+	+			+
Фильтр- отстойник	Промыть			+		
Насосный агрегат	Проверить и очистить			+		
Свеча зажигания	Проверить Заменить		+	+		
Искрогаситель (если есть)	Очистить			+		
Камера сгорания	Очистить		500	Мотго- часов (2)		
Клапанный зазор	Проверить и настроить				+(2)	
Топливный бак и фильтр	Очистить			+		
Крыльчатка	Проверить				+(2)	
Зазор крыльчатки	Проверить				+(2)	
Топливопровод	Проверить (заменить)	+				+(2)
Клапан входного канала	Проверить				+(2)	
Крепежные детали	Проверить (подтянуть)	+				+

*Примечание* (1) Сервисное обслуживание должно осуществляться более часто, при работе в пыльных условиях

(2) Эти пункты должны осуществляться в специализированном сервисном центре

## 2.4.2 Очистка фильтра отстойника карбюратора

1. Установите топливный рычаг в положение Off (*закр*ыто) (рис. 26).

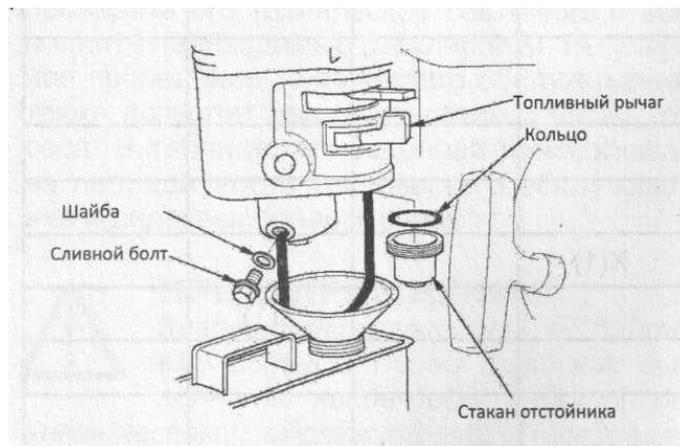


Рисунок 27 – Установление топливного рычага в положение **Off**

2. Установите под карбюратор подходящую емкость.
3. Открутите сливной болт и слейте топливо из карбюратора.
4. Открутите стакан отстойника и промойте его.
5. Закрутите стакан отстойника и сливной болт.

### 2.4.3 Очистка фильтра бензобака

1. Открутите крышку бензобака и снимите сетчатый пластмассовый фильтр (1) бензобака, расположенный под крышкой бензобака (рис. 28).
2. Промойте фильтр (1) растворителем и установите на место (3).

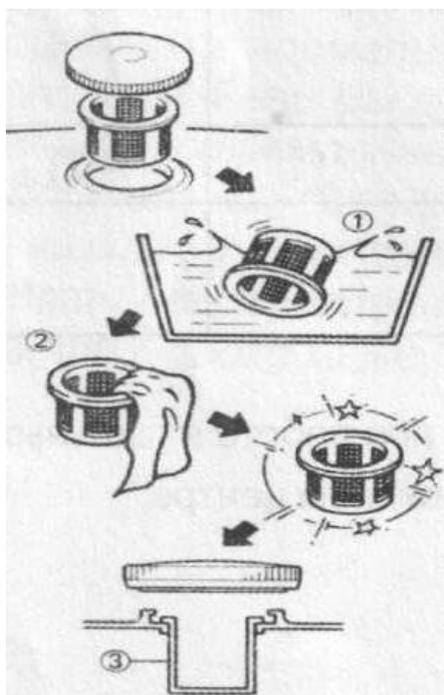


Рисунок 28 – Последовательность очистки фильтра бензобака

3. Закройте плотно крышку бензобака

## 2.4.4 Замена моторного масла

**ВНИМАНИЕ.** При вводе в эксплуатацию нового двигателя первую замену масла рекомендуется сделать после 5 моточасов работы, вторую замену масла сделать после 25 моточасов работы. Каждая последующая замена через 50 моточасов, согласно карте ТО при нормальных условиях эксплуатации.

**ВНИМАНИЕ.** Работа двигателя на старом масле, с низким уровнем масла или без масла приводит к быстрому выходу двигателя из строя. Гарантийные обязательства в этом случае аннулируются

Замена масла проводить в следующей последовательности:

1. Открутите крышку/щуп картера (рис. 29,а).
2. Открутите пробку для слива масла и слейте масло в специальную емкость (рис.29,б)



Рисунок 29 – Последовательность слива масла

3. Плотно закрутите пробку для слива масла.
4. Залейте рекомендованное масло до необходимого уровня. Нормальным считается уровень до нижнего края заливной горловины.
5. Закрутите крышку/щуп картера.
6. *Сливать моторное масло необходимо пока двигатель теплый — это обеспечит быстрый и полный слив масла.*

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Не выбрасывайте отработанное масло в контейнеры для мусора и не выливайте его на землю

## 2.4.5 Очистка воздушного фильтра

Загрязнение воздушного фильтра могут приводить к сбоям при запуске двигателя, снижению мощности, нарушениям работы двигателя и значительно сократить срок его службы. Фильтрующий элемент должен быть всегда чистым. При работе насоса в условиях сильной запыленности воздуха необходимо чаще проводить обслуживание воздушного фильтра.

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.** *Запрещается использовать для очистки воздушного фильтра бензин или другие растворители с низкой температурой вспышки. Они являются легко воспламеняющимися, и при определенных условиях могут быть взрывоопасными.*

**ВНИМАНИЕ.** *Запрещается запускать двигатель со снятым воздухоочистителем или без фильтрующего элемента. В противном случае попадание грязи и пыли в карбюратор и двигатель приведет к быстрому изнашиванию частей двигателя. Гарантийные обязательства в этом случае аннулируются.*

Последовательность очистки фильтра следующая:

1. Отверните барашковую гайку и снимите крышку воздухоочистителя. Выньте фильтрующие элементы и отделите их друг от друга. Осторожно осмотрите оба элемента, чтобы убедиться в отсутствии отверстий и других повреждений. При необходимости замените фильтрующие элементы (рис. 30).

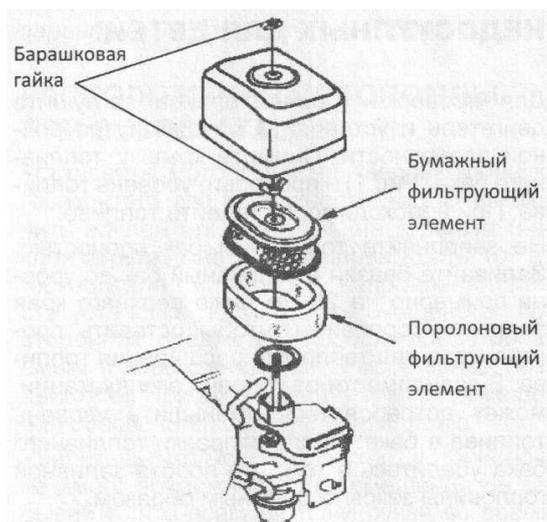


Рисунок 30 – Последовательность очистки воздушного фильтра

2. Поролоновый фильтрующий элемент: Промойте фильтрующий элемент, используя раствор бытового моющего средства в теплой воде, затем

тщательно промойте его чистой водой. Допускается использовать для промывки не воспламеняющиеся растворители или растворители с высокой температурой вспышки. После промывки тщательно просушите фильтрующий элемент. Смочите фильтрующий элемент чистым моторным маслом и отожмите избыток масла. Если в поролоновом фильтрующем элементе останется избыток масла, то при первом запуске двигатель будет сильно дымить.

3. Бумажный фильтрующий элемент: Несколько раз слегка постучите фильтрующим элементом по твердой поверхности, чтобы сбить с него избыток грязи и пыли, или продуйте фильтрующий элемент сжатым воздухом, направляя его поток в направлении, противоположном потоку воздуха при работе двигателя. Не пытайтесь счистить грязь с фильтрующего элемента при помощи щетки, так как этим вы вотрете грязь в волокна фильтрующего элемента. Если, бумажный фильтрующий элемент сильно загрязнен, он подлежит только замене.

4. Соберите воздухоочиститель в обратной последовательности.

#### **2.4.6 Обслуживание свечи зажигания**

Рекомендованная свеча зажигания F7RTC или её эквиваленты (Champion-RN6YC, NGK- BPR7ES, Bosch- WR5DC).

**ВНИМАНИЕ.** *Использование для работы двигателя свечи зажигания, отличной по своим параметрам от рекомендованной, может привести к выходу двигателя из строя. Двигатель не подлежит ремонту по гарантии*

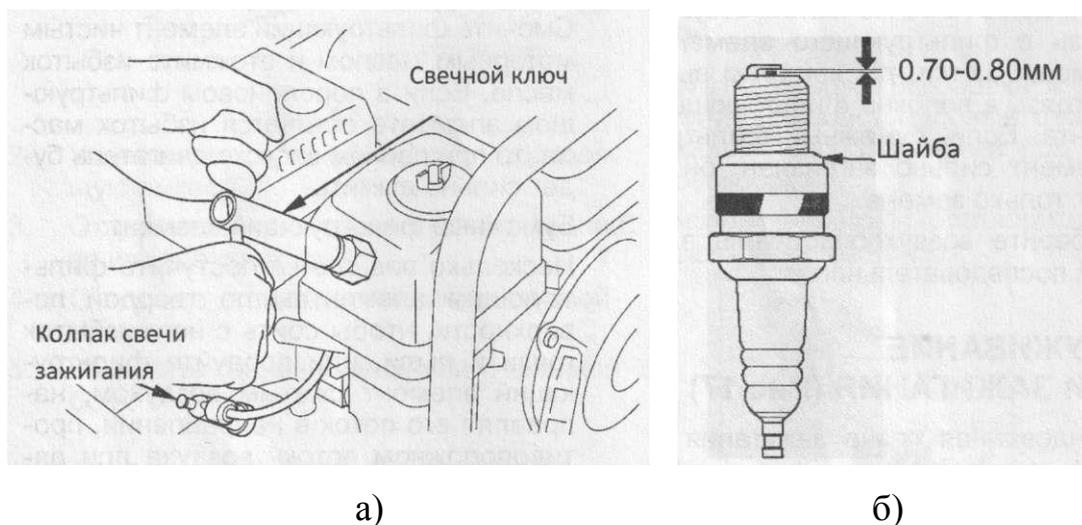
Последовательность обслуживания свечи зажигания:

1. Отсоедините колпачок свечи зажигания и удалите грязь вокруг свечи зажигания.

2. Снимите свечу зажигания свечным ключом (рис. 31,а).

**ВНИМАНИЕ.** *Никогда не выкручивайте свечу, пока двигатель полностью не остыл – опасность повреждения резьбовой части головки цилиндра.*

3. Проверьте свечу зажигания. Если электроды изношены или повреждена изоляция замените её.



а) б)  
Рисунок 31 – Обслуживание свечи зажигания

4. Измерьте электродный зазор свечи зажигания подходящим измерительным прибором. Зазор должен быть от 0.7 до 0.8 мм. При увеличении или уменьшении требуемого зазора рекомендуется заменить свечу, так регулировка зазора может привести к изменению качества искрообразования (рис. 31б).

5. Закрутите свечу руками.

6. После того, как свеча зажигания установлена на место, затяните её свечным ключом.

7. Установите на свечу кол пачек.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** При установке новой свечи зажигания, для обеспечения требуемой затяжки, заверните свечу ключом на 1/2 оборота после посадки буртика свечи на уплотнительную шайбу. При установке бывшей в эксплуатации свечи зажигания, для обеспечения требуемой затяжки заверните свечу ключом на 1/4 – 1/8 часть оборота после посадки буртика свечи на уплотнительную шайбу.

**ВНИМАНИЕ.** Свеча зажигания должна быть надежно затянута. Не завернутая должным образом свеча зажигания сильно нагревается при работе двигателя и может привести к его повреждению. Перетягивание свечи зажигания может повредить резьбу головки цилиндра.

## 2.4.7 Обслуживание искроуловителя (дополнительное оборудование)

На некоторых моделях мотопомп глушитель оборудован искроуловителем на заводе.

Чтобы сохранить функциональность искроуловителя, он должен обслуживаться каждые 100 часов.

Если двигатель работал, глушитель будет горячим. Дайте глушителю остыть, прежде чем приступать к обслуживанию искроуловителя (рис. 32).

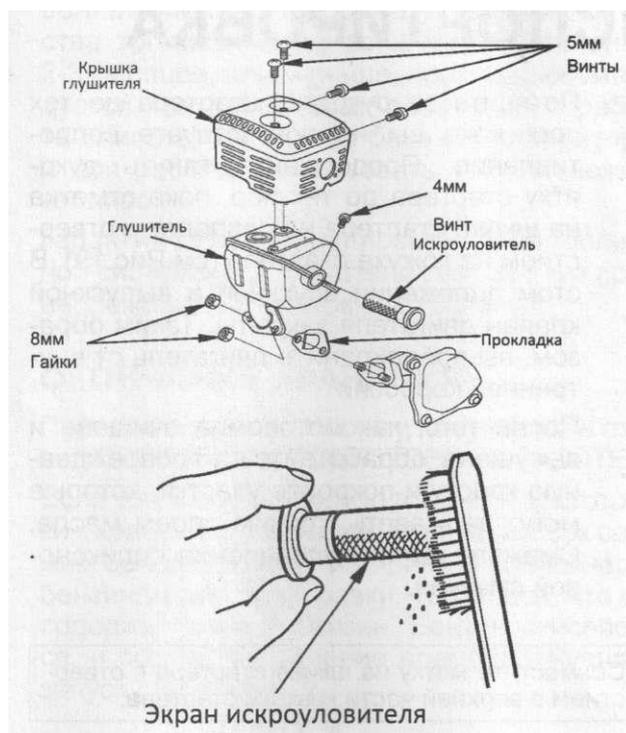


Рисунок 32 – Обслуживание искроуловителя

1. Извлеките две 8 мм гайки и снимите глушитель.
2. Извлеките четыре 5 мм винта с крышки глушителя и снимите крышку.
3. Извлеките винт 4 мм с искроуловителя и извлеките искроуловитель из глушителя
4. Используйте металлическую щетку, чтобы очистить экран искроуловителя от нагара. Будьте осторожны, чтобы не повредить экран. Искроуловитель не должен иметь трещины или другие повреждения. Если искроуловитель поврежден, замените его.
5. Установите искроуловитель, крышку глушителя и глушитель на место, используя новую прокладку.

## 2.4.8 Обслуживание насоса

Каждый раз по окончании работы насоса необходимо промывать корпус насоса, следуя изложенной ниже процедуре (рис. 33):

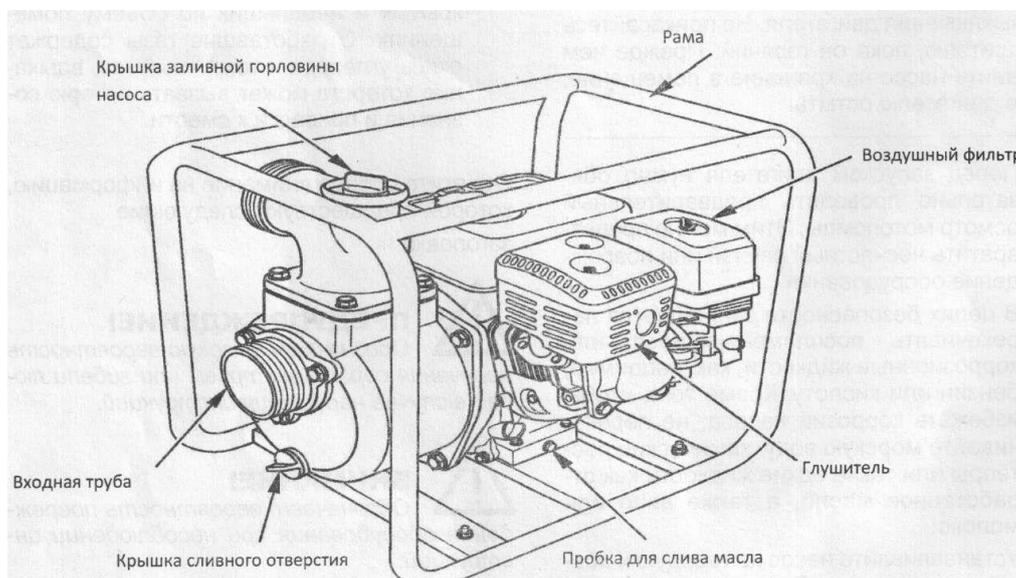


Рисунок 33 – Обслуживание насоса

1. Слейте из рукавов оставшуюся воду.
  2. Открутите сливную пробку насоса и слейте воду. Плотно закрутите сливную пробку.
  3. Открутите пробку заливной горловины насоса и залейте чистую воду.
  4. Плавно (без рывков) прокрутите несколько раз стартером коленчатый вал.
  5. Открутите пробку и слейте воду из насоса. Плотно закрутите сливную и заливную пробки.
- Очистите сетку фильтра на всасывающем рукаве.

## 2.5 Хранение и транспортировка мотопомпы GP – 51

Если предполагается, что мотопомпа не будет эксплуатироваться длительное время, то необходимо выполнить специальные мероприятия по консервации. Место хранения агрегата должно быть защищено от пыли и атмосферных воздействий (дождь, снег, резкие перепады температур и т.д.).

**ПРИМЕЧАНИЕ.** *Все работы по консервации проводятся на холодном двигателе* (рис. 34).

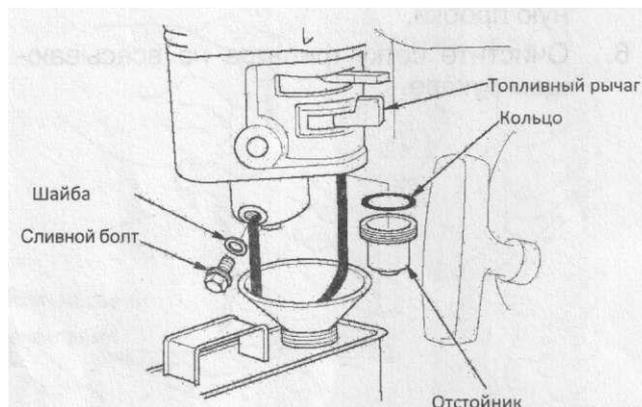


Рисунок 34 – Схема консервации мотопомпы

1. Поместите подходящую емкость для топлива под карбюратор, и используйте воронку, чтобы избежать проливания топлива.
2. Открутите с отстойника болт сливного отверстия и отстойник, и затем установите топливный рычаг в положение **On (вкл)** и слейте топливо.
3. Установите болт сливного отверстия и отстойник на место. Установите топливный рычаг в положение **ОЩ (закрыто)**.
4. При необходимости замените масло в двигателе.
5. Промойте насос чистой водой. Полностью слейте воду из камеры мотопомпы, а затем установите пробку сливного отверстия на место.
6. Выверните свечу зажигания и залейте в цилиндр двигателя примерно одну столовую ложку чистого моторного масла. Проверните вал двигателя несколько раз, чтобы масло растеклось по трущимся поверхностям, затем вверните свечу зажигания на место.
7. Потяните за рукоятку стартера до тех пор, пока вы не почувствуете сопротивление. Продолжайте тянуть рукоятку стартера до тех пор, пока отметка на шкиве стартера не совпадет с отверстием на кожухе стартера (рис. 35). В этом положении впускной и выпускной клапан двигателя закрыты. Таким образом, вы предохраните двигатель от внутренней коррозии



Рисунок 35 – Предохранение двигателя от внутренней коррозии

8. После того, как мотопомпа очищена и высушена, обработайте всю поврежденную краску и покройте участки, которые могут заржаветь, тонким слоем масла. Смажьте рычаги управления силиконовой смазкой.

### 2.5.1 Топливо

Бензин окисляется, и портится во время хранения. Старое топливо является причиной плохого запуска, и оно оставляет клейкие отходы, которые загрязняют топливную систему и могут быть причиной выхода двигателя из строя.

Длительность хранения топлива в топливном баке и карбюраторе без причинения функциональных проблем может варьироваться от таких факторов, температура хранения, влажность воздуха, насколько заполнен топливный бак. Воздух в частично заполненном топливном баке способствует ухудшению топлива. Очень теплая температура и влажный воздух ускоряет старение топлива. Проблема ухудшения качества топлива может возникнуть в течение от 2 до 3 месяцев, или меньше, поэтому рекомендуется при длительных перерывах в работе сливать топливо из бака и карбюратора и для работы использовать всегда свежее топливо.

Гарантия не покрывает повреждение топливной системы или двигателя, вызванные пренебрежением подготовки к хранению.

## 2.5.2 Окончание хранения

Проверьте свою мотопомпу, как указано в главе «**ПРОВЕРКА И ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ**».

Если топливо было слито во время подготовки к хранению, заполните топливный бак свежим бензином. Если Вы храните контейнер с бензином для дозаправки, убедитесь, что он содержит свежий бензин. Бензин окисляется, и портится в течение времени, ухудшая запуск двигателя.

Если цилиндр был покрыт маслом во время подготовки к хранению, двигатель может немного дымить во время запуска. Это нормально.

## 2.5.3 Транспортировка

Если мотопомпа работала, дайте двигателю остыть в течение, хотя бы 15 минут, прежде чем загружать мотопомпу в транспортное средство.

Горячий двигатель и выхлопная система могут воспламенить некоторые материалы. Держите мотопомпу горизонтально во время транспортировки, чтобы снизить вероятность проливания топлива и масла. Установите топливный рычаг в положение Off (**выкл**).

## 2.5.4 Поиск и устранение неисправностей

Последовательность устранения неисправностей двигателя и мотопомпы представлены в таблицах 2.2, 2.3.

Таблица 2.2 – Техника устранения неисправностей двигателя мотопомпы

Действия	Возможные причины	Устранение
<b>Низкая мощность двигателя</b>		
1. Проверьте воздушный фильтр	Воздушный фильтр загрязнен.	Очистите или замените воздушный фильтр.
2. Проверьте топливо.	Плохое топливо; двигатель заправлен старым или некачественным топливом	Слейте топливо из топливного бака и карбюратора. Заправьте свежим бензином.
3. Покажите двигатель авторизованному сервисному дилеру.	Топливный фильтр загрязнен, неправильная работа карбюратора, зажигания, рычагов и т.д.	При необходимости замените или отремонтируйте неисправные детали.

<b>Двигатель не заводится</b>		
1. Проверьте положение рычагов управления.	Топливный рычаг в положение Off ( <b>Выкл.</b> ).	Установите топливный рычаг в положение On ( <b>Вкл.</b> ).
	Воздушная заслонка открыта.	Закройте воздушную заслонку, пока не прогреется двигатель.
	Выключатель зажигания в положение Off ( <b>Выкл.</b> ).	Установите выключатель двигателя в положение On ( <b>Вкл.</b> ).
2. Проверьте топливо.	Нет топлива.	Заправьте.
	Плохое топливо; двигатель заправлен старым или некачественным топливом	Слейте топливо из топливного бака и карбюратора. Заправьте свежим бензином.
3. Извлеките и проверьте свечу зажигания.	Свеча зажигания неисправна, загрязнена или имеет неправильный зазор.	Замените свечу зажигания.
	Свечи зажигания залиты топливом	Высушите и переустановите свечу зажигания. Запустите двигатель с курком газа в положение Быстро.
4. Покажите двигатель авторизованному сервисному дилеру	Топливный фильтр загрязнен, неправильная работа карбюратора, зажигания, рычагов и т.д.	При необходимости замените или отремонтируйте неисправные детали.

Таблица 2.3 – Техника устранения неисправностей мотопомпы

<b>Действия</b>	<b>Возможные причины</b>	<b>Устранение</b>
1. Проверьте камеру мотопомпы.	Мотопомпа не залита.	Залейте мотопомпу.
2. Проверьте входной рукав.	Рукав поврежден, порезан или проколот.	Замените входной рукав.
	Фильтр не полностью под водой.	Погрузите фильтр и конец входного рукава полностью под воду.
	Пропускание воздуха в соединении.	Замените прокладку, если она повреждена или отсутствует. Затяните соединение рукава и зажим.
	Фильтр забит.	Очистите фильтр от мусора.
3. Измерьте входной и выходной рукава.	Слишком большая высота.	Переместите мотопомпу и/или рукава, чтобы сократить высоту.
4. Проверьте двигатель.	Не хватает мощности двигателя.	См. выше раздел «Двигатель».

## 2.5.5 Технические характеристики и настройки

Технические характеристики мотопомпы представлены в таблице 2.4, настройки в таблице 2.5.

Таблица 2.4 – Технические характеристики

	Характеристика	GP – 51
Мотопомпа	Длина (мм)	550
	Ширина (мм)	430
	Высота (мм)	385
	Вес (Кг)	25
	Диаметр входного отверстия (мм)	50
	Диаметр выходного отверстия (мм)	50
	Максимальное всасывание (м)	6
	Максимальная высота (м)	23
	Максимальная мощность (м <sup>3</sup> /ч)	30
Двигатель	Модель	G160F
	Тип	Однocyлиндровый, 4 – тактный, с воздушным охлаждением, OHV
	Объем (см <sup>3</sup> )	163
	Мощность (кВт/3600 об)	3.7
	Объем топливного бака (л)	3.6
	Объем масляного бака (л)	0.6

Таблица 2.5 – Настройки

Зазор свечи зажигания	0.70-0.80 мм
Холостой ход	1400/150 об.
Клапанный зазор (холодный)	Выходной: 0.20 ± 0.02 мм Входной: 0.15 ± 0.02 мм
Другие характеристики	Никакие другие настройки не требуются.

### Отчет о работе

1. Краткий конспект мер безопасности при эксплуатации мотопомпы.
2. Краткий конспект последовательности подготовки мотопомпы к работе (тушению источника загорания)
3. Выполнить задачу по локализации и ликвидации пожара.

## Раздел II МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### Взрывопожарная безопасность. Общие сведения

**Горение** – это химическая реакция окисления, сопровождающаяся большим выделением тепла и свечением. Процесс возникновения горения представлен на рисунке 36.

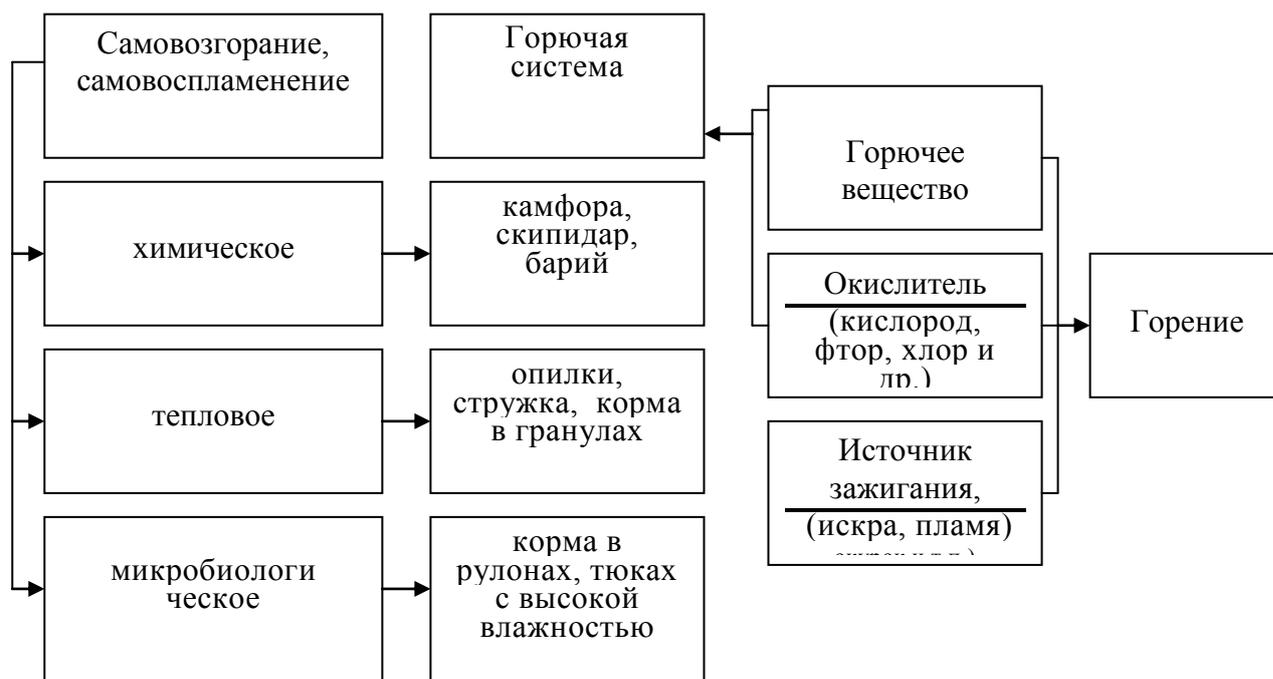


Рисунок 36 – Процесс возникновения горения

Горючее вещество и окислитель называется **горючей системой**.

**Пожар** – это неконтролируемое горение вне специального очага, сопровождающееся уничтожением материальных ценностей и создающее опасность для жизни и здоровья людей.

Виды горения и характеристика пожароопасных веществ приведены на рисунке 37.

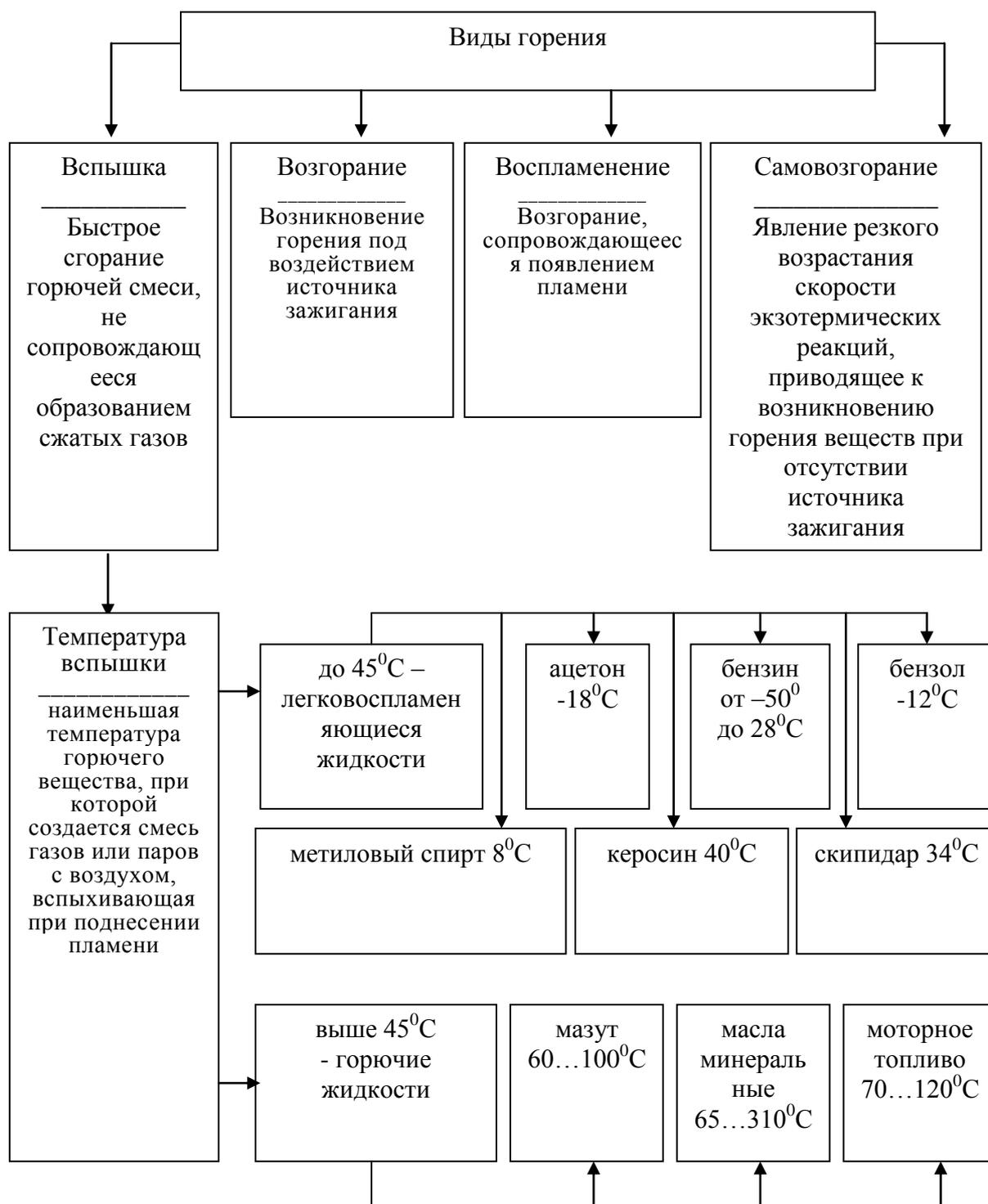


Рисунок 37 – Виды горения и характеристика пожароопасных веществ

**Вспышка** – это быстрое сгорание горючей смеси без образования зон повышенного давления.

**Возгорание, воспламенение** – процесс горения от источника зажигания.

**Самовозгорание, самовоспламенение** – процесс горения без источника зажигания. Различают химическое, микробиологическое, тепловое самовоспламенение, самовозгорание.

**Взрыв** – это высвобождение большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени с образованием ударной волны (избыточное давление более 5 кПа).

Температура, при которой горючее вещество за счет выделения паров и газов воспламеняется от источника зажигания, называется **температурой воспламенения**.

Температура, при которой вещество воспламеняется без источника зажигания, называется **температурой самовоспламенения**.

В таблице 1 приведена температура самовоспламенения материалов.

Таблица 1 – Температура самовоспламенения материала

Вещество	Температура самовоспламенения, °С	Вещество	Температура самовоспламенения, °С
Целлулоид	112	Древесина	399
Масла нефтяные	250-400	Ацетилен	406
Керосин	250	Этиловый спирт	421
Бензин А-76	255	Древесный уголь	450
Мазуты	380-420	Водород	530
Каменный уголь	400	Ацетон	612

Наиболее опасными считаются вещества с близкими по значению температурой вспышки и температурой воспламенения (например, бензин).

Вещества, имеющие температуру вспышки менее 61<sup>0</sup>, называются **легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ)**, а более 61<sup>0</sup> – **горючими жидкостями (ГЖ)**.

Предел воспламенения может быть нижним и верхним. Нижний предел воспламенения соответствует нижнему концентрационному пределу воспламенения.

**Концентрационный предел воспламенения** (нижний или верхний) – это максимальная или минимальная концентрация вещества ( $\text{г/м}^3$ ), при которой оно загорается.

Смеси горючих газов, имеющие низкие значения нижнего концентрационного предела воспламенения, являются пожаровзрывоопасными.

Классификация горения по скорости и характеру окисления приведена на рисунке 38.

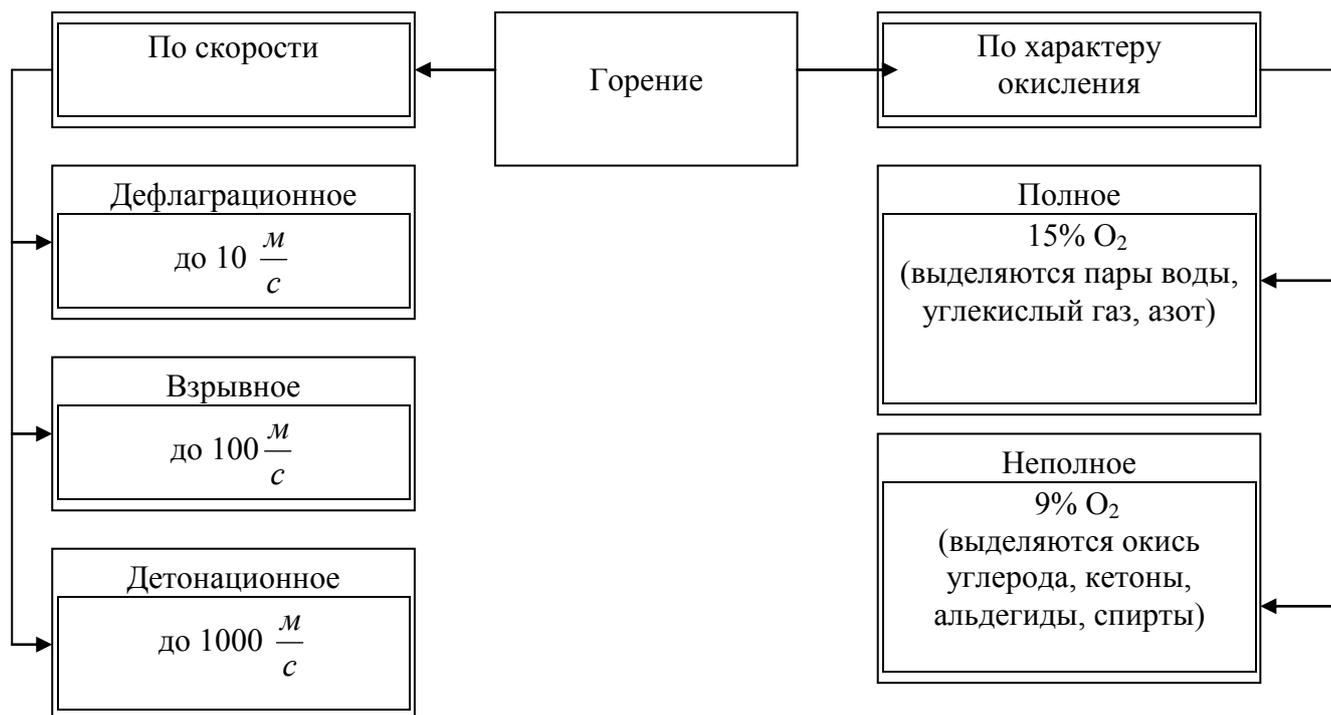


Рисунок 38 – Классификация процессов горения

**Пожарная защита** – это комплекс мероприятий, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материального ущерба от него. К ним относятся устранение причин пожара, локализация пожара, обеспечение эвакуации людей, животных и имущества.

## 1.2 Факторы, определяющие пожарную опасность

Все строительные материалы по возгораемости подразделяют на три группы (рисунок 39): негораемые (негорючие); трудногораемые (трудногорючие); сгораемые (горючие).

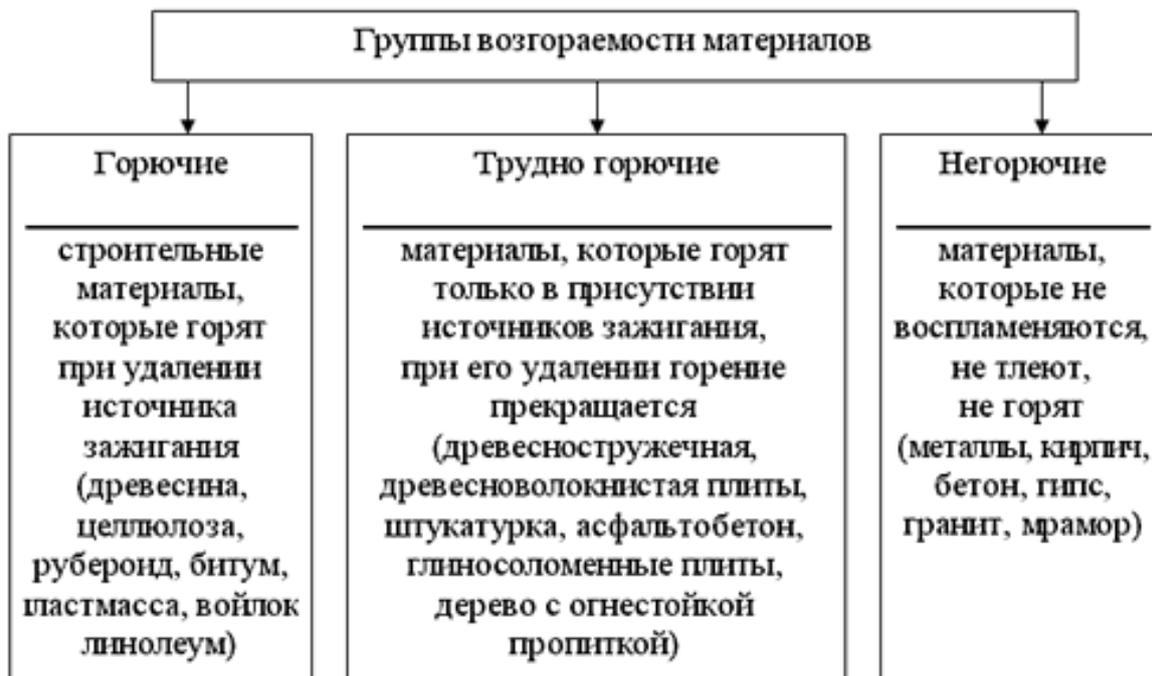


Рисунок 39 – Классификация веществ по возгораемости

Для повышения огнестойкости используют пропитку материалов антипиренами, оштукатуривание, нанесение специальных обмазок и красок, облицовку сгораемых материалов трудносгораемыми, заполнение полых конструкций водой.

**Огнестойкость** - способность строительной конструкции сопротивляться воздействию высокой температуры в условиях пожара. Основной характеристикой огнестойкости является предел огнестойкости.

**Предел огнестойкости** (ПО) – это время в часах и минутах от начала огневого испытания материалов до возникновения одного из признаков (табл. 2):

- образование сквозных трещин, через которые прорывается пламя и дым; повышение температуры до 140<sup>0</sup> и более;
- потеря несущей способности конструкций (обрушение, прогиб);
- переход горения в смежные конструкции.

Вероятность возникновения и распространения пожара определяется исходя из физико-химических свойств веществ, применяемых в производстве.

Таблица 2 – Степени огнестойкости зданий и сооружений

Степень огнестойкости	Части зданий и сооружений		
	несущие стены, каркас, колонны	перегородки, чердачные перекрытия	противопожарные стены (брандмауэр)
I	Несгораемые (ПО = 3ч)	Несгораемые (ПО = 0,5ч)	-
II	Несгораемые (ПО = 2,5ч)	Несгораемые (ПО = 0,25ч)	-
III	Несгораемые (ПО = 2ч)	Несгораемые (ПО = 0,25ч)	-
IV	Трудногораемые (ПО = 0,5ч)	Сгораемые	Несгораемые
V	Сгораемые (ПО не нормируется)	Сгораемые	Несгораемые

К параметрам, характеризующим их, относят: для ЛВЖ и ГЖ – температуру вспышки  $t_{всп}$ ; для горючих газов и пыли – нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ); для твердых веществ – горючесть, возможность воспламенения или взрыва при взаимодействии с водой или окислителями.

По характеристике веществ и материалов, находящихся в помещении, устанавливают **категорию производств по взрывопожарной и пожарной опасности** в соответствии с Нормами технологического проектирования: А – взрывопожароопасная; Б – взрывопожароопасная; В – пожароопасная; Г – пожароопасная; Д – пожароопасная; Е – взрывоопасная.

К **категории А** относят помещения, в которых применяются или находятся горючие газы, ЛВЖ с температурой вспышки не более  $28^0$  С в таком количестве, что могут образовываться взрывоопасные смеси ( $\Delta P_{\phi} > 5$  кПа); вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом, друг с другом.

К **категории Б** относят помещения, в которых применяются или находятся горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более  $28^0$  С; ГЖ, образующие взрывоопасные смеси ( $\Delta P_{\phi} > 5$  кПа).

К **категории В** относят помещения, в которых применяются или находятся ГЖ и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества, пыли и волокна, способные только гореть (не взрываться).

*К категории Г* относят помещения, в которых применяются или находятся негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой энергии, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

*К категории Д* относят помещения, в которых применяются или находятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

*К категории Е* относят помещения, в которых возможен взрыв без фазы горения (табл. 3).

Таблица 3 - Категории производств по пожарной опасности

Категория производства	Наименование производства
1	2
А	Цехи обработки и применения металлического натрия и калия; фабрики искусственного волокна; цехи полимеризации синтетического каучука; водородные станции, химические цехи фабрик ацетатного шелка; цехи производства искусственного жидкого топлива рекуперации и ректификации органических растворителей с температурой вспышки паров 20 <sup>0</sup> С и ниже; склады баллонов для горючих газов; склады бензина; насосные станции по перекачке жидкостей с температурой вспышки паров 28 <sup>0</sup> С и ниже и т.п.
Б	Цехи приготовления и транспортирования угольной пыли и древесной муки; промывочно-пропарочные станции тары от мазута и других жидкостей с температурой вспышки паров от 28 <sup>0</sup> С до 120 <sup>0</sup> С, выбойные и размольные отделения мельниц, цехи обработки синтетического каучука; цехи изготовления сахарной пудры; дробильные установки для фрезерного торфа; мазутное хозяйство электростанций; насосные станции по перекачке жидкостей с температурой вспышки паров от 28 до 120 <sup>0</sup> С и т. п.
В	Лесопильные, деревообрабатывающие, столярные, модельные, бондарные и лесотарные цехи; трикотажные и швейные фабрики; цехи текстильной и бумажной промышленности с сухими процессами производства; предприятия первичной обработки хлопка; заводы сухой первичной обработки льна, конопли и лубяных волокон; зерноочистительные отделения мельниц и зерновые элеваторы; цехи регенерации смазочных масел; оперегонные цехи; склады топливосмазочных материалов; открытые склады масла и масляное хозяйство электростанций; трансформаторные мастерские; распределительные устройства с выключателями и аппаратурой содержащей более 60 кг масла в единице оборудования; транспортные галереи и эстакады для угля и торфа; закрытые склады угля; пакгаузы смешанных грузов; насосные станции по перекачке жидкостей с температурой вспышки выше 120 <sup>0</sup> С; помещения для хранения автомобилей.

1	2
Г	Литейные и плавильные цехи металлов; печные отделения газогенераторных станций; кузницы; сварочные цехи; депо мотовозные и паровозные; цехи горячей прокатки металлов; мотороиспытательные станции; помещения двигателей внутреннего сгорания; цехи термической обработки металла; главные корпуса электростанций; распределительные устройства с выключателями и аппаратурой содержащей масла 60 кг и менее в единице оборудования; высоковольтные лаборатории; котельные и т. п.
Д	Механические цехи холодной обработки металлов (кроме магниевых сплавов); шихтовые (скрапные) дворы; садовое производство (кроме печных отделений); воздуходувные и компрессорные станции воздуха и других негорючих газов; цехи регенерации кислот; депо электрокаров и электровозов; инструментальные цехи; цехи холодной штамповки и холодного проката металлов; добыча и холодная обработка минералов, руд, асбеста, солей и других негорючих материалов; цехи текстильной и бумажной промышленности с мокрыми процессами производства; цехи переработки мясных, рыбных, молочных продуктов; щиты управления водоочистки; багерные насосы; золошлакоотстойники, насосные и водоприемные устройства электростанций; углекислотные и хлораторные установки; градирни; насосные станции для перекачки негорючих жидкостей и т.п.
Е	Аккумуляторные участки, склады баллонов с кислородом, водородом, закрытые навозохранилища, помещения с ацетиленовыми генераторами и т.п.

Наиболее опасны категории А, Б и Е. Для объектов категории В, Г и Д возможность возникновения пожаров зависит в основном от степени огнестойкости здания и плотности застройки.

Плотность застройки характеризует расстояние между зданиями, возможность переноса огня с одного здания на другое.

Под *плотностью застройки* понимают отношение суммарной площади, занимаемой всеми зданиями, к площади территории объекта.

Плотность застройки определяется по формуле

$$П = \frac{S_n}{S_T} \times 100, \quad (1.1)$$

где  $S_n$ - суммарная площадь, занимаемая всеми зданиями, м<sup>2</sup>;

$$S_n = \sum_{i=1}^n S_i, \quad (1.2)$$

где  $S_i$ - площадь, занимаемая  $i$ - м зданием  $m^2$ ;

$S_T$ - площадь территории,  $m^2$ ;

$n$  - количество зданий.

При плотности застройки до 7 % пожары не распространяются; от 7 до 20 % - распространяются отдельные пожары; свыше 20 % - вероятно возникновение сплошных пожаров.

О влиянии плотности размещения зданий на вероятность распространения пожара от здания к зданию можно судить из цифр, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 - Вероятность распространения пожара

Расстояние между здания мм, м	0	5	10	15	20	30	40	50	70	90
Вероятность распространения пожара, %	100	87	66	47	27	23	9	3	2	0

Обычно быстрое распространение пожара возможно при следующих сочетаниях степени огнестойкости зданий и сооружений с плотностью застройки: для зданий I и II степеней огнестойкости плотность застройки должна быть более 30 %; для зданий III степени - более 20%; для зданий IV и V степеней - более 10%.

Скорость распространения огня при скорости ветре 3 - 5м/с будет составлять в застройке II и III степеней огнестойкости 60 – 120м/ч, IV и V -120-300м/ч.

## Практическое занятие №1

### ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРА

#### Общие сведения

Под *пожарной обстановкой* понимается совокупность последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф, в результате которых возникают пожары, взрывы, оказывающие влияние на устойчивость работы объектов народного хозяйства и жизнедеятельность населения.

Оценка пожарной обстановки включает: определение масштаба и характера (вида) пожара, скорости и направления пожара; площади зон задымления, теплового воздействия и времени задымления; анализ их влияния на устойчивость работы отдельных элементов и объекта в целом, а также на жизнедеятельность населения; рекомендации по повышению устойчивости объекта к пожару.

Исходными данными для прогнозирования пожарной обстановки являются данные о пожаро- и взрывоопасности объекта и его элементов, окружающей среды (лесов и населённых пунктов); метеоусловия (влажность воздуха, подстилки, скорость и направление ветра); рельеф местности, характер застройки, наличие водоисточников.

При пожарах образуется три зоны: зона горения, зона теплового воздействия и зона задымления. *Зона горения* – это часть пространства, в котором образуется пламя или огненный шар из продуктов горения. *Зона теплового воздействия* – часть пространства, примыкающего к зоне горения, в котором происходит воспламенение или изменение состояния материала и поражающее действие на незащищенных людей. *Зона задымления* – часть пространства, примыкающая к зоне горения и заполненная токсичными дымовыми газами в концентрациях, создающих угрозу жизни и здоровью людей.

Размеры зоны горения определяются визуально по размерам пламени и горящих материалов. Температура в зоне горения достигает следующих значений: внутри зданий 800-900<sup>0</sup>; при горении газов и ЛВЖ на воздухе 1200-1600<sup>0</sup>; при горении твердых веществ 1000-1200<sup>0</sup>.

## 1.1 Оценка пожарной обстановки

Оценка проводится в следующей последовательности:

1. Определяют расстояние между зданиями  $R$  (м).
2. Измеряют относительную влажность воздуха  $\varphi$  (%).
3. Определяют скорость и направление ветра  $v$  (м/с). Скорость распространения пожара в населенных пунктах при скорости ветра  $v_в = 3...4$  м/с составляет  $v_n = 150...300$  м/ч (с деревянной застройкой);  $v_n = 60...120$  м/ч (с каменными зданиями).
4. Устанавливают степень огнестойкости зданий и сооружений (табл. 2).  
Определяют категорию пожарной опасности (табл. 3).
5. Определяется плотность застройки по формуле (1.1).
6. Определяют вероятность возникновения и распространения пожара (табл. 4).
7. Рассчитывают продолжительность пожара:  
- при горении твердых веществ по формуле

$$T = M / (S_{об} v_{выг}), \quad (1.3)$$

где  $M$  – масса горючего вещества, кг;

$S_{об}$  - площадь объекта (пожара), м<sup>2</sup>

$v_{выг}$  – скорость выгорания веществ, кг/м<sup>2</sup> с (табл. 5);

- при горении газовоздушных смесей (ГВС) и топливовоздушных смесей (ТВС) по формуле

$$t_{св} = 2,76 \cdot \sqrt[3]{M}, \quad (1.4)$$

где  $M$  – масса вещества (метан, пропан, бутан, этан и пр.), кг (принимается равной 50% вместимости резервуара при одиночном хранении и 90 % вместимости при групповом).

Таблица 5 – Теплотехнические характеристики веществ и материалов

Вещества и материалы	Скорость выгорания, $v_{выг}$ , кг/м <sup>2</sup> ·с	Теплота сгорания, $Q_V$ , кДж/кг	Теплота пожара, $Q_o$ , кДж/м <sup>2</sup> ·с
Ацетон	0,047	$28,4 \cdot 10^3$	1200
Бензол	0,08	$30,5 \cdot 10^3$	2500
Бензин	0,05	$44 \cdot 10^3$	1780-2200
Керосин	0,05	$43 \cdot 10^3$	1520
Метиловый спирт	0,04	$20,9 \cdot 10^3$	840
Смесь метана, пропана, бутана	0,65	$40-50 \cdot 10^3$	2800
Нефть	0,02	$43,7 \cdot 10^3$	874
Этиловый спирт	0,03	$33,8 \cdot 10^3$	8200-10000
Фурфурол	0,04	$23 \cdot 10^3$	1000
Древесина	0,015	$19 \cdot 10^3$	260
Каучук натур.	0,013	$42 \cdot 10^3$	460
Пиломатериалы	0,017	$14 \cdot 10^3$	150
Полистирол	0,007	$42 \cdot 10^3$	350
Оргстекло	0,016	$15 \cdot 10^3$	120
Мазут	0,013	$40 \cdot 10^3$	1300

8. Рассчитывают безопасный радиус теплового воздействия при горении твердых веществ по формуле

$$R_{без} = R \sqrt{\frac{\alpha \cdot Q_o}{J_{пр}}}, \quad (1.5)$$

где  $R$  - приведенный размер очага горения, м;  $R = \sqrt{S}$  - для горящих зданий ( $S=L \cdot H$ );  $R = \sqrt{L \cdot (3 \dots 4) \cdot h_{ш}}$  - для штабелей пиленого леса ( $h_{ш}$  - высота штабеля);  $R = D_{рез}$  - для горящих резервуаров с ЛВЖ;  $R = 0,8 D_{рез}$  - для ГЖ;  $R = d$  - для различных горючих жидкостей ( $d$  - диаметр разлития жидкости);

$J_{пр}$  - предельные критические значения теплового излучения для человека и материалов, кДж/м<sup>2</sup>·с (табл. 6);

$Q_o$  - теплота пожара, кДж/м<sup>2</sup>·с (табл. 5);

$$Q_o = Q_V \cdot v_{выг},$$

$\alpha$  - коэффициент, характеризующий геометрию очага ( $\alpha = 0,02$  для плоского очага;  $\alpha = 0,08$  для объёмного очага).

Радиус теплового воздействия  $R$  огненного шара при горении ГВС, ТВС определяется по формуле

$$R = \sqrt{\frac{133M^{2/3}}{J_{np}}}, \quad (1.6)$$

где  $M$  – масса вещества (метан, пропан, бутан, этан и пр.), кг; принимается равной 50% вместимости резервуара при одиночном хранении и 90 % вместимости при групповом;

$J_{np}$  – предельное значение теплового излучения для человека и материалов, кДж/м<sup>2</sup>·с (табл. 6).

Таблица 6 – Предельные значения теплового излучения для человека и материалов

Объект	Предельное значение теплового излучения $J$ , кДж/м <sup>2</sup> ·с	Время выдержки, с
Человек (начинаются болевые ощущения)	30	1
	10,5	6
	4,2	15...20
	2,5	40
	1,5	60...120
	1,26	безопасно
Древесина при $\varphi = 15\%$ (начинается возгорание)	15,5	300
	14	600
Ацетон, бензол, спирт	35	180
Мазут, торф, масло	41	180

**Пример 1.1.** Определить безопасный радиус теплового воздействия для человека и деревянных зданий при горении деревянного строения размером 30х20 м. Удельная теплота пожара 260 кДж/м<sup>2</sup>·с.

**Решение.** Расчет ведем по формуле (1.5), принимая предельное безопасное значение теплового воздействия для человека (табл. 1.6) 1.26 кДж/м<sup>2</sup>·с, для древесины 14 кДж/м<sup>2</sup>·с

$$R_{без} = R \sqrt{\frac{\alpha \cdot Q_o}{J_{np}}} = \sqrt{13 \cdot 20} \cdot \sqrt{\frac{0,08 \cdot 260}{1,26}} = 100 м$$

$$R_{без} = R \sqrt{\frac{\alpha \cdot Q_o}{J_{np}}} = \sqrt{13 \cdot 20} \cdot \sqrt{\frac{0,08 \cdot 260}{14}} = 30 м$$

**Вывод.** При горении деревянного строения размером 13х20 для человека безопасным будет расстояние 100м, для деревянных домов 30 м.

**Пример 1.2.** При аварии из емкости вылилось 50000кг бутана. Определить радиус зоны теплового воздействия для человека и время пожара при возгорании ГВС.

**Решение.** Рассчитываем время пожара по формуле (1.4)

$$t_{ce} = 2,76 \cdot \sqrt[3]{M} = t_{ce} = 2,76 \cdot \sqrt[3]{25000} = 80c$$

Радиус зоны теплового воздействия для человека рассчитаем по формуле (1.6), выбрав предельное значение теплового излучения для человека  $J_{np} = 4,2$  кДж/м<sup>2</sup>·с

$$R = \sqrt{\frac{133M^{2/3}}{J_{np}}} = \sqrt{\frac{133 \cdot 25000^{2/3}}{4,2}} = 160 \text{ м}$$

**Вывод.** На расстоянии 160 м болевые ощущения начнутся через 15...20 с.

Зона задымления является опасной для человека при содержании окиси углерода (СО) более 0,2 %, двуокиси углерода (СО<sub>2</sub>) – более 6 %, кислорода (О<sub>2</sub>) – менее 17 %. При наличии в зоне горения химических веществ (пластмасс, фанеры, линолеума и др.) в воздух выделяются токсичные продукты, такие как фенол, формальдегид, хлористый водород, окисла азота, сероводород, фосген.

Скорость дымообразования  $v_{\partial}$  может быть рассчитана по формуле

$$v_{\partial} = v_{выл} \cdot d_m \cdot D, \quad (1.7)$$

где  $v_{выл}$  – скорость выгорания, кг/м<sup>2</sup>·с (табл. 5);

$d_m$  – коэффициент дымообразования;

$D$  – показатель токсичности дыма, токсодоза, мг·мин/л (табл. 7).

Коэффициент дымообразования рассчитывается по формуле

$$d_m = \frac{V_n}{l \cdot M} \ln \frac{E_o}{E_{\min}} \quad (1.8)$$

где  $V_n$  – объем пространства горения, м<sup>3</sup>;

$l$  – длина светового луча в дыму, м;

$M$  – масса сгоревшего материала, кг;

$\ln$  – логарифм натуральный;

$E_o, E_{min}$  – освещенность участка горения без задымления и в дыму, лк.

**Пример 1.3.** Определить скорость дымообразования при пожаре на складском помещении объемом 20х30х5м<sup>3</sup>. Известно, что горит штабель древесины массой 1000кг.

**Решение.** Рассчитаем коэффициент дымообразования по формуле (1.8), приняв длину светового луча в дыму 1м, освещенность в помещении без задымления 50 лк, с задымлением 20 лк

$$d_m = \frac{V_n}{l \cdot M} \ln \frac{E_o}{E_{min}} = \frac{3000}{1 \cdot 1000} \ln \frac{50}{20} = 2,75$$

Рассчитаем скорость дымообразования по формуле (1.7), определив предварительно по таблице 5 скорость выгорания древесины  $v_{выг} = 0,015 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$  и по таблице 7 токсическую смертельную дозу для окиси углерода  $D = 60 \text{ мг} \cdot \text{мин/л}$

$$v_d = v_{выг} \cdot d_m \cdot D = 0,015 \cdot 2,75 \cdot 60 = 2,47 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$$

**Вывод.** Скорость дымообразования 2,47 кг/м<sup>2</sup> с.

Глубина опасной по токсичному действию части зоны задымления определяется из соотношения

$$\Gamma = \frac{34,2}{K_1} \left[ \frac{M(a+b)}{K_2 \cdot \vartheta_{\Gamma} \cdot D} \right]^{2/3}, \quad (1.9)$$

где  $M$  – масса токсичных продуктов горения, кг;

$D$  – токсическая доза, мг·мин/л (табл. 7);

$v_n$  – скорость переноса облака дыма,  $v_n = (1,5 \dots 2) \vartheta_{в}$ ;

$K_1$  – коэффициент шероховатости поверхности ( $K_1 = 1$  открытая поверхность;  $K_1 = 2$  – поля, степь;  $K_1 = 2,5$  – кустарники, отдельные деревья;  $K_1 = 3,3$  – городская застройка, лесной массив);

$K_2$  – коэффициент степени вертикальной устойчивости атмосферы ( $K_2 = 1$  – инверсия;  $K_2 = 1,5$  – изотермия;  $K_2 = 2$  – конвекция);

$a$  и  $b$  – коэффициенты, учитывающие доли массы токсических продуктов в первичном и вторичном облаке (табл. 7); при пожаре  $a = 1$ ,  $b = 0$ .

Таблица 7 - Значения токсических доз

Химическое вещество	Токсическая доза, $D$ , мг·мин/л		Коэффициенты	
	смертельная	пороговая	$a$	$b$
Аммиак	60	18	0,2	0,15
Двуокись углерода	0,6	0,06	0,07	0,15
Оксид углерода	60	25	1,0	0
Оксиды азота	3	1,5	0	0,03
Сернистый ангидрид	70	1,8	0,2	0,15
Синильная кислота	2	0,2	0	0,03
Фосген	60	6,2	0,07	0,15
Формалин, формальдегид	22,5	1,5	0	0,03
Хлор	6	0,6	0,2	0,15

**Пример 1.4** Определить глубину зоны токсического задымления при пожаре на станции водоочистки, где произошло разрушение емкости с хлором. Масса хлора 300кг, городская застройка. Состояние атмосферы – инверсия, скорость ветра 1 м/с.

**Решение.** Для определения глубины зоны токсического задымления используем формулу (1.9), выбрав по таблице 7 значения токсической смертельной дозы для хлора  $D = 6$  мг·мин/л, приняв для условий пожара коэффициент  $a = 1$ , коэффициент  $b = 0$ ; коэффициент  $K_1 = 3,3$ ,  $K_2 = 1$

$$\Gamma = \frac{34,2}{K_1} \left[ \frac{M(a+b)}{K_2 \cdot g_{\text{пл}} \cdot D} \right]^{2/3} = \frac{34,2}{3,3} \left[ \frac{(1+0)}{1 \cdot 1,5 \cdot 6} \right]^{2/3} = 110 \text{ м}$$

**Вывод.** Глубина зоны токсического задымления равна 110м.

## 1.2 Расчет средств пожаротушения

Процесс горения прекращается, если очаг пожара изолируют от воздуха; концентрация кислорода снижается до 12-15%; горящие вещества охлаждаются ниже температуры самовоспламенения, воспламенения; осуществляется торможение скорости химической реакции окисления - ингибирование.

Вещества, которые способствуют прекращению горения, называются **огнетушащими или огнегасительными**. Огнетушащие вещества *по электропроводности* разделены на две группы: электропроводные (вода, химическая пена, водяной пар); неэлектропроводные (газы и порошки, воздушно-механическая пена). По *токсичности* огнетушащие вещества могут быть нетоксичные (вода, пена, порошки); мало токсичные (углекислота, азот); токсичные (бромэтил, фреоны).

Огнетушащие вещества составляют основу огнетушителей, которые относятся к первичным средствам пожаротушения. Потребное количество первичных средств пожаротушения ведут по формуле.

$$n = m_o \cdot S \quad (1.10)$$

где  $m_o$  - нормируемое число огнетушителей (ящиков с песком, бочек с водой и пр.), шт/ м<sup>2</sup> (табл. 8).

**Пример 1.5.** Рассчитать количество первичных средств пожаротушения для гаража площадью 1500 м<sup>2</sup>.

**Решение.** Выбираем по таблице 3.8 нормируемое число огнетушителей (ящиков, бочек),  $m_o$  (шт/ м<sup>2</sup>). Для гаража на 100 м<sup>2</sup> необходимо 1 огнетушитель ОХП-10, 1 ящик с песком и лопатой, 1 асбестовое полотно.

Рассчитаем по формуле (3.10) количество первичных средств пожаротушения для гаража площадь. 1500 м<sup>2</sup>

- огнетушителей

$$n = m_o \cdot S = (1/100) \times 1500 = 15$$

- ящиков с песком и лопат

$$n = m_o \cdot S = (1/100) \times 1500 = 15$$

- асбестовых полотен 1x2м

$$n = m_o \cdot S = (1/100) \times 1500 = 15$$

Таблица 8 - Нормы средств пожаротушения на производственных объектах

Объект	Площадь объекта, м <sup>2</sup>	Число пожарного оборудования			
		огнетушитель ОХП-10	ящик с песком (0,3 м <sup>3</sup> ) и лопатой	бочка с водой (200 л) и 2-4 ведра	асбестовое полотно, войлок или кошма (1x2 м)
1	2	3	4	5	6
Механическая мастерская по ремонту техники и обработке металлов	600	1	-	-	-
Гараж	100	1	1	-	1
Деревообделочная мастерская	100	1	-	1	-
Будка для автовесов (на будку)	-	1	-	-	-
Мельница (крупорушка)	100	1	-	1	-
Склад продовольствия и фуража	300	1	-	1	-
Склад зерна, муки и др.	200	1	-	4	-
Склад минеральных удобрений	500	1	-	1	-
Склад пеньки, пакли, льна и др.	100	1	-	1	-
Склад ЛВЖ и ГЖ	200	2	2	1	1
Служебное помещение	200	1	-	-	-
Помещения учебных заведений (на 15 м длины коридора)	-	1	-	-	-
Льно- или коноплеперерабатывающий пункт	100	1	1	1	-
Баня	200	1	-	-	-
Хлебопекарня (на две топки):	-				
-на твердом топливе		1	-	-	-
-на жидком топливе		1	1	-	-
Животноводческое помещение	100	1	-	1	-
Магазин	100	1	-	-	-
Пожарное депо	100	1	-	-	-
Трактор	-	1	1 лопата	-	1
Комбайн	-	1	2 лопаты	-	1

**Вывод.** Для гаража площадью 1500 м<sup>2</sup> необходимо 15 огнетушителей ОХП-10, 15 ящиков с песком по 0,3 м<sup>3</sup> и 15 асбестовых полотен.

### 1.3 Противопожарное водоснабжение

Вода пригодна для тушения большинства горючих веществ. Она обладает тремя свойствами огнетушения: охлаждает зону горения или горящие вещества; разбавляет реагирующие вещества в зоне горения; изолирует горючие вещества от зоны горения. Вода обладает большой теплопроводностью и отнимает тепло у горящих веществ. Образовавшийся пар снижает концентрацию кислорода в зоне горения, сдерживая процесс окисления.

Воду нельзя применять при тушении следующих веществ: азид свинца (взрывается при увеличении влажности до 30%); металлического алюминия (при горении разлагает воду на водород и кислород); битума (подача компактных струй воды ведет к выбросу и усилению горения); гидратов щелочных металлов, калия металлического, калия водородистого, кальция металлического (при реагировании с водой выделяют водород); нитроглицерина, гидросульфида натрия (от удара струй воды взрываются); селитры (подача струй воды в расплав селитры ведет к сильному взрывообразному выбросу и усилению горения).

Расчетный расход воды принимают в зависимости от степени огнестойкости зданий, их объема и категории пожарной опасности по таблице 9.

Таблица 9 - Расход воды на наружное пожаротушение на один пожар

Категория производства	Степень огнестойкости	Объем здания, тыс. м <sup>3</sup>				
		менее 3	3...5	5...20	20...50	50...200
		Расход воды, $q$ (л/с)				
Г, Д	I и II	5	5	10	10	15
А, Б, В	I и II	10	10	15	20	30
Г, Д	III	10	10	15	25	-
В	III	10	15	20	30	-
Г, Д	IV и V	10	15	20	30	-
В	IV и V	15	20	20	40	-

Источниками водоснабжения могут быть естественные и искусственные водоемы.

Количество воды (м<sup>3</sup>) на тушение пожара определяется по формуле

$$Q = 3.6 \cdot q \cdot t \cdot z \quad (1.11)$$

где  $q$  – расход воды, л/с;

$t$  – расчетная продолжительность пожара, ч (принимается  $t = 3$  ч);

$z$  – количество одновременных пожаров.

Продолжительность пожара можно определить, если известно количество горючего вещества на  $1 \text{ м}^2$  и скорость его выгорания

$$t = g / \mathcal{G}_g \quad (1.12)$$

где  $g$  - количество горючего вещества, кг/м<sup>2</sup>;

$\mathcal{G}_g$  - скорость выгорания данного вещества, кг/м<sup>2</sup> ч (табл. 10).

Таблица 10 - Скорость выгорания веществ

Вещества и материалы	Скорость выгорания $\mathcal{G}_g$ , кг/м <sup>2</sup> ч
Бензин	15
Оргстекло	35
Автомобильные шины	40
Древесина	65
Сено, солома	90
Книги	285
Каучук	24
Полистирол	27
Целлюлоза	41
Текстолит	60
Пенопласт	117
Хлопок	165

**Пример 1.6.** Рассчитайте запас воды в пожарном водоеме для животноводческого помещения объемом  $9600 \text{ м}^3$ . Помещение относится к пятой (V) степени огнестойкости.

**Решение.** Определим категорию пожарной опасности по табл. 3. Животноводческое помещение относится к категории Д – обработка негоряемых веществ в холодном состоянии.

Определим по таблице 9 расход воды на пожаротушение в зависимости от степени огнестойкости, категории пожарной опасности и объема помещения – 20 л/с.

Рассчитаем по формуле (1.11) количество воды ( $\text{м}^3$ ) на тушение пожара, приняв продолжительность пожара  $t = 3$  ч и число одновременных пожаров  $z = 1$

$$Q = 3,6 \cdot q \cdot t \cdot z = 3,6 \cdot 20 \cdot 3 \cdot 1 = 216 \text{ м}^3$$

**Пример 1.7.** Определить расчетную продолжительность пожара для кирпичного одноэтажного склада, в котором хранится бензин в количестве  $q_1 = 30 \text{ кг/м}^2$ , оргстекло  $q_2 = 50 \text{ кг/м}^2$  и автомобильные шины  $q_3 = 80 \text{ кг/м}^2$ , расположенные на деревянных стеллажах  $q_4 = 45 \text{ кг/м}^2$ .

**Решение.** Выберем по таблице 2 степень огнестойкости для кирпичного здания I с пределом огнестойкости для несущих стен 3 часа. Выберем значения скоростей выгорания веществ, хранящихся на складе, по таблице 10.

Рассчитаем продолжительность пожара по формуле (1.12)

$$t = g / \mathcal{G}_g = 30/15 + 50/35 + 80/40 + 45/65 = 6 \text{ ч}$$

**Вывод.** Продолжительность пожара 6 ч. За это время будет разрушено все здание, так как предел огнестойкости несущих стен 3 ч.

#### **1.4 Определение категории взрывопожарной опасности производств**

Определение категории производств, опасных по взрыву горючих газов и паров жидкостей, осуществляется по расчетному объему газовойоздушной смеси и времени образования взрывоопасной паровойоздушной смеси.

Если расчетный объем газовойоздушной смеси превышает 5% свободного объема помещения, это производство относят к взрывопожароопасной категории (А или Б).

При объеме взрывоопасной паровойоздушной смеси, способной заполнить более 5% объема помещения, необходимо рассчитывать время испарения продукта в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5% объеме помещения. Если время образования взрывоопасной паровойоздушной смеси в 5% объеме помещения менее 1ч, рассматриваемое производство должно быть отнесено к категории взрывопожароопасной А. Если время

образования смеси больше 1ч, категорию производства определяют исходя из свойств веществ, используемых в данном производстве (таблица 3.3), а та часть объема помещения, где не исключается возможность образования взрывоопасных смесей, должна считаться взрывопожароопасной.

Расчетный объем взрывоопасной смеси  $V_{см}$  определяют по формуле

$$V_{см} = 1,5 E / C \quad (1.13)$$

где  $C$  - нижний концентрационный предел воспламенения вещества, г/м<sup>3</sup>;

$1,5$  - коэффициент запаса;

$E$  - количество поступившего в помещение вещества, г.

$$E = E_a + E_m + E_u, \quad (1.14)$$

где  $E_a, E_m, E_u$  - количество вещества, поступившего, соответственно, из аппарата (емкости), из трубопровода, в результате испарения, г.

Количество вещества, поступившего из аппарата, определяют из выражения

$$E = V \cdot \rho, \quad (1.15)$$

где  $V$  – объем вещества в аппарате (емкости), м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность вещества, г/м<sup>3</sup> (табл. 11).

Таблица 11 – Физико-химические свойства растворителей

Вещество	Молекулярная масса, $M$ , г	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Нижний концентрационный предел воспламенения, $C$ , г/м <sup>3</sup>	Давление насыщенных паров, $P_n$ , кПа
Ацетон	58	792	52	181,7...230
Бензол	78	879	45	74,8
Ксилол	106	881	49,7	29,2
Толуол	92	867	49	22,3
Скипидар	136	870	45	28

Время испарения продукта в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5% объема помещения, определяется по формуле

$$T_{ui} = 0,18 \cdot V_{пом} \cdot C \cdot K / (\eta \cdot P_n \cdot S_{исп.} \cdot \sqrt{M}), \quad (3.16)$$

где 0,18 - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения паров;

$V_{пом}$  - свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$C$  - нижний концентрационный предел воспламенения вещества, г/м<sup>3</sup> (табл. 11);

$\eta$  - коэффициент, учитывающий влияние скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения (табл. 12);

$P_n$  - давление насыщенных паров, кПа (табл. 11);

$M$  - молекулярная масса вещества, г (табл. 11);

$S_{исп.}$  - площадь испарения жидкости, м<sup>2</sup> (в расчетах принимают, что 1 л смеси и растворов, содержащих до 70% растворителей, разливается на 0,5 м<sup>2</sup>, а остальных жидкостей - на 1 м<sup>2</sup> пола помещения);

$K$  - коэффициент, учитывающий эффективность работы аварийной вентиляции,

$$K = K_g \cdot T + 1, \quad (1.17)$$

где  $K_g$  - кратность воздухообмена, ч<sup>-1</sup>;

$T$  - продолжительность аварии, ч.

Таблица 12 - Коэффициент, учитывающий скорость и температуру воздуха  $\eta$

Скорость воздушного потока в помещении, м/с	Температура воздуха в помещении, °С				
	10	15	20	30	35
0	1	1	1	1	1
0,1	3	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1	10	3,7	7,7	5,0	4,6

**Пример 1.7.** В помещении цеха, где производится очистка, обезжиривание и окраска изделий, имеются три емкости, содержащие растворители. В одной емкости ксилол  $V_1^{кc} = 500л$ , в другой - ксилол  $V_2^{кc} = 300л$  и в третьей -

ацетон  $V_3^{ac} = 150$  л. Объем помещения  $V_{пом} = 25000$  м<sup>3</sup>; максимальная температура воздуха в помещении 25°C, температура растворителей 25°C.

В результате аварии электросети вентиляция не работает.

Требуется определить, к какой категории взрывопожароопасности следует отнести данное производство.

**Решение.** Принимаем следующую аварийную ситуацию:

1) произошла авария одной из емкостей, вся жидкость вылилась наружу и испаряется;

2) так как в двух емкостях содержатся одинаковые растворители, принимаем аварийный разлив ксилола из большей по объему емкости;

3) производим расчет по обоим растворителям (ксилолу и ацетону);

4) за результат примем более жёсткий из вариантов.

Определяем количество ксилола и ацетона, разлившееся по полу по формуле (1.15), подставляя количество растворителя в формулу в м<sup>3</sup>

$$E_{кс} = V_{кс} \cdot \rho_{кс} = 0,500 \cdot 881 = 440 \text{ кг}$$

$$E_{ac} = V_{ac} \cdot \rho_{ac} = 0,150 \cdot 792 = 119 \text{ кг}$$

Определяем площадь испарения ксилола и ацетона, принимая, что 1л разливается на площади 1м<sup>2</sup>

$$S_{исп}^{кс} = 500 \text{ м}^2,$$

$$S_{исп}^{ac} = 150 \text{ м}^2.$$

Определяем по формуле (1.13) расчетные объемы взрывоопасной паровоздушной смеси, в которых вышедшие из аппарата ксилол и ацетон (г) могут образовать взрывоопасную смесь с концентрацией на нижнем пределе воспламенения

$$V_{см}^{кс} = 1,5 E_{кс} / C_{кс} = 1,5 \cdot 440000 / 49,77 = 13261 \text{ м}^3;$$

$$V_{см}^{ац} = 1.5 E_{ац} / C_{ац} = 1,5 \cdot 119000 / 52 = 3432 \text{ м}^3.$$

Определяем 5%-ный объем помещения

$$(V_{ном} \cdot 5) / 100 = (25000 \cdot 5) / 100 = 1250 \text{ м}^3.$$

Так как объем смеси в каждом из обоих случаев превышает 5%, свободного объема помещения ( $13261 > 1250$  и  $3432 > 1250$ ), необходимо определить время образования взрывоопасной смеси для ксилола и ацетона по формуле (1.16)

$$T_{исп}^{кс} = 0,18 V_{ном} C K / (\eta \cdot P_n \cdot S_{исп} \cdot \sqrt{M}) = 0,18 \cdot 25000 \cdot 49,77 \cdot 1 / (1 \cdot 29,2 \cdot 500 \cdot \sqrt{106}) = 1,5 \text{ ч};$$

$$T_{исп}^{ац} = 0,18 \cdot 25000 \cdot 52 \cdot 1 / (1 \cdot 230 \cdot 150 \cdot \sqrt{58}) = 0,9 \text{ ч}.$$

**Вывод.** Время испарения ацетона меньше одного часа, поэтому рассматриваемое производство необходимо отнести к взрывопожароопасной категории А по ацетону.

### 1.5 Расчет параметров эвакуации людей и животных

Поражающими факторами пожара являются: высокая температура, открытый огонь и токсичные продукты задымления.

Критической температурой, при которой человек может находиться непродолжительное время, является  $80-90^\circ$  при сухом воздухе и  $50-60^\circ$  при влажном. Наибольшую опасность представляет воздействие дыма. В результате задымления помещений создается 80% случаев опасности для жизни.

По данным статистики причинами гибели при пожаре являются: отравление оксидом углерода – 50% случаев; отравление дымом, асфиксия –

43%; повреждение респираторного тракта от дыма и избыточного тепла – 7%.

Содержание вредных веществ в продуктах горения приведено в таблице 13.

Таблица 13 – Содержание токсичных продуктов

Характер пожара	Содержание газов, % по объему		
	окись углерода	углекислый газ	кислород
Пожар в подвале	0,04-0,65	0,1-3,4	17-20
Пожар на чердаке	0,01-0,02	0,1-2,7	17,7-20,7
Прочие	0,01-0,04	0,3-10,0	9,9-20,8

Безопасность при пожаре достигается в том случае, когда продолжительность эвакуации из отдельных помещений или зданий будет меньше времени действия опасных для человека факторов.

Процесс эвакуации из зданий делится на три этапа. **Первый этап** – движение людей из наиболее удаленных участков (из производственных цехов, учебных классов, больничных палат и пр.) до эвакуационного выхода. **Второй этап** – движение людей от эвакуационных выходов из помещений до выходов наружу (по коридорам, проходам, фойе, лестничным клеткам и по лестницам – через вестибюль). **Третий этап** – движение людей от выходов из зданий.

Основными **параметрами движения людей при эвакуации** из зданий и сооружений являются плотность потока, скорость движения потока, пропускная способность путей выходов), интенсивность движения.

Плотность потока ( $m^2/m^2$ ) определяется по формуле

$$D = N \cdot f / F \quad (1.18)$$

где  $F$  – площадь пути эвакуационного участка,  $m^2$ ;

$N$  – количество людей в помещении;

$f$  – площадь горизонтальной проекции человека,  $m^2$  (определяется по табл. 14).

При плотности до  $0,05 m^2/m^2$  человек имеет полную свободу движения по направлению и скорости. При плотности  $0,05 < D < 0,15$  человек не может

свободно менять направление движения. При плотности выше 0,15 люди движутся слитно.

Таблица 14 - Площадь горизонтальной проекции человека

Возраст человека	Площадь горизонтальной проекции, $f$ (м <sup>2</sup> )
Взрослый человек:	
- в летней одежде	0,10
- в демисезонной одежде	0,113
- в зимней одежде	0,125
- с ребенком на руках	0,285
Подросток	0,07
Ребенок	0,04...0,05

Плотность ограничивается верхним значением  $D \leq 0,92$ .

Площадь пути эвакуационного участка можно найти, зная длину  $l$  и ширину пути  $b$

$$F = l \cdot b. \quad (1.19)$$

*Пропускная способность пути* – это количество людей, проходящих в единицу времени через поперечное сечение пути шириной  $\delta$ .

Ширина поперечного сечения пути  $\delta$  рассчитывается по формуле

$$\delta = D \cdot \vartheta \cdot v \quad (1.20)$$

где  $v$  – скорость движения, м/мин.

Интенсивность движения определяется как произведение плотности  $D$  и скорости движения  $v$

$$\lambda = D \cdot v \quad (1.21)$$

Скорость и интенсивность движения в зависимости от плотности потока приведены в таблице 15.

При расчете времени эвакуации весь путь делят на участки: начальный (от рабочего места до коридора), коридор, лестничные марши, тамбур.

Зная скорость движения людей по участкам и длину участка, определяют время движения при эвакуации.

Таблица 15 – Параметры эвакуации

Плотность потока, $D$ , $\text{м}^2/\text{мин}$	Горизонтальный путь		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	скорость, $v$ , м/мин	интенсивность, $\lambda$ , м/мин	интенсивность, $\lambda$ , м/мин	скорость, $v$ , м/мин	интенсивность, $\lambda$ , м/мин	скорость, $v$ , м/мин	интенсивность, $\lambda$ , м/мин
0,01	100	1	1,0	100,0	1,0	60,0	0,6
0,05	100	5	5,0	100,0	5,0	60,0	3,0
0,1	80	8	8,7	95,0	9,5	53,0	5,3
0,2	60	12	13,4	68,0	13,6	40,0	8,0
0,3	47	14,1	16,5	52,0	15,6	32,0	9,6
0,4	40	16,0	18,4	40,0	16,0	26,0	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31,0	15,5	22,0	11,0
0,6	27	16,2	19,0	24,0	14,4	18,0	10,8
0,7	23	16,1	18,5	18,0	12,6	15,0	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13,0	10,4	13,0	10,4
0,9	15	13,5	8,5	8,0	7,2	11,0	9,9

Расчетное время эвакуации людей определяют как сумму времени движения людей по отдельным участкам

$$t_p = t_1 + t_2 + \dots + t_n \quad (1.22)$$

где  $t_1$  – время движения на начальном участке, мин, (начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, столами и т.п.);

$t_2 \dots t_n$  – на каждом из следующих участков (коридоры, лестничные марши, тамбуры, холлы), мин.

Расчетное время должно быть меньше необходимого времени (таблица 16)

$$t_p < t_{нб} \quad (1.23)$$

Таблица 16 - Необходимое время эвакуации людей (мин)

Категория производства	Объем помещения, тыс. $\text{м}^3$				
	до 15	30	40	50	60 и более
А, Б, Е	0,50	0,75	1,00	1,50	1,75
В	1,25	2,0	2,0	2,50	3,00
Г, Д	Не ограничено				

Необходимое время эвакуации для конференцзалов, зрительных залов рассчитывают по формуле

$$t_{н\bar{o}} = 0,115 \cdot \sqrt[3]{V_n}, \quad (1.24)$$

где  $V_n$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Необходимое время эвакуации животных

$$t_{н\bar{o}} = 0,05 \cdot \sqrt[3]{V_n} \quad (1.25)$$

где  $V_n$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Количество путей эвакуации рассчитывается по формулам

- для людей

$$n_n = 0,6N/100 \cdot v, \quad (1.26)$$

- для животных

$$n_{жс} = \frac{N_{жс}}{N_{\partial} \cdot a} \quad (1.27)$$

где  $v$  – ширина выхода, м ( $v = 0,9$  м);

$N$  – количество людей в помещении;

$N_{жс}$  – количество животных в помещении;

$N_{\partial}$  – допустимое число животных на 1 м ширины выхода (табл. 17);

$a$  – ширина ворот, м (для зданий крупного рогатого скота  $a = 2$  м, для свинарников  $a = 1,5$  м, для овчарен  $a = 2,5$  м).

Таблица 17 - Пропускная способность выходов из помещений для животных

Животные	Количество животных на 1м ширины выхода из зданий со степенью огнестойкости	
	II и III	IV и I
Коровы	30	20
Свиноматки с приплодом, хряки	25	15
Откормочное поголовье свиней	250	150
Овцы	200	120
Лошади	25	15

**Пример 1.8.** Определить расчетное время, эвакуации для 200 человек в зимней одежде со второго этажа производственного здания категории пожарной опасности В. Объем здания до 15 тыс.м<sup>3</sup> (рисунок 40).

Ширина маршей лестничных клеток 2,4 м. Ширина эвакуационного пути 2 м, общая длина 42 м. Длина коридора 20 м, длина лестничных маршей 6 + 6 = 12 м, лестничной клетки 4 м.

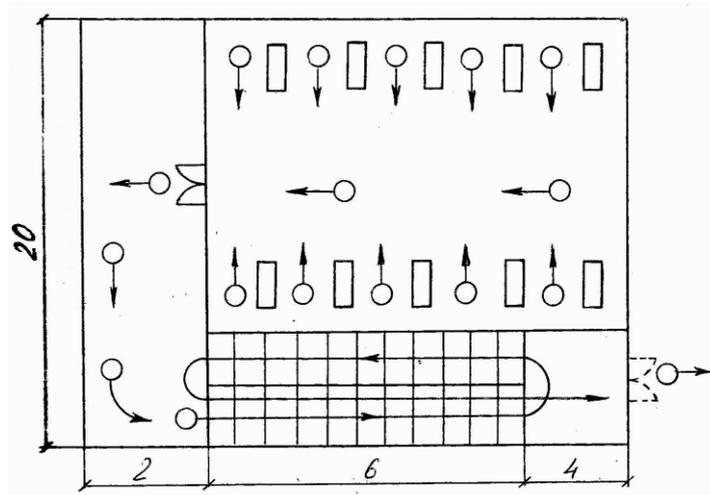


Рисунок 40 – Расчетная схема планировки участков эвакуации

**Решение.** Среднюю плотность людского потока определим по формуле (1.18)

$$D = N \cdot f / F = 200 \cdot 0,125 / (40 + 28,8 + 20) = 0,28 \text{ м}^2/\text{м}^2$$

Определим по таблице 15 скорость и интенсивность движения по участкам в зависимости от плотности потока:

- на горизонтальном участке  $v = 47 \text{ м/мин}$ ;  $\lambda = 14,1 \text{ м/мин}$ ;
- по лестнице вниз  $v = 52 \text{ м/мин}$ ;  $\lambda = 15,5 \text{ м/мин}$ ;

Определим время прохождения участков в соответствии с рисунком 40:

- участок 1 (начальный) –  $L_1 = 42 - (12 + 20) = 10 \text{ м}$ ;  $t_1 = 10/47 = 0,21 \text{ мин}$ ;
- участок 2 (коридор) –  $L_2 = 20 \text{ м}$ ;  $t_2 = 20/47 = 0,42 \text{ мин}$ ;
- участок 3 (лестница) –  $L_3 = 12 + 4 = 16 \text{ м}$ ;  $t_3 = 16/52 = 0,31 \text{ мин}$ .

Определим общее время эвакуации по формуле (1.22) без учета задержки перед дверьми

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 = 0,21 + 0,42 + 0,31 = 0,94$$

Необходимое время эвакуации людей определим по таблице 16 для помещения категории пожарной опасности  $B$  и объемом до 15 тыс. м<sup>3</sup>:

$$t_{нб} = 1,25 \text{ мин.}$$

**Вывод.** Расчетное время эвакуации меньше необходимого ( $0,94 < 1,25$ ), условие безопасности выполняется.

**Пример 1.9.** Рассчитать количество путей эвакуации для помещения III степени огнестойкости, в котором содержится 200 голов крупного рогатого скота.

**Решение.** Определим по табл. 17 допустимое количество животных на 1 м ширины выхода из зданий со степенью огнестойкости III  $N_{\delta} = 30 \text{ коров.}$

Рассчитаем количество путей эвакуации по формуле (1.27), принимая ширину ворот для коровника  $a = 2 \text{ м}$

$$n_{эс} = \frac{N_{эс}}{N_{\delta} \cdot a} = \frac{200}{30 \cdot 2} \cong 4$$

**Вывод.** Для эвакуации 200 коров из здания III степени огнестойкости необходимо 4 пути эвакуации.

## 1.6 Задачи для самостоятельного решения

1 Рассчитать продолжительность пожара на складе, где хранится древесина 200 кг/м<sup>2</sup>.

2 Определить количество путей эвакуации для административного здания, где работает 500 человек, если известно, что оно относится ко II степени огнестойкости.

3 Рассчитать количество ворот для эвакуации животных из помещения различной степени огнестойкости:

- 50 лошадей из конюшни, которая относится к I степени огнестойкости;
- 1000 коров из коровника II степени огнестойкости;
- 500 овец из овчарни III степени огнестойкости;
- 300 свиноматок с приплодом из свинарника IV степени огнестойкости;
- 250 голов свиней на откорме из свинарника V степени огнестойкости.

4 Определить количество воды в пожарном водоеме для тушения пожара на ферме КРС, если известно, что рядом расположены три помещения, относящиеся к IV степени огнестойкости, объемом до 3 тыс. м<sup>3</sup>.

5 Рассчитать время эвакуации людей из здания объемом 5000 м<sup>3</sup>.

6 В помещении цеха окраски мелких деревянных изделий на участке приготовления окрасочных составов возможен разлив ацетона применяемого в качестве растворителя. Максимально возможное количество растворителя в цехе - 45 кг при объеме помещения 5000м<sup>3</sup>. На участке приготовления и смешивания окрасочных составов пол площадью 10м<sup>2</sup> выполнен на 2 см ниже уровня пола цеха. Температура ацетона 20 °С, температура в помещении 25 °С. Давление пара  $P_n = 200$  кПа, нижний концентрационный предел воспламенения ацетона  $C = 52$ г/м<sup>3</sup>; плотность  $\rho = 792$ кг/м<sup>3</sup>, молекулярная масса  $M = 58,07$  г. Аварийная вентиляция обеспечивает кратность воздухообмена 2 раза в час, при этом подвижность воздуха  $v = 0,2$ м/с (при  $v = 0,2$ м/с и температуре 22°С коэффициент  $\eta = 2,9$ ). Требуется определить, к какой категории по взрывопожароопасности следует отнести данное производство.

### ВЗРЫВЫ. РАСЧЕТ ОЧАГА ПОРАЖЕНИЯ

#### Общие сведения

На производственных площадях химических и нефтеперерабатывающих предприятий, цехах ремонтных предприятий сосредоточены большие запасы взрывоопасных и токсичных продуктов. При разработке технологий и создании производств, при организации хранения этих веществ не всегда получают развитие закономерности физико-химических процессов, виды перехода и высвобождения энергии.

В настоящее время существует большое число технологических процессов с недостаточно изученными физико-химическими, взрывчатыми и токсическими свойствами сырьевых материалов, побочных и конечных продуктов.

Разрушение и повреждение зданий, сооружений, технологических установок, ёмкостей и трубопроводов на предприятиях со взрыво- и пожароопасной технологией может привести к истечению газообразных или сжиженных углеводородных продуктов. При перемешивании их с воздухом образуются взрыво- или пожароопасные смеси. Наиболее взрыво- и пожароопасны смеси с воздухом метана, пропана, бутана, этилена, пропилена, бутилена и других углеводородных газов. Взрыв или возгорание этих газов наступает при определенном содержании газа в воздухе. Например, взрыв пропана возможен при содержании в  $1\text{ м}^3$  воздуха 21 л газа, а возгорание - при содержании в  $1\text{ м}^3$  воздуха 95 л газа.

**Взрыв** - это освобождение большого количества энергии в ограниченном объеме за коротки промежуток времени с образованием ударной волны и избыточным давлением более 5 КПа (табл. 18).

При взрыве образуется очаг взрыва с ударной волной, вызывающей разрушение зданий, сооружений и оборудования.

Таблица 18 - Виды и энергия взрывов

Вид взрыва	Энергия взрыва
Взрыв взрывчатых веществ	Освобождение химической энергии
Ядерный взрыв	Освобождение внутриядерной энергии
Искровой разряд. Лазерная искра	Освобождение электромагнитной энергии
Взрыв сосудов под давлением	Освобождение энергии сжатых газов (баллоны, компрессорные установки, автоклавы)
Взрыв топливовоздушных смесей (ТВС) и газо-воздушных смесей (ГВС)	Объемный взрыв Смесь с воздухом углеводородных газов (метан, этан, пропан, бутан)
Взрыв пылевоздушных смесей (ПВС) при концентрации пыли менее 65 г/м <sup>3</sup>	Объемный взрыв. Смесь с воздухом взрывопожароопасной пыли (пыль древесная, мучная, угольная, торфяная, зерновая, сахарной пудры, льна, пеньки, джута, табака)

## 2.1 Взрыв топливовоздушных, газоздушных смесей

В очаге поражения при взрыве газоздушной смеси образуются три зоны: зона детонационной волны; зона действия продуктов взрыва; зона действия воздушной ударной волны.

Радиус *зоны детонационной волны* (зоны бризантного действия)  $R_1$  рассчитывают по формуле (м)

$$R_1 = 1,75 \sqrt[3]{Q \cdot \alpha} \quad (2.1)$$

где  $Q$  - количество сжиженного углеводородного газа, кг,

$\alpha$  – тротильный эквивалент (табл.19).

**Тротильный эквивалент** – это коэффициент, равный отношению теплоты сгорания данного вещества  $Q_V$  к теплоте сгорания тринитротолуола (ТНТ)  $Q_{ТНТ}$

$$\alpha = Q_V / Q_{ТНТ} \quad (2.2)$$

где  $Q_{ТНТ}$  – теплота сгорания ТНТ, кДж/кг ( $Q_{ТНТ} = 4,52 \cdot 10^3$  кДж/кг).

Избыточное давление в пределах этой зоны может достигать 1700 кПа.

Избыточное давление  $\Delta P_{\phi 1}$  (кПа) можно рассчитать по формуле М.В. Садовского

$$\Delta P_{\phi 1} = 95 \cdot \sqrt[3]{Q'} / R + 390 \cdot \sqrt[3]{Q'^2} / R^2 + 1300 Q' / R^3 \quad (2.3)$$

где  $R$  - расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки, м;

$Q'$  – количество углеводородного газа в тротиловом эквиваленте, кг;

$$Q' = \beta \cdot Q \cdot \alpha,$$

где  $\beta$  – доля прореагировавшего при взрыве газа,  $\beta = 0,1$ ;

$\alpha$  - тротильный эквивалент (табл. 19).

Таблица 19 – Физико-химические свойства углеводородных газов

Вещество	Тротильный эквивалент $\alpha$	Максимальное давление взрыва $P_{max}$ , МПа	Удельная теплота сгорания $Q_v$ , МДж/кг
Метан	0,716	0,72	50
Этан	0,533	-	47,3
Пропан	0,535	0,86	46,40
Бутан	0,486	0,86	45,8
Бензол	0,521	0,90	38,5
Толуол	0,546	-	41,06
Ксилол	0,563	-	42,86
Аммиак	0,512	0,6	18,6
Сероводород	0,425	-	14,0

Радиус зоны действия продуктов взрыва (зоны огненного шара) определяют по формуле (м)

$$R_2 = 1,7 \cdot R_1 \quad (2.4)$$

Избыточное давление в зоне действия продуктов взрыва меняется в пределах от 300 до 1350 кПа. Его можно рассчитать по формуле (кПа)

$$\Delta P_{\phi 2} = 1300 (R_1 / R)^3 + 50, \quad (2.5)$$

где  $R$  - расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки, м.

Радиус зоны действия воздушной ударной волны находят по формуле (м)

$$R_3 = 12,3 \cdot R_1 \quad (2.6)$$

Избыточное давление в зоне действия воздушной ударной волны рассчитывают по формулам (кПа)

$$\text{- при } K \leq 2 \quad \Delta P_{\phi 3} = \frac{700}{3(\sqrt{1+29,8K^3} - 1)} \quad (2.7)$$

$$\text{- при } K > 2 \quad \Delta P_{\phi 3} = \frac{22}{K(\sqrt{\lg K + 0,158})} \quad (2.8)$$

где  $K$  - относительная величина;

$$K = 0,24 (R / R_1), \quad (2.9)$$

где  $R$  – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки, м;

$R_1$  - радиус зоны детонационной волны, м.

Избыточное давление в третьей зоне можно также рассчитать по формуле (кПа)

$$\Delta P_{\phi 3} = \frac{233}{\sqrt{1+0,41 \cdot \left(\frac{R_3}{R_1}\right)^3} - 1} \quad (2.10)$$

Безвозвратные потери людей от воздействия ударной волны можно определить из выражения

$$N_{см} = 3 \cdot P \cdot Q^{0,666} \quad (2.11)$$

где  $Q$  - количество сжиженного углеводородного газа, т;

$P$  – плотность населения, тыс.чел/км<sup>2</sup>.

Характер разрушений объектов ударной волной определяется по таблицам 20 или 21.

Таблица 20 – Уровни разрушения здания от ударной волны взрыва

Характеристика повреждения здания	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение здания	70
Тяжелое повреждение здания, здание подлежит сносу	33
Среднее повреждение, возможно восстановление	25
Разбито 90% остекления	4
Разбито 50% остекления	0,2
Разбито 5% остекления	0,05

Таблица 21 – Степень разрушения объектов

Объекты	Степени разрушения		
	сильная	средняя	слабая
	Избыточное давление, $\Delta P_{\phi}$ , кПа		
Цех с легким металлическим каркасом	50-30	30-20	20-10
Кирпичные здания	30-20	20-12	12-8
Цистерны ж/д	90-60	60-40	40-20
Грузовая машина	50	50-40	40-20
Линия электропередач	120-80	70-50	40-20
Трубопроводы наземные	130	50	20
Трубопроводы на эстакадах	50-40	40-30	30-20
Резервуар ТСМ наземный	100-50	50-30	30-10
Резервуар ТСМ подземный	200-100	100-50	50-30
Теплоэлектростанция	25-20	20-15	15-10
Водонапорные башни	60-40	40-20	20-10
Деревянные дома	30-20	20-10	10

**Пример 2.1.** Требуется определить избыточное давление, ожидаемое в районе механического цеха, расположенного в кирпичном здании, при взрыве емкости, в которой находится 100 т сжиженного пропана. Расстояние от емкости до цеха 300 м.

**Решение.** Определяем радиус зоны детонационной волны по формуле (2.1), подставляя  $Q$  в кг и выбрав тротильный эквивалент для пропана по таблице 19 ( $\alpha = 0,535$ )

$$R_1 = 1,75 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot \alpha} = 1,75 \cdot \sqrt[3]{100000 \cdot 0,535} \approx 65,7 \text{ м}$$

Вычисляем радиус зоны действия продуктов взрыва по формуле (2.4):

$$R_2 = 1,7 \cdot R_1 = 1,7 \cdot 65,7 = 111,69 \text{ м}$$

Определяем радиус зоны действия воздушной ударной волны по формуле (2.6)

$$R_3 = 12,3 \cdot R_1 = 12,3 \cdot 65,7 = 808,11 \text{ м}$$

Цех находится в зоне воздушной ударной волны, т.к. расстояние от центра взрыва до цеха 300 м.

Так как цех находится в третьей зоне, вычисляем избыточное давление только для этой зоны. Находим избыточное давление на расстоянии 300 м, определив предварительно коэффициент  $K$ :

$$K = 0,24 R / R_1 = 0,24 \cdot (300 / 65,7) = 1,9 < 2$$

Так как  $K < 2$ , выбираем формулу для расчета избыточного давления (2.7):

$$\Delta P = \frac{700}{3(\sqrt{1+29,8K^3} - 1)} = \frac{700}{3(\sqrt{1+29,8 \cdot 1,09^3} - 1)} \approx 60 \text{ кПа}$$

Характер разрушений определим по таблице 4.4. При 60 кПа кирпичное здание получит полное разрушение.

**Вывод.** При взрыве 100т сжиженного пропана цех окажется под воздействием ударной волны с избыточным давлением около 60 кПа. Здание получит полное разрушение.

## 2.2 Взрыв пылевоздушных смесей

При образовании пылевоздушных смесей возможность взрыва определяется нижним концентрационным пределом взрываемости (НКПВ)  $C$ .

НКПВ рассчитывается по формуле ( $\text{кг/м}^3$ )

$$C = 800 / Q_v, \quad (2.12)$$

где  $Q_v$  – теплота взрыва, кДж/кг (табл. 22).

Таблица 22 - Физико-химические свойства пыли

Наименование пыли	НКПВ $C$ , $\text{кг/м}^3$	Максимальное давление взрыва $P_{max}$ , кПа	Удельная теплота сгорания $Q_v$ , кДж/кг
Антрацитовая	0,023	620	$32 \dots 36 \times 10^3$
Торфяная	0,08	500	$10,5 \times 10^3$
Печная (сажа)	0,04	480	$15,7 \dots 28,4 \times 10^3$
Мучная	0,047	710	$16,8 \times 10^3$
Древесная: -сосновая	0,053	620	$15,4 \times 10^3$
-еловая	0,038	620	$20,4 \times 10^3$
Сера	0,007	540	$111 \times 10^3$
Сахарная	0,01	640	$80 \times 10^3$

Массу пыли в тротиловом эквиваленте  $Q'$  определяют по формуле (кг)

$$Q' = Z \cdot M \cdot \alpha, \quad (2.13)$$

где  $Z$  – коэффициент участия пыли во взрыве в воздухе ( $Z = 0,02 \dots 0,1$ );

$M$  – масса пыли, кг;

$\alpha$  – тротильный эквивалент, определяемый по формуле (2.2).

Избыточное давление при взрыве пыли в воздухе можно рассчитать по формуле (2.2).

При взрыве в помещении избыточное давление рассчитывают по формуле (кПа)

$$\Delta P_{\phi} = \frac{M \cdot Q_V \cdot P_o \cdot z}{V \cdot \rho \cdot T_o \cdot K_n} \quad (2.14)$$

где  $M$  – масса пыли, кг;

$Q_V$  – теплота сгорания пыли, Дж/кг (табл. 23);

$P_o$  – начальное давление в помещении, кПа ( $P_o = 101$  кПа);

$Z$  – коэффициент участия пыли во взрыве в помещении ( $Z = 0,5$ );

$V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность воздуха до взрыва; кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1,2 \dots 1,25$  кг/м<sup>3</sup>);

$C$  – теплоёмкость воздуха, кДж/кг·К ( $C = 1,01$  кДж/кг·К);

$T_o$  – начальная температура в помещении, °С;

$K_n$  – коэффициент, учитывающий негерметичность оборудования, помещения ( $K_n = 3$ ).

Радиус зон разрушения (полных, сильных, средних, слабых) при взрыве ПВС определяют из выражения (м)

$$R = \frac{K \cdot \sqrt[3]{Q'}}{\sqrt[6]{1 + \left(\frac{3180}{Q'}\right)^2}}, \quad (2.15)$$

где  $K$  – константа разрушений (для зоны полных разрушений  $K_1 = 4,7$ ; для сильных -  $K_2 = 6,4$ ; для средних -  $K_3 = 8,2$ ; для слабых -  $K_4 = 13,5$ )

$Q'$  – масса пыли в тротиловом эквиваленте, определяемая из выражения (2.13).

Критическая масса пыли  $M_{кр}$ , при которой возможен взрыв, определяется по формуле (кг)

$$M_{кр} = C \cdot V, \quad (2.16)$$

где  $C$  – НКПВ, кг/м<sup>3</sup> (табл. 23);

$V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Время накопления взрывоопасного количества пыли (дней)

$$t_{взр} = M_{кр} / M_{сут}, \quad (2.17)$$

где  $M_{сут}$ , - количество пыли, которое накапливается за сутки, кг.

Радиус разброса продуктов взрыва  $R$  определяется по формуле (м)

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{2\pi}}. \quad (2.18)$$

После разрушения здания, резервуара образуется воздушная ударная волна и поле осколков.

Энергия взрыва в помещении равна (Дж)

$$E = E_{уд.в} + E_{оск}, \quad (2.19)$$

где  $E_{уд.в}$  – энергия, идущая на образование ударной волны,  $E_{уд.в} = 0,6 E$ ;

$E_{оск}$  – энергия, идущая на разлет осколков,  $E_{оск} = 0,4 E$ .

Дальность разлета осколков в безвоздушном пространстве можно определить по формуле (м)

$$L_{max} = v_0^2 / g, \quad (2.20)$$

где -  $v_0$  – начальная скорость полета осколков,

$$v_0^2 = (2 z \beta M Q_V) / M_0,$$

где  $z$  – коэффициент участия пыли во взрыве в помещении ( $z = 0,5$ );

$\beta$  – доля энергии на разлет осколков ( $\beta = 0,4$ );

$M$  – масса горючего вещества, г;

$Q_V$  – теплота взрыва, Дж/кг;

$M_0$  – суммарная масса осколков, равная массе резервуара, здания, кг.

**Пример 2.2.** В помещении пилорамы объемом  $5000 \text{ м}^3$  за сутки накапливается 500г еловой пыли. Определить время накопления взрывоопасной концентрации пыли и последствия взрыва пылевоздушной смеси.

**Решение.** По таблице 22 находим теплоту сгорания еловой пыли  $Q_V = 20,4 \times 10^3 \text{ кДж/кг}$ .

Принимаем температуру внутри помещения равной  $20^\circ$ .

Используя формулы (2.12) и (2.16), рассчитываем критическую массу пыли, при которой возможен взрыв

$$M_{кр} = C \cdot V = (800 \cdot V) / Q_V = (800 \cdot 5000) / 20,4 \times 10^3 = 196 \text{ кг}$$

Определяем время накопления взрывоопасной концентрации пыли по формуле (2.17)

$$t_{взр} = M_{кр} / M_{сут} = 196 / 0,5 = 392 \text{ дня}$$

Взрыв пылевоздушной смеси произойдет, когда фактическая концентрация пыли  $P_\phi$  будет больше НКПВ.

Определим фактическую концентрацию пыли  $P_\phi$

$$P_\phi = M_{кр} / V = 196 / 5000 = 0,04 \text{ кг/м}^3$$

По таблице 22 найдем НКПВ еловой пыли  $C = 0,038 \text{ кг/м}^3$ .

Определим по формуле (2.14) избыточное давление взрыва ПВС

$$\Delta P_\phi = \frac{M \cdot Q_V \cdot P_o \cdot z}{V \cdot \rho \cdot T_o \cdot K_n} = \frac{196 \cdot 20,4 \cdot 10^3 \cdot 101 \cdot 0,5}{5000 \cdot 1,2 \cdot 293 \cdot 3} = 38,3 \text{ кПа}$$

По таблице 20 определим результат воздействия такого избыточного давления на здание – здание разрушено и не подлежит восстановлению при 33 и более кПа.

Рассчитаем по формуле (2.18) радиус разброса продуктов взрыва в помещении

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{2\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 5000}{2 \cdot 3,14}} = 13,3 \text{ м}$$

**Вывод.** Разброс продуктов взрыва ПВС в цехе произойдет в радиусе 13,3 м. Избыточное давление взрыва разрушит здание цеха.

**Пример 2.3.** Определить избыточное давление во фронте ударной волны на расстоянии 50 м и дальность полета осколков при взрыве ПВС в деревообрабатывающем цехе объемом 5000 м<sup>3</sup>. Суммарная масса стен, перекрытий 500 т. Масса взорвавшейся пыли 200 кг

**Решение.** Определим массу пыли в тротиловом эквиваленте  $Q'$  по формуле (2.13)

$$Q' = Z \cdot M \cdot \alpha = 0,5 \times 200 \times 20,4 \times 10^3 / 4,52 \times 10^3 = 451 \text{ кг}$$

На образование ударной волны идет доля энергии, поэтому вводим коэффициент 0,6 при расчете избыточного давления взрыва на расстоянии 50 м по формуле (2.3).

$$\Delta P_{\phi} = 95 \cdot \sqrt[3]{0,6 \cdot Q'} / R + 390 \cdot \sqrt[3]{0,6^2 \cdot Q'^2} / R^2 + 1300 \cdot 0,6 \cdot Q' / R^3$$

$$\Delta P_{\phi} = 95 \cdot \sqrt[3]{0,6 \cdot 451} / 50 + 390 \cdot \sqrt[3]{0,6^2 \cdot 451^2} / 50^2 + 1300 \cdot 0,6 \cdot 451 / 50^3 = 21 \text{ кПа}$$

По таблице 2.3 20 определим характер разрушений – средние.

Дальность разлета осколков в безвоздушном пространстве рассчитаем по формуле (2.20), определив предварительно начальную скорость полета осколков

$$v_0^2 = (2 z \beta M Q_V) / M_0 = (2 \times 0,5 \times 0,4 \times 200 \times 20,4 \times 10^3) / 500000 = 3264 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$L_{\max} = v_0^2 / g = 3264 / 9,81 = 333 \text{ м}$$

**Вывод.** Дальность полета осколков при взрыве ПВС равна 333 м.

## 2.3 Взрыв емкостей (сосудов) под давлением

Работа установок и сосудов, находящихся под давлением, в результате нарушения их герметичности (из-за недостаточной прочности или устойчивости режимов эксплуатации) может сопровождаться взрывами.

К установкам и сосудам, работающим под давлением, относятся водогрейные и паровые котлы, автоклавы, компрессоры, холодильные установки, ресиверы, теплообменники, трубопроводы, баллоны.

**Автоклав** – аппарат для проведения процессов при нагреве и под давлением выше атмосферного. **Компрессор** – устройство для сжатия и подачи воздуха или другого газа под давлением. **Ресивер** – сосуд для скапливания газа, пара, поступающего в него, и расходуемого через трубы меньшего сечения, предназначенный для сглаживания колебаний давления. **Трубопроводы** – устройства для транспортировки жидкостей и газов, условно подразделяются на трубопроводы низкого давления до 100 МПа и высокого давления – выше 100 МПа. **Баллоны** – устройства для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, могут быть высокого и низкого давления (стандартные баллона вместимостью 40 л при давлении газа 12,5-15 МПа). **Сосуды** – стационарные и передвижные устройства, предназначенные для хранения транспортировки сжиженных газов (цистерны, бочки, сосуды Дьюара с вакуумной термоизоляцией).

Взрыв емкостей, находящихся под давлением, относится к группе физических взрывов, при которых при разрушении емкости происходит быстрое расширение газа и образование ударной волны и поля осколков. Наиболее частые причины взрывов: падение резервуара, разрыв швов, нарушение правил эксплуатации и др.

Энергия взрыва сосуда под давлением (Дж) определяется по формуле

$$E = \frac{P_2 \cdot V_0}{\gamma - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right], \quad (2.21)$$

где -  $P_2$  – давление пара (газа) в емкости, Па;

$P_0$  – атмосферное давление, Па;

$V_0$  – объем емкости, м<sup>3</sup>,

$\gamma$  - значение показателя адиабаты ( $\gamma = 1,4$  – воздух, водород, оксид углерода, азот, кислород;  $\gamma = 1,24$  – ацетилен;  $\gamma = 1,3$  – метан, углекислый газ;  $\gamma = 1,36$  – хлор;  $\gamma = 1,35$  – пары воды;  $\gamma = 1,29$  – сернистый газ;  $\gamma = 1,67$  – аргон, гелий;  $\gamma = 1,34$  – сероводород).

Масса эквивалентного заряда определяется по формуле (кг)

$$Q' = 0,6 E / Q_{ТНТ}. \quad (2.22)$$

где  $Q_{ТНТ}$  – теплота сгорания тринитротолуола, кДж/кг ( $Q_{ТНТ} = 4,52 \cdot 10^3$  кДж/кг).

Избыточное давление взрыва емкости под давлением (кПа) рассчитывается по формуле (2.3) М.В. Садовского.

Дальность полета осколков (максимальная) рассчитывается по формуле (м)

$$L_{\max} = 238 \cdot \sqrt[3]{Q'} \quad (2.23)$$

**Пример 2.4.** Определить степень разрушения одноэтажных деревянных и многоэтажных кирпичных зданий, расположенных на расстоянии 100м от эпицентра взрыва парового котла, находящегося под давлением  $P_z = 22 \cdot 10^5$  Па,  $P_0 = 10^5$  Па. Объем котла равен 320м<sup>3</sup>.

**Решение.** Рассчитаем энергию взрыва котла, находящегося под давлением, по формуле (2.21), приняв показатель адиабаты для паров воды  $\gamma = 1,35$

$$E = \frac{P_z \cdot V_0}{\gamma - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_0}{P_z} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right] = \frac{22 \cdot 10^5 \cdot 320}{1,35 - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{10^5}{22 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,35 - 1}{1,35}} \right] = 16,2 \cdot 10^8 \text{ Дж}$$

Определим по формуле (2.22) массу эквивалентного заряда, подставляя в формулу теплоту сгорания ТНТ в Дж

$$Q' = 0,6 E / Q_{ТНТ} = 0,6 \cdot 16,2 \cdot 10^8 / 4,5 \cdot 10^6 = 216 \text{ кг}$$

Определим избыточное давление во фронте ударной волны на расстоянии 100м от эпицентра взрыва по формуле (2.3)

$$\Delta P_{\phi} = 95 \cdot \sqrt[3]{Q' / R} + 390 \cdot \sqrt[3]{Q'^2 / R^2} + 1300 Q' / R^3$$

$$\Delta P_{\phi} = 95 \cdot \sqrt[3]{216 / 100} + 390 \cdot \sqrt[3]{216^2 / 100^2} + 1300 \cdot 216 / 100^3 = 7,4 \text{ кПа}$$

Рассчитаем максимальную дальность полета осколков по формуле (2.23)

$$L_{\max} = 238 \cdot \sqrt[3]{Q'} = 238 \cdot \sqrt[3]{216} = 1428 \text{ м}$$

**Вывод.** Избыточное давление взрыва емкости под давлением 7,4 кПа приведет к слабым разрушениям деревянных домов, дальность полета осколков составит 1428 м.

## 2.4 Оценка устойчивости оборудования к скоростному напору ударной волны

Для сооружений и оборудования, быстро обтекаемых ударной волной взрыва (трансформаторы, станки, антенны, дымовые трубы, опоры и т.п.) наибольшую опасность представляет скоростной напор воздуха, движущийся за фронтом ударной волны.

Давление скоростного напора зависит от избыточного давления взрыва.

Давление скоростного напора воздуха, движущегося за фронтом ударной волны, определяется по формуле

$$\Delta P_{ск} = 2,5 \Delta P_{\phi}^2 / (\Delta P_{\phi} + 720) \quad (2.24)$$

где  $\Delta P_{ск}$  - давление скоростного напора, кПа,

$\Delta P_{\phi}$  - избыточное давление, кПа.

Давление скоростного напора в зависимости от избыточного давления представлено на рисунок 41.

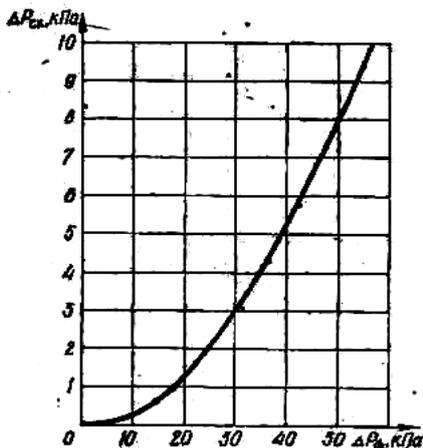


Рисунок 41 – Зависимость скоростного напора от избыточного давления

Оборудование сдвинется с места, если смещающая сила  $P_{см}$  будет превосходить силу трения  $F_{тр}$  и горизонтальную составляющую силы крепления  $Q_2$

$$P_{см} \geq F_{тр} + Q_2, \quad (2.25)$$

где  $Q_2$  - суммарное усилие болтов крепления, работающих на срез, Н;

$F_{тр}$  - сила трения, Н;

$$F_{тр} = f G = f \cdot m \cdot g \quad (4.26)$$

где  $f$  - коэффициент трения (табл. 24);

$G$  - вес оборудования, Н ;

$m$  - масса оборудования, кг;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Таблица 24 – Значения коэффициента трения между поверхностями

Наименование трущихся материалов	Коэффициент трения
<i>Коэффициенты трения скольжения</i>	
Сталь по стали	0,15
Сталь по чугуну	0,3
Металл по линолеуму	0,2...0,4
Металл по дереву	0,6
Металл по бетону	0,2...0,5
Резина по твердому грунту	0,4...0,6
Резина по линолеуму	0,4...0,6
Резина по дереву	0,5...0,8
Резина по чугуну	0,8
Дерево по дереву	0,4...0,6
Кожа по чугуну	0,3...0,5
Кожа по дереву	0,4...0,6
<i>Коэффициенты трения качения</i>	
Стального колеса по:	
- рельсу	0,05
- кафельной плитке	0,1
- линолеуму	0,15...0,2
- дереву	0,12...0,15

Для незакрепленного оборудования  $P_{см} \geq F_{тр.}$ , т.к.  $Q_r = 0$ .

Смещающую силу можно рассчитать по формуле

$$P_{см} = C_x \cdot S \cdot \Delta P_{сж} \quad (2.27)$$

где  $C_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления предмета (табл. 25);  
 $S$  – площадь миделя,  $m^2$ ;

$$S = b \cdot h,$$

где  $b$  – ширина обтекаемого предмета, м;

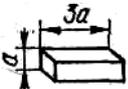
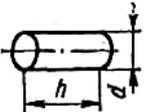
$h$  – высота предмета, м.

Если тело имеет сложную форму, то коэффициент аэродинамического сопротивления можно рассчитать по формуле

$$C_x = \frac{\sum C_{xi} \cdot S_i}{\sum S_i} \quad (2.28)$$

где  $C_{xi}$  – коэффициент аэродинамического сопротивления  $i$ -й части тела;  
 $S_i$  – площадь миделя  $i$ -й части тела.

Таблица 25 – Коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_x$

Форма тела	Схема	$C_x$	Направление движения воздуха
Параллелепипед		0,85	Перпендикулярно квадратной грани
		1,3	Перпендикулярно прямоугольной грани
Куб		1,6	Перпендикулярно грани
Пластина квадратная		1,45	Перпендикулярно пластине
Диск		1,6	Перпендикулярно диску
Цилиндр: $h/d = 1$		0,4	Перпендикулярно оси цилиндра
$h/d = 4$		0,43	
$h/d = 9$		0,46	
Сфера		0,25	
Полусфера		0,3	Параллельно плоскости основания
Пирамида		1,1	Параллельно основанию
Пирамида усеченная		1,2...1,3	

Зная силу трения, можно найти скоростной напор, вызывающий смещение оборудования.

Так как  $P_{см} \geq F_{тр}$  и  $P_{см} = C_x \cdot S \cdot \Delta P_{ск}$ , то предельное значение скоростного напора, не вызывающего смещения предмета будет определяться выражением

$$\Delta P_{ск} = f \cdot G / C_x \cdot S = f \cdot m \cdot G / C_x \cdot b \cdot h \quad (2.29)$$

**Пример 2.5.** Определить предельное значение избыточного давления, не вызывающее смещение незакрепленного вертикально-фрезерного станка относительно бетонного основания  $\Delta P_{ф\ lim\ см}$ . Длина станка 1000 мм, ширина 900 мм, высота 1800 мм, масса 800 кг (рисунок 42).

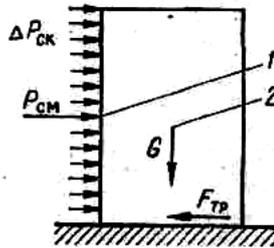


Рисунок 42 – Силы, действующие на станок при смещении

**Решение.** Определим предельное значение скоростного напора, не вызывающее смещение станка, по формуле (2.29), выбрав по таблице 24 значение коэффициента трения чугунного основания по бетону  $f = 0,35$  и по таблице 25 коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_x = 1,3$

$$\Delta P_{ск} = f \cdot m \cdot G / C_x \cdot b \cdot h = 0,35 \cdot 800 \cdot 9,8 / 1,3 \cdot 0,9 \cdot 1,8 = 1,3 \text{ кПа}$$

По величине  $\Delta P_{ск}$  из графика на рисунке 4.1 находим избыточное давление  $\Delta P_{ф\ lim\ см} = 20 \text{ кПа}$ .

**Вывод.** При  $\Delta P_{ф} \geq 20 \text{ кПа}$  ударная волна вызовет смещение станка.

Высокие элементы оборудования под действием скоростного напора ударной волны могут опрокидываться. Смещающая сила  $P_{см}$ , действуя на плече  $Z$ , будет создавать опрокидывающий момент, а вес оборудования  $G$  на плече  $l/2$  и реакция крепления  $Q$  на плече  $l$  - стабилизирующий момент (рисунок 43).

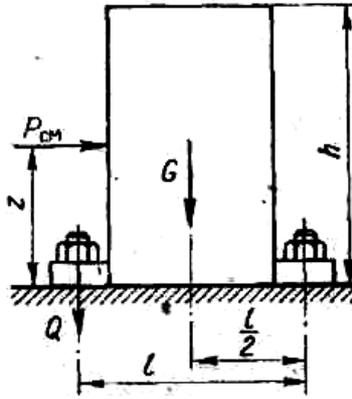


Рисунок 43 – Силы, действующие на предмет при опрокидывании

Условием опрокидывания оборудования является превышение опрокидывающего момента над стабилизирующим:

- для закрепленного оборудования

$$P_{cm} Z \geq G l/2 + Q \cdot l; \quad (2.30)$$

- для незакрепленного оборудования

$$P_{cm} Z \geq G \cdot l/2 \quad (2.31)$$

Принимается, что точка приложения силы  $P_{cm}$  находится прямо в центре тяжести площади миделя  $S$  предмета. Реакция крепления  $Q_{on}$  определяется как суммарное усилие болтов, работающих на разрыв.

Смещающая сила определяется из неравенства (4.31)

$$P_{cm} \geq l \cdot [(G/2) + Q] / Z \quad (2.32)$$

Скоростной напор  $\Delta P_{ск}$ , вызывавший опрокидывание оборудования, определяется по формуле

$$\Delta P_{ск} = l \cdot [(G/2) + Q] / C_x \cdot Z \cdot S, \quad (2.33)$$

Если  $Q = 0$ , то давление скоростного напора будет равно

$$\Delta P_{ск} = G \cdot l / 2 C_x \cdot Z \cdot S = m \cdot g \cdot l / 2 \cdot C_x \cdot S \quad (2.34)$$

По известному  $\Delta P_{ск}$  ( $\Delta P_{лоб}$ ) из графика определяется  $\Delta P_{\phi}$ , при котором предмет (оборудование) опрокинется (рисунок 44).

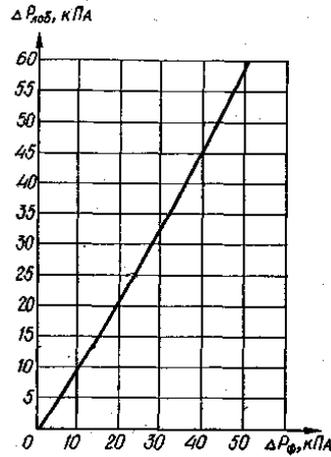


Рисунок 44 – Зависимость лобового давления от избыточного давления

**Пример 2.6.** Найти предельное значение избыточного давления  $\Delta P_{\phi \text{ lim on}}$ , при котором станок не опрокинется, если длина станка 1000 мм, ширина 900 мм, высота 1800мм, масса 800 кг.

**Решение.** Определяем предельное значение скоростного напора  $\Delta P_{ск \text{ lim on}}$ , при котором станок еще не опрокинется по формуле (2.33)

$$\Delta P_{ск} = G \cdot l / 2 C_x \cdot Z \cdot S = m \cdot g \cdot l / 2 \cdot C_x \cdot S = m \cdot g \cdot l / C_x \cdot h^2 \cdot b = 800 \cdot 9,8 \cdot 1 / 1,3 \cdot 1,8^2 \cdot 0,9 = 2070 \text{ Па}$$

По величине  $\Delta P_{ск} = 2,07 \text{ кПа}$  по графику на рис. 13.4 находим  $\Delta P_{\phi \text{ lim on}} = 25 \text{ кПа}$ .

**Вывод.** При  $\Delta P_{\phi} > 25 \text{ кПа}$  ударная волна опрокинет станок.

Для измерительных приборов и аппаратуры, имеющих чувствительные элементы, опасными будут большие ускорения, создаваемые ударной волной взрыва.

Для оценки устойчивости прибора к ударной волне определяется лобовое сопротивление, при котором возможно инерционное разрушение предметов: отрыв припаянных элементов, разрыв соединительных проводов, разрушение хрупких элементов по формуле

$$P_{\text{лоб}} = (\Delta P_{\phi} + \Delta P_{ск}) S \quad (2.35)$$

где  $S$  - площадь мишени,  $\text{м}^2$ ,  $S = b \cdot h$ .

Сила инерции определяется из выражения

$$m \cdot a = P_{\text{лоб}} - F_{\text{тр}}, \quad (2.36)$$

где  $a$  - ударное ускорение,  $\text{м/с}^2$ ;

$m$  - масса предмета, кг

Учитывая небольшое значение силы трения  $F_{\text{тр}}$ , ею можно пренебречь,

тогда

$$P_{\text{лоб}} = m \cdot a \quad (2.37)$$

Избыточное лобовое сопротивление, не приводящее к инерционным разрушениям, определяется из выражения

$$\Delta P_{\text{лоб}} = P_{\text{лоб}} / S = m \cdot a_{\text{доп}} / S \quad (2.38)$$

где  $a_{\text{доп}}$  – допустимые ускорения при ударе,  $\text{м/с}^2$  (табл. 27).

Избыточное давление  $\Delta P_{\text{ф лим ин}}$  находится по графику (рисунок 44).

Таблица 27 – Основные нагрузки, воспринимаемые электронной аппаратурой

Воздействия и параметры	Единица измерения	Значение параметра
Ударные сотрясения:		
- ускорение	$\text{м/с}^2$	10...15
- длительность	мс	5...10
Одиночные удары:		
- ускорение	$\text{м/с}^2$	50...1000
- длительность	мс	0,5...10
- линейное ускорение	$\text{м/с}^2$	2...5
Вибрация:		
- частота	Гц	10...70
- ускорение	$\text{м/с}^2$	1...4
Ветровая нагрузка при скорости	м/с	
- рабочей		до 50
- предельной		До 70

**Пример 2.7.** Определить предельное значение избыточного давления, при котором прибор не получит инерционное разрушение. Длина прибора 400 мм, ширина 420 мм, высота 720 мм, масса 60 кг. Допустимое ускорение при ударе  $100 \text{ м/с}^2$ .

**Решение.** Определяем избыточное лобовое давление по формуле (2.38)

$$\Delta P_{\text{лоб}} = P_{\text{лоб}} / S = m \cdot a_{\text{дон}} / S = 60 \cdot 100 / 0,42 \cdot 0,72 = 20000 \text{ Па}$$

По графику на рисунке 44 находим избыточное инерционное давление, соответствующее 20 кПа

$$\Delta P_{\phi \text{ lim in}} = 18 \text{ кПа}$$

**Вывод.** При  $\Delta P_{\phi} \leq 18 \text{ кПа}$  прибор не получит инерционные разрушения.

## 2.5. Задачи для самостоятельного решения

1 На объекте взорвалась цистерна с аммиаком 200 т. Определить характер разрушения цеха с легким каркасом, пожарную обстановку на объекте, продолжительность существования огненного шара и потери людей. Цех находится на расстоянии 300 м от цистерны. Плотность населения в районе аварии 2 тыс. чел/км<sup>2</sup>.

2 На заводе взорвалась цистерна с сероводородом 150 т. Здание завода кирпичное. На территории имеются трубопроводы на эстакадах, линия электропередач и водонапорная башня. Определить зоны чрезвычайной ситуации при взрыве ГВС, если известно, что цистерна располагалась от здания в 150 м. Определить характер разрушений объекта и элементов.

3 На складе взорвалась емкость с бутаном 350 т. Определить радиусы зон взрыва ГВС и избыточное давление в каждой зоне.

4 Произошел взрыв емкости под давлением с ацетиленом. Объем резервуара 200 м<sup>3</sup>. Давление в резервуаре 10<sup>6</sup> Па. На расстоянии 100 м от емкости расположено кирпичное строение. Определить энергию взрыва, массу эквивалентного заряда и дальность разлета осколков.

5 В цехе сахарного завода объемом 1000 м<sup>3</sup> в сутки при работающей вентиляции накапливается 350 г сахарной пыли. Определить время накопления взрывоопасной концентрации пыли и последствия ее взрыва при температуре 22°С.

6 Рассчитать, при каком избыточном давлении произойдет смещение станка длиной 800 мм, шириной 600 мм и высотой 1500 мм. Масса станка 700 кг.

### Практическое занятие № 3

## РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ГОРЕНИЯ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

### 3.1 Индивидуальное химическое соединение

Минимальное количество воздуха (кмоль; м<sup>3</sup>), необходимое для полного сгорания единицы количества горючего вещества (кмоль/кмоль; кг/кг; м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), называется *удельным теоретическим количеством воздуха* и обозначается  $V_B^0$ . При горении вещества в теоретическом количестве воздуха происходит образования продуктов только полного горения и в их составе отсутствует избыточный кислород.

Теоретическое количество воздуха ( и любого другого окислителя ) рассчитывается по уравнению химической реакции горючего с данной окислительной средой с учетом стехиометрических коэффициентов . В случае горения веществ в воздухе уравнение материального баланса может быть представлено в виде

$$a(G) + b[O_2] + b \times 3,76[N_2] = \sum_{i=1} m_i[ПГ] + b \times 3,76[N_2] + Q, \quad (3.1)$$

где  $a$  – число молей горючего вещества;

$b$  – число молей кислорода воздуха;

3,76 – число молей азота, приходящееся на 1 моль кислорода.

$Q$  – теплота горения, кДж/кмоль, кДж/кг, кДж/м<sup>3</sup>.

При оценке количества воздуха необходимого для горения, все горючие вещества разделены на три группы:

– индивидуальные химические вещества, состав которых выражается химической формулой ( C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>ОН и др.);

– сложные смеси веществ, состав которых задается весовым процентом содержащихся в них элементов ( древесина, торф и т.д.);

– смеси газов, такие как природный газ, водяной газ, генераторный газ, коксовый газ и т.п.

Для индивидуальных веществ теоретическое количество воздуха определяется по уравнению (3.1).

Теоретическое количество воздуха можно рассчитать в кмоль на 1 кмоль горючего или в м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> горючего газа или пара по формуле

$$V_B^0 = 4,76\beta \quad (3.2)$$

а в м<sup>3</sup> на 1 кг горючего по формуле

$$V_B^0 = \frac{4,76\beta V_t}{\mu_T} \quad (3.3)$$

где  $\beta = \frac{b}{a}$ ;

4,76 – количество воздуха, кмоль (м<sup>3</sup>, в котором содержится 1 кмоль кислорода ;

$\mu_T$  – масса 1 кмоль горючего, кг/кмоль ;

$V_t$  – объем 1 кмоль воздуха при заданных условиях:

$$V_t = \frac{22,4T_r P_0}{T_0 P} \quad (3.4)$$

где T – температура, К;

$P_0$  – нормальное давление (101325 Па);

$T_0$  – нормальная температура (273 К);

P – давление , когда горючий газ(пар) и воздух находятся в одних и тех же условиях.

Формула (3.2) справедлива лишь для случая, когда горючий газ ( пар ) и воздух находятся при одних и тех же условиях . При других условиях формула принимает вид

$$V_B^0 = 4,76\beta \frac{V_t^B}{V_t^{T^3}}, \quad (3.5)$$

где  $V_t^B$  – объем 1 кмоль газа при температуре и давлении, при которых находится воздух, расходуемый на горение, м<sup>3</sup>/кмоль;

$V_t^{ГЗ}$  – объем 1 кмоль газа в условиях, при которых находится горючий газ (пар), м<sup>3</sup>/кмоль.

К сложному типу веществ относятся различные естественные и искусственные полимерные материалы, такие как древесина, торф, каменный уголь, нефть и продукты её переработки, резина, пластмассы и др. Состав таких веществ определяется по известным методикам в лабораториях и выражается, как правило, весовым процентным содержанием в них химических элементов. Для распространенных материалов это С, Н, О, S, N. Кроме того, в состав горючих материалов входят также влага  $W$  и зола, неорганический остаток  $A$ .

Например, вещество имеет состав: С = 50 %, Н = 5 %, S = 5 %, О = 10 %, N = 10 %,  $W$  = 10 %,  $A$  = 10 %. Это значит, что в 1 кг вещества содержится 0,5 кг углерода, 0,05 кг водорода, столько же серы, по 0,1 кг кислорода и азота, а также по 0,1 кг влаги и золы.

Кислород воздуха при горении таких веществ будет расходоваться на окисление С, Н, и S, причем следует при этом учитывать, что кислород, содержащийся в веществе, уже использован на их частичное окисление. Таким образом, общий объем воздуха, необходимый для горения единицы массы вещества, будет складываться из объемов воздуха, необходимых для горения каждого из названных элементов, за вычетом объема воздуха, соответствующего количеству кислорода, содержащегося в веществе:

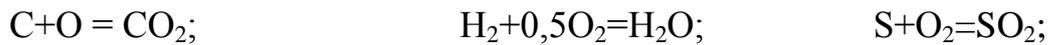
$$V_B^0 = V_{B(C)}^0 \frac{C}{100} + V_{B(H)}^0 \frac{H}{100} + V_{B(S)}^0 \frac{S}{100} - V_{B(O)}^0 \frac{O}{100} \quad (3.6)$$

где  $V_{B(C).(H).(S)}^0$  – количество воздуха, необходимое для горения единицы массы соответствующего элемента, м<sup>3</sup>/кг;

$V_{B(O)}^0$  – количество воздуха, в котором содержится 1 кг кислорода, м<sup>3</sup>/кг;

С, Н, S, О – содержание соответствующего элемента в горючем веществе, вес %.

Величины  $V_{B(C),(H),(S)}^0$  определим по формуле (3.3). Для этого составив уравнения реакций их горения, найдем коэффициенты  $a$  и  $b$



$$\beta_{(C)} = 1; \quad \beta_{(H)} = 0,5 \quad \beta_{(S)} = 1;$$

Тогда

$$V_{B(C)}^0 = \frac{4,761V_t}{12}, \quad V_{B(H)}^0 = \frac{4,76 \cdot 0,5V_t}{2} \quad V_{B(S)}^0 = \frac{4,76 \cdot 1V_t}{32}$$

Величину  $V_{B(O)}^0$  определим из следующих соображений: 1 кмоль  $O_2$  (32 кг) занимает объем  $V_t$ ,  $m^3$ , так как в воздухе на каждый объем кислорода приходится  $79 : 21 = 3,76$  объема азота, то 32 кг кислорода будут содержаться в  $4,76 V_t$ ,  $m^3$  воздуха. Тогда

$$V_{B(O)}^0 = 4,76 \frac{V_t}{32} \quad m^3 / кг$$

Подставляя полученные значения  $V_{B(C)}^0$ ,  $V_{B(H)}^0$ ,  $V_{B(S)}^0$ ,  $V_{B(O)}^0$  в уравнение, получим:

$$V_{B(O)}^0 = \frac{4,76V_t}{4 \cdot 100} \left( \frac{C}{3} + H + \frac{S - O}{8} \right) \quad (3.7)$$

Для нормальных условий, когда  $V_t = 22,4 m^3/кмоль$ , уравнение (3.7) примет вид

$$V_{B(O)}^0 = 0,267 \left( \frac{C}{3} + H + \frac{S - O}{8} \right) , m^3/кмоль. \quad (3.8)$$

В случае смеси газов объем воздуха, необходимый для полного сгорания смеси газов, можно определить по формулам (3.7) и (3.8). Для этого необходимо провести расчет для каждого компонента смеси отдельно и полученные результаты сложить. Когда газовая смесь и воздух находятся в одинаковых условиях, объем воздуха, необходимый для полного сгорания смеси газов, определяется по формуле

$$V_{B(O)}^0 = \frac{4,76}{100} \left( \sum_{i=1}^n \beta_i \varphi_i - \varphi_{O_2} \right) \quad (3.9)$$

где  $\varphi_i$  - содержание  $i$ -го горючего компонента в газовой смеси, об. %;

$n$  - количество горючих компонентов газовой смеси;

$\varphi_{O_2}$  - содержание кислорода в газовой смеси, об. %.

Формулы (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.7), (3.8), (3.9) можно использовать для расчета объема окислительной среды, необходимого для полного сгорания веществ, содержание кислорода в которой отличается от 21%.

$$V_{CP}^0 = V_B^0 \frac{100}{4,76\varphi_{O_2}} = V_B^0 \frac{21}{\varphi_{O_2}}$$

где  $V_{B(O)}^0$  – объем воздуха, рассчитанный по формулам (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.7), (3.8), (3.9);

$\varphi_{O_2}$  – содержание кислорода в окислительной среде, объемные проценты.

В реальных условиях количество поступающего в зону горения воздуха отличается от теоретически требуемого для полного сгорания горючего вещества. Для характеристики степени обеспеченности зоны горения окислителем (воздухом) вводят понятие **коэффициента избытка воздуха**  $\alpha_B$ , который показывает, во сколько раз объем воздуха поступающий в зону горения, больше объема воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания единицы количества горючего вещества:

$$\alpha_B = \frac{V_B^{IP}}{V_B^0}, \quad \text{кмоль/кмоль, м}^3/\text{кг, м}^3/\text{м}^3$$

где  $V_B^{IP}$  – объем воздуха, поступающего в зону горения на единицу количества горючего вещества, кмоль/кмоль; м<sup>3</sup>/кг; м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

В случае кинетического горения при  $V_B^{ПП} = V_B^{ПП} \alpha_B = 1$  смесь горючего с воздухом является стехиометрической.

При  $\alpha_B < 1$  – смесь богатая характерной чертой процесса горения является образование продуктов неполного горения.

При  $\alpha_B > 1$  смесь бедная и часть воздуха, не израсходованная на горение ( избыток воздуха ), переходит в продукты горения:

$$\Delta V_B = V_B^{ПП} - V_B^0 = V_B^0 (\alpha_B - 1) \quad (3.10)$$

Существуют предельные значения коэффициента избытка воздуха  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$ , соответствующие смесям горючего с воздухом предельною состава. Минимальный коэффициент избытка воздуха  $\alpha_{\min}$  соответствует верхнему концентрационному пределу воспламенения, а  $\alpha_{\max}$  - нижнему концентрационному пределу воспламенения. Для парогазовоздушных смесей их значения могут быть вычислены по формуле

$$\alpha_{\min, \max} = \frac{100 - C_{B(H)}}{V_B^0 C_{B(H)}} \quad (3.11)$$

где  $C_{B(H)}$  – соответственно верхний или нижний концентрационные пределы воспламенения горючего в смеси с воздухом, объемные проценты;

$V_B^0$  - теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания единицы количества горючего, кмоль/кмоль, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Если известно содержание кислорода в продуктах горения, то  $\alpha_B$  можно оценить по формуле

$$\alpha_B = \frac{21}{21 - C_{O_2}^{ПГ}}$$

где  $C_{O_2}^{ПГ}$  - концентрация кислорода в продуктах горения, объемные проценты.

Несмотря на то, что в реальных условиях горения в ограниченном объеме коэффициент избытка воздуха, как правило, превышает единицу, наблюдается образование продуктов неполного горения. Это связано с тем, что в контакт и реакцию горения с горючими веществами за счет диффузии вступает только часть поступающего в помещение воздуха, а остальной воздух смешивается с продуктами горения.

Существенную роль в процессе горения и распространения горения играют продукты горения, под которыми следует понимать продукты химической реакции горючего вещества с окислителем.

Существуют продукты *полного* и *неполного* горения. Если окислителя в зону горения поступает достаточно для полного окисления горючего, то образуются продукты полного горения. Если окислителем является кислород воздуха, а *горючим* — вещества, содержащие углерод, водород, серу, то продуктами полного горения являются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$ . Азот поступает с воздухом, но может и образоваться в результате химической реакции, если он содержался в горючем. Когда в зону горения поступает больше воздуха, чем его требуется для полного сгорания горючего ( $\alpha > 1$ ), в состав продуктов горения будет входить кислород. Если в зону горения поступает воздуха меньше, чем необходимо для полного сгорания горючего вещества, образуются продукты неполного горения, к которым относятся оксид углерода, углерод (сажа), различные продукты термоокислительного разложения исходного горючего вещества.

При горении веществ и материалов при условии  $\alpha \geq 1$  можно рассчитать состав и объем продуктов горения, который необходим для определения температуры горения веществ и материалов.

В общем случае объем продуктов горения определяется по формуле

$$V_{п.г} = V_{п.г}^0 + \Delta V_B \quad (3.12)$$

$V_{п.г}^0$  - теоретический объем продуктов горения, кмоль/кмоль,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$\Delta V_B$  – избыток воздуха, рассчитываемый по формуле (3.10), кмоль/кмоль, м<sup>3</sup>/кг, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Расчетный объем продуктов горения определяется так же для трех различных групп веществ и материалов.

Объем продуктов горения так же, как и воздуха для горения, определяется с помощью уравнения химической реакции (3.1), только все соотношения берутся между количеством горючего и образующимися в результате реакции продуктами горения. Например, для расчета количества продуктов горения:

Например, для расчета количества продуктов горения в киломолях на 1 кмоль горючего используется формула

$$V_{П.Г}^0 = \sum_{i=1}^k \frac{b}{a} + 3,76 \frac{b}{a} \quad (3.13)$$

в м<sup>3</sup> на 1 кг горючего - формула

$$V_{П.Г}^0 = \left( \sum_{i=1}^k \frac{b}{a} + 3,76 \frac{b}{a} \right) \frac{V_t^{П.Г}}{M_{ГЗ}} \quad (3.14)$$

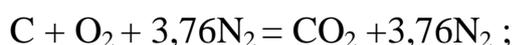
а в м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> горючего газа или пара – формула

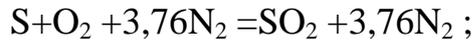
$$V_{П.Г}^0 = \left( \sum_{i=1}^k \frac{b}{a} + 3,76 \frac{b}{a} \right) \frac{V_t^{ПюГ}}{V_t^{ГЗ}} \quad (3.15)$$

где  $V_t^{П.Г}$  - объем 1 кмоль газа при температуре и давлении продуктов горения, м<sup>3</sup>/кмоль.

Остальные условные обозначения аналогичны обозначениям, принятым в формулах  $K_{П} = S_{ГОР}/S_{П}$ , (3.1), (3.2) – (3.5).

В случае сложной смеси химических соединений объем продуктов горения складывается из объемов продуктов, выделяющихся при сгорании каждого из элементов входящих в состав горючего:





Другие компоненты горючих веществ N, W, A, O негорючие, однако они будут входить в продукты горения.

Кислород, содержащийся в горючем веществе, будет снижать содержание азота в продуктах горения. Продукты горения будут состоять из углекислого газа (CO<sub>2</sub>), образующегося при горении углерода; водяных паров, образующихся при горении водорода и испарений влаги; оксида серы IV, образующейся при горении серы; азота (N<sub>2</sub>), образующегося из горючего вещества и из воздуха, израсходованного на горение C, H, S.

$$V_{CO_2} = \frac{22,4C}{12 \times 100} = 1,86 \frac{C}{100} , \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4H}{12 \times 100} + \frac{22,4}{18} \frac{W}{100} = 11,2 \frac{H}{100} + 1,24 \frac{W}{100} , \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4S}{32 \times 100} = 0,7 \frac{S}{100} , \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{N_2}^0 = \frac{3,76 \times 22,4C}{12 \times 100} + \frac{3,76 \times 22,4}{12} \frac{H}{100} + \frac{22,4}{28} \frac{N}{100} + \frac{3,76 \times 22,4}{32} \left( \frac{S - O}{100} \right)$$

или

$$V_{N_2}^0 = 0,79V_B^0 = 0,8 \frac{N}{100}$$

где C, H, S, N, O, W - содержание компонентов в весовых процентах ( W - влага ).

Объем и состав продуктов горения для смеси газов определяется по уравнениям реакции горения для каждого горючего компонента входящего в смесь. Негорючие компоненты переходят в продукты горения, а содержание кислорода в смеси снижает количество азота в продуктах. Следует учитывать избыток воздуха.

**Пример 1.** Определить объем воздуха необходимого для полного сгорания бензола и его паров при  $T = 300 \text{ К}$ ,  $P = 90000 \text{ Па}$  в следующих физических величинах: кмоль/кмоль,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

**Решение.**

1. В формулы (3.1) — (3.5) входит величина  $\beta$ , для определения которой необходимо знать стехиометрические коэффициенты  $a$  и  $b$ :



откуда  $\beta = 7,5$  кмоль/кмоль и

$$V_B^0 = 4,78\beta = 35,6 \text{ кмоль/кмоль, м}^3/\text{м}^3$$

2. Для использования формулы (3.1) найдем  $V_t$ , по формуле (5.4) и  $\mu_T$ :

$$V_t = \frac{22,4 \times 300 \times 101325}{273 \times 90000} = 27,69, \text{ м}^3/\text{моль}$$

$$\mu_T = 12,6 + 1 \times 6 = 78, \text{ кг/моль}$$

Тогда

$$V_B^0 = \frac{4,76 \times 7,5 \times 27,69}{78} = 12,6, \text{ м}^3/\text{кг}$$

### 3.1.1 Сложная смесь веществ

**Пример 2.** При проведении экспертизы пожара в замкнутом помещении объемом  $100 \text{ м}^3$  выяснилось, что в результате сгорания торфа, состоящего из:  $\text{C} = 40 \%$ ,  $\text{H} = 4 \%$ ,  $\text{O} = 10\%$ ,  $\text{N} = 16\%$ ,  $\text{A} = 15\%$ , концентрация кислорода снизилась до  $16\%$ . Для определения ориентировочного времени начала пожара необходимо рассчитать количество сгоревшего вещества, если  $T = 300 \text{ К}$ ,  $P = 90000 \text{ Па}$ .

**Решение.** Считая, что изменение концентрации кислорода в среде помещения происходило только за счет его расходования на горение, определим объем израсходованного на горение воздуха и приведем его к нормальным условиям. Согласно формуле (5.4) при уменьшении кислорода до

16% объем воздуха, израсходованного на этот процесс, будет рассчитываться по формуле

$$V_B^0 = \frac{V_{\text{ПОМ}}(21 - \varphi_{O_2})4,76P_0T \times 7,5 \times 27,69}{100T_0P} = \frac{110 \times 5 \times 4,76 \times 101325 \times 300}{100 \times 273,15 \times 90000} = 29,4 \text{ , м}^3$$

По формуле (2.11) найдем удельное теоретическое количество воздуха для горения торфа:

$$V_B^0 = 0,267 \left( \frac{40}{3} + 4 + \frac{10}{8} \right) = 4,29 \text{ , м}^3/\text{кг}$$

3. Определим количество сгоревшего торфа:

$$m = \frac{V_B}{V_B^0} = \frac{29,4}{4,29} = 6,8 \text{ , кг}$$

### 3.1.2 Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Определить объем воздуха, необходимого для полного сгорания вещества при заданной температуре Т и давлении Р в следующих физических величинах: кмоль/кмоль, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. м<sup>3</sup>/кг, номера вариантов приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Исходные данные для решения задач

№ варианта	Вещество	Т, К	Р, Па
1	Этан	300	80000
2	Ацетилен	270	9500
3	Пропан	300	105000
4	Бутан	300	100000
5	Пентан	290	110000
6	Гексан	270	80000
7	Гептан	270	80000
8	Октан	280	90000
10	Толуол	300	115000
11	Метан	310	120000
12	Этилен	270	125000
13	Ацетилен	280	85000
14	Этиловый спирт	290	95000
15	Бутилен	300	90000
16	Пентен	310	100000
17	Гексен	295	115000
18	Бензол	285	110000
19	Гексен	295	115000
20	Гентилен	295	120000
21	Октен	315	125000

**Задача 2.** В помещении объемом  $V$  в результате сгорания органики, состоящей из С, Н, О, N, S, W (влаги), А (зола), концентрация кислорода снизилась на  $\chi$  %. Определить количество сгоревшей органики при заданной температуре  $T$  и давлении  $P$ . Исходные данные для решения задач приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Исходные данные для решения задач

№ варианта	V, м <sup>3</sup>	С, %	Н, %	О, %	N, %	S, %	W, %	А, %	$\chi$ , %	T, К	P, Па
1	200	40	3	15	15	—	17	10	6	300	85 000
2	400	50	3	10	10	-	17	10	10	290	95 000
3	150	60	5	3	10	2	15	5	1	300	105 000
4	50	70	5	10	5	1	5	4	8	300	105 000
5	300	40	10	10	15	5	15	5	9	290	110 000
6	500	45	6	15	10	4	7	13	10	270	80 000
7	400	55	4	10	15	6	8	2	11	270	80 000
8	550	65	15	6	4	-	9	1	12	280	90 000
9	650	44	5	10	15	6	10	10	13	290	105 000
10	850	35	10	14	15	5	11	10	14	300	115 000
11	350	38	12	13	10	6	12	9	15	310	120000
12	450	68	2	10	5	3	3	9	16	270	125000
13	150	57	3	6	8	2	14	10	6	280	85000
14	700	47	13	5	2	8	15	10	7	290	95000
15	800	39	1	15	3	17	16	19	8	300	90000
16	900	59	4	5	3	7	17	5	9	310	100000
17	100	46	4	12	7	8	13	10	10	275	105000
18	115	56	4	10	7	3	12	8	11	285	110000
19	850	66	3	5	9	2	10	5	12	295	115000
20	950	76	3	5	4	2	5	5	13	295	120000
21	115	48	2	8	18	2	12	10	14	315	125000

### 3.2 Расчет объема и состава продуктов горения

#### 3.2.1 Индивидуальное химическое соединение

**Пример 1.** Определить объем и состав продуктов горения бензола и его паров в кмоль/кмоль, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>/кг, если  $a = 1,5$ ,  $T = 1600$  К,  $P = 90000$  Па.

**Решение.**

1. Объем продукта горения определим по формуле (3.14). Для расчета воспользуемся формулами (3.12) — (3.15) и уравнением реакции горения бензола в воздухе из примера.

1. Из уравнения реакции можно записать:  $m_{CO_2} = 6$ ;  $m_{H_2O} = 3$ ;  $\alpha = 1$ ;  $\beta = 7,5$ .

2. Найдем расчетный объем продуктов по формуле (3.13):

$$V_{п.г.}^0 = \frac{6}{1}(CO_2) + \frac{3}{1}(H_2O) + \frac{3,76 \times 7,5}{1}(N_2) = 37,2 \text{ , кмоль/кмоль}$$

3. Определим избыточный объем воздуха  $V_B^0$  как в примере 1:

$$V_B^0 = 4,76 \times 7,5 = 35,6 \text{ , кмоль/кмоль.}$$

$$\Delta V_B = V_B^0(\alpha - 1) = 35,6(1,5 - 1) = 17,8 \text{ , кмоль/кмоль}$$

4. Рассчитаем объем продуктов горения по формуле (5.12):

$$V_{п.г.} = V_{п.г.}^0 + \Delta V_B = 37,2 + 17,8 = 55,0 \text{ , кмоль/кмоль.}$$

Таким образом, при сгорании 1 кмоль бензола при  $\alpha = 1,5$  выделится 55,0 кмоль продуктов горения, имеющих следующий состав:

$$C_{CO_2} = \frac{V_{CO_2} \cdot 100}{V_{п.г.}} = \frac{6 \times 100}{55} = 10,9\%$$

$$C_{H_2O} = \frac{V_{C_2O} \cdot 100}{V_{п.г.}} = \frac{3 \times 100}{55} = 5,45\%$$

$$C_{N_2} = \frac{(V_{N_2} + \Delta V_B \cdot 0,79)100}{V_{п.г.}} = \frac{(3,76 \times 0,79 + 17,85 \times 0,79)100}{55} = 76,91\%$$

$$C_{O_2} = \frac{V_{O_2} \cdot 100}{V_{п.г.}} = \frac{17,85 \times 0,21 \times 100}{55} = 6,75\%$$

5. Для нахождения объемов продуктов горения в  $\text{м}^3/\text{кг}$  и  $\text{м}^3/\text{м}^3$  определим объем 1 кмоль газа при условиях, в которых находятся продукты горения, по формуле (3.4):

$$V_i = \frac{22,4 \times 1600 \times 101325}{273 \times 90000} = 147,8 \text{ , м}^3/\text{кмоль.}$$

Тогда в соответствии с формулой (5.14)

$$V_{п.г.}^0 = \left[ \frac{6}{1}(CO_2) + \frac{3}{1}(H_2O) + \frac{3,76 \times 7,5}{1}(N_2) \right] \frac{147,8}{78} = 70,5, \text{ м}^3/\text{кмоль}$$

Рассчитаем избыточный объем воздуха:

$$\Delta V_B = \frac{4,76 \times 7,5 \times 147,8}{78} (1,5 - 1) = 33,8, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объем продуктов горения составит

$$V_{п.г.} = 70,5 + 33,8 = 104,3, \text{ м}^3/\text{кг}$$

6. Считая, что пары бензола имеют нормальную температуру 273 К, определим теоретический объем продуктов горения в  $\text{м}^3/\text{м}^3$  по формуле (5.15):

$$V_{п.г.}^0 = \left[ \frac{6}{1}(CO_2) + \frac{3}{1}(H_2O) + \frac{3,76 \times 7,5}{1}(N_2) \right] \frac{147,8}{22,4} = 218,1, \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Рассчитаем избыточный объем воздуха:

$$\Delta V_B = \frac{4,76 \times 7,5 \times 147,8}{22,4} (1,5 - 1) = 117,7, \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Тогда

$$V_{п.г.} = 218,1 + 117,7 = 335,8, \text{ м}^3/\text{кг}$$

### 3.2.2 Сложная смесь химических соединений

**Пример 2.** Определить состав и количество  $1 \text{ м}^3$  продуктов горения при горении 1 кг керосина состава: С = 85%, Н = 11%, S = 0,5%, О = 1%, N = 1%, W = 1,5%, если температура продуктов горения составляет  $1300^\circ\text{C}$ , давление — 101325 Па, а коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,5$ .

**Решение.**

1. Определим расчетный объем продуктов горения:

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \frac{C}{100} = 18,6 \frac{85}{100} = 1,58, \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{4} \frac{H}{100} + \frac{22,4}{18} \frac{W}{100} = 11,2 \frac{11}{100} + 1,24 \frac{1,5}{100} = 1,24 \text{ , } \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4S}{32 \times 100} = 0,7 \frac{0,5}{100} = 0,0035 \text{ , } \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{N_2} = \frac{3,76 \times 22,4}{12} \frac{C}{100} + \frac{3,76 \times 22,4}{2} \frac{H}{100} + \frac{22,4}{28} \frac{N}{100} + \frac{3,76 \times 22,4}{32} \left( \frac{S-O}{100} \right) = \text{ , } \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$= 0,01[7 \times 8 + 21 \times 11 + 0,8 \times 1 + 2,63(0,5 - 1)] = 8,263$$

$$V_{п.г.}^0 = 1,581,58 + 1,24 + 0,0035 + 8,263 = 11,987 \text{ , } \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79V_B^0 = 0,8 \frac{N}{100}$$

2. Рассчитаем избыток воздуха:

$$\Delta V_B = 0,267 \left( \frac{C}{3} + H + \frac{S-O}{8} \right) (1,5 - 1) = 0,267 \left( \frac{85}{3} + 11 + \frac{0,5-1}{8} \right) 0,5 = 5,24 \text{ , } \text{ м}^3/\text{кг}$$

3. Определим общий объем продуктов горения при нормальных условиях:

$$V_{п.г.} = V_{п.г.}^0 + \Delta V_B = 11,087 + 5,24 = 16,33 \text{ , } \text{ м}^3/\text{кг}$$

4. Найдем процентный состав продуктов горения:

$$C_{CO_2} = \frac{V_{CO_2} 100}{V_{п.г.}} = \frac{1,58 \times 100}{16,33} = 9,68\% \text{ ,}$$

$$C_{H_2O} = \frac{V_{H_2O} 100}{V_{п.г.}} = \frac{1,24 \times 100}{16,33} = 7,6\% \text{ ,}$$

$$C_{SO_2} = \frac{V_{SO_2} 100}{V_{п.г.}} = \frac{0,0035 \times 100}{16,33} = 0,02\%$$

$$C_{N_2} = \frac{(V_{N_2} + \Delta V_B \cdot 0,79) 100}{V_{п.г.}} = \frac{(8,236 + 0,79) 100}{16,33} = 75,79\%$$

$$C_{O_2} = \frac{\Delta V_B 100}{V_{п.г.}} = \frac{5,223 \times 0,21 \times 100}{16,33} = 6,72\%$$

5. Приведем объем продуктов горения к заданным условиям:  $t_r = 1300^\circ\text{C}$ ,  
 $P = 101325\text{Па}$ .

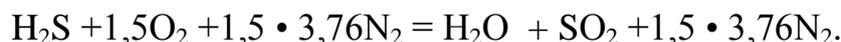
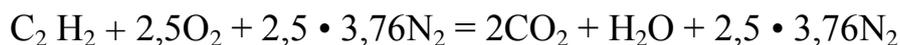
$$V_{п.г}^{t_r} = V_{п.г} \frac{T_r P_0}{T_0 P} = 16,33 \frac{(1300 + 273) 101325}{273 \times 101325} 94,1, \text{ м}^3/\text{кг}$$

### 3.2.3 Смесь газов

**Пример 3.** Определить объем и состав продуктов горения  $1 \text{ м}^3$  газовой смеси состава  $C_{C_2H_2=50\%}$ ,  $C_{CO} = 10\%$ ,  $C_{H_2S} = 10\%$ ,  $C_{T_2} = 10\%$ ,  $C_{CO_2} = 10\%$ ,  $C_{O_2} = 10\%$ , если избыток воздуха составляет 40%, а температура продуктов горения  $1000^\circ\text{C}$ . Давление нормальное. Температура газовой смеси  $20^\circ\text{C}$ .

**Решение.**

1. Запишем уравнения реакций горения горючих компонентов смеси в воздухе:



2. Найденные объемы продуктов горения для различных газов смеси приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Исходные данные для расчетов. Объемы продуктов горения для различных газов смеси

Компо нент смеси	Содержа ние в $1 \text{ м}^3$	Объем продуктов горения, $\text{м}^3$			
		$CO_2$	$H_2O$	$SO_2$	$N_2$
$C_2H_2$	0,5	$2 \times 0,5$	$1 \times 0,5$	-	$2,5 \times 3,76 \times 0,5$
CO	0,1	0,1	-	-	$0,5 \times 3,76 \times 0,1$
$H_2S$	0,1	—	$1 \times 0,1$	1 0,1	$1,5 \times 3,76 \times 0,1$
$CO_2$	0,1	0,1	-	-	-
$N_2$	0,1	-	-	-	-0,1
$O_2$	0,1	-	-	-	$-3,76 \times 0,1$
Итого	1,0	1,2	0,6	0,1	5,18

3. Рассчитаем избыток воздуха:

$$\Delta V_B = \frac{2,5 \times 50 + 0,5 \times 10 + 1,5 \times 10 - 10}{21} (1,4 - 1) = 2,57 \text{ , м}^3/\text{м}^3$$

4. Определим общий объем продуктов горения при нормальных условиях:

$$V_{п.г} = 1,2 + 0,6 + 5,18 + 2,57 = 9,65 \text{ , м}^3/\text{м}^3$$

5. Найдем процентный состав продуктов горения:

$$C_{CO_2} = \frac{V_{CO_2} 100}{V_{п.г}} = \frac{1,2 \times 100}{9,65} = 12,42\% \text{ ,}$$

$$C_{H_2O} = \frac{V_{H_2O} 100}{V_{п.г}} = \frac{0,1 \times 100}{9,65} = 6,21\% \text{ ,}$$

$$C_{SO_2} = \frac{V_{SO_2} 100}{V_{п.г.}} = \frac{0,01 \times 100}{1663} = 1,04\%$$

$$C_{N_2} = \frac{(V_{N_2} + \Delta V_B \cdot 0,79) 100}{V_{п.г}} = \frac{(5,18 + 2,57 \times 0,79) 100}{9,65} = 74,72\% \%$$

$$C_{O_2} = \frac{\Delta V_B 100}{V_{п.г}} = \frac{2,57 \times 0,21 \times 100}{9,65} = 5,6\%$$

6. Определим объем продуктов горения

$$V_{п.г}^{т.г} = V_{п.г} \frac{T_{г.г} P_0}{T_0 P} = 9,65 \frac{1273 \times 101325}{273 \times 101325} = 49,1 \text{ , м}^3/\text{м}^3$$

### 3.2.4. Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Определить объем и состав продуктов горения вещества в кмоль/кмоль и м<sup>3</sup>/кг при заданном коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ , температуре продуктов горения  $T_{п.г}$  и давлении  $P$ . Исходные данные приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Исходные данные для расчетов

№ вар.	Вещество	$\alpha$	$T_{пл}, K$	$P, Pa$
1	Октан	1,3	1600	100000
2	Пентан	1,4	1500	80 000
3	Пропан	1,2	1200	80000
4	Бутан	1,25	1250	85000
5	Пентан	1,35	1300	90000
6	Гексан	1,45	1350	95000
7	Гептан	1,5	1400	100000
8	Октан	1,55	1450	105000
9	Бензол	1,4	1500	110000
10	Толуол	1,25	1550	110 000
11	Метан	1,3	1600	75000
12	Этилен	1,35	1650	80000
13	Ацетилен	1,4	1250	80000
14	Этиловый спирт	1,45	1250	80000
15	Бутилен	1,5	1300	95000
16	Пентен	1,55	1350	100000
17	Гексен	1,6	1400	105000
18	Бензол	1,2	1450	105000
19	Гексен	1,25	1500	115000
20	Геитилен	1,3	1550	120000
21	Октен	1,35	1600	125000

**Задача 2.** Определить состав и количество,  $m^3$ , продуктов горения веществ состава  $C, H, S, N, O, W, A$  при заданной температуре продуктов горения  $T_{пл}$ , давлении  $P$  и коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . Исходные данные приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Исходные данные для расчетов

№ вар.	$C, \%$	$H, \%$	$S, \%$	$N, \%$	$O, \%$	$W, \%$	$A, \%$	$\alpha$	$T_{пл}, K$	$P, Pa$
1	75	10	1	4	2	8	-	1,3	1200	150000
2	65	10	10	5	2	8	-	1,4	1100	140000
3	60	5	2	10	3	15	5	1,2	1200	80000
4	70	5	1	5	10	5	4	1,25	1250	85000
5	40	10	5	5	10	15	5	1,35	1300	90000
6	45	6	4	10	15	7	13	1,45	1350	95000
7	55	4	6	15	10	8	2	1,5	1400	100000
8	65	15	-	4	6	9	1	1,55	1450	105000
9	44	5	6	15	10	10	10	1,4	1500	110000
10	35	1	5	15	14	10	10	1,2	1550	70 000
11	38	12	6	10	13	9	9	1,3	1600	75000
12	68	2	3	5	10	9	9	1,35	1650	80000
13	57	3	2	8	6	10	10	1,4	1250	80000
14	47	13	8	2	5	10	10	1,45	1250	90000
15	39	1	17	3	15	9	9	1,5	1300	95000
16	59	4	7	3	5	5	5	1,55	1350	100000
17	46	4	8	7	12	10	10	1,6	1400	105000
18	56	4	3	7	10	8	8	1,2	1450	105000
19	66	3	2	9	5	5	5	1,25	1500	115000
20	76	3	0	4	5	5	5	1,3	1550	120000

**Задача 3.** Определить объем и состав продуктов горения воздушной смеси объемом 2 м<sup>3</sup> того же состава, что в задаче 2. Исходные данные приведены в таблице 33.

Таблица 33 – Исходные данные для расчетов.

№ вар.	Концентрация вещества, %							
					CO	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
1	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	40	CH <sub>6</sub>	20	10	10	10	10
2	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	40	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	20	20	5	5	10
3	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	50	CH <sub>4</sub>	15	15	5	10	5
4	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	50	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	25	10	5	5	5
5	C <sub>5</sub> H <sub>15</sub>	40	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	30	5	10	5	10
6	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	50	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	25	4	16	3	2
7	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	45	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	30	14	6	3	2
8	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	45	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	25	10	5	5	10
9	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	50	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	20	15	5	10	5
10	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	40	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	30	4	16	3	2
11	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	50	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	25	10	5	5	5
12	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	45	CH <sub>4</sub>	30	17	3	3	7
13	CH <sub>4</sub>	50	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	25	8	12	2	3
14	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	40	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	30	12	8	2	3
15	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	50	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	30	16	5	6	4
16	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	45	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	20	4	16	4	6
17	C <sub>4</sub> H <sub>18</sub>	40	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	40	10	10	5	-
18	C <sub>3</sub> H <sub>10</sub>	50	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	30	10	10	5	10
19	C <sub>2</sub> H <sub>12</sub>	35	C <sub>2</sub> H <sub>12</sub>	25	5	5	10	5
20	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	40	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	25	10	5	10	5
21	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	40	C <sub>2</sub> H <sub>12</sub>	35	5	10	10	5

### 3.3 Концентрационные и температурные пределы воспламенения

#### 3.3.1 Концентрационные пределы воспламенения

**Пример 1.** Определить концентрационные пределы воспламенения метана CH<sub>4</sub> и низшую теплоту горения метана.

**Решение.**

Запишем термохимическое уравнение горения метана:



По значениям таблицы 33 определяем значения констант для нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ) и верхнего концентрационного предела воспламенения (ВКПВ):

Таблица 34 – Значения постоянных  $a^*$ ,  $b^*$

Пределы воспламенения	Значения постоянных	
	$a^*$	$b^*$
НКПВ	8,684	4,679
ВКПВ		
$n^* < 7,5$	1,55	0,560
$n^* > 7,5$	0,768	0,554

НКПВ:  $a^* = 8,684$ ,  $b^* = 4,679$ ; ВКПВ:  $a^* = 1,55$ ,  $b^* = 0,56$

Используя формулу  $C_{H(B)} = \frac{100}{a^* \cdot n^* + b^*}$  и данные таблицы 6, записываем

$$C_{H(B)} = \frac{100}{a^* \cdot n^* + b^*};$$

$$C_H = \frac{100}{8,684 \times 2 + 4,679} = 4,55\% ; C_B = \frac{100}{1,55 \times 2 + 0,56} = 27,3\%$$

### 3.3.2 Температурные пределы воспламенения жидкостей

**Пример 2.** Определить температурные пределы воспламенения ацетона, если концентрационные пределы составляют: НКПВ = 2,2%, ВКПВ = 13%. Атмосферное давление равно 101325 Па.

**Решение.**

Находим давление насыщенных паров жидкости, соответствующее нижнему и верхнему пределам воспламенения:

$$P_{H.П} = \frac{2,2 \times 101325}{100} = 2229,2 \text{ , Па}$$

$$P_{B.П} = \frac{13 \times 101325}{100} = 13172,3 \text{ , Па}$$

По таблице П1 приложения определяем, что нижний температурный предел воспламенения ацетона находится между температурами 241,9 и 252,2 К при давлении  $P_{\max} = 2666,4$  и  $P_{\min} = 1333,2$  Па, а верхний — между 271,0 и 280,7 К при давлении  $P_{\max} = 13332,3$  и  $P_{\min} = 7999,3$  Па. Методом линейной интерполяции определяем нижний и верхний температурные пределы воспламенения:

$$T_H + T_{\min} + \frac{(T_{\max} - T_{\min})(P_H - P_{\min})}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{(252,2 - 241,9)(2229,2 - 1333,2)}{2666,4 - 1333,2} = 248,8 \text{ ,К}$$

$$T_B + T_{\min} + \frac{(T_{\max} - T_{\min})(P_B - P_{\min})}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{(280,7 - 271,0)(13172,3 - 7999,3)}{13332,3 - 7999,3} = 280 \text{ , К}$$

### 3.3.3 Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Определить концентрационные и температурные пределы воспламенения вещества при атмосферном давлении 101,3 кПа. Исходные данные приведены в таблице 34.

Таблица 34 – Исходные данные для расчетов

№ варианта	Формула вещества	Название вещества
1	$C_3H_6O$	Ацетон
2	$C_6H_6$	Бензол
3	$C_8H_{14}$	Октан
4	$C_6H_{11}CH_3$	Метилциклогексан
5	$CH_3OH$	Метанол
6	$C_2H_5OH$	Этанол
7	$C_3H_7OH$	Пропанол
8	$C_4H_9OH$	Бутанол
9	$C_3H_7OH$	Пропиловый спирт вторичный
10	$(CH_3)_3COH$	Бутиловый спирт
11	$C_5H_{11}CH_3$	Метилпентан
12	$C_4H_8O$	Диэтиловый эфир
13	$C_4H_8O_2$	Уксусноэтиловый эфир
14	$C_8H_{18}$	Октан
15	$C_6H_{14}$	Гексан
16	$C_3H_6O_3$	Глицерин
17	$C_2H_5OH$	Этанол
18	$C_3H_7OH$	Пропанол
19	$C_5H_{11}CH_3$	Метилпентан
20	$C_6H_5OH$	Стирол
21	$C_6H_5CH_3$	Толуол

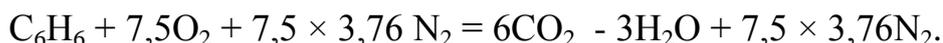
### 3.4 Теплота и температура горения

#### 3.4.1. Теплота горения

**Пример 1.** Рассчитать по закону Гесса низшую теплоту горения бензола в кДж/моль и кДж/м<sup>3</sup>.

**Решение.**

1. Запишем уравнение реакции горения бензола в воздухе:



2. Уравнение закона Гесса для этого случая будет выглядеть так:

$$Q_H = -(\Delta H_{\text{CO}_2}) + \Delta H_{\text{O}_2} - \Delta H_{\text{C}_6\text{H}_6}$$

Значения величины  $\Delta H^0$  для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{C}_6\text{H}_6$  возьмем из таблицы ПЗ приложения:

$$Q_H = 6 \times 396,3 + 3 \times 242,2 - (-34,8) = 3142,8 \cdot 10^3, \text{ кДж/кмоль}$$

3. Низшую теплоту сгорания 1 кг бензола найдем исходя из закона Авогадро и определения киломоля. При сгорании 1 кмоль = 78 кг выделяется тепла  $3142,8 \cdot 10^3$  кДж; при сгорании 1 кг выделяется тепла

$$Q'_H = \frac{3142,8 \cdot 10^3}{78} = 40292,3, \text{ кДж/кг}$$

4. Теплоту сгорания 1 м<sup>3</sup> паров бензола при нормальных условиях определим, используя следствие из закона Авогадро. При сгорании 1 м<sup>3</sup> паров выделяется тепла

$$Q''_H = \frac{3142,8 \cdot 10^3}{22,4} = 140303,6 = 3142,8 \text{ Дж/м}^3$$

**Пример 2.** Определить по формуле Менделеева низшую теплоту горения 4-метил-5-β-оксиэтилтиазола ( $\text{C}_6\text{H}_9\text{ONS}$ ).

### **Решение**

Так как необходимо определить низшую теплоту горения, величину  $\Delta H_{H_2O}^0$  выбираем для газообразной воды.

1. Определим весовой состав вещества:

$$\mu = 12 \times 6 + 1 \times 9 + 16 \times 1 + 14 \times 1 + 32 \times 1 = 143 \text{ у.е.}(100\%).$$

Откуда

$$C = \frac{12 \times 6 \times 100}{143} = 50,3\%, \quad H = \frac{1 \times 9 \times 100}{143} = 6,3\%$$

$$O = \frac{1 \times 16 \times 100}{143} = 11,2\%, \quad N = \frac{1 \times 14 \times 100}{143} = 9,8\%, \quad S = \frac{1 \times 32 \times 100}{143} = 22,4,3\%$$

2. Определим низшую теплоту горения вещества:

$$Q_H = 339,4 \times 50,3 + 1257 \times 6,3 - 108,9(11,2 + 9,8 - 22,4) - 25,1(9 \times 6,3 + 0) = 23720,2 \quad , \text{ кДж/кг}$$

**Пример 3.** Определить низшую теплоту сгорания в кДж/м<sup>3</sup> и кДж/кмоль газовой смеси, имеющей следующий состав: CO = 20%, H<sub>2</sub> = 10%, CH<sub>4</sub> = 20%, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 20%, CO<sub>2</sub> = 10%, N<sub>2</sub> = 10%, O<sub>2</sub> = 10%. Условия — нормальные.

### **Решение.**

1. Из справочника определяем теплоту сгорания компонентов:

$$Q_{HCO} = 12650 \quad , \text{ кДж/м}^3 \quad , \quad Q_{HH_2} = 10770 \quad , \text{ кДж/м}^3$$

$$Q_{HCH_4} = 35820 \quad , \text{ кДж/м}^3 \quad Q_{HC_2H_6} = 23720 \quad , \text{ кДж/м}^3$$

2. Теплоту сгорания 1 кмоль газовой смеси найдем, используя следствие из закона Авогадро: 1 кмоль газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 м<sup>3</sup>:

$$Q_H = 23509 \times 22,4 = 526,6 \cdot 10^3 \quad , \quad \text{ кДж/кмоль.}$$

### 3.4.2 Температура горения

**Пример 4.** Определить действительную температуру горения древесины состава: С = 45%, Н = 5%, О = 35%, N = 1%, S = 0%, W = 10%, А = 4%, если горение протекало при  $\alpha_B = 1,4$ . Недожог составил 5%  $Q_H$ , а потери тепла излучением равнялись 10%  $Q_{ir}$  Начальные условия — нормальные ( $Q_{исх} = 0$ )

**Решение.**

1. Определим количество теплоты, затраченное на нагрев продуктов горения:

$$Q_{п.г} = Q_H + Q_{исх} - Q_{недож} - Q_{пост} = 0,85Q_H$$

По формуле Менделеева найдем низшую теплоту горения древесины:

$$Q_H = 339,4 \times 45 + 1257 \times 5 - 108,9(1 + 35 - 0) - \\ - 25,1(9 - 5 - 10) = 16257, \text{ кДж/кг};$$

$$Q_{п.г} = 0,85 \times 16257 = 13819 \text{ кДж.}$$

Таким образом, на нагрев продуктов горения 1 кг древесины будет затрачиваться 13 819 кДж тепла.

2. Определим объем и состав продуктов горения 1 кг древесины:

$$V_{CO_2} = 1,86 \frac{C}{100}; \quad V_{H_2O} = 11,2 \frac{H}{100}; \quad V_{SO_2} = 0,7 \frac{S}{100};$$

$$V_{N_2} = [7C + 21H + 0,8N + 2,63(S - O)]/100$$

или

$$V_{N_2} = \frac{0,76V_B^0 + 0,8N}{100};$$

где С, Н, S, N — процентное содержание элементов в смеси.

Подставляя их значения, получаем:

$$V_{CO_2} = \frac{186 \times 45}{100} = 0,84 \text{ м}^3, \quad V_{H_2O} = \frac{11,2 \times 5}{100} + \frac{1,24 \times 10}{100} = 0,68, \text{ м}^3$$

$$V_{N_2} = [7 \times 45 + 21 \times 5 + 0,8 \times 1 + 2,63(0 - 35)]/100 = 3,28 \text{ м}^3$$

$\Delta V_B = V_B(\alpha_B - 1)$  — избыток воздуха.

$$\Delta V_B = 0,267\left(\frac{C}{3} + H + \frac{S-O}{8}\right)(\alpha_B - 1), \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\Delta V_B = 0,267\left(\frac{45}{3} + 5 + \frac{0-35}{8}\right)(1,4-1) = 1,66, \text{ м}^3$$

$$V_{п.г} = 0,84 + 0,68 + 3,28 + 1,66 = 6,46, \text{ м}^3$$

При нормальных условиях продукты горения 1 кг древесины будут состоять из: 0,84 м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>; 0,68 м<sup>3</sup> паров H<sub>2</sub>O ; 3,28 м<sup>3</sup> N<sub>2</sub> и 1,66 м<sup>3</sup> воздуха. Общий объем продуктов горения составит 6,46 м<sup>3</sup>/кг.

3. Найдем температуру горения. Для этого определим среднее теплосодержание единицы объема продуктов горения:

$$\Delta H_{CP} = \frac{Q_{п.г}}{V_{п.г}} = \frac{13819}{6,49} = 2129,3, \text{ кДж/м}^3$$

Это значит, что в каждом 1 м<sup>3</sup> продуктов горения при температуре горения будет содержаться 2129,3 кДж тепла. Учитывая, что на  $\frac{3,28+1,66 \times 0,79}{6,49} 100 = 71,2\%$  продукты горения состоят из азота по таблице П5 приложения находим, при какой температуре удельное теплосодержание азота соответствует найденной величине (2129,3 кДж/м<sup>3</sup>). Видим, что эта температура находится между [(1400 - 1500) + 273] К. Принимая во внимание, что в состав продуктов горения входят CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, которые обладают таким теплосодержанием при более низких температурах, задаемся температурой (1300 + 273) К и определяем для нее суммарное теплосодержание продуктов горения:

$$Q_{п.г} = \sum \Delta H_{п.г.i} \cdot V_{п.г} = 1861,2 \times 3,28 + 1887,5 \times 1,66 + 2979,1 \times 0,84 + 2345,5 \times 0,68 = 13374,6, \text{ кДж}$$

где величины  $\Delta H_{п.г}$  определены по таблице П3 приложения.

Так как теплосодержание продуктов горения при  $T = 1573$  К ниже  $Q_{п.г} = 13819$  кДж, то  $T_{г} > 1573$  К.

Задаемся  $T = (1400 + 273)$  К и вновь определяем теплосодержание продуктов горения при 1673 К:

$$Q_{п.г} = 2018,8 \times 3,28 + 2035,5 \times 1,66 + 3241,4 \times 0,84 + 2560,9 \times 0,68 = 14525,3 \text{ кДж}$$

Так как теплосодержание продуктов горения при  $T = 1673$  К выше  $Q_{п.г}$   $T_{г} < 1673$  К.

Таким образом, температура горения находится в интервале 1573 — 1673 К. Точное значение температуры горения найдем методом интерполяции, считая, что в этом интервале температур теплосодержание продуктов горения линейно зависит от температуры:

$$T_{г} = 1573 + \frac{(1673 - 1573)(13817 - 13374)}{14525,3 - 13374} = 1611,8 \text{ К}$$

Методика определения температуры горения других классов веществ аналогична. В случае горения индивидуальных химических соединений при определении  $V_{п.г}$  удобнее пользоваться единицей измерения кмоль/кмоль, а при нахождении  $Q_{п.г}$  и  $\Delta H_{ср}$  — единица измерения кДж/кмоль. В этом случае в расчете необходимо использовать данные таблицей ПЗ приложения.

### 3.4.3 Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Определить действительную температуру горения вещества. Исходные данные приведены в таблице 35.

Таблица 35 – Исходные данные для расчетов

Вариант	Вещество	$\alpha_{в}$	Недожог $Q_{н}$ , %	Потери $Q_{н}$ , %
1	Метан	1,4	7	8
2	Этан	1,45	8	7
3	Бутан	1,43	6	9
4	Пропан	1,42	8	7
5	Пентан	1,4	10	5
6	Гексан	1,38	10	6
7	Гептан	1,36	8	9
8	Гептилен	1,34	5	10
9	Этилен	1,32	6	9
10	Бутилен	1,3	8	7

11	Бензол	1,28	9	6
12	Гексен	1,26	4	11
13	Толуол	1,25	11	4
14	Ацетилен	1,27	10	6
15	Метан	1,29	9	4
16	Этан	1,31	8	7
17	Бутан	1,33	9	6
18	Пропан	1,35	10	4
19	Пентан	1,37	11	4
20	Гексан	1,4	12	3
21	Гептилен	1,43	14	2
22	Этилен	1,46	10	6
23	Бутилен	1,49	9	7
24	Бензол	1,48	8	7
25	Гексен	1,45	7	8

**Задача 2.** Определить действительную температуру горения вещества.

Исходные данные приведены в таблице 36.

Таблица 36 – Исходные данные для расчетов

Вар.	Состав вещества, %								Недожог Q <sub>н</sub> , %	Потери Q <sub>н</sub> , %
	С	Н	N	S	W	О	А	α <sub>В</sub>		
1	61	5	4	7	10	10	3	1,55	5	9
2	59	6	7	8	11	7	4	1,5	3	10
3	60	7	6	6	12	4	5	1,45	4	И
4	58	8	4	6	13	5	6	1,4	2	12
5	57	9	6	5	14	4	7	1,35	3	13
6	56	10	4	6	15	5	6	1,3	4	11
7	55	9	7	3	15	6	5	1,35	5	10
8	54	8	8	4	14	8	4	1,4	6	9
9	53	7	7	6	15	7	5	1,45	7	8
10	52	6	4	10	16	6	6	1,5	8	7
11	51	5	8	8	15	6	7	1,55	7	8
12	50	4	9	8	16	5	8	1,6	6	9
13	49	3	10	8	17	4	9	1,55	5	10
14	48	2	9	8	17	6	10	1,5	4	11
15	47	8	8	6	18	4	9	1,45	3	10
16	49	9	7	7	18	5	8	1,4	2	11
17	45	7	8	8	17	8	7	1,35	3	12
18	44	6	10	9	16	9	6	1,3	4	11
19	43	5	11	11	15	10	5	1,35	5	10
20	42	4	10	10	15	9	9	1,4	6	9
21	41	3	10	12	16	9	9	1,45	7	8
22	40	8	11	6	17	8	10	1,5	8	7
23	61	2	6	6	10	5	10	1,55	7	8
24	62	1	7	7	9	6	8	1,6	6	9
25	58	6	7	5	11	5	8	1,3	5	10

**Задача 3.** Определить действительную температуру горения смеси.

Исходные данные приведены в таблице 37.

Таблица 37 – Исходные данные для расчетов

вариант	Состав смеси, %												$\alpha_B$	Недож, $Q_{н, \%}$	Потери, $Q_{н, \%}$
	$C_8H_{18}$	$C_4H_{10}$	$C_2H_6$	$C_6H_{12}$	$C_6H_6$	$O_2$	$N_2$	$CO_2$	$H_2$	$CO$	$CH_4$	$C_2H_2$			
1		40		35			6	5	4	10			1,6	5	10
2				50	25	5	3	10	2	5			1,55	11	4
3			25			5	3	5	2	10	50		1,6	6	9
4				25	40	10	8	5	2	10			1,25	4	11
5						4	3	3	3	17	30	40	1,35	8	7
6					20	10	10	8	2	10	40		1,45	6	9
7			45		30	2	16	3	0	4			1,2	8	4
8	20				50	5	5	10	5	5			1,4	8	8
9	10	30		20	5	3	2	10	20				1,3	4	11
10	20		40	30		2	3	5					1,4	5	10
11						2	5	3	10	20	40	20	1,5	6	9
12	10	40	20		20	3	2	5					1,4	7	8
13	15	35	25		15	2	5	3					1,3	8	7
14						5	2	3	10	40	25	15	1,5	7	8
15						2	3	5	20	10	20	60	1,4	6	9
16	40	10	10	20	10	5	3	2					1,2	4	11
17	50	10	10	10	10	2	3	5					1,3	5	И
18						5	2	3	10	20	10	50	1,4	6	9
19						3	5	2	10	10	10	60	1,5	7	8
20	60	10	5	10	5	2	3	5					1,6	8	7
21	10	70	5	5		3	2	5					1,2	9	6
22						5	3	2	5	5	70	10	1,3	8	8
23						2	5	3	5	70	5	10	1,4	7	8
24	5	5	10	70		3	2	5					1,5	6	9
25	5		5	10	70	2	3	5					1,4	5	10

**РАСЧЕТ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВЕ  
ГАЗОПАРОВОЗДУШНЫХ, ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ, ГАЗОВОЗДУШНЫХ  
СМЕСЕЙ И КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

**4.1 Взрывы газозвушных смесей в открытом пространстве**

При взрыве газозвушной смеси различают две зоны действия: детонационной волны — в пределах облака ГВС и воздушной ударной волны — за пределами облака ГВС. В облаке действует детонационная волна, избыточное давление во фронте которой принимается постоянным в пределах облака ГВС и приблизительно равным  $\Delta P_{\phi} = 17 \text{ кгс/см}^2$  (1,7 кПа).

В расчетах принимают, что зона действия детонационной волны ограничена радиусом  $r_0$ , который принимается из допущения, что ГВС после разрушения емкости образует в открытом пространстве полусферическое облако. Объем полусферического облака может быть определен по формуле

$$V = \frac{2}{3} \pi \cdot r_0^3, \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

Учитывая, что 1 кмоль идеального газа при нормальных условиях занимает  $22,4 \text{ м}^3$ , объем образовавшейся смеси составит

$$V = \frac{22,4 \cdot k \cdot m_{\Gamma} \cdot 100}{\mu_{\Gamma} \cdot C_{\text{СТХ}}} \pi \cdot r_0^3 \quad (4.2)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий долю активного газа (долю продукта, участвующего во взрыве);

$m_{\Gamma}$  — количество сжиженных углеводородных газов в хранилище до взрыва, кг;

$\mu_{\Gamma}$  — молярная масса, кг/моль;

$C_{\text{СТХ}}$  — стехиометрическая концентрация газа, %.

Из условия равенства полусферы и объема образовавшейся смеси получим

$$r_0 \approx 14,53 \sqrt[3]{\frac{m_{\Gamma} \cdot k}{\mu_{\Gamma} \cdot C_{СТХ}}} \quad (4.3)$$

Значение коэффициента  $k$  принимают в зависимости от способа хранения продукта:  $k = 1$  — для резервуаров с газообразным веществом;  $k = 0,6$  — для газов, сжиженных под давлением;  $k = 0,1$  — для газов, сжиженных под охлаждением (хранящихся в изотермических емкостях);  $k = 0,05$  — при аварийном разливе легковоспламеняющейся жидкости.

Зона действия ударной волны начинается сразу за внешней границей облака ГВС. Давление во фронте воздушной ударной волны  $\Delta P_{\Phi}$  зависит от расстояния от центра взрыва и определяется по таблице П7 приложения.

**Пример 1.** Произошел взрыв облака ГВС, образованного при разрушении резервуара с 106 кг сжиженного пропана. Определить давление воздушной ударной волны на расстоянии  $r = 200$  м.

**Решение.**

Определяем радиус зоны детонации по формуле (6.3):

$$r_0 \approx 14,53 \sqrt[3]{\frac{m_{\Gamma} \cdot k}{\mu_{\Gamma} \cdot C_{СТХ}}} = 14,53 \sqrt[3]{\frac{10^6 \cdot 0,6}{44 \times 4,03}} = 157 \text{ , м}$$

2. Определяем отношение расстояния от центра взрыва до рассматриваемого здания к радиусу детонационной волны:

$$\frac{r}{r_0} = \frac{200}{157} = 1,2$$

3 При  $\frac{r}{r_0} = \frac{200}{157} = 1,2$  по таблице П7 приложения путем интерполяции получаем  $\Delta P_{\Phi} = 400$  кПа. Полученные параметры воздушной ударной волны

анализируются и наносятся на схему возможной обстановки при возникновении ЧС

#### 4.2 Взрывы пылевоздушных смесей в производственных помещениях

Взрывное горение может происходить по одному из двух режимов: дефлаграционному и детонационному. При разработке плана действий для оперативного прогнозирования энергия взрыва будет определяться по формуле

$$Q = m \cdot U, \text{ кДж}, \quad (4.4)$$

где  $m$  — расчетная масса пыли;

$U$  — удельная теплота сгорания вещества, превратившегося в пыль, кДж.

При оперативном прогнозировании расчетная масса пыли определяется из условия, что свободное помещение полностью заполнит взвешенный дисперсный продукт, образующий при этом пылевоздушную смесь стехиометрической концентрации:

$$m = \frac{V_0 \cdot C_{СТХ}}{1000}, \text{ кг} \quad (4.5)$$

где  $V_0 = 0,8V_{П}$ ,  $\text{м}^3$  — свободный объем помещения;

$C_{СТХ} = 3\varphi_{НКПР}$  — стехиометрическая концентрация пыли;

$\varphi_{НКПР}$  — нижний концентрационный предел распространения пламени (минимальное содержание пыли в смеси с воздухом, при котором возможно возгорание).

**Пример 2.** В цехе по переработке полиэтилена при разгерметизации технологического блока возможно поступление пыли в помещение.

Исходные данные:  $V_{П} = 4800 \text{ м}^3$ ,  $\varphi_{НКПР} = 45 \text{ г/м}^3$ ,  $Q = 47,1 \text{ МДж/кг}$ .  
Определить давление воздушной ударной волны на расстоянии 30 м от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций.

**Решение.**

1. Определяем стехиометрическую концентрацию пыли:

$$C_{СТХ} = 3\varphi_{НКПР} = 3 \times 45 = 135 \text{ г/м}^3.$$

2. Определяем расчетную массу пыли:

$$m = \frac{V_0 C_{СТХ}}{1000} = \frac{0,8 \times 4800 \times 135}{1000} = 518,4, \text{ кг}$$

3. Определяем энергию взрыва:

$$Q = m \cdot U = 508,4 \times 47,1 = 24,4 \cdot 10^6, \text{ кДж.}$$

4. Определяем радиус детонационного действия:

$$r_0 = \frac{1}{24} \sqrt[3]{Q} = \frac{1}{24} \sqrt[3]{24,4 \cdot 10^6} = 12, \text{ м}$$

5. Определяем отношение расстояния от центра взрыва до рассматриваемого здания к радиусу детонационной волны:

$$\frac{r}{r_0} = 3,5$$

При  $\frac{r}{r_0} = 3,5$  по таблице П7 приложения путем интерполяции

получаем  $\Delta P_{\Phi} = 65 \text{ кПа}$ .

### 4.3 Взрывы газопаровоздушных смесей в помещениях

При взрыве газопаровоздушных смесей (ГПВС) зону детонационной волны, ограниченную радиусом, можно определить по формуле

$$r_0 = \frac{1}{24} \sqrt[3]{Q} = \tag{4.6}$$

где  $1/24$  — коэффициент,  $\text{м/кДж}^{1/3}$  ;

$Q$  — энергия взрыва смеси, определяемая из выражения

$$Q = V_{ГПВС} \cdot \rho_{СТХ} \cdot U, \tag{4.7}$$

где  $\rho_{СТХ}$  — плотность смеси стехиометрического состава,  $\text{кг/м}^3$ ;

$Q$  — энергия взрывчатого превращения единицы массы смеси стехиометрического состава, кДж/кг;

$V_{ПГВС}$  — объем смеси, равный

$$V_{ПГВС} = \frac{C_{СТХ} \cdot V_{ПЗ}}{100}, \quad (6.8)$$

где  $C_{СТХ}$  — стехиометрическая концентрация по объему, %;

$V_{ПЗ}$  — объем газа в помещении, м<sup>3</sup>.

Для оперативного прогнозирования последствий взрыва в производственных помещениях целесообразно производить расчеты для случая, при котором будут максимальные разрушения. Тогда следует считать, что свободный объем помещения, где расположены емкости с газом, будет полностью заполнен взрывоопасной смесью стехиометрического состава и уравнение по определению энергии взрыва будет иметь вид

$$Q = \frac{C_{СТХ} \cdot \rho_{СТХ} \cdot U}{100}, \quad \text{кДж} \quad (6.9)$$

где  $V_0 = 0,8V_{ПOM}$ , м<sup>3</sup> — свободный объем помещения;

$V_{ПOM}$  — общий объем помещения, м<sup>3</sup>;

Объем смеси  $V_{ПГВС}$  принимают равным  $V_0$ .

**Пример 3.** Произошел взрыв этилено-воздушной смеси при разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения  $V_{ПOM} = 1296$  м<sup>3</sup>;  $\rho_{СТХ} = 1,285$  кг/м<sup>3</sup>;  $U = 3,01$  МДж/кг;  $C_{СТХ} = 6,54\%$ . Определить давление воздушной ударной волны на расстоянии 30 м от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций.

### **Решение**

1. Определяем энергию взрыва по формуле (4.9):

$$Q = \frac{6,56 \times 0,8 \times 1296 \times 1,285 \times 3,01 \times 1000}{100} = 2,023 \cdot 10^5, \quad \text{кДж}$$

Определяем радиус детонационного действия по формуле (4.6):

$$r_0 = \frac{1}{24} \sqrt[3]{2,023 \cdot 10^5} = 2,5, \text{ м.}$$

3. Определяем отношение расстояния от центра взрыва до рассматриваемого здания к радиусу детонационной волны:

$$\frac{r}{r_0} = \frac{39 + 25}{2,5} = 13$$

При  $r/r_0 = 13$  по табл. П7 приложения путем интерполяции получаем  $\Delta P_{\Phi} = 9,375$  кПа.

#### 4.4 Взрывы конденсированных взрывчатых веществ

Параметры взрыва конденсированных взрывчатых веществ (КВВ) зависят от вида взрывчатых веществ, эффективной массы, характера подстилающей поверхности и расстояния до центра взрыва. Расчет проводят в два этапа. В начале определяют приведенный радиус  $R'$  для рассматриваемых расстояний, а затем избыточное давление  $\Delta P_{\Phi}$  во фронте воздушной ударной волны. Приведенный радиус в зоне взрыва определяют по формуле

$$R' = \frac{R}{\sqrt[3]{2\eta m K_{\text{эфф}}}}, \text{ м/кг} \quad (4.10)$$

где  $R$  — расстояние до центра взрыва взрывчатых веществ, м;

$\eta$  — коэффициент, учитывающий характер подстилающей поверхности: для металла он равен 1; для бетона - 0,95; для грунта и дерева — 0,6—0,8;

$m$  — масса взрывчатого вещества;

$K_{\text{эфф}}$  — коэффициент приведения рассматриваемого вида взрывчатых веществ к тротилу, определяется по табл. П9 приложения. В зависимости от величины приведенного радиуса избыточное давление может быть определено по одной из следующих формул:

при  $R' \leq 6,2$

$$\Delta P_{\phi} = \frac{700}{3\sqrt{1+(R')^3-1}}, \text{ кПа} \quad (4.11)$$

при  $R' > 6,2$

$$\Delta P_{\phi} = \frac{700}{3\sqrt{\lg R' - 0,332}}, \text{ кПа} \quad (4.12)$$

**Пример 4.** Определить значение  $\Delta P_{\phi}$  на расстоянии 20 м при взрыве тротила массой 100 кг. Подстилающая поверхность — металл.

**Решение.**

1. Определяем приведенный радиус по формуле (4.10):

$$R' = \frac{R}{\sqrt[3]{2\eta m K_{\text{эфф}}}} = \frac{20}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 100 \times 1}} = 3,1, \text{ м/кг}$$

Так как при  $R' = 3,1 < 6,2$ , то  $\Delta P_{\phi}$  определяем по формуле (4.11):

$$\Delta P_{\phi} = \frac{700}{3(\sqrt{1+R'^3}-1)} = \frac{700}{3(\sqrt{1+3,1^3}-1)} = 43, \text{ кПа}$$

#### 4.5 Взрывы на магистральных газопроводах

Взрывное горение может происходить по дефлаграционному и детонационному режимам. При оперативном прогнозировании следует принимать, что процесс развивается в детонационном режиме.

Дальность распространения облака взрывной смеси в направлении ветра определяется по формуле

$$L_{\text{обл}} = 25 \sqrt{\frac{M_{\Gamma}}{W_{\text{вт}}}}, \text{ м} \quad (4.13)$$

где 25 — постоянная;

$M_{\Gamma}$  — массовый расход газа, кг/с;

$W_{\text{вт}}$  — скорость ветра, м/с.

Граница зоны детонации, ограниченная радиусом  $r_0$ , в результате утечки газа за счет нарушения герметичности газопровода может быть определена по формуле

$$r_0 = 12,5 \sqrt{\frac{M_{\Gamma}}{W_{BT}}}, \text{ м} \quad (4.14)$$

Массовый секундный расход газа  $M_{\Gamma}$  из газопровода для критического режима истечения, когда основные параметры (расход и скорость) истечения зависят только от параметров разгерметизированного трубопровода, может быть определен по формуле

$$M_{\Gamma} = \psi S \mu \sqrt{\frac{P_{\Gamma}}{V_{\Gamma}}}, \text{ кг/с} \quad (4.15)$$

где  $\psi$  — коэффициент, учитывающий расход газа в зависимости от состояния потока (для звуковой скорости истечения  $\psi = 0,7$ );

$S$  — площадь отверстия утечки, принимается равной площади сечения трубопровода,  $\text{м}^2$ ;

$\mu$  — коэффициент расхода, учитывающий форму отверстия (в расчетах принимается равным 0,8);

$P_{\Gamma}$  — давление на газопроводе, Па;

$V_{\Gamma}$  — удельный объем транспортируемого газа, определяемый по формуле

$$V_{\Gamma} = R_0 \frac{T}{P_{\Gamma}}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (4.16)$$

где  $T$  — температура транспортируемого газа, К;

$R_0$  — удельная газовая постоянная, равная 486 Дж/(кг•К).

При разработке планов действий на схеме объекта вдоль магистральных нефте- и газопроводов рекомендуется наносить зоны возможных сильных разрушений, границы которых определяются величиной критического избыточного давления 50 кПа.

При проведении оперативных расчетов следует учитывать, что в зависимости от класса магистрального трубопровода рабочее давление газа в

нем может составлять: для газопроводов высокого давления — 2,5 МПа, среднего давления 1,2—2,5 МПа; низкого давления — до 1,2 МПа. Диаметр газопровода может быть 150—1420 мм. Температура транспортируемого газа может быть принята в расчетах равной 40°C. Состав обычного газа при отсутствии данных можно принять в соотношении: метан — 90%, этан — 4%, пентан — 2%, бутан — 2%, изопентан — 2%.

**Пример 5.** Определить границу  $r$  зоны возможных разрушений в величину избыточного давления воздушной ударной волны. Исходные данные:  $d = 0,5$  м;  $P_{\Gamma} = 1,9$  МПа;  $t = 40^{\circ}\text{C}$ ;  $W_{\text{BT}} = 1$  м/с.

**Решение.**

1. Определяем удельный объем транспортируемого газа по формуле (4.16):

$$V_{\Gamma} = R_0 \frac{T}{P_{\Gamma}} = 486 \frac{(274 + 40)}{1,9 \cdot 10^6} = 0,08 \text{ , м}^3/\text{кг}$$

2. Определяем массовый секундный расход газа по формуле (4.15):

$$M_{\Gamma} = \psi S \mu \sqrt{\frac{P_{\Gamma}}{V_{\Gamma}}} = 0,7 \frac{3,14 \times 0,5^2}{1,9 \cdot 10^6} 536 \text{ , кг/с}$$

4. Определяем радиус детонационной волны по формуле (4.14):

$$r_0 = 12,5 \sqrt{\frac{M_{\Gamma}}{W_{\text{BT}}}} = 12,5 \sqrt{\frac{536}{1}} 289 \text{ , м}$$

5. Определяем границу зоны возможных разрушений при  $\Delta P_{\Phi} = 50$  кПа.

Из табл. П7 приложения  $r/r_0 = 4$ , значит

$$r = 4r_0 = 289 \times 4 = 1156 \text{ , м}$$

#### 4.6 Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Произошел взрыв облака ГВС, образованного при разрушении резервуара с  $t$  кг сжиженного газа. Определить давление воздушной ударной волны на расстоянии  $r$ . Исходные данные брать из таблицы П6 приложения. Исходные данные приведены в таблице 38.

Таблица 38 – Исходные данные для расчетов

Вариант	Вещество	Расстояние $r$ , м	$t$ , кг
1	Аммиак	200	10:)
2	Ацетилен	150	10"
3	Бутан	100	106
4	Бутилен	50	107
5	Винилхлорид	120	105
6	Водород	210	10"
7	Дивинил	300	10"
8	Метан	90	106
9	Оксид углерода	150	106
10	Пропан	120	105
11	Пропилен	100	10"
12	Этан	70	106
13	Этилен	170	105
14	Метан	160	10"
15	Оксид углерода	250	105
16	Винилхлорид	100	106
17	Водород	105	106
18	Бутилен	140	106
19	Аммиак	115	10"
20	Ацетилен	135	106
21	Бутан	150	105
22	Винилхлорид	100	10"
23	Дивинил	110	10e
24	Этилен	160	106

*Задача 2.* В цехе по переработке пластмасс при разгерметизации технологического блока возможно поступление пыли в **помещение**. **Определить** давление воздушной ударной волны на расстоянии гот контура помещения при разрушении его охлаждающих конструкций. Исходные данные брать из таблицы П8 приложения. Исходные данные приведены в таблице 39.

Таблица 39 – Исходные данные для расчетов.

<b>Вариант</b>	<b>Вещество</b>	<b>Расстояние г, м</b>	<b>V<sub>пом</sub>, м<sup>3</sup></b>
1	Полистирол	10	4300
2	Полиэтилен	20	4500
3	Метилцеллюлоза	30	4800
4	Полиоксадиазол	40	5000
5	Пигмент зеленый (краситель)	50	4200
6	Пигмент бордо на полиэтилене	10	4000
7	Нафталин	20	5100
8	Фталиевый ангидрид	30	5200
9	Уротропин	40	5300
10	Адипиновая кислота	50	5400
11	Сера	10	5500
12	Алюминий	20	5600
13	Фталиевый ангидрид	30	5700
14	Пигмент бордо на полиэтилене	40	3999
15	Полистирол	50	3998
16	Полиэтилен	10	3997
17	Метилцеллюлоза	20	3996
18	Полиоксадиазол	30	3995
19	Пигмент зеленый (краситель)	40	3994
20	Пигмент бордо на полиэтилене	50	5800
21	Нафталин	10	5900
23	Уротропин	20	6000
24	Адипиновая кислота	30	6010
25	Сера	40	6020

**Задача 3.** Произошел взрыв газовой смеси при разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения. Определить давление воздушной ударной волны на расстоянии  $r$  от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций. Исходные данные брать из таблицы Пб приложения. Исходные данные приведены в таблице 40.

Таблица 40 – Исходные данные для расчетов

<b>Вариант</b>	<b>Вещество</b>	<b>Расстояние <math>r</math>, м</b>	<b><math>V_{\text{пом}}</math>, м<sup>3</sup></b>
1	Аммиак	10	1296
2	Ацетилен	20	1200
3	Бутан	30	1500
4	Бутилен	40	1299
5	Винилхлорид	50	1300
6	Водород	10	1320
7	Дивинил	20	1400
8	Метан	30	1500
9	Оксид углерода	40	1298
10	Пропан	50	1340
11	Пропилен	10	1350
12	Этан	20	1445
13	Этилен	30	1299
14	Метан	40	1600
15	Оксид углерода	50	1610
16	Винилхлорид	10	1510
17	Водород	20	1530
18	Бутилен	30	1620
19	Аммиак	40	1295
20	Ацетилен	50	1294
21	Бутан	10	1295
22	Винилхлорид	20	1289
23	Дивинил	30	1290
24	Этилен	40	1293

**Задача 4.** Определить значение  $\Delta P_{\phi}$  на расстоянии  $r$  при взрыве конденсированного взрывчатого вещества массой  $m$ . Исходные данные приведены в таблице 41.

Таблица 42 – Исходные данные для расчетов

<b>Вариант</b>	<b>Вещество</b>	<b>Подстилающая поверхность, <math>\eta</math></b>	<b><math>r</math>, м</b>	<b><math>m</math>, кг</b>
1	Тротил	Металл	10	50
2	Тротил	Бетон	20	80
3	Тротил	Дерево	30	100
4	Тротил	Металл	40	150
5	Тритонал	Бетон	20	70
6	Тритонал	Дерево	40	90
7	Тритонал	Металл	60	120
8	Тритонал	Бетон	80	140
9	Гексоген	Дерево	100	50
10	Гексоген	Металл	150	100
11	Гексоген	Бетон	200	150
12	Гексоген	Дерево	210	200
13	ТЭН	Металл	250	100
14	ТЭН	Бетон	20	150
15	ТЭН	Дерево	30	50
16	Аммонал	Металл	10	30
17	Аммонал	Бетон	20	50
18	Аммонал	Дерево	30	100
19	Порох	Металл	10	10
20	Порох	Бетон	20	30
21	ТНРС	Дерево	30	50
22	ТНРС	Металл	50	100
23	Тетрил	Бетон	20	30
24	Тетрил	Дерево	30	50
25	Тетрил	Металл	50	100

**Задача 5.** Определить границу зоны возможных разрушений  $r$  с величиной критического избыточного давления воздушной ударной волны при  $t = 40$  °С и  $\Delta P_{\phi} = 50$  кПа. Исходные данные приведены в таблице 43.

Таблица 43 – Исходные данные для расчетов

№ п/п	Диаметр газопровода, м	$P_{Г}$ , МПа	$W_{ВТ}$ , м/с
1	0,15	1,2	0,5
2	0,20	1,3	1
3	0,25	1,4	2
4	0,3	1,5	3
5	0,35	1,6	4
6	0,4	1,7	5
7	0,45	1,8	1
8	0,5	1,9	2
9	0,55	2,0	3
10	0,6	2,1	4
11	0,65	2,2	5
12	0,7	2,3	0,5
13	0,75	2,4	2
14	0,8	1,2	3
15	0,85	1,4	4
16	0,9	1,6	5
17	0,95	1,8	1
18	1,00	2,0	2
19	1,05	2,2	3
20	1,1	2,4	4
21	1,15	1,3	5
22	1,20	1,5	1
23	1,25	1,7	2
24	1,3	1,8	3
25	1,4	1,9	1

## Литература

1. Абдурагимов И. М. Процессы горения / И. М. Абдурагимов и [др.]. - М: ВИПТШ МВД СССР, 1984. - 236 с.
2. Аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ – ПХП ГОСТ 6363, 1502519, ФТМ 93. Паспорт. Руководство по эксплуатации. Методика аттестации. – М.: ПромХимПрибор, 2005
3. Баратов А.Н., Пчелинцев В.А. Пожарная безопасность. – М.: Изд – во Ассоциация строительных вузов, 2006. – 144 с.
4. Баратов А. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. (Справочное издание в двух книгах) / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и [др.]. -М.: Химия, 1990.
5. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве (охрана труда): Учебник для вузов. – СПб.: Издательство «Лань», 2006. – 502 с.
6. Брушлинский, Н. Н. Моделирование пожаров и взрывов / Н. Н. Брушлинско- го и А. Я. Корольченко. - М.: Изд-во «Пожнаука», 2000.
7. Власов Д. А. Взрыв и его последствия / Д. А. Власов. – СПб.: Технологический институт, 2002. – 247 с.
8. Грачев В.А., Терещнев В.В., Поповский Д.В.. Газодымозащитная служба: Учебно-методическое пособие. - Изд 2-е, перераб. и доп. - М.: ООО «Изд-во «Пожнаука», 2009. - 328 с.
9. Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ / П. Г. Демидов, В. С. Саушев. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1975.
10. Лумисте Е.Г. Безопасность жизнедеятельности в примерах и задачах/Е.Г. Лумисте. – Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2010. – 535 с.
11. Михайлов Л.А. Пожарная безопасность: учебник для студ. учреждений высш. образования/ Л.А. Михайлов, В.П. Соломин, О.Н. Русаки др. ; под ред. Л.А. Михайлова. – 2 – е изд. стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 224 с.
12. Мальцев В. М. Основные характеристики горения / В. М. Мальцев, М. И. Мальцев, Л. Я. Кашпоров. - М.: Химия, 1975. - 314 с.

13. Правила пожарной безопасности (ППБ 01 – 03). – 2 – е изд. – М.: ИНФРА – М, 2009. – 161 с.
14. Правила, инструкции, нормы пожарной безопасности РФ. Сборник нормативных документов. -Новосибирск: Сиб. Универ. Изд-во, 2010.- 176 с.
15. Руководство по эксплуатации. Мотопомпа GP – 51/ PCT AB73 CHAMPION. Power& Force.
16. Собурь С.В. Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно – технического минимума: Справочник. – 7 – е изд. доп. (с изм.). – М.: Спецтехника, 2003. – 436 с.
17. Справочник инженера пожарной охраны/под общ. ред. Д. Б. Самойлова. - М.: Инфра-Инженерия, 2010. – 864
18. Терещнев В. В., Ульянов Н. П., Грачев В. А. Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. - М.: Центр пропаганды, 2007. - 324 с.
19. Теория горения и взрыва: учебник и практикум/О.Г. Казаков [и др.]; под общ. ред. А.В. Тотая, О.Г. Козакова. – 2 – е изд., перераб и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 295 с.
20. Христофоров Е.Н. Сборник примеров и задач по пожарной безопасности Методические указания для выполнения практических занятий/Е.Н. Христофоров. – Брянск: издательство БГСХА, 2010. – 88 с.
21. Христофоров Е.Н. Расчет сил и средств для тушения пожаров Методические указания для выполнения практических занятий/Е.Н. Христофоров. – Брянск: издательство БГСХА, 2010. – 90 с.
21. Христофоров Е.Н. Пожарная безопасность. Учебное пособие с лабораторный практикум/Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович. – Брянск: издательство БГСХА, 2015. – 74 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Таблица 1 – Зависимость давления от температуры для некоторых

веществ

Вещество	Давление, Па								
	1333,3	1333,2	2666,4	5332,9	7999,3	1333,2	2666,4	5332,9	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	293,2
Ангидрид уксусный	274,7	309,0	325,0	335,1	343,8	355,2	373,0	392,8	412,6
Акриловая кислота	312,0	325,0	339,2	348,0	359,1	376,3	395,0	414,0	276,5
Аллиловый спирт	253,0	283,5	294,7	305,4	313,3	323,0	337,5	353,2	369,6
Амиловый спирт	286,0	317,9	328,8	244,0	348,5	358,8	375,0	392,8	410,8
Бензиловый спирт	331,0	365,6	378,8	392,8	402,3	414,7	433,0	456,0	477,7
Бензол	236,3	261,5	270,4	286,0	288,4	299,1	315,2	333,6	353,1
Бутиловый спирт	271,8	303,2	314,5	326,4	333,3	343,1	357,3	373,8	390,5
Бутиловый спирт (вторичный)	260,8	289,9	300,3	311,1	318,2	327,1	340,9	356,9	372,5
Бутиловый спирт (третичный)	252,6	278,5	287,3	297,5	304	312,8	325,7	314,0	355,9
Изобутиловый спирт	264	294,7	307,3	317,1	324,7	334,5	348,9	364,4	381
Бромистый этил	198,7	225,5	235,2	246,3	253,5	263	287,5	294	311,4
Бутилбензол	295,7	335	349,3	365,4	275,6	389,2	409,4	432,2	456,1
Бутилформат	246,6	279,1	291,0	304,6	312,8	324,0	340,9	359,2	379,0
Метилэтилкетон	224,2	255,3	266,5	279,0	287,0	298,0	314,6	333,0	352,6
Метилциклогексан	237,1	269,8	281,7	295,0	303,5	315,1	332,6	352,6	373,9
3-метил-2-бутанол	253,1	281,3	291,3	302,6	309,2	318,5	332,0	348,6	361,9
Метиловый спирт	229,0	256,8	267,0	278,0	285,1	294,2	307,8	322,9	337,7
Оксид этилена	198,0	224	233,7	244,6	251,7	261,0	275,1	290,8	307,5
Октан	259,0	281,3	304,5	318,1	326,8	338,7	356,6	377,0	398,6
Пропилбензол	279,3	316,4	329,8	344,6	354,1	–	386,5	408,7	432,2
Пропиловый спирт (вторичный)	299,1	275,4	285,7	296,8	303,5	312,5	326	340,8	355,5
Стирол	266,0	303,8	317,6	332,8	424,5	355,0	374,3	395,5	418,2
Сероуглерод	199,2	228,3	238,7	250,5	257,7	267,9	283,4	301,0	319,5
Толуол	246,3	279,4	291,4	304,8	313,3	324,9	342,5	262,5	383,6
Уксуснометиловый эфир	215,8	243,7	253,9	265,1	272,5	282,4	279,0	313,0	330,8

## Продолжение таблицы 1

Уксусно пропиловый эфир	246,3	278,4	289,0	301,8	310,0	320,8	337,0	-	374,8
Уксусно-этиловый эфир	229,6	259,5	270,0	282,1	289,6	300,0	315,0	332,3	350,1
Этиловый спирт	241,7	270,7	281,0	292,0	299,0	307,9	321,4	336,5	351,4
Этилциклопентан	240,8	272,9	284,7	298,0	306,4	318,0	335,4	355,3	318,4
Этилбензол	263,2	298,9	311,6	325,8	334,8	347,1	365,7	386,8	409,2
Диэтиловый эфир	198,7	224,9	234,5	245,2	251,2	261,5	275,2	290,9	307,0

## Приложение П2

Таблица 2 – Теплота сгорания некоторых веществ

Горючее вещество	Низшая теплота сгорания $Q_H$ Дж/кг	Горючее вещество	Низшая теплота сгорания $Q_H$ кДж/кг
Амилацетат	33533,5	Каучук натуральный	44833,0
Амиловый спирт	39046,6	Каучук синтетический	45252,0
Анилин	34777,0	Керосин	43157,0
Ацетилен	56000,0	Киноплёнка нитроцеллюлозная и триацетатная	15084,0
Бензин	43576,0	Мазут	18779,6
Бензол	40807,0	Масло солярное	41900,0
Битум, бумага, хлопок, х/б ткани	13408,0	Метан	43069,0
Бутан	45800,0	Нефть	35800,0
Бутиловый спирт	36144,9	Полистирол	38967,0
		Полиэтилен	47137,5
Древесина при влажности, % 10 20 30	16500,0 14400,0 12 200,0	Пенополиуретан	24302,0
		Резина	33520,0
		Толуол	42355,4
		Торф влажностью 19%	16613,3
Капролактан	29 749,0	Хлопок	15700,0

Таблица 3 – Основные физические константы некоторых газов

Вид газа	M, г/моль	$d$ , кг/м <sup>3</sup>	T, °C	$C_{p298}$ Дж/моль·К)	$Q_H$ , кДж/моль	$\Delta H^0_{298}$ , кДж/моль
Воздух	28,98	1,00	-192	1	-	0
Ar	39,95	1,38	-185,7	-	-	0
CO	28,01	0,967	-192	29,15	283,2	-110,6
CO <sup>2</sup>	44,01	1,529	78,5	37,13	-	-396,9
CH <sub>4</sub>	16,04	0,555	-161,6	35,79	890,95	75
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,07	1,049	-88,6	52,7	1560,92	98,4
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,097	1,562	-42,1	73,51	2221,52	103,9
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	58,124	2,091	-0,5	97,78	2880,43	32,4
изо- C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,124	2,064	-11,7	96,82	2873,44	—
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,151	2,674	36,1	122,6	3539,1	116,4
<i>n</i> -C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,178	2,970	68,1	146,7	4197,7	167,2
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,054	0,975	-103,7		1411,91	-52,28
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,038	0,906	-83,8	43,93	1257,0	-226,75
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,114	2,690	80,1	81,67	3282,4	82,83
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142	4,90	114,36	243,1	3382,12	-228,98
C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	114	3,93	125,8	194,9	5146,6	-208,4
C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	98	3,38	118,9	126,7	4725,33	-98,37
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	82	2,38	83,1	98,32	3736,6	-105,8
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84	2,90	80,9	106,3	4011,5	-123,1
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70	2,42	49,4	82,93	3368,26	-77,24
H <sub>2</sub>	2,016	0,070	-252,7	28,83	242,2	0
H <sub>2</sub> O	18,015	0,594	100,0	33,56		242,2
N <sub>2</sub>	28,013	0,967	-195,8	29,10		0
NH <sub>3</sub>	17,0		-33,6	35,65		-46,19
H <sub>2</sub> S	34	-	—	33,93		-20,15
O <sub>2</sub>	32	1,1	-182	29,36		-20,15

Таблица 4 – Энтальпия (теплосодержание) газов при постоянном давлении

Температура, К	Теплосодержание, кДж/моль					
	O	N <sub>2</sub>	Воздух	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>
200	5991,7	5849,3	5866,0	8019,6	6829,7	8505,7
300	9125,8	8819,9	8861,8	12 536,5	10 378,6	13 223,6
400	12 360,5	11 849,3	11 924,7	17 313,1	14 044,9	18 167,8
500	15 678,9	14 945,7	15 058,8	22 303,4	17 828,4	23 275,4
600	19 072	18 104,9	18 255,8	27 473,8	21 733,5	28 533,9
700	1972,9	18 104,9	18 255,8	27 473,8	21 733,5	285 333,9
800	22 521,2	21 331,3	21 524,0	32 795,1	25 772,7	33 876,1
900	26 019,9	24 616,2	24 842,5	38 237,9	29 937,5	39 285,5
1000	29 564,6	27 955,7	28 211,3	43 785,5	34 232,3	44 799,5
1100	33 142,9	31 337,0	31 621,9	49 442,0	38 648,5	50 321,9
1200	40 391,6	38 221,2	38 560,6	60 922,6	47 807,9	61 492,4
1300	44 036,9	41 719,8	42 067,6	66 788,6	52 584,5	67 161,5
1400	47 724,1	45 252,0	45 629,1	72 654,6	57 403,0	72 797,1
1500	51 453,2	48 773,6	49 190,6	78 562,50	62 347,2	78 436,8
1600	55 182,3	52 375,0	52 794,0	84 554,2	67 333,3	84 135,2
1700	58 953,3	55 936,5	56 397,4	90 545,9	72 445,1	89 821,0
1800	62 766,2	59 539,9	60 000,8	96 579,5	77 598,8	95 557,1
1900	66 579,1	63 143,3	63 646,1	102 613,1	82 794,4	101 184,3
2000	70 392,0	66 788,6	67 333,3	108 646,7	88 073,8	107 012,6
2100	72 246,8	70 433,9	71 020,5	114 722,2	93 395,1	112 715,2
2200	78 101,6	74 121,1	74 707,7	120 839,6	98 758,3	118451,3
2300	81 998,3	77 766,4	78 394,9	126 915,1	104 163,4	124220,9
2400	85 936,9	81 453,6	82 124,0	133 032,5	109 631,3	130024,1
2500	89 875,5	85 140,8	85 853,1	139 149,9	115 141,1	135756,0
2600	94 015,2	89 003,9	89 330,8	145 325,9	119 398,2	141513,0
2700	97 857,4	92 653,5	93 105,9	151 481,1	124 782,4	147295,2
2800	101 833,7	96 437,0	96 789,0	157 560,7	130 342,5	152985,3
2900	106 124,2	100 488,7	100 488,7	163 795,5	135 848,2	158813,6
3000	110 113,2	103 828,2	104 205,3	169 946,4	141 161,1	164667,0
2600	4184,9	3953,9	3988,4	6487,47	5387,1	6460,1
2700	4368,9	4135,9	4156,5	6761,8	5639,3	6753,8
2800	4546,1	4304,4	4320,7	7033,3	5897,8	7050,9
2900	4729,2	4469,0	4484,9	7311,1	6459,3	7351,3
3000	4914,9	4634,5	4652,1	7589,7	6425,8	7655,1

Таблица 5 – Энтальпия (теплосодержание) газов при постоянном давлении

Температура, К	Теплосодержание, кДж/м <sup>3</sup>					
	O	N <sub>2</sub>	Воздух	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>
100	131,8	130,1	130,1	170,1	150,6	181,4
200	267,2	260,9	261,9	357,7	304,7	377,9
300	407,1	393,6	395,4	559,7	463,0	587,0
400	551,4	528,7	532,1	772,6	626,8	824,6
500	669,3	666,6	672,0	925,1	786,2	1034,9
600	850,6	807,8	814,5	1225,6	969,5	1269,6
700	1004,7	951,9	960,3	1463,1	1149,7	1507,5
800	1160,6	1098,2	1108,2	1706,2	1335,3	1746,4
900	1319,0	1246,9	1258,7	1953,8	1527,2	1994,8
1000	1478,6	1398,2	1410,7	2205,2	1724,2	2237,4
1100	1639,5	1551,1	1564,9	2460,4	1926,5	2488,8
1200	1802,1	1705,3	1720,4	2718,5	2133,9	2735,2
1300	1965,1	1861,2	1877,5	2979,1	2345,5	2979,5
1400	2129,8	2010,0	2035,5	3241,4	2560,9	3238,0
1500	2295,7	2176,7	2194,7	3505,7	2781,3	3488,2
1600	2462,4	2335,5	2355,2	3771,4	3004,2	3747,5
1700	2630,5	2495,9	2515,7	4039,6	3231,7	4003,1
1800	2799,7	2656,4	2678,2	4307,3	3461,3	4261,2
1900	2969,4	2818,2	2840,4	4579,7	3693,5	4529,8
2000	3140,8	2979,9	3004,2	4847,8	3928,5	4667,6
2100	3311,7	3142,9	31,67,6	5118,2	4166,1	5059,4
2200	3497,8	3306,3	3332,3	5392,5	4405,8	5337,2
2300	3659,1	3469,3	3497,4	5660,7	4667,1	5608,7
2400	3843,3	3633,1	3663,3	5933,0	4890,9	5892,8
2500	4009,8	3797,4	3828,8	6209,60	5136,5	6169,8
2600	4184,9	3953,9	3988,4	6487,47	5387,1	6460,1
2700	4368,9	4135,9	4156,5	6761,8	5639,3	6753,8
2800	4546,1	4304,4	4320,7	7033,3	5897,8	7050,9
2900	4729,2	4469,0	4484,9	7311,1	6459,3	7351,3
3000	4914,9	4634,5	4652,1	589,7	6425,8	7655,1

Таблица 6 – Характеристика газопаровоздушных смесей

Вещество, характери- зующее смесь	Формула вещества, образую- щего смесь	Характеристики смеси			
		молярная масса, г/моль	$\rho_{стх}$ , кг/м <sup>3</sup>	$U_{м.стх}$ МДж/кг	$C_{стх}$ , об. %
<i>Газовоздушные смеси</i>					
Аммиак	NH <sub>3</sub>	15	1,180	2,370	19,72
Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26	1,278	3,387	7,75
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	1,328	2,776	3,13
Бутилен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56	1,329	2,892	3,38
Винилхлорид	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl	63	1,400	2,483	7,75
Водород	H <sub>2</sub>	2	0,933	3,425	29,59
Дивинил	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	54	1,330	2,962	3,68
Метан	CH <sub>4</sub>	16	1,232	2,763	9,45
Оксид углерода	CO	28	1,280	2,930	29,59
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	1,315	2,801	4,03
Пропилен	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42	1,314	2,922	4,46
Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30	1,250	2,797	5,66
Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	1,285	3,010	6,54
<i>Паровоздушные смеси</i>					
Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58	1,210	3,112	4,99
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78	1,350	2,937	2,84
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	1,340	2,797	2,16
Дихлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	99	1,490	2,164	6,54
Диэтиловый эфир	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	74	1,360	2,840	3,38
Ксилол	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	106	1,355	2,830	1,96
Метанол	CH <sub>4</sub> O	32	1,300	2,834	12,30
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72	1,340	2,797	2,56
Толуол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92	1,350	2,843	2,23
Циклогексан	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84	1,340	2,797	2,28
Этанол	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46	1,340	2,804	6,54
Бензин авиационный	-	94	1,350	2,973	2,10

Таблица 7 – Значения  $\Delta P_{\Phi}$ 

$r/r_0$	0-1	1,01	1,04	1,08	1,2	1,4	1,8	2,7
$\Delta P_{\Phi}$ кПа	1700	1232	814	568	400	300	200	100
$r/r_0$	3	4	5	6	8	12	20	-
$\Delta P_{\Phi}$ кПа	80	50	40	30	20	10	5	-

Таблица 8– Показатели взрывных явлений пыли

Вещество	$\varphi_{НКПВ}$	$U$ , МДж/кг
Полистирол	27,5	39,8
Полиэтилен	45,0	47,1
Метилцеллюлоза	30,0	11,8
Полиоксадиазол	18,0	18,0
Пигмент зеленый (краситель)	45,0	42,9
Пигмент бордо на полиэтилене	39,0	42,9
Нафталин	2,5	39,9
Фталиевый ангидрид	12,6	21,0
Уротропин	15,0	28,1
Адипиновая кислота	35,0	19,7
Сера	2,3	8,2
Алюминий	58,0	30,13

Таблица 9 – Значения коэффициента  $K_{ЭФФ}$ 

Вид ВВ	Тротил	Тритонал	Гексоген	ГЭН	Аммонал	Порох	ТНРС	Тетрил
$K_{ЭФФ}$	1	1,53	1,3	1,39	0,99	0,66	0,39	1,15

## 1 Аттестация испытательного оборудования

### 1.1 Программа и методика аттестации аппарата для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ – ПХП

#### Введение

Настоящий документ устанавливает порядок, содержание и методику проведения первичной и периодической аттестации (далее аттестации) аппарата для определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле ТВЗ-ПХП (в дальнейшем – аппарат) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.568-97 «ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».

**Цель аттестации:** подтверждение возможности воспроизведения условий испытаний и установление пригодности аппарата для определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле при атмосферном давлении в соответствии с методом, изложенным в ГОСТ 6356-91, ASTM В 93, ISO.

Аппарат для определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле ТВЗ – ПХП предназначен для определения самой низкой температуры горючего вещества, при которой в условиях испытания над его поверхностью образуется смесь паров и газов с воздухом, способная вспыхивать в воздухе от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения. Для этого испытуемый продукт нагревается в закрытом тигле с постоянной скоростью при непрерывном перемешивании и испытывается на вспышку через определенные интервалы температур.

Периодичность аттестации – не реже одного раз в год.

#### 1.1.1 Нормативные ссылки

1. ГОСТ 12.1.044 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»

2. МИ 2418-97 «ГСИ. Рекомендации. Классификация и применение технических средств испытаний нефти и нефтепродуктов»

3. ГОСТ Р 8.568-97 «ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения»

4. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. 4.6 Использование значений точности на практике»

5. ГОСТ Р 8.580 – 2001 «ГСИ. Определение и применение показателей точности методов испытаний нефтепродуктов»

### **1.1.2 Аттестация испытательного оборудования (аппарат ТВЗ – ПХП)**

1. ГОСТ 6356-91 «Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле»

2. ГОСТ 400-80 «Термометры стеклянные для испытаний нефтепродуктов»

3. Паспорт на аппарат ТВЗ-ПХП.

### **1.1.3 Требования безопасности**

При проведении аттестации соблюдаются требования:

1. «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей»;

2. «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»;

3. Требований ГОСТ 12.2.007.0.

### **1.1.4 Операции аттестации**

При проведении аттестации выполняют следующие операции:

1. Экспертиза технической документации

2. Внешний осмотр.

3. Экспериментальное исследование аппарата.

4. Оформление результатов аттестации.

### 1.1.5 Средства аттестации

1. Стандартные образцы температуры вспышки нефти и нефтепродуктов в закрытом тигле (ГСО 4088 – 87, тип ТЗТ – 1, значение нормирующего параметра 16,5°C; ГСО 4089 – 87, тип ТЗТ – 2, значение нормирующего параметра 36°C; ГСО 4090 – 87, тип ТЗТ – 3, значение нормирующего параметра 54°C; ГСО 4091 – 87, тип ТЗТ – 4, значение нормирующего параметра 70°C; ГСО 4092 – 87, тип ТЗТ – 5, значение нормирующего параметра 120°C; ГСО 8159 – 2002, тип ТЗТ – 6, значение нормирующего параметра 161°C на усмотрение пользователя) с сертификатом производителя и паспортом. Аттестация проводится по тому ГСО, в области которого работает пользователь.

2. Термометры стеклянные ртутные типов ТН1 – 1, ТН1 – 2 по ГОСТ 400 – 80.

3. Растворители: нефрасы С2 – 80/120, С3 – 80/120 по НТД, С – 50/170 по ГОСТ 8505 – 80 или бензин прямой перегонки, не содержащий присадок, или углеводороды галоидопроизводные.

4. Экран трехстворчатый окрашенный с внутренней стороны черной краской, секции шириной 46±1 см. высотой 60 x 5 см или щит высотой от 55 до 65 см из листовой кровельной стали, окрашенный с внутренней стороны черной краской.

5. Секундомер любого типа

6. Барометр ртутный или барометр-анероид типа БАММ или аналогичный погрешностью измерения не более.

7. Бумага фильтровальная лабораторная по ГОСТ 12026 – 76.

8. Щетка металлическая.

*Примечание:* Допускается применение иных средств аттестации (импортную посуду, аппаратуру и реактивы), не уступающих по метрологическим характеристикам (классу точности и квалификации) вышеуказанным.

### 1.1.6 Условия проведения аттестации

1. Температура окружающего воздуха, 25 +10°C

2. Атмосферное давление, 101,325...104,0 (760...780) кПа (мм рт.ст.)

3. Относительная влажность воздуха,

не более 80%

### **1.1.7 Порядок проведения аттестации**

#### **1.1.7.1 Рассмотрение технической документации**

Рассматриваемая техническая документация приведена в таблице 1

Таблица 1 – техническая документация

<b>Содержание работы по рассмотрению технической документации</b>	<b>Указания по методике рассмотрения</b>
Оценка эксплуатационной документации с точки зрения удобства ее использования потребителем	Проверяется возможность ознакомления с прибором, его эксплуатацией и техническом обслуживанием
Предварительная оценка возможности проведения исследований технических характеристик	Определяется полнота и правильность выбора технических характеристик, а также методов и средств их проверки
Проверка наличия свидетельств о поверке термометров ТН1 – 1, ТН1 – 2	Устанавливается, что срок действия свидетельств о поверке термометров не истек
Проверка сроков действия паспортов на стандартные образцы температуры вспышки нефтепродуктов в открытом тигле	Устанавливается, что срок действия паспортов не истек

#### **1.1.7.2 Внешний осмотр**

При внешнем осмотре аппарата устанавливают:

1. Соответствие монтажа аппарата требованиям технической документации, проекта и отраслевым стандартам безопасности.
2. Соответствие комплектности аппарата требованиям ГОСТ 6356-91.
3. Соответствие конструкции и геометрических размеров всех элементов аппарата требованиям ГОСТ 6356 – 91.
4. Отсутствие повреждений и дефектов, влияющих на работоспособность аппарата.

### 1.1.7.3 Экспериментальное исследование аппарата

При первичной аттестации аппарата проводят его как поэлементное, так и комплектное исследование.

При периодической аттестации аппарата исследование может быть проведено по выбору потребителя либо поэлементно, либо комплектно – таблица 2.

Таблица 2

Наименование операции	Поэлементно	Комплектно
1. Проверка канала измерения температуры	+	–
2. Проверка повторности результатов определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле – по ГСО	+	+
3. Определение отклонения результатов вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле от аттестационного значения ГСО	–	+

#### 1. Проверка канала измерения температуры

При наличии действующих свидетельств о поверке термометров, входящих в комплект поставки конкретного экземпляра аппарата, дополнительная проверка не производится.

#### 2. Проверка повторяемости результатов определений температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле

Проверку проводят путем определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле для стандартных образцов из ряда:

- ▶ ГСО 4088–87, тип ТЗТ–1, значение нормирующего параметра 16,5°C;
- ▶ ГСО 4089–87, тип ТЗТ–2, значение нормирующего параметра 36°C;
- ▶ ГСО 4090 – 87, тип ТЗТ – 3, значение нормирующего параметра 54°C;
- ▶ ГСО 4091 – 87, тип ТЗТ – 4, значение нормирующего параметра 70°C;
- ▶ ГСО 4092 – 87, тип ТЗТ – 5, значение нормирующего параметра 120°C;
- ▶ ГСО 8159 – 2002, тип ТЗТ – 6, значение нормирующего параметра

161°C (при комплектной проверке).

**Аттестация проводится по тому ГСО, в области которого работает пользователь**

1. Эксперимент с ГСО проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 6356 – 91, паспортом (руководством по эксплуатации прибора) и инструкцией по применению ГСО.

*Аппарат пригоден к испытаниям нефтепродуктов и выдержаны условия испытания, если разность результатов определения температуры вспышки ГСО в аттестованной характеристике ГСО не превышает значения абсолютной погрешности для данного аттестованного ГСО с учетом метрологических возможностей самого метода.*

Порядок применения ГСО изложен в инструкции по применению ГСО.

2. Если барометрическое давление во время испытания ниже 101,325 кПа (760 мм ртутного столба. 1,013 бар), то необходимо к полученным значениям температуры вспышки и температуры воспламенения ввести соответствующие поправки по табл. 1 ГОСТ 6356 – 91.

3. За результат испытания принимают среднее арифметическое значение результатов не менее двух определений, округленное до целого числа и выраженное в градусах Цельсия.

4. Два результата испытаний, полученные одним исполнителем признаются достоверными (с 95%-ной доверительной вероятностью), если расхождение между ними не превышает значений, указанных в табл.2 ГОСТ 6356-91.

5. Два результата испытаний, полученные в двух разных лабораториях, признаются достоверными (с 95%-ной доверительной вероятностью), если расхождение между ними не превышает значений, указанных в табл.2 ГОСТ 6356 – 91.

#### **1.1.7.4 Оформление результатов аттестации**

1. Результаты испытаний оформляются в виде протокола в соответствии с ГОСТ 8.568 – 97.

2. При положительных результатах испытаний на аппарат выдается аттестат по форме ГОСТ 8.568 – 97.

**ПРОДУКЦИЯ, ПРОИЗВОДИМАЯ ООО "ПромХимПрибор"**

**1. Полуавтоматический аппарат** для определения фракционного состава нефтепродуктов с регулировкой мощности по ГОСТ 2177-82, ASTM D 86, ISO 3405 (рис. 1)

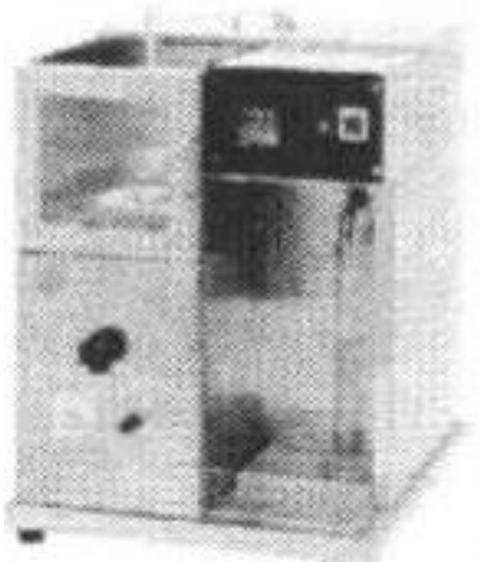


Рисунок 1 – Полуавтоматический аппарат АРНП – ПХП

Предназначен для использования в лабораторий при определении фракционного состава нефти и н/п(автомобильные и авиационные бензины, авиационные топлива для турбореактивных двигателей, лигроины, керосины, газойли, уайт – спириты, дизтоплива) по ГОСТ 2177. Максимальная мощность нагревателя пробы н/п – 1500 Вт с регулятором мощности. Установка и поддержание заданной температуры термостатирующей охлаждающей бани 0~+80 °С -Погрешность поддержания заданной температуры не более 0,5 °С

**2. Полуавтоматический аппарат** для определения фракционного состава нефтепродуктов с цифровой индикацией температуры в разгонной колбе и в охлаждающей бане, а также регулировкой мощности по ГОСТ 2177 – 82, ASTM D 86, ISO 3405 (рис. 2)

В отличии от АРНП – ПХП, контроль температуры в разгонной колбе – цифровой, непрерывный, электронный термометр сертифицирован и имеет поверку Госстандарта РФ.



Рисунок 2 – Полуавтоматический аппарат АРНПц – ПХП

3. *Аппарат для определения анилиновой точки* нефтепродуктов по ГОСТ 12329, ASTM D611, ISO 2977, DIN 51775 (рис. 3).

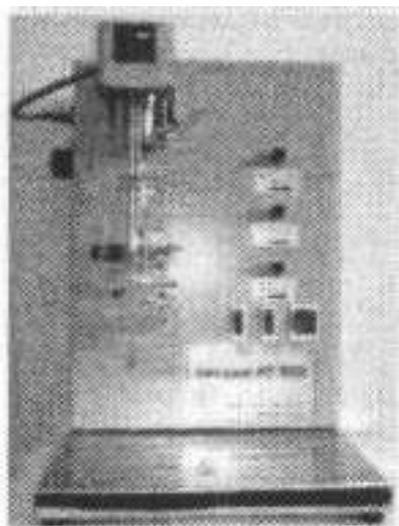


Рисунок 3 – Аппарат АТ – ПХП

Определение АТ и смешанной АТ происходит в тонкоплёночной пробирке изборосиликатного стекла на водяной бане.

Тонкая пленка смеси проходит под светом лампы (6 Вт) переменного тока. Необходимый уровень нагрева достигается в дисковом нагревателе. Состоит из: тонкопленочной пробирки; мензурки на 400 мл; мешалки, насоса и охлаждающего змеевика; лампы на 6 Вт и двигателя. В комплект входит дисковый 750 ваттный нагреватель.

**4. Аппарат для определения** температуры текучести и застывания по ГОСТ 20287, ASTM D97, а также температуры помутнения и начала кристаллизации нефтепродуктов по ГОСТ 5066 и ASTM D 2500 (рис. 4).



Рисунок 4 – Аппарат АТЗ – ПХП

Аппарат не требует применения углекислоты и других охлаждающих веществ. Электронный термоконтроллер с установкой требуемой и отслеживанием текущей температуры и автосекундомер с сигнализацией. Автоматическое поддержание требуемой температуры в бане. Точность показаний терморегулятора:  $\pm 0,1$  °С Контроль температуры в охлаждающей бане  $\pm 0,5$  °С при температуре от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $-70$  °С. Термометры ASTM ( $-80^{\circ}\text{C}$  ...  $+20^{\circ}\text{C}$ ) и цилиндрические кюветы для проб в комплекте. Минимальная температура –  $-70$  °С. Время снижения – не более 40 мин.

**5. Анализатор предназначен** для определения характеристик вспениваемости смазочных масел по ASTM D892, IP146 (рис. 5).

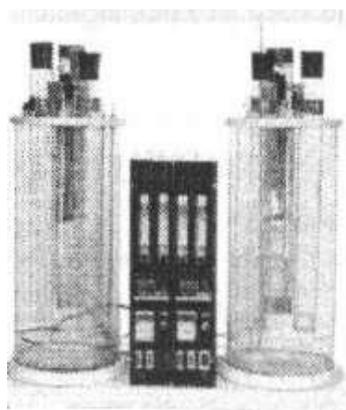


Рисунок 5 – Аппарат ВМ – ПХП

Образцы продувают определенным объемом воздуха при различных установленных температурах. Образовавшаяся пена измеряется в конце каждой аэрации и через определенные интервалы. При высокотемпературном тесте,

измеряется время, необходимое для оседания пены до нулевой отметки от начала периода аэрации. Аппарат может производить два теста при 24°C и два при 93,5°C и состоит из двух бань постоянной температуры с тест – цилиндрами, калиброванными диффузорами и флуометрами (94 мл/мин). Бани с микропроцессорным температурным контролем, циркуляционными мешалками. Встроенная защита от перегрева. Холодная баня (24°C, точность  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ). Высокотемпературная баня (93,5°C, точность  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ). Безмасляный воздушный насос. Автоматическое управление. Цифровой контроль установки и регулятор температуры.

**6. Аппарат для количественного определения** воды содержания воды в нефтяных, пищевых и других продуктах методом отгонки с последующей дистилляцией паров по ГОСТ 14870 и ASTM D 95 (рис. 6)



Рисунок 6 – Аппарат ВН – ПХП

Принцип действия аппарата основан на методике ГОСТ 14870 испарения жидкостей при определенной температуре и дистилляции паров. Содержание воды (%) может быть рассчитано после смешения и перегонки нефтепродуктов. Технические характеристики аппарата ВН – ПХП: Вместимость колбы 500 мл. Номинальная вместимость приемника-ловушки 10 мл. Интервалы шкалы 0...0,03; 0,03...0,3; 0,3...1,0; 1,0...10 мл. Цена деления шкалы 0,03; 0,1 мл. Максимальная температура нагрева до +400 °С. Потребляемая мощность 350 ВА. Напряжение питания частотой 50 Гц , 220+/-22 В. Габариты (Ш x В x Г): 200 x 630 x 250мм. Масса 2,6 кг. В комплект входит запасная круглодонная колба.

**7. Аппарат для определения** условной вязкости (времени истечения) жидких сред, дающих непрерывную струю в течение всего времени истечения (мазутов и аналогичных продуктов) с автоматическим поддержанием температуры ГОСТ 6258, ASTM D1665, IP212.



Рисунок 7 – Аппарат ВУ – М – ПХП

Применяется при определении условной вязкости жидких сред, дающих непрерывную струю в течение всего испытания и вязкость которых нельзя определить по ГОСТ 33. Постоянная вискозиметра: (время истечения через сточную трубку 200 мл дистиллированной воды при 20°C) соответствует ГОСТ 1532 и составляет  $51 \pm 1$  сек. Максимальная температура нагревания испытуемой жидкости 110°C. Рабочая температура 20, 40, 50, 60, 80, 100°C. Точность  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .

**8. Высокоточный термостат** для термостатирования стеклянных вискозиметров типа ВПЖ или Убеллоде в диапазоне при определении кинематической вязкости по ГОСТ 33 – 2000, ASTM D 445 (рис. 8).

Четыре посадочных места, +20...+100°C;  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ , 20 литров. Аппарат соответствует также методикам стандартов ISO 3104, IP 71 и может применяться как в промышленных и научных лабораториях, так и в составе анализаторов свойств жидких сред.



Рисунок 8 – Аппарат ВУ – М – ПХП

Поддержание температуры осуществляется электронным терморегулятором с точной подстройкой и контролем точности до  $\pm 0,01$  °С электронным термометром, имеющим сертификат Госстандарта и внесенный в Госреестр.

**9. Прибор для определения** максимальной высоты некопящего пламени авиационных топлив по ГОСТ 4338, ASTM D 1322, ISO 3014 (рис. 9).

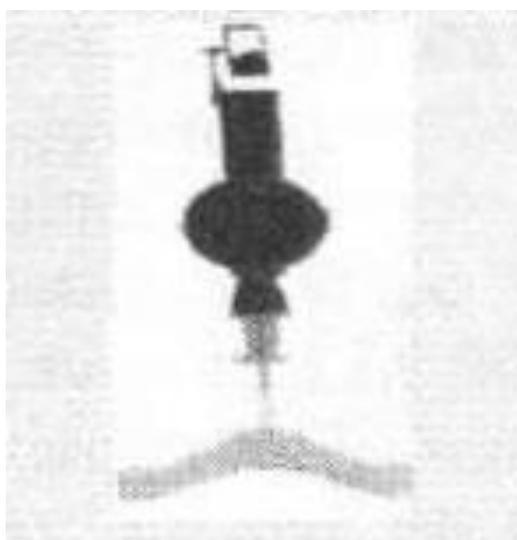


Рисунок 9 – Аппарат ЛВП – М – ПХП

Сущность метода заключается в сжигании образца нефтепродукта при контролируемых условиях в лампе специальной конструкции с фитилем и измерении по шкале высоты пламени. Диапазон показаний шкалы от 0 до 50 мм. Габариты, масса: 430 x 220 x 195 мм, 4 кг

**10. Аппарат испытательный** для определения механических примесей, таких как углеводород, смазочные материалы и добавки по ГОСТ 6370 в нефти, нефтепродуктах и присадках методом фильтрования (рис. 10).

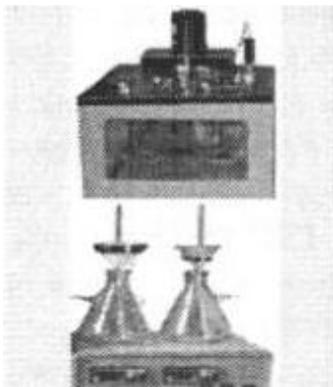


Рисунок 10 – Аппарат МХП – ПХП

В комплект, состоящий из двух блоков, входит набор посуды и приспособлений, необходимый для проведения анализа. Автоматический контроль поддержания температуры нагрева ванны. Высокая точность поддержания температуры нагрева  $\pm 1^\circ \text{C}$ . Мощность водной нагревательной ванны 2 х 500 Вт. Макс, температура управляемого нагрева ванны  $+90^\circ \text{C}$ . Мощность нагрева: 90 Вт. Погрешность нагрева:  $\pm 4^\circ \text{C}$ .

**11. Рулетка с лотом** для измерения уровня нефтепродуктов или подтоварной воды 10 метров (Углерод, сталь) ГОСТ 7502 № 39845- 08 в Госреестр РФ (рис. 11).



Рисунок 11 – Рулетка РЛ – 30 У – ПХП

**12. Рулетка с лотом** для измерения уровня нефтепродуктов или подтоварной воды 20 метров (Углерод, сталь) ГОСТ 7502 № 39845- 08 в Госреестре РФ (рис. 11).

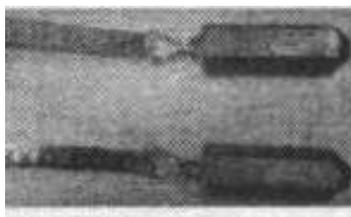


Рисунок 12 – Рулетка ПХП

**13. Ручной прибор** для определения температуры вспышки в закрытом тигле ГОСТ 6356, ISO 2719 с двумя видами воспламенения (поджига) газовым и электрическим (рис.13).



Рисунок 13 – Ручной прибор ТВЗ – 2 – ПХП

Прибор предназначен для определения температуры вспышки нефтепродуктов, нагреваемых с установленной скоростью в закрытом герметичном тигле и изготовлен в соответствии с ГОСТ 6356, а также методике тестирования IS02719. Мощность – 500 Вт с регулятором мощности. Скорость нагрева: 0~12°C/мин. Двигатель: 45ТСУ, гибкий привод. Размеры лопастей 8 x 40 мм. Стандартный тигель. Внутренний диаметр 50,8 мм, глубина 56 мм, глубина рисок 34,2 мм, вместимость около 70 мл. Термометры 0~ +170 °С, градуировка – 1 °С +100~+300 °С, градуировка – 1 °С

**14. Ручной прибор** для определения температуры вспышки в закрытом тигле ГОСТ 6356, ISO 2719 (рис.14). Прибор предназначен для определения температуры вспышки нефтепродуктов, нагреваемых с установленной скоростью в закрытом герметичном тигле и изготовлен в соответствии с ГОСТ 6356, а также методике тестирования IS02719. Мощность – 500 Вт с регулятором мощности нагрева. Скорость нагрева от 0 до 12°C/мин.



Рисунок 14 – Ручной прибор ТВЗ – ПХП

Двигатель 45ТСУ, гибкий привод. Размеры лопастей 8 х 40 мм. Стандартный тигель. Внутренний диаметр 50,8 мм. Глубина 56 мм, глубина нанесения рисок 34,2 мм, вместимость: около 70 мл. Термометры 0~ + 170 °С, +100~ + 300 °С, градуированы – 1 °С

**15. Аппарат для определения** коксуемости нефтепродуктов по Конрадсону ГОСТ 19932-74, IS06615, ASTM D189 (рис.15).

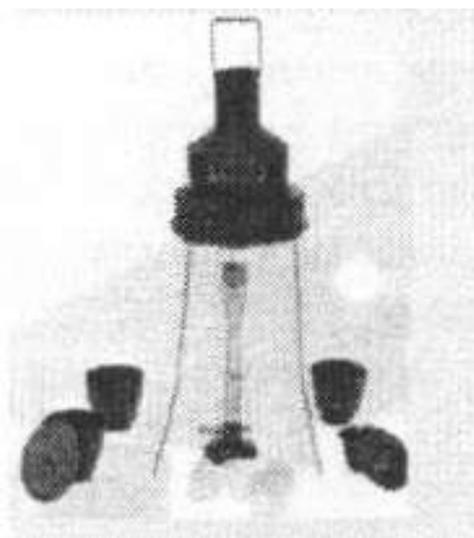


Рисунок 15 – Аппарат ТЛ – ПХП

Предназначен для определения коксуемости масел, топлив и других нефтепродуктов путем их сжигания при определенных условиях и количественного определения углистого остатка - кокса. Изготовлен по ГОСТ 19932, а также ASTM D 189, ISO 6615 метод по Конрадсону. Продолжительность анализа – не более 3 ч. Тигель Конрадсона – низкий 30 мл фарфор ГОСТ 9147. Муфель – жель толщина от 0,6 до 0,8 мм, 0 = верх. отв. 90±2 мм, 0 = ниж. отв. 82±2 мм. Внутренний тигель Скидмора – черная жель, 75±5мл. Наружный тигель Монеля – черная жель, 190± 10 мл



**Учебное издание**

**Евгений Николаевич Христофоров  
Наталья Евгениевна Сакович**

# **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**Учебное пособие**

Редактор: Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 27.02.2015.  
Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага печатная. Усл. печ. л. 10,35.  
Тираж 1000 экз. Изд. № 2907.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл. Выгоничский район, с. Кокино

