



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**Ю.В. Сомова**  
**Т.В. Свиридова**

## **ОХРАНА ТРУДА. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск  
2023

УДК 331.45(076.5)  
ББК 65.246я73  
С 616

**Рецензенты:**

ведущий специалист отдела охраны труда,  
промышленной безопасности  
и экологии ООО «ОСК»  
**К.Е. Крутских**

кандидат технических наук, доцент,  
директор НИИ «Промбезопасность»  
**Ю.Н. Кондрашова**

**Сомова Ю.В., Свиридова Т.В.**

**Охрана труда. Прогонзирование опасных и вредных производственных факторов**  
[Электронный ресурс]: учебное пособие / Юлия Васильевна Сомова, Татьяна Валерьевна Свиридова; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,26 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2023. – 1 CD-ROM. – Систем. требования : IBMPC, любой, более 1GHz; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MSWindowsXP и выше ; AdobeReader 8.0 и выше; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9967-2741-4

Учебное пособие составлено в соответствии с типовой программой дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». В учебном пособии приведены общие теоретические сведения и примеры решений практических задач по определению пожаровзрывоопасных свойств горючих веществ и материалов, избыточного давления при взрыве смесей горючих газов, паров ЛВЖ, ГЖ и горючих пылей с воздухом, размеров зон, ограниченных НКПР газов и паров, интенсивности теплового излучения при пожарах проливов ЛВЖ и ГЖ. Приведен необходимый справочный материал. В каждом разделе приводятся краткое теоретическое введение, примеры решения задач, условия задач для самостоятельного решения и контрольные вопросы.

Учебное пособие предназначено для для бакалавров и магистров направления подготовки 20.03.01 и 20.04.01 «Техносферная безопасность», а также может быть использовано студентами других специальностей технического профиля при изучении вопросов пожарной безопасности

УДК 331.45(076.5)  
ББК 68.246я73

ISBN 978-5-9967-2741-4

© Сомова Ю.В., Свиридова Т.В. 2023  
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова», 2023

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ .....	5
2. РАСЧЕТ КРИТЕРИЕВ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ .....	23
3. ОГРАНИЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ .....	74
4. СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ .....	82
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА И ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ .....	96
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ЗДАНИЙ .....	108
ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ .....	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	114

## ВВЕДЕНИЕ

В промышленных условиях используется большое количество пожаровзрывоопасных материалов и веществ, а, следовательно, высока вероятность их взрыва и загорания. Поэтому возникает необходимость изучения их взрывопожароопасных свойств.

Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов определяют с целью получения исходных данных для разработки систем обеспечения пожарной и взрывобезопасности, СНиП, ПУЭ, при классификации опасных грузов, для выбора категории помещений и зданий в соответствии с требованиями норм технологического проектирования, анализ пожарной опасности объекта защиты.

Для оценки пожарной безопасности технологических процессов повышенной пожарной опасности могут быть применены следующие критерии: индивидуальный и социальный риск, регламентированные параметры пожарной опасности технологических процессов. Значения допустимых параметров пожарной опасности должны быть такими, чтобы исключить гибель людей и ограничить распространение огня.

Анализ пожарной опасности технологических процессов, кроме процессов повышенной опасности, включает определение пожарной опасности веществ и материалов, используемых в технологическом процессе, путей распространения огня, расчет категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, определение систем противопожарной защиты и противопожарной защиты, разработка мероприятий по повышению пожарной безопасности технологических процессов.

В пособии рассмотрены основные методы определения взрывоопасных свойств горючих веществ и материалов, критерии пожарной опасности, средства и методы обеспечения пожарной безопасности на производстве.

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

**Цель занятия.** Ознакомится с методиками определения температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

## 1.1. Общие положения

При анализе пожарной опасности производственных процессов проводится оценка показателей: температура вспышки, воспламенения, самовоспламенения, верхний и нижний концентрационные пределы распространения пламени и др. [1, 2].

**Горение** – это сложное, быстро протекающее химическое превращение, сопровождающееся выделением значительного количества тепла и излучением света.

Для возникновения процесса горения необходимы: горючее вещество (ГВ), окислитель, источник зажигания (ИЗ).

По горючести вещества и материалы подразделяют на 3 группы:

- негорючие (несгораемые) – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе;
- трудногорючие (трудносгораемые) – вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;
- горючие (сгораемые) – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

**Температура вспышки  $T_v$**  – наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает.

При  $T_v$  скорость образования паров над поверхностью жидкости недостаточна для возникновения устойчивого горения. Если повысить температуру жидкости и тем самым увеличить скорость образования горючих паров над ее поверхностью, то можно добиться того, что кратковременное воздействие источника воспламенения вызовет не только вспышку паров, но и последующее возгорание.

Значения  $T_v$  используются при классификации жидкостей по степени пожарной опасности, при определении категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности, а также классов взрывопожароопасных зон, при разработке мероприятий по обеспечить взрыво- и пожаробезопасность.

В соответствии с [2] все сгораемые жидкости по степени пожарной опасности в зависимости от температуры вспышки жидкости подразделяют на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ) жидкости.

**ЛВЖ** – жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше 61 °С в закрытом тигле и не выше 66 °С в открытом тигле.

**ГЖ** – жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше 61 °С в закрытом тигле и выше 66 °С в открытом тигле.

Минимальная температура жидкости, при которой в случае кратковременного воздействия источника зажигания возникает устойчивое горение, называется температурой **воспламенения**.

Температура воспламенения не намного больше температуры вспышки. Для ЛВЖ это различие составляет 1–5 К, для ГЖ оно несколько больше.

**Температура самовоспламенения** – наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение вещества. Самовоспламенение – это резкое увеличение скорости экзотермических объемных реакций, сопровождающееся пламенным горением и/или взрывом.

Температура вспышки и температура воспламенения являются основными показателями пожарной опасности жидкостей [3–5].

## 1.2. Расчетные методы определения температуры вспышки жидкости

### 1.2.1. Методы расчета температуры вспышки индивидуальных жидкостей в закрытом тигле [3, 4]

**Метод 1.** Существуют несколько формул для приближенного определения температуры вспышки. Одной из наиболее простых является формула

$$T_{\text{в}} = 0,736 \cdot T_{\text{к}}, \quad (1.1)$$

где  $T_{\text{в}}$  – температура вспышки, К;  
 $T_{\text{к}}$  – температура кипения, К.

**Метод 2.** Рекомендуемая ГОСТ 12.1.044-89 формула Блинова является более точной. Если для исследуемой жидкости известна зависимость давления насыщенного пара от температуры, то температуру вспышки вычисляют по формуле

$$T_{\text{в}} = \frac{A_6}{P_{\text{в}} \cdot D_0 \cdot \beta} \text{ или } T_{\text{в}} P_{\text{в}} = \frac{A_6}{D_0 \cdot \beta}, \quad (1.2)$$

где  $A_6$  – константа метода определения (рекомендуется при расчете температуры вспышки в закрытом тигле  $A_6 = 280 \text{ К} \cdot \text{кПа} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ );

$P_{\text{в}}$  – парциальное давление паров горючего вещества при температуре вспышки, кПа;

$D_0$  – коэффициент диффузии пара в воздухе,  $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$$D_0 = \frac{1}{\sqrt{(25+n_c \cdot n_c + n_H - 17 \cdot n_0)}};$$

$\beta$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения (количество молей кислорода), определяемый по формуле

$$\beta = n_c + n_s + 0,25 \cdot (n_H - n_x) - 0,5n_0 + 2,5n_p, \quad (1.3)$$

где  $n_c, n_s, n_H, n_x, n_0, n_p$  – число атомов соответственно углерода, серы, водорода, галоидов, кислорода и фосфора в молекуле соединения.

Расчет по формуле (1.2) ведут следующим образом:

1) в нее подставляют известные для исследуемого вещества величины  $A_6, D_0, \beta$ , и вычисляют произведение  $T_B \cdot P_B$ ;

2) находят зависимость давления пара  $P_B$  от температуры в аналитической форме – формуле Антуана

$$\lg P = A - \frac{B}{t + C_a}, \quad (1.4)$$

где  $P$  – парциальное давление пара горючего вещества при температуре  $t$ , кПа;

$A, B, C_a$  – эмпирические константы;

$t$  – подбираемая температура вспышки, найденная по формуле (1.1), °С;

3) произведение данной температуры и соответствующего ей парциального давления, определенного по формуле (1.4), подставить в формулу (1.2).

В случае неравенства левой и правой частей формулы (1.2) необходимо подбирать температуру вспышки до тех пор, пока значение произведения  $T_B \cdot P_B$  не приблизится к  $\frac{A_6}{D_0 \cdot \beta}$ . Только в этом случае можно считать полученную температуру температурой вспышки  $t_B$ . Она может использоваться в качестве предполагаемой  $t_B$  при проведении эксперимента. Наиболее объективное значение температуры определяется экспериментальным путем.

Формула В.И. Блинова является универсальной, по ней можно рассчитывать температуру вспышки в открытом и закрытом тигле, а также температуру воспламенения. Для этого в формуле меняется только параметр  $A_6$ .

При определении:

- температуры вспышки в закрытом тигле  $A_6 = 280 \text{ К} \cdot \text{кПа} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;
- температуры вспышки в открытом тигле  $A_6 = 453 \text{ К} \cdot \text{кПа} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;
- температуры воспламенения  $A_6 = 533 \text{ К} \cdot \text{кПа} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ .

### **Пример**

Определить температуру вспышки ацетона  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ .

Исходные данные:

- химическая формула ацетона –  $C_3H_6O$ ;
- $T_K = 329$  К;
- $D_0 = 0,109 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Константы уравнения Антуана:

- $A = 6,37551$ ;
- $B = 1281,721$ ;
- $C_a = 237,088$ .

### **Решение**

1) Вычислим температуру вспышки по формуле (1.1)

$$T_B = 0,736 \cdot T_K - 273 = 0,736 \cdot 329 - 273 = 242,144 - 273 = -30,856^\circ\text{C}.$$

2) Найдем парциальное давление пара при температуре вспышки по формуле

$$\lg P_B = A - \left( \frac{B}{t + C_a} \right) = 6,37551 - \left( \frac{1281,721}{-30,856 + 237,088} \right) = 6,37551 - 6,21145 = 0,16406;$$

$$P_B = 1,4590 \text{ кПа}.$$

3) Вычислим произведение  $T_B \cdot P_B$ :

$$T_B \cdot P_B = 242,144 \cdot 1,459 = 353,3 \text{ кПа} \cdot \text{К}.$$

4) Определим  $\frac{A_\beta}{D_0 \cdot \beta}$ . Для этого найдем стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения ацетона по формуле (1.3)

$$\beta = n_c + n_s + 0,25 \cdot (n_H - n_x) - 0,5n_0 + 2,5n_p = 3 + 0,25 \cdot 6 - 0,5 \cdot 1 = 4.$$

Тогда

$$\frac{A_\beta}{D_0 \cdot \beta} = \frac{280}{0,109 \cdot 4} = 642,2.$$

Исходя из того, что  $T_B \cdot P_B = \frac{A_\beta}{D_0 \cdot \beta}$  имеем, что  $353,3 \neq 642,2$ .

5) Возьмем  $t_b = -22^\circ\text{C}$ , тогда  $T_B = 251$  К;

$$\lg P_B = 6,37551 - \left( \frac{1281,721}{-22 + 237,088} \right) = 0,43;$$

$$P_B = 2,664 \text{ кПа};$$

$$T_B \cdot P_B = 22,664 = 668,6.$$

Получаем, что  $668,6 \approx 642,2$ . Следовательно  $t_b = -22^\circ\text{C}$  или  $T_B = 251$  К.



**Метод 3.** Температуру вспышки жидкостей ( $t_{всп}$ ), имеющих нижеперечисленные виды связей (табл.1.1), вычисляют по формуле

$$t_{всп} = a_0 + a_1 t_{кип} + \sum_{i=2}^n a_j \cdot l_j, \quad (1.5)$$

где  $a_0$  – размерный коэффициент, равный минус 73,14 °С;  
 $a_1$  – безразмерный коэффициент, равный 0,659;  
 $t_{кип}$  – температура кипения исследуемой жидкости, °С;  
 $a_j$  – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл.1.1;  
 $l_j$  – количество связей вида  $j$  в молекуле исследуемой жидкости.

Таблица 1.1

Значения эмпирического коэффициента  $a_j$  в зависимости от вида химической связи

Вид связи	$a_j$ , °С	Вид связи	$a_j$ , °С
C—C	– 2,03	C—Cl	15,11
C≡C	– 0,28	C—Br	19,40
C=C	1,72	C—Si	– 4,84
C—H	1,105	Si—H	11,00
C—O	2,47	Si—Cl	10,07
C=O	11,66	N—H	5,83
C—N	14,15	O—H	23,90
C≡N	12,13	S—H	5,64
C—S	2,09	P—O	3,27
C=S	– 11,91	P=O	9,64
C—F	3,33		

### **Пример**

Определить температуру вспышки ацетона  $C_3H_6O$ .

Исходные данные:

- химическая формула ацетона –  $C_3H_6O$ ;
- $T_k = 329$  К.

### **Решение**

Вычисляем температуру вспышки:

$$t_{всп} = 73,14 + 0,659 \cdot 56 + (11,66 \cdot 1 + (-2,03 \cdot 2) + 1,105 \cdot 6) = -22 \text{ °С.}$$

**Метод 4.** Для нижеперечисленных классов веществ (табл.1.2) температур у вспышки вычисляют по формуле

$$t_{всп} = a + bt_{кип}, \quad (1.6)$$

где  $a$ ,  $b$  — эмпирические коэффициенты, приведенные в табл.1.2 вместе со среднеквадратическими погрешностями расчета  $\delta$ .

**Пример**

Определить температуру вспышки ацетона  $C_3H_6O$ .

Исходные данные:

- химическая формула ацетона –  $C_3H_6O$ ;
- $T_k = 329$  К.

**Решение**

Вычисляем температуру вспышки:

$$t_{всп} = -52,69 + 0,643 \cdot 56 = -16,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таблица 1.2

Значения эмпирических коэффициентов  $a$ ,  $b$  в зависимости от класса химических веществ

Класс веществ	Коэффициенты		$\delta$ , $^\circ\text{C}$
	$a$ , $^\circ\text{C}$	$b$	
Алканы	- 73,22	0,693	1,5
Спирты	- 41,69	0,652	1,4
Алкиланилины	- 21,94	0,533	2,0
Карбоновые кислоты	- 43,57	0,708	2,2
Алкилфенолы	- 38,42	0,623	1,4
Ароматические углеводороды	- 67,83	0,665	3,0
Альдегиды	- 74,76	0,813	1,5
Бромалканы	- 49,56	0,665	2,2
Кетоны	- 52,69	0,643	1,9
Хлоралканы	- 55,70	0,631	1,7

**Метод 5.** Считается, что менее точным, хотя и более простым, является расчет температуры вспышки по формуле Элея

$$t_{всп} = t_{кип} - 18 \cdot \sqrt{K}, \tag{1.7}$$

где  $t_{кип}$  — температура кипения исследуемой жидкости,  $^\circ\text{C}$ ;

$K$  — коэффициент горючести,  $K = 4n_C + n_H + 4n_S + n_N - 2n_O - 2n_{Cl} - 3n_F - 5n_{Br}$ , где  $n_C$ ,  $n_S$ ,  $n_H$ ,  $n_N$ ,  $n_O$ ,  $n_F$  — число атомов соответственно углерода, водорода, серы, азота, кислорода, хлора, фтора и брома в молекуле жидкости.

**Пример**

Определить температуру вспышки ацетона  $C_3H_6O$ .

### Решение

Вычисляем коэффициент горючести ацетона:

$$K = 4 \cdot 3 + 6 - 2 \cdot 1 = 16.$$

Вычисляем температуру вспышки:

$$t_{\text{всп}} = 56 - 18 \cdot \sqrt{16} = -16 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 1.2.2. Методы расчета температуры вспышки индивидуальных жидкостей в открытом тигле

Температуру вспышки в открытом тигле вычисляют по формуле

$$t_{\text{всп}} = a_0 + a_1 t_{\text{кип}} + \sum_{i=2}^n a_j \cdot l_j, \quad (1.8)$$

- где  $a_0$  – размерный коэффициент, равный минус 73  $^\circ\text{C}$ ;  
 $a_1$  – безразмерный коэффициент, равный 0,409;  
 $t_{\text{кип}}$  – температура кипения исследуемой жидкости,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $a_j$  – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл.1.3;  
 $l_j$  – количество связей вида  $j$  в молекуле исследуемой жидкости.

Таблица 1.3

Значения эмпирического коэффициента  $a_j$  в зависимости от вида химической связи

Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$	Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$
C—C	3,63	Si—H	-4,58
C $\equiv$ C	6,48	—SiCl <sub>3</sub>	50,49
C=C	-4,18	O—H	44,29
C—H	0,35	S—H	10,75
C—O	4,62	P—O	22,23
C=O	25,36	P=O	-9,86
C—N	-7,03	N—H	18,15
C—S	14,86		

### Пример

Определить температуру вспышки ацетона  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ .

Исходные данные:

- химическая формула ацетона –  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ;
- $T_{\text{к}} = 329 \text{ K}$ .

### Решение

Вычисляем температуру вспышки:

$$t_{\text{всп}} = -73 + 0,409 \cdot 56 + (25,36 \cdot 1 + (3,63 \cdot 2) + 0,35 \cdot 6, = -15,4) \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 1.3. Расчетные методы определения температуры воспламенения

Температуру воспламенения ( $t_{\text{в}}$ ) индивидуальных жидкостей в  $^\circ\text{C}$  вычисляют по формуле (1.9)

$$t_{\text{в}} = a_0 + a_1 t_{\text{кип}} + \sum_{i=2}^n a_j \cdot l_j, \quad (1.9)$$

где  $a_0$  – размерный коэффициент, равный минус 47,78  $^\circ\text{C}$ ;  
 $a_1$  – безразмерный коэффициент, равный 0,882;  
 $t_{\text{кип}}$  – температура кипения исследуемой жидкости,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $a_j$  – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл.1.4;  
 $l_j$  – количество связей вида  $j$  в молекуле исследуемой жидкости.

Таблица 1.4

Значения эмпирического коэффициента  $a_j$  в зависимости от вида химической связи

Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$	Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$
C—C	0,027	C=O	-0,826
C≡C	-2,069	C—N	-5,876
C=C	-8,980	O—H	8,216
C—H	-2,118	N—H	-0,261
C—O	-0,111		

#### **Пример**

Определить температуру воспламенения ацетона  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ .

Исходные данные:

- химическая формула ацетона –  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ;
- $T_{\text{к}} = 329 \text{ K}$ .

#### **Решение**

Вычисляем температуру воспламенения:

$$t_{\text{в}} = -47,78 + 0,882 \cdot 56 + (-0,826 \cdot 1 + (0,027 \cdot 2) + (-2,118 \cdot 6)) = -11,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 1.4. Расчетные методы определения температуры самовоспламенения

Стандартная температура самовоспламенения  $T_{\text{св}}$ , приведенная в справочниках, получена экспериментально по стандартной методике для горючей смеси стехиометрического состава. Установлено, что в пределах гомологического ряда величина  $T_{\text{св}}$  является функцией длины углеродной цепи в молекуле. Чем длиннее цепь, тем ниже температура самовоспламенения.

Метод расчета  $T_{CB}$  основан на эмпирической зависимости  $T_{CB}$  от средней длины углеродной цепи.

Метод пригоден для расчета  $T_{CB}$  **алифатических углеводородов, алифатических спиртов и ароматических углеводородов.**

Задача состоит в том, чтобы по структурной формуле химического соединения найти для него среднюю длину углеродных цепей.

Углеродная цепь – это цепочка атомов углерода от одного конца молекулы до другого. Длина цепи – это число атомов углерода в такой цепи.

В молекуле химического соединения со сложной структурой иногда бывает трудно сразу найти все углеродные цепи. Поэтому для определения числа цепей используют формулу

$$m = \frac{M_p \cdot (M_p - 1)}{2}, \quad (1.10)$$

где  $M_p$  – число концевых функциональных групп, таких как:  $-CH_3$ ,  $-OH$  и бензольных колец.

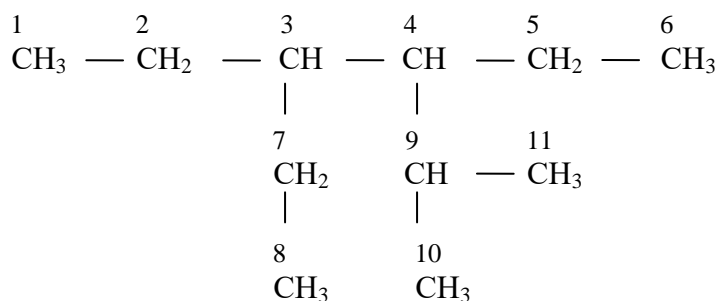
Средняя длина углеродной цепи определяется как  $l_{cp} = \sum l_{ci} / m$ , где  $l_{ci}$  – длина углеродной цепи.

### **Пример**

Вычислить температуру самовоспламенения 3-этил-4-изо-пропил-гексана

### **Решение**

1) Записываем структурную формулу соединения, нумеруем все атомы углерода:



2) В молекуле соединения пять концевых метильных групп ( $CH_3$ ), то есть  $M_p = 5$ . Определяем число цепей:

$$m = \frac{M_p(M_p - 1)}{2} = \frac{5(5 - 1)}{2} = 10.$$

3) Найдем эти цепи и установим их длину. Для удобства составим следующую таблицу

Углеродная цепь $m_i$	1-6	1-8	1-10	1-11	6-8	6-10	6-11	8-10	8-11	10-11
Длина цепи $\ell_{\ell_i}$	6	5	6	6	6	5	5	6	6	3

4) Определим среднее арифметическое значение длины углеродных цепей

$$\ell_{\text{cp}} = \frac{6 \cdot 6 + 5 \cdot 3 + 3}{10} = 5,4.$$

5) По табл.1.7 находим температуру самовоспламенения 3-этил-4-изопропил-гексана, отыскивая ее по значению средней длины цепи в моле куле соединения:  $T_{\text{св}} = 522 \text{ K} = 249^\circ \text{C}$ .

### 1.4.1. Расчет температуры самовоспламенения алифатических спиртов

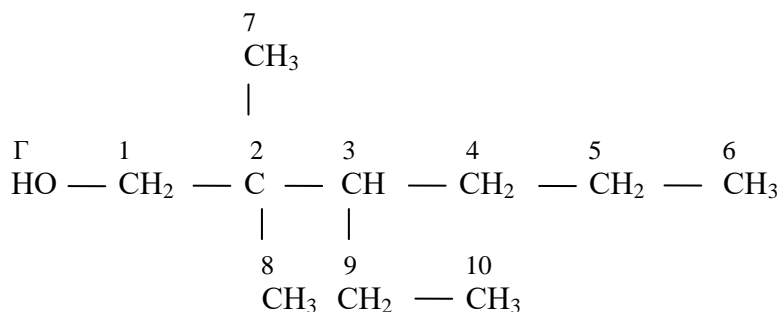
При определении длины углеродных цепей в молекуле алифатического спирта необходимо учитывать следующее правило: гидроксильная группа в углеродной цепи увеличивает ее длину на единицу.

#### Пример

Вычислить температуру самовоспламенения 2,2-диметил-3-этил-гексанола-1.

#### Решение

1) Запишем структурную формулу соединения и пронумеруем все атомы углерода, группу -ОН обозначим буквой Г (гидроксил):



2) В молекуле 5 концевых групп: 4 метильных (-CH<sub>3</sub>) и одна гидроксильная (-ОН), то есть  $M_p = 5$ . Тогда число цепей

$$m = \frac{M_p(M_p - 1)}{2} = \frac{5(5 - 1)}{2} = 10.$$

3) Составим таблицу, в которую внесем цепи и их длину.

Углеродная цепь $m_i$	Г-6	Г-7	Г-8	Г-10	7-6	7-8	7-10	6-8	6-10	8-10
Длина цепи $l_{ci}$	7	4	4	6	6	3	5	6	6	5

Длина первых четырех цепей, содержащих гидроксильную группу (-ОН) на единицу больше, чем число атомов углерода в цепи.

4) Рассчитываем среднюю длину углеродных цепей:

$$l_{cp} = \frac{7 + 6 \cdot 4 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 2 + 3}{10} = 5,2.$$

5) По табл.1.8 находим соответствующую температуру самовоспламенения  $T_{cb} = 582 \text{ K} = 309^\circ \text{C}$ .

#### 1.4.2. Расчет температуры самовоспламенения ароматических соединений

При определении числа цепей и их длины в молекуле ароматического соединения следует иметь в виду следующие правила:

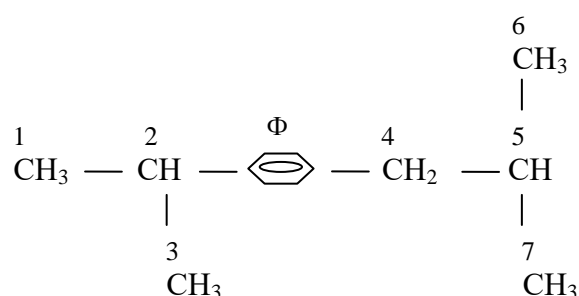
- (1) фенил (бензольное кольцо), находящийся внутри углеродной цепи, считается и как концевой.
- (2) фенил, находящийся в углеродной цепи, укорачивает ее на единицу.
- (3) при определении углеродной цепи атомы углерода в бензольном кольце в расчет не принимаются.

#### Пример

Вычислить температуру самовоспламенения 1-изопропил-4-изобутилбензола.

#### Решение

1) Записываем структурную формулу соединения и вводим обозначения:



2) В молекуле соединения 4 концевые метильные группы (-CH<sub>3</sub>) и 1 фенил, то есть  $M_p = 5$ :

$$m = \frac{M_p(M_p-1)}{2} = \frac{5(5-1)}{2} = 10.$$

3) В этом соединении согласно первому правилу концевым необходимо считать и фенил. В этом случае углеродные цепи будут заканчиваться не только на метильных группах ( $-\text{CH}_3$ ), но и на бензольном кольце. Составим таблицу, в которую внесем углеродные цепи и их длину.

Углеродная цепь $m_i$	1-6	1-7	3-6	3-7	1-Ф	3-Ф	6-Ф	7-Ф	1-3	6-7
Длина цепи $\ell_{\text{ci}}$	4	4	4	4	1	1	2	2	3	3

Обратите внимание, что при определении длины цепи атомы углерода, имеющиеся в бензольном кольце, в расчет не принимаются (правило 3). У восьми углеродных цепей, которые имеют в своем составе фенил, как в середине, так и в конце цепи, длина цепи на единицу меньше, чем число атомов углерода (правило 2).

4) Рассчитаем среднюю длину углеродных цепей

$$\ell_{\text{cp}} = \frac{4 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 2}{10} = 2,8.$$

5) По табл.1.9 найдем  $T_{\text{cb}}$  ароматического соединения с соответствующей длиной цепи  $T_{\text{cb}} = 698 \text{ K} = 425^\circ \text{C}$ .

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1) Определить температуру вспышки ЛВЖ и ГЖ по методам 1, 2, 4, 5. Исходные данные для расчетов представлены в табл.1.2, 1.5.

2) Определить температуру самовоспламенения горючего вещества (табл.1.7, 1.8, 1.9) по средней длине углеродной цепи, определив число концевых групп и число цепей. Исходные данные представлены в табл.1.6.



Таблица 1.5

Показатели пожарной опасности индивидуальных веществ ГЖ и ЛВЖ (исходные данные для определения  $T_{всп}$ )

№п/п	Вещество	Химическая формула	Характеристика вещества	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	Температура кипения, °С	Коэффициент диффузии паров воздухе $D_0$ , см <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	Константы уравнения Антуана		
							A	B	C <sub>A</sub>
1	Ацетальдегид	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	ЛВЖ	44,053	20,8	0,11	6,31653	1093,537	233,413
2	Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	ЛВЖ	78,113	80,1	0,0775	5,61391	902,275	178,099
3	н-Бутиловый спирт	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	ЛВЖ	74,122	117,4	0,0681	8,72232	2664,684	279,638
4	н-Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	ЛВЖ	86,177	68,95	0,0663	5,99517	1166,274	223,661
5	Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	ЛВЖ	100,203	98,43	0,0609	6,07647	1295,405	219,819
6	Глицерин	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	ГЖ	92,1	290	0,08	8,177393	3074,220	214,712
7	Декан	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	ЛВЖ	142,28	174,12	0,0502	6,52023	1809,975	227,700
8	1,2-Дихлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	ЛВЖ	98,96	83,48	0,0845	6,78615	1640,179	259,715
9	Изобутиловый спирт	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	ЛВЖ	74,12	135,97	0,0756	7,83005	2058,392	245,642
10	Изопропилбензол	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	ЛВЖ	120,20	152,39	0,0615	6,06756	1461,643	207,56
11	м-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	ЛВЖ	106,17	139,1	0,0671	6,13329	1461,925	215,073
12	Метиловый спирт	CH <sub>4</sub> O	ЛВЖ	32,04	64,51	0,129	7,3527	1660,454	245,818
13	Метилэтилкетон	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	ЛВЖ	72,107	79,57	0,0760	7,02453	1292,791	232,340
14	н-Нонан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	ЛВЖ	128,257	150,8	0,0499	6,17776	1510,695	211,502
15	н-Тетрадекан	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	ГЖ	198,39	237,87	0,0370	6,40007	1950,497	190,513
16	Толуол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	ЛВЖ	92,140	110,63	0,0753	6,0507	1328,171	217,713
17	Уксусная кислота	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	ЛВЖ	60,05	118,1	0,107	7,10337	1906,53	255,973
18	Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	ЛВЖ	112,56	131,7	0,0628	6,38605	1607,316	235,351
19	Циклогексан	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	ЛВЖ	84,16	80,74	0,0648	5,96991	1203,526	222,863
20	Этилбензол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	ЛВЖ	106,16	136,19	0,0671	6,35879	1590,660	229,581
21	Этиленгликоль	C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	ГЖ	62,068	197,6	0,099	8,13754	2753,183	252,009



Продолжение табл.1.6

Номер варианта	Название вещества	Структурная формула
8	2,3-диметил-4-этилгексанол	$\begin{array}{ccccccc} \text{OH} & -\text{CH}_2- & \text{CH} & -\text{CH} & -\text{CH} & -\text{CH}_2- & \text{CH}_3 \\ & &   &   &   & & \\ & & \text{CH}_3 & \text{CH}_3 & \text{CH}_2- & \text{CH}_3 & \end{array}$
9	1-метил-2-этил-3-пропибензол	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \end{array}$
10	2,2-диэтилпентанол-1	$\begin{array}{ccccccc} & & \text{CH}_2 - \text{CH}_3 & & & & \\ & &   & & & & \\ \text{OH} & -\text{CH}_2- & \text{C} & -\text{CH}_2- & \text{CH}_2- & \text{CH}_3 \\ & &   & & & & \\ & & \text{CH}_2 - \text{CH}_3 & & & & \end{array}$
11	Нормальный пентан	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
12	Изобутан	$\begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \\ \text{CH}_3 & -\text{CH}_2- & \text{CH}_3 \\ &   & \\ & \text{CH}_3 & \end{array}$
13	2,2-дифенил-пропана	$\begin{array}{c} 1 \\   \\ \text{CH}_3 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 - \text{C} - \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ 3 \\ \text{CH}_3 \end{array}$
14	Бутиловый спирт	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$
15	Гексан	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
16	н-бутан	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
17	н-пентан	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
18	Пропанол (пропиловый спирт)	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$
19	Этанол (этиловый спирт)	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$

Окончание табл.1.6

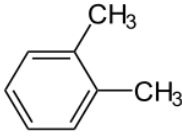
Номер варианта	Название вещества	Структурная формула
20	Орто-Ксилол	

Таблица 1.7

Температура самовоспламенения некоторых предельных углеводородов в зависимости от средней длины углеродной цепи

$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$
3,0	743	6,0	507	9,0	482	12,0	477
3,1	738	6,1	505	9,1	481	12,1	477
3,2	733	6,2	504	9,2	481	12,2	477
3,3	728	6,3	503	9,3	481	12,3	477
3,4	723	6,4	502	9,4	480	12,4	477
3,5	717	6,5	501	9,5	480	12,5	477
3,6	712	6,6	500	9,6	480	12,6	477
3,7	706	6,7	499	9,7	480	12,7	477
3,8	699	6,8	498	9,8	479	12,8	477
3,9	693	6,9	497	9,9	479	12,9	477
4,0	686	7,0	496	10,0	479	13,0	477
4,1	680	7,1	495	10,1	479	13,1	477
4,2	673	7,2	494	10,2	479	13,2	477
4,3	665	7,3	494	10,3	479	13,3	477
4,4	654	7,4	493	10,4	478	13,4	477
4,5	643	7,5	492	10,5	478	13,5	476
4,6	631	7,6	491	10,6	478	13,6	476
4,7	617	7,7	490	10,7	478	13,7	476
4,8	601	7,8	489	10,8	478	13,8	476
4,9	581	7,9	489	10,9	478	13,9	476
5,0	560	8,0	488	11,0	478	14,0	476
5,1	547	8,1	487	11,1	478	14,1	476
5,2	535	8,2	486	11,2	478	14,2	476
5,3	528	8,3	486	11,3	478	14,3	476
5,4	522	8,4	485	11,4	478	14,4	476
5,5	517	8,5	484	11,5	478	14,5	476
5,6	513	8,6	484	11,6	477	14,6	476
5,7	511	8,7	483	11,7	477	14,7	476
5,8	509	8,8	483	11,8	477	14,8	476
5,9	508	8,9	482	11,9	477	14,9	476
—	—	—	—	—	—	15,0	475

Таблица 1.8

Температура самовоспламенения некоторых предельных одноатомных спиртов в зависимости от средней длины углеродной цепи

$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$
2,0	737	4,4	610	6,8	545	9,2	518
2,1	736	4,5	606	6,9	543	9,3	517
2,2	734	4,6	602	7,0	542	9,4	516
2,3	732	4,7	599	7,1	540	9,5	516
2,4	730	4,8	595	7,2	539	9,6	515
2,5	728	4,9	592	7,3	537	9,7	514
2,6	725	5,0	588	7,4	536	9,8	513
2,7	721	5,1	585	7,5	535	9,9	513
2,8	716	5,2	582	7,6	534	10,0	512
2,9	711	5,3	579	7,7	533	10,5	509
3,0	706	5,4	577	7,8	531	11,0	507
3,1	696	5,5	574	7,9	530	11,5	506
3,2	693	5,6	572	8,0	529	12,0	505
3,3	636	5,7	569	8,1	528	12,5	505
3,4	678	5,8	567	8,2	527	13,0	504
3,5	669	5,9	564	8,3	526	13,5	504
3,6	658	6,0	562	8,4	525	14,0	503
3,7	649	6,1	560	8,5	524	14,5	503
3,8	642	6,2	557	8,6	523	15,0	502
3,9	634	6,3	555	8,7	522	15,5	502
4,0	628	6,4	553	8,8	521	16,0	501
4,1	623	6,5	551	8,9	520	16,5	501
4,2	619	6,6	549	9,0	519	17,0	500
4,3	614	6,7	547	9,1	519	17,5	500

Таблица 1.9

Температура самовоспламенения некоторых ароматических углеводов в зависимости от средней длины углеродной цепи

$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$	$l_{cp}$	$T_{cb}, K$
-2	843	—	—	—	—
-1,9	842	0,1	810	2,1	702
-1,8	841	0,2	794	2,2	701
-1,7	840	0,3	774	2,3	701
-1,6	840	0,4	753	2,4	700
-1,5	839	0,5	733	2,5	700
-1,4	838	0,6	723	2,6	699
-1,3	837	0,7	718	2,7	699
-1,2	837	0,8	715	2,8	698
-1,1	836	0,9	713	2,9	698
-1	835	1	712	3	697
-0,9	835	1,1	711	3,1	697
-0,8	834	1,2	710	3,2	697

Окончание табл.1.9

$l_{cp}$	$T_{CB}, K$	$l_{cp}$	$T_{CB}, K$	$l_{cp}$	$T_{CB}, K$
-0,7	833	1,3	709	3,3	697
-0,6	832	1,4	708	3,4	696
-0,5	831	1,5	707	3,5	696
-0,4	830	1,6	706	3,6	696
-0,3	829	1,7	705	3,7	696
-0,2	827	1,8	704	3,8	696
-0,1	824	1,9	703	3,9	696
0	819	2	703	4	695

## **2. РАСЧЕТ КРИТЕРИЕВ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ**

*Цель занятия.* Ознакомится с методами определения классификационных признаков отнесения помещений производственного и складского назначения класса Ф5 к категориям по взрывоопасной и пожарной опасности и расчета критериев взрывопожарной опасности помещений.

### **2.1. Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности**

Классификация помещений по взрывопожарной и пожарной опасности применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара [1, 6].

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1–В4, Г и Д.

Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов.

Определение пожароопасных свойств веществ и материалов производится на основании результатов испытаний или расчетов по стандартным методикам с учетом параметров состояния (давления, температуры и т. д.).

Допускается использование справочных данных, опубликованных головными научно-исследовательскими организациями в области пожарной безопасности или выданных Государственной службой стандартных справочных данных.

Допускается использование показателей пожарной опасности для смесей веществ и материалов по наиболее опасному компоненту.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с табл.2.1.

Таблица 2.1

## Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
<p style="text-align: center;">А повышенная взрывопожароопасность</p>	<p>Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.</p> <p>Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа</p>
<p style="text-align: center;">Б взрывопожароопасность</p>	<p>Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа</p>
<p style="text-align: center;">В1–В4 пожароопасность</p>	<p>Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б</p>
<p style="text-align: center;">Г умеренная пожароопасность</p>	<p>Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива</p>
<p style="text-align: center;">Д пониженная пожароопасность</p>	<p>Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии</p>



Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в табл.2.1, от высшей (А) к низшей (Д).

## **2.2. Методы расчета критериев взрывопожарной опасности помещений**

### ***2.2.1. Выбор и обоснование расчетного варианта***

При расчете критериев взрывопожарной опасности в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газо-, паро-, пылевоздушных смесей участвует наибольшее количество газов, паров, пылей, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей [6, 7].

В случае если использование расчетных методов не представляется возможным, допускается определение значений критериев взрывопожарной опасности на основании результатов соответствующих научно-исследовательских работ, согласованных и утвержденных в установленном порядке.

Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать взрывоопасные газовоздушные или паровоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит расчетная авария одного из аппаратов;
- б) все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат, по прямому и обратному потокам в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчетное время отключения трубопроводов определяется в каждом конкретном случае исходя из реальной обстановки и должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорные устройства, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;
- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;
- 300 с при ручном отключении.

Не допускается использование технических средств для отключения трубопроводов, время отключения которых превышает приведенные выше значения.

Под «временем срабатывания» и «временем отключения» следует понимать промежуток времени от начала возможного поступления горючего

вещества из трубопровода (перфорация, разрыв, изменение номинального давления и т. п.) до полного прекращения поступления газа или жидкости в помещение.

Быстродействующие клапаны-отсекатели должны автоматически перекрывать подачу газа или жидкости при нарушении электроснабжения.

В исключительных случаях в установленном порядке допускается превышение приведенных выше значений времени отключения трубопроводов специальным решением соответствующих федеральных министерств и других федеральных органов исполнительной власти;

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии справочных данных) исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м<sup>2</sup>, а остальных жидкостей – на 1 м<sup>2</sup> пола помещения;

д) происходит также испарение жидкости из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежеекрашенных поверхностей;

е) длительность испарения жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Количество пыли, которое может образовать взрывоопасную смесь, определяется из следующих предпосылок:

а) расчетной аварии предшествовало пыленакопление в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыделения из негерметичного производственного оборудования);

б) в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80 % геометрического объема помещения.

### ***2.2.2. Расчет избыточного давления взрыва для горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей***

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_{г,п}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (2.1)$$

где  $P_{max}$  – максимальное давление взрыва стехиометрической газозооушной или парозооушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным в соответствии с требованиями п.3. При отсутствии данных допускается принимать  $P_{max}$  равным 900 кПа;

$P_0$  – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  
 $m$  – масса горючего газа (ГГ) или паров легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), вышедших в результате расчетной аварии в помещение, вычисляемая для ГГ по формуле (2.6), а для паров ЛВЖ и ГЖ по формуле (2.11), кг;

$Z$  – коэффициент участия горючего во взрыве, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения согласно приложению. Допускается принимать значение  $Z$  по табл.2.2;

$V_{св}$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_{Г,П}$  – плотность газа или пара при расчетной температуре  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>, вычисляемая по формуле

$$\rho_{Г,П} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)}, \quad (2.2)$$

где  $M$  – молярная масса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$V_0$  – мольный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup> · кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  – расчетная температура, °С. В качестве расчетной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Если такого значения расчетной температуры  $t_p$  по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61 °С;

$C_{ст}$  – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % (об.), вычисляемая по формуле

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (2.3)$$

где  $\beta = n_c + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания;

$n_C, n_H, n_O, n_X$  – число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего;

$K_H$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_H$  равным 3.

Расчет  $\Delta P$  для индивидуальных веществ (кроме веществ состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F), а также для смесей может быть выполнен по формуле

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_B \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (2.4)$$

где  $H_T$  – теплота сгорания, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$P_0$  – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  
 $\rho_B$  – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре  $T_0$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  
 $C_p$  – теплоемкость воздуха,  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$  (допускается принимать равной  $1,01\cdot 10^3 \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ );  
 $T_0$  – начальная температура воздуха, К.

Таблица 2.2

Значения коэффициента Z

Вид горючего вещества	Значение Z
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода)	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

В случае обращения в помещении горючих газов, легковоспламеняющихся или горючих жидкостей при определении значения массы  $m$ , входящей в формулы (2.1) и (2.4), допускается учитывать работу аварийной вентиляции, если она обеспечена резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывобезопасной концентрации и электроснабжением по первой категории надежности (ПУЭ), при условии расположения устройств для удаления воздуха из помещения в непосредственной близости от места возможной аварии.

При этом массу  $m$  горючих газов или паров легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше, поступивших в объем помещения, следует разделить на коэффициент  $K$ , определяемый по формуле

$$K = AT + 1, \quad (2.5)$$

где  $A$  – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией,  $\text{с}^{-1}$ ;

$T$  – продолжительность поступления горючих газов и паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в объем помещения, с (принимается по п. 2.1 в).

Масса  $m$ , кг, поступившего в помещение при расчетной аварии газа, определяется по формуле

$$m = (V_a + V_T)\rho_r, \quad (2.6)$$

где  $V_a$  – объем газа, вышедшего из аппарата, м<sup>3</sup>;  
 $V_T$  – объем газа, вышедшего из трубопроводов, м<sup>3</sup>.

При этом

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (2.7)$$

где  $P_1$  – давление в аппарате, кПа;  
 $V$  – объем аппарата, м<sup>3</sup>;

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (2.8)$$

где  $V_{1T}$  – объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м<sup>3</sup>;  
 $V_{2T}$  – объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м<sup>3</sup>;

$$V_{1T} = q \cdot T, \quad (2.9)$$

где  $q$  – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т. д., м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>;

$T$  – время, определяемое по п. 2.1 в), с;

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2 + \dots + r_n^2 \cdot L_n), \quad (2.10)$$

где  $P_2$  – максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа;

$r$  – внутренний радиус трубопроводов, м;

$L$  – длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

Масса паров жидкости  $m$ , поступивших в помещение при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, поверхность со свеженанесенным составом, открытые емкости и т. п.), определяется из выражения

$$m = m_p + m_{\text{ВМК}} + m_{\text{св.окр}}, \quad (2.11)$$

где  $m_p$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;

$m_{\text{ВМК}}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых емкостей, кг;

$m_{\text{св.окр}}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг.

При этом каждое из слагаемых в формуле (2.11) определяется по формуле

$$m = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T, \quad (2.12)$$

где  $W$  – интенсивность испарения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_{\text{и}}$  – площадь испарения,  $\text{м}^2$ , определяемая в соответствии с п. 2.1 г) в зависимости от массы жидкости  $m_{\text{п}}$ , вышедшей в помещение

$$m_{\text{п}} = [\varepsilon \cdot V_{\text{ап}} + 0,785 \cdot (L_{\text{ни}} \cdot d_{\text{ни}}^2 + L_{\text{оти}} \cdot d_{\text{оти}}^2) + q_i \cdot \tau_{3i}] \cdot \rho_{\text{ж}}, \quad (2.13)$$

Если аварийная ситуация связана с возможным поступлением жидкости в распыленном состоянии, то она должна быть учтена в формуле (2.11) введением дополнительного слагаемого, учитывающего общую массу поступившей жидкости от распыляющих устройств, исходя из продолжительности их работ.

Интенсивность испарения  $W$  определяется по справочным и экспериментальным данным. Для не нагретых выше температуры окружающей среды ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать  $W$  по формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}, \quad (2.14)$$

где  $\eta$  – коэффициент, принимаемый по табл.2.3 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$M$  – молярная масса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$P_{\text{н}}$  – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости  $t_{\text{р}}$ ,  $\text{кПа}$ , определяемое по справочным данным или по формуле

$$P_{\text{н}} = 10^{\left[ A - \left( \frac{B}{C_a + t_{\text{р}}} \right) \right]} \quad (2.15)$$

Таблица 2.3

Значение коэффициента  $\eta$  в зависимости от температуры воздуха в помещении и скорости воздушного потока

Скорость воздушного потока в помещении, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Значение коэффициента $\eta$ при температуре $t$ , $^{\circ}\text{C}$ воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
–	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	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
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Масса паров  $m$ ,  $\text{кг}$ , при испарении жидкости, нагретой выше расчетной температуры, но не выше температуры кипения жидкости, определяется по формуле

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{M \cdot P_H} \cdot \frac{C_{ж} \cdot m_{п}}{L_{исп}}, \quad (2.16)$$

где  $C_{ж}$  – удельная теплоемкость жидкости при начальной температуре испарения,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;

$L_{исп}$  – удельная теплота испарения жидкости при начальной температуре испарения, определяемая по справочным данным,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

При отсутствии справочных данных допускается рассчитывать  $L_{исп}$  по формуле

$$L_{исп} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 \cdot M}, \quad (2.17)$$

где  $B$ ,  $C_a$  – константы уравнения Антуана, определяемые по справочным данным для давления насыщенных паров, измеряемого в кПа;

$T_a$  – начальная температура нагретой жидкости, К;

$M$  – молярная масса жидкости,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ .

Формулы (2.16) и (2.17) справедливы для жидкостей, нагретых от температуры вспышки и выше при условии, что температура вспышки жидкости превышает значение расчетной температуры.

### ***Пример 1***

На промышленном предприятии, в одном из цехов, произошла утечка сжиженного пропана  $\text{C}_3\text{H}_8$  из емкости, в результате аварии все содержимое емкости оказалось в помещении цеха. При соприкосновении с источником зажигания произошел взрыв газозвушной смеси.

Определить массу пропана, поступившего в помещение в результате аварии, избыточное давление взрыва и категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности.

### ***Исходные данные***

Размеры помещения: длина – 50 м; ширина – 12 м; высота – 7,5 м; объем аппарата  $V = 1,0 \text{ м}^3$ , давление в аппарате равно давлению в трубопроводах  $P_1 = P_2$  и составляет 5000 кПа, расход газа в соответствии с технологическим процессом  $q = 0,05 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . Время отключения трубопровода  $\tau = 300 \text{ с}$ . Длина трубопровода от аппарата до задвижки  $L = 6 \text{ м}$ ; внутренний радиус трубопровода  $r = 0,15 \text{ м}$ .

Помещение оборудовано аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена  $A = 10 \text{ ч}^{-1}$ . Температура в помещении  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Нижний концентрационный предел распространения пламени пропана равен  $\varphi_n = 2,3 \text{ \% (об.)}$ , верхний концентрационный предел распространения пламени пропана  $\varphi_v = 9,5 \text{ \% (об.)}$ .

### **Решение**

Определим объем газа, вышедшего из аппарата:

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 \cdot V = 0,01 \cdot 5000 \cdot 1,0 = 50 \text{ м}^3.$$

Вычислим объем газа, вышедшего из трубопровода:

$$V_T = V_{1T} + V_{2T},$$

$$V_{1T} = q \cdot \tau = 0,05 \cdot 300 = 15 \text{ м}^3,$$

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (r_1^2 \cdot L) = 0,01 \cdot 5000 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 6 = 21,2.$$

Тогда

$$V_T = 15 + 21,2 = 36,2 \text{ м}^3,$$

$$V_a + V_T = 50 + 36,2 = 86,2 \text{ м}^3.$$

Масса пропана, поступившего в помещение при аварийной ситуации равна:

$$m = (V_a + V_T) \rho_{\Gamma},$$

где  $\rho_{\Gamma, \Pi} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 t_p)},$

$$\rho_{\Gamma} = (44,096 : 22,4) \cdot (1 + 0,000367 \cdot 20) = 1,834 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда

$$m = (50 + 36,2) \cdot 1,834 = 158,1 \text{ кг}.$$

Взрывоопасность смеси можно определить путем расчета концентрации пропана в помещении:

$$\varphi = (V_{\text{газ}} / V_{\text{св}}) \cdot 100 = (86,2 : 3600) \cdot 100 = 2,39 \% \text{ (об.)}.$$

Так как  $\varphi_{\text{н}} < \varphi < \varphi_{\text{в}}$  ( $2,3 < 2,39 < 9,50$ ), то можно сделать вывод, что смесь взрывоопасна.

Стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания

$$\beta = 3 + 2 = 5.$$

Стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ



$$C_{\text{ст}} = 100 : (1 + 4,84 \cdot 5) = 3,97 \% (\text{об.})$$

Избыточное давление взрыва составит:

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot [(158,2 \cdot 0,5 \cdot 100) : (3600 \cdot 1,834 \cdot 3,97 \cdot 3)] = 80,5 \text{ кПа.}$$

Так как расчетное избыточное давление взрыва более 5 кПа, то в соответствии с табл.2.1 помещение следует отнести к категории «А».

С учетом работы аварийной вентиляции с кратностью воздухообмена  $A = 10 \text{ ч}^{-1}$  масса выделившегося в помещение пропана может быть уменьшена на величину «К», где:

$$K = (A \cdot T) + 1 = [(10 : 3600) \cdot 3600] + 1 = 11.$$

Следовательно, масса пропана и избыточное давление взрыва составят:

$$m_a = m : K = 158,1 : 11 = 14,37 \text{ кг.}$$

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot [(14,37 \cdot 0,5 \cdot 100) : (3600 \cdot 1,834 \cdot 3,97 \cdot 3)] = 7,3 \text{ кПа.}$$

Таким образом, при кратности воздухообмена  $A = 10 \text{ ч}^{-1}$  избыточное давление взрыва больше 5 кПа, следовательно помещение относится к категории «А».

Рассчитаем кратность аварийной вентиляции, при которой помещение не относится к категории А. Объем газа, поступающего в помещение, при расчетном давлении взрыва 4,99 кПа ( $< 5 \text{ кПа}$ ) составит:

$$V_T^* = \Delta P \cdot V_{\text{св}} \cdot C_{\text{ст}} \cdot K_H / (P_{\text{max}} - P_0) \cdot Z \cdot 100 = 4,99 \cdot 3600 \cdot 3,97 \cdot 3 / 799 \cdot 0,5 \cdot 100 = 5,35 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем кратность воздухообмена при поступлении в помещение данного количества газа (продолжительность поступления газа в помещение 3600 с).

$$(A \cdot T) + 1 = V_T / V_T^*;$$

$$A = (V_T / V_T^*) - 1 = (86,2 : 5,35) - 1 = 15,1, \text{ ч}^{-1}.$$

Следовательно, при оборудовании помещения аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $15 \text{ ч}^{-1}$ , допускается не относить помещение к категории А.

## **Пример 2**

Определить избыточное давление, развиваемое при сгорании газозвушной смеси водорода, возникающей при аварийной разгерметизации трубопровода в производственном помещении.

### **Исходные данные**

Через помещение, свободный объем которого  $V_{св} = 200 \text{ м}^3$ , проходит трубопровод с проходным сечением диаметром  $d_{тр} = 50 \text{ мм}$ , по которому транспортируется водород  $H_2$  с максимальным расходом  $q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  при нормальных условиях и с максимальным давлением  $p_T = 150 \text{ кПа}$ . Трубопровод оснащен системой автоматического отключения с временем срабатывания 2 с. Задвижки системы установлены перед стеной помещения в месте ввода трубопровода и за стеной данного помещения в месте вывода трубопровода. Длина отсекаемого участка трубопровода  $L_{тр} = 10 \text{ м}$ . Максимально возможная температура для данной климатической зоны  $t_p = 39 \text{ }^\circ\text{C}$ . Плотность водорода  $\rho_v$  при данной  $t_p$  равна  $0,0787 \text{ кг/м}^3$ . Молярная масса водорода  $M = 2,016 \text{ кг/кмоль}$ . Максимальное давление при сгорании стехиометрической газозвушной смеси водорода в замкнутом объеме  $P_{max} = 730 \text{ кПа}$ .

### **Решение**

Объем водорода, поступившего в помещение в результате аварийной разгерметизации трубопровода, будет равен

$$V_B = V_{1T} + V_{2T} = 0,01 + 0,02945 = 0,03945 \text{ м}^3,$$

$$V_{1T} = q \cdot T = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,01 \text{ м}^3,$$

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot \rho_T \cdot r_{ТР}^2 \cdot L_{ТР} = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 150 \cdot \left(\frac{5 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 \cdot 10 = 0,02945 \text{ м}^3.$$

Масса водорода, поступившего в помещение при расчетной аварии, составит

$$m_B = V_B \rho_B = 0,03945 \cdot 0,0787 = 3,105 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

Стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания водорода равен

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 0 + \frac{2-0}{4} - \frac{0}{2} = 0,5.$$

Стехиометрическая концентрация водорода составит

$$C_{СТ} = \frac{100}{1+4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1+4,84 \cdot 0,5} = 29,24 \% (\text{об}).$$

Избыточное давление  $\Delta P$  (кПа) при сгорании водородовоздушной смеси, образующейся в результате расчетной аварии, равно

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_{п}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_H} = (730 - 101) \cdot \frac{3,105 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{200 \cdot 0,0787} \cdot \frac{100}{29,24} \cdot \frac{1}{3} = 0,14.$$

### **Пример 3**

Определить избыточное давление, развиваемое при сгорании паровоздушной смеси ацетона, возникающей при аварийной разгерметизации аппарата в производственном помещении.

### **Исходные данные**

В помещение со свободным объемом  $V_{св} = 160 \text{ м}^3$  при аварийной разгерметизации аппарата поступает 117,9 кг паров ацетона. Максимально возможная температура для данной климатической зоны  $t_p = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ . Молярная масса ацетона  $M = 58,08 \text{ кг/кмоль}$ .

Химическая формула ацетона  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ . Максимальное давление при сгорании стехиометрической паровоздушной смеси ацетона в замкнутом объеме  $P_{max} = 572 \text{ кПа}$ .

### **Решение**

Стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания ацетона равен

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4.$$

Стехиометрическая концентрация паров ацетона составит

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \% (\text{об.}).$$

Плотность паров ацетона  $\rho_{п}$  при расчетной температуре  $t_p$  равна

$$\rho_{п} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 t_p)} = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 36)} = 2,29 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда избыточное давление  $\Delta P$  (кПа) при сгорании паровоздушной смеси ацетона для расчетной аварии составит

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_{п}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_H} = (572 - 101) \cdot \frac{117,9 \cdot 0,3}{160 \cdot 2,29} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 308,7.$$

### **Пример 4**

В краскоприготовительном отделении малярного цеха в результате разгерметизации емкости произошла авария с последующим разливом ксилола  $C_{7,99}H_{9,98}$ . Определить массу испарившейся ЛВЖ и категорию помещения краскоприготовительного отделения малярного цеха по взрывопожарной и пожарной опасности.

### **Исходные данные**

Размеры помещения: длина  $L - 20$  м, ширина  $B - 6$  м, высота  $H - 5,2$  м, расчетная температура воздуха  $t_v - 37$  °С. Объем емкости  $V_{ап} - 0,075$  м<sup>3</sup>, степень заполнения  $\varepsilon - 0,9$ . Длина напорного трубопровода  $L_n - 10$  м, диаметр  $d_n - 25$  мм, длина отводящего трубопровода  $L_{от} - 10$  м, диаметр  $d_{от} - 40$  мм. Производительность насоса  $q - 6,5 \cdot 10^{-5}$ , м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup>. Время отключения насоса  $\tau_3 - 300$  с. Плотность ксилола  $\rho_{ж} = 860$  кг/м<sup>3</sup>, молярная масса  $M = 106$  кг/кмоль. Нижний концентрационный предел распространения пламени  $C_{нкпр} \% (\text{об.}) = 1,0$ .

Константы уравнения Антуана:  $A = 6,13329$ ;  $B = 1461,925$ ;  $C_a = 219,873$ .

### **Решение**

Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация емкости, а также напорного и отводящего трубопроводов с последующим разливом ксилола.

Расчет массы ЛВЖ, поступившей в помещение определяется по формуле (2.13)

$$m_{ж} = [\varepsilon \cdot V_{ап} + 0,785 \cdot (L_{ni} \cdot d_{ni}^2 + L_{oti} \cdot d_{oti}^2) + q_i \cdot \tau_{3i}] \cdot \rho_{ж}, \text{ кг};$$

$$m_{ж} = [0,9 \cdot 0,075 + 0,785 \cdot (10 \cdot 0,025^2 + 10 \cdot 0,04^2) + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300] \cdot 860 = 93,955 \text{ кг}.$$

Расчет массы испарившейся ЛВЖ определяется по формуле (2.12). Максимальная площадь разлива (испарения) с учетом п. 2.1 г) равна

$$F_p = 1000 \cdot (93,955 : 860) = 109,25 \text{ м}^2.$$

Давление насыщенных паров рассчитывают по формуле

$$P_H = 10^{[6,13329 - (1461,925 : (219,873 + 37))]} = 10^{0,44} = 2,747 \text{ кПа}.$$

Интенсивность испарения составит

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{106} \cdot 2,747 = 0,283 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}^1.$$

Время полного испарения разлившейся ЛВЖ можно определить из формулы (12)

$$T = m_{ж} : (W \cdot F_p),$$

$$T = 93,955 : (0,283 \cdot 10^{-4} \cdot 109,25) = 30308 \text{ с} = 505,13 \text{ мин} = 8,4 \text{ ч.}$$

За расчетное время испарения принимаем  $T = 3600$  с (в соответствии с п. 2.1 е).

Масса испарившейся жидкости с поверхности разлива равна

$$m = 0,283 \cdot 10^{-4} \cdot 109,25 \cdot 3600 = 11,13 \text{ кг.}$$

Расчет плотности пара проводят по формуле (2)

$$\rho_{п} = 106 : (22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)) = 4,164 \text{ кг/м}^3.$$

Стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания

$$\beta = 7,99 + (9,98 - 0) : 4 - (0 : 2) = 10,485.$$

Стехиометрическая концентрация паров ксилола

$$C_{ст} = 100 : (1 + 4,84 \cdot 10,485) = 1,932 \% \text{ (об.)}$$

Избыточное давление взрыва составит:

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot [(11,13 \cdot 0,3 \cdot 100 \cdot 1) / (500 \cdot 4,164 \cdot 1,932 \cdot 3)] = 22,1 \text{ кПа.}$$

Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа. В технологическом процессе производства обращаются ЛВЖ с  $t_{всп} = 24$  °С (< 28 °С). Категория помещения краскоприготовительного отделения – «А».

### **Пример 5**

Определить массу паров ацетона, поступающих в объем помещения в результате аварийной разгерметизации аппарата.

### **Исходные данные**

В помещении с площадью 50 м<sup>2</sup> установлен аппарат с ацетоном максимальным объемом  $V_{ап} = 3$  м<sup>3</sup>. Ацетон поступает в аппарат самотеком по трубопроводу диаметром  $d = 0,05$  м с расходом  $q$ , равным  $2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с. Длина участка напорного трубопровода от емкости до ручной задвижки  $L_1 = 2$  м. Длина участка отводящего трубопровода диаметром  $d = 0,05$  м от емкости до ручной задвижки  $L_2$  равна 1 м. Скорость воздушного потока и в помещении при работающей общеобменной вентиляции равна 0,2 м/с. Температура воздуха в помещении  $t_p = 20$  °С. Плотность  $\rho_{ж}$  ацетона при данной температуре равна

792 кг/м<sup>3</sup>. Молярная масса ацетона 58,08 кг·кмоль<sup>-1</sup>; давление насыщенных паров ацетона  $p_n$  при  $t_p$  равно 24,54 кПа.

### **Решение**

Объем ацетона, вышедшего из напорного трубопровода,  $V_{нт}$  составляет

$$V_{нт} = q \cdot \tau + \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_1 = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 300 + \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} \cdot 2 = 6,04 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3.$$

где  $\tau$  – расчетное время отключения трубопровода, равное 300 с (при ручном отключении).

Объем ацетона, вышедшего из отводящего трубопровода  $V_{от}$  составляет

$$V_{от} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_2 = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} \cdot 1 = 1,96 \cdot 10^{-3}.$$

Объем ацетона, поступившего в помещение

$$V_a = V_{ап} + V_{нт} + V_{от} = 3 + 6,04 \cdot 10^{-1} + 1,96 \cdot 10^{-3} = 3,600 \text{ м}^3.$$

Исходя из того, что 1 л ацетона разливается на 1 м<sup>2</sup> площади пола, расчетная площадь испарения  $F_p = 3600 \text{ м}^2$  ацетона превысит площадь пола помещения. Следовательно, за площадь испарения ацетона принимается площадь пола помещения, равная 50 м<sup>2</sup>.

Интенсивность испарения равна:

$$W_{исп} = 10^{-6} \cdot \sqrt{58,08} \cdot 3,5 \cdot 24,54 = 0,655 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2.$$

Масса паров ацетона, образующихся при аварийной разгерметизации аппарата  $m$ , кг, будет равна

$$m = 0,655 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 3600 = 117,9 \text{ кг}.$$

### **2.2.3. Расчет избыточного давления взрыва для горючих пылей**

Расчет избыточного давления взрыва  $\Delta P$ , кПа производится по формуле (2.4)

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_v \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H},$$

где  $H_T$  – теплота сгорания, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$P_0$  – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

$\rho_v$  – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре  $T_0$ , кг·м<sup>-3</sup>;

$C_p$  – теплоемкость воздуха, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> (допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>);

$T_0$  – начальная температура воздуха, К;

$Z$  – коэффициент участия взвешенной пыли во взрыве рассчитывается по формуле

$$Z = 0,5 \cdot F,$$

где  $F$  – массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого аэровзвесь становится взрывобезопасной, то есть неспособной распространять пламя. В отсутствие возможности получения сведений для оценки величины  $Z$  допускается принимать его равным 1.

Расчетную массу взвешенной в объеме помещения пыли  $m$ , кг, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяют по формуле

$$m = \min \left\{ m_{вз} + m_{ав}, \rho_{ст} \cdot V_{ав} / Z \right\}, \quad (2.18)$$

где  $m_{вз}$  – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$m_{ав}$  – расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг;

$\rho_{ст}$  – стехиометрическая концентрация горючей пыли в аэровзвеси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$V_{ав}$  – расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации в объеме помещения,  $\text{м}^3$ .

В отсутствие возможности получения сведений для расчета  $V_{ав}$  расчетная масса взвешенной в объеме помещения  $\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_{в} \cdot c_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H}$ , пыли  $m$ , кг, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяется по формуле

$$m = m_{ав} + m_{вз}, \quad (2.19)$$

где  $m_{вз}$  – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$m_{ав}$  – расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг.

Расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации,  $m_{ав}$ , определяется по формуле

$$m_{ав} = (m_{ан} + q \cdot T) \cdot K_n, \quad (2.20)$$

где  $m_{ан}$  – масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата, кг;

$q$  – производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$T$  – время отключения, определяемое по п. 2.1, с;

$K_n$  – коэффициент пыления, представляющий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата в помещение. При отсутствии экспериментальных сведений о величине  $K_n$  допускается полагать:

- для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм –  $K_n = 0,5$ ;
- для пылей с дисперсностью менее 350 мкм –  $K_n = 1,0$ .

Расчетная масса взвихрившейся пыли  $m_{вз}$  определяется по формуле

$$m_{вз} = K_{вз} \cdot m_n, \quad (2.21)$$

где  $K_{вз}$  – доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. При отсутствии экспериментальных сведений о величине  $K_{вз}$  допускается полагать  $K_{вз} = 0,9$ ;

$m_n$  – масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии, кг.

Масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяется по формуле

$$m_n = \frac{K_r}{K_y} (m_1 + m_2), \quad (2.22)$$

где  $K_r$  – доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;

$m_1$  – масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, кг;

$m_2$  – масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между текущими уборками, кг;

$K_y$  – коэффициент эффективности пылеуборки. Принимается при ручной пылеуборке: сухой – 0,6; влажной – 0,7.

При механизированной вакуумной уборке: пол ровный – 0,9; пол с выбоинами (до 5 % площади) – 0,7.

Под труднодоступными для уборки площадями подразумевают такие поверхности в производственных помещениях, очистка которых осуществляется только при генеральных пылеуборках. Доступными для уборки местами являются поверхности, пыль с которых удаляется в процессе текущих пылеуборок (ежесменно, ежедневно и т. п.).

Масса пыли  $m_i$  ( $i = 1; 2$ ), оседающей на различных поверхностях в помещении за межуборочный период, определяется по формуле

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \beta_i, \quad (i = 1; 2), \quad (2.23)$$

где  $M_1 = \sum M_{1j}$  – масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между генеральными пылеуборками, кг;

$M_{1j}$  – масса пыли, выделяемая единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;



$M_2 = \Sigma M_{2j}$  – масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между текущими пылеуборками, кг;

$M_{2j}$  – масса пыли, выделяемая единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;

$\alpha$  – доля выделяющейся в объем помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами. При отсутствии экспериментальных сведений о величине  $\alpha$  полагают  $\alpha = 0$ ;  $\beta_1, \beta_2$  доли выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей соответственно на труднодоступных и доступных для уборки поверхностях помещения ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

При отсутствии сведений о величине коэффициентов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  допускается полагать  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$ .

Величина  $M_i$  ( $i = 1; 2$ ) может быть также определена экспериментально (или по аналогии с действующими образцами производств) в период максимальной загрузки оборудования по формуле

$$M_i = \Sigma(G_{ij} \cdot F_{ij})\tau_i, (i = 1; 2) \quad (2.24)$$

где  $G_{1j}, G_{2j}$  – интенсивность пылеотложений соответственно на труднодоступных  $F_{1j}$  ( $\text{м}^2$ ) и доступных  $F_{2j}$  ( $\text{м}^2$ ) площадях,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_1, \tau_2$  – промежуток времени соответственно между генеральными и текущими пылеуборками, с.

### **Пример 1**

Рассчитать избыточное давление при сгорании полиэтиленовой пыли в помещении.

Исходные данные:

- $m_{вз} = 10$  кг;
- $m_{ав} = 90$  кг;
- $F = 0,3$ ;
- $H_T = 47 \cdot 10^6$  Дж/кг;
- $V_{св} = 2000$   $\text{м}^3$ ;
- $V_{ав} = 20$   $\text{м}^3$ ;
- $\rho_{в} = 1,2$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ;
- $T_0 = 298$  К;
- $p_{ст} = 0,1$   $\text{кг}/\text{м}^3$ .

### **Решение**

Определяем  $Z$  по формуле

$$Z = 0,5 \cdot F = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15.$$

Определяем  $M$  по формуле (18)

$$M = \min \begin{cases} M_{\text{вз}} + M_{\text{ав}} = 10 + 90 = 100 \text{ кг} \\ \rho_{\text{СТ}} \cdot V_{\text{ав}} / Z = 0,1 \cdot 20 / 0,15 = 14 \text{ кг} \end{cases}$$

отсюда следует, что  $M = 14$  кг.

Принимая  $K_{\text{н}} = 3$  и подставляя исходные данные в выражение для расчетного избыточного давления при сгорании пылевоздушной смеси, получим:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_{\text{T}} \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{р}} \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}} = \frac{14 \cdot 47 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 0,15}{2 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 1010298 \cdot 3} = 4,6 \text{ кПа.}$$

### **Пример 2**

Рассчитать величину избыточного давления ( $\Delta P$ ) при аварии в цехе приготовления сахарной пудры.

#### **Исходные данные**

Сахарная пудра –  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , молекулярная масса  $M = 342,3$  кг/кмоль, теплота сгорания  $H_{\text{T}} = 16,5 \cdot 10^6$  Дж/кг, начальная температура воздуха  $T_0 = 290$  К.

Длина цеха  $L = 9$  м, ширина  $B = 6$  м, высота  $H = 6$  м.

Масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях помещения за период между генеральной уборкой  $m_1 = 10$  кг. Масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях между текущими уборками  $m_2 = 2$  кг. Пылеуборка цеха – ручная влажная:  $K_{\text{у}} = 0,7$ ; доля горючей пыли  $K_{\text{Г}} = 0,9$ .

Масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата  $m_{\text{ап}} = 50$  кг. Производительность аппарата  $q = 0,5$  кг/с, время отключения  $\tau = 15$  с. Аварийная вентиляция отсутствует. Дисперсность пыли менее 350 мкм, НКПР:  $\varphi_{\text{н}} = 35$  г/м<sup>3</sup>.

#### **Решение**

Определим массу отложившейся в помещении пыли к моменту аварии:

$$m_{\text{н}} = \frac{K_{\text{Г}}}{K_{\text{у}}} (m_1 + m_2) = (0,9 / 0,7) \cdot (10 + 2) = 15,4 \text{ кг.}$$

Расчетная масса взвихрившейся пыли равна:

$$m_{\text{вз}} = m \cdot K_{\text{вз}} = 15,4 \cdot 0,9 = 13,86 \text{ кг.}$$

Определим расчетную массу поступившей в помещение пыли в результате аварийной ситуации:

$$m_{\text{ав}} = (m_{\text{ап}} + q \cdot T) \cdot K = (50 + 0,5 \cdot 15) \cdot 1 = 57,5 \text{ кг.}$$

Суммарная масса взвешенной в объеме помещения сахарной пудры, образующейся в результате аварийной ситуации, равна:

$$m = m_{ав} + m_{вз} = 13,86 + 57,5 = 71,36 \text{ кг.}$$

Свободный объем помещения в цехе приготовления сахарной пудры составляет:

$$V_{св} = V \cdot 0,8 = 9 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 0,8 = 259,2 \text{ м}^3.$$

Определим избыточное давление взрыва сахарной пудры:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_B \cdot C_p \cdot T_0 \cdot K} = \frac{71,3 \cdot 16,5 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 1}{259,2 \cdot 1,293 \cdot 1,01 \cdot 10^3 \cdot 290 \cdot 3} = 403,5 \text{ кПа.}$$

#### ***2.2.4. Расчет избыточного давления взрыва для веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, а также для взрывоопасных смесей, содержащих горючие газы (пары) и пыли***

Расчетное избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, определяется по приведенной выше методике, полагая  $Z = 1$  и принимая в качестве величины  $H_T$  энергию, выделяющуюся при взаимодействии (с учетом сгорания продуктов взаимодействия до конечных соединений), или экспериментально в натуральных испытаниях. В случае, когда определить величину  $\Delta P$  не представляется возможным, следует принимать ее превышающей 5 кПа.

Расчетное избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для гибридных взрывоопасных смесей, содержащих горючие газы (пары) и пыли, определяется по формуле

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (2.25)$$

где  $\Delta P_1$  – давление взрыва, вычисленное для горючего газа (пара);  
 $\Delta P_2$  – давление взрыва, вычисленное для горючей пыли.

#### ***2.2.5. Метод расчета размеров зон, ограниченных НКПР газов и паров, при аварийном поступлении горючих газов и паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей в помещение***

Нижеприведенные расчетные формулы применяют для случая  $100m/(\rho_{г,п} V_{св}) < 0,5 C_{НКПР}$  [ $C_{НКПР}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени горючего газа или пара, % (об.)] и помещений в форме прямоугольного параллелепипеда с отношением длины к ширине не более 5.

Расстояния  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  рассчитывают по формулам

$$X_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot l \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (2.26)$$

$$Y_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot b \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (2.27)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = K_3 \cdot h \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (2.28)$$

где  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$ ,  $Z_{\text{НКПР}}$  – расстояния по осям X, Y, Z от источника поступления газа или пара, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения пламени, соответственно, м;

$K_1$  – коэффициент, принимаемый равным 1,1314 для горючих газов и 1,1958 для легковоспламеняющихся жидкостей;

$K_2$  – коэффициент, равный 1 для горючих газов;  $K_2 = \frac{T}{3600}$  для легковоспламеняющихся жидкостей;

$K_3$  – коэффициент, принимаемый равным: 0,0253 для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды; 0,02828 для горючих газов при подвижности воздушной среды; 0,04714 для легковоспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды; 0,3536 для легковоспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды;

$h$  – высота помещения, м;

$l$ ,  $b$  – длина и ширина помещения, соответственно, м;

$\delta$  – допустимые отклонения концентраций при задаваемом уровне значимости  $Q$  ( $C > \bar{C}$ ) (табл.2.4). Уровень значимости – вероятность того, что значение концентрации  $C$  превысит значение математического ожидания этой случайной величины  $\bar{C}$ ). Уровень значимости  $Q$  ( $C > \bar{C}$ ) выбирают, исходя из особенностей технологического процесса. Допускается принимать  $Q$  ( $C > \bar{C}$ ) равным 0,05.

$C_0$  – предэкспоненциальный множитель, % (об.), равный:

- при отсутствии подвижности воздушной среды для ГГ

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}}}, \quad (2.29)$$

- при подвижности воздушной среды для горючих газов

$$C_0 = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}} \cdot U}, \quad (2.30)$$

где  $U$  – подвижность воздушной среды, м/с;

- при отсутствии подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ

$$C_0 = C_{\text{Н}} \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_{\text{Н}} \cdot \rho_{\text{П}} \cdot V_{\text{СВ}}} \right)^{0,41}, \quad (2.31)$$

где  $m$  – масса газа или паров ЛВЖ, поступающих в помещение, кг;  
 $\rho_{г,п}$  – плотность паров, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_{г,п} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 t_p)},$$

где  $M$  – молярная масса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;  
 $V_0$  – мольный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;  
 $t_p$  – расчетная температура, °С;  
 $C_H$  – концентрация насыщенных паров при расчетной температуре  $t_p$ , °С, воздуха в помещении, % (об.). Концентрация  $C_H$  может быть найдена по формуле

$$C_H = \frac{100 \cdot P_H}{P_0}, \quad (2.32)$$

где  $P_H$  – давление насыщенных паров при расчетной температуре (находится по справочной литературе или по формуле  $lgP = A - \frac{B}{t+C_a}$ ) кПа;  
 $P_0$  – атмосферное давление, равное 101 кПа.

Таблица 2.4

Значения допустимых отклонений  $5$   
концентраций при уровне значимости  $Q (C > \bar{C})$

Характер распределения концентраций	$Q (C > \bar{C})$	$\delta$
Для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды	0,100000	1,29
	0,050000	1,38
	0,010000	1,53
	0,003000	1,63
	0,001000	1,70
	0,000001	2,04
Для горючих газов при подвижности воздушной среды	0,100000	1,29
	0,050000	1,37
	0,010000	1,52
	0,003000	1,62
	0,001000	1,70
	0,000001	2,03
Для паров легковоспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды	0,100000	1,19
	0,050000	1,25
	0,010000	1,35
	0,003000	1,41
	0,001000	1,46
	0,000001	1,68

Для паров легковоспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды	0,100000	1,21
	0,050000	1,27
	0,010000	1,38
	0,003000	1,45
	0,001000	1,51
	0,000001	1,75

- при подвижности воздушной среды для паров легковоспламеняющихся жидкостей

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_{п} \cdot V_{св}} \right)^{0,46}, \quad (2.33)$$

При отрицательных значениях логарифмов расстояния  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  принимают равными 0.

Радиус  $R_6$  и высоту  $Z_6$ , м, зоны, ограниченной НКПР газов и паров, вычисляют исходя из значений  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  для заданного уровня значимости  $Q$ .

При этом  $R_6 > X_{НКПР}$ ,  $R_6 > Y_{НКПР}$  и  $Z_6 > h + R_6$  для ГГ и  $Z_6 > Z_{НКПР}$  для ЛВЖ ( $h$  – высота источника поступления газа от пола помещения для ГГ тяжелее воздуха и от потолка помещения для ГГ легче воздуха, м).

Для ГГ геометрически зона, ограниченная НКПР газов, будет представлять цилиндр с основанием радиусом  $R_6$  и высотой  $Z_6 = 2R_6$  при  $R_6 \leq h$ ,  $Z_6 = h + R_6$  при  $R_6 > h$ , внутри которого расположен источник возможного выделения ГГ.

Для ЛВЖ геометрически зона, ограниченная НКПР паров, будет представлять цилиндр с основанием радиусом  $R_6$  и высотой  $Z_6 = Z_{НКПР}$  при высоте источника поступления паров ЛВЖ  $h < Z_{НКПР}$  и  $Z_6 = h + Z_{НКПР}$  при  $h \geq Z_{НКПР}$ . За начало отсчета принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок, трубопроводов и т. п.

Во всех случаях значения расстояний  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  должны быть не менее 0,3 м для ГГ и ЛВЖ.

### **Пример**

Определить размеры зоны, ограниченной НКПР газов, образующейся при аварийной разгерметизации газового баллона с метаном, при работающей и неработающей вентиляции.

### **Исходные данные**

На полу помещения размером 13x13 м и высотой  $H_{п} = 3$  м находится баллон с 0,28 кг метана. Газовый баллон имеет высоту  $h_6 = 1,5$  м и диаметр 0,5 м. Расчетная температура в помещении  $t_p = 30$  °С. Плотность метана  $\rho_m$  при  $t_p$  равна 0,645 кг/м<sup>3</sup>. Нижний концентрационный предел распространения пламени метана  $C_{НКПР} = 5,28$  % (об.). При работающей общеобменной вентиляции подвижность воздушной среды в помещении  $v = 0,1$  м/с.

### Решение

Допустимые отклонения концентраций при уровне значимости  $Q = 0,05$  будут равны: 1,37 – при работающей вентиляции; 1,38 – при неработающей вентиляции ( $v = 0$  м/с).

Предэкспоненциальный множитель  $C_0$  будет равен:  
при работающей вентиляции

$$C_0 = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}} \cdot v} = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{0,28}{0,645 \cdot 0,8 \cdot 13 \cdot 13 \cdot 3 \cdot 0,1} = 3,21 \% \text{ (об.)};$$

при неработающей вентиляции

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}}} = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,28}{0,645 \cdot 0,8 \cdot 13 \cdot 13 \cdot 3} = 4,04 \% \text{ (об.)};$$

Расстояния  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_{\text{НКПР}}$  составят: при работающей вентиляции

$$X_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot l \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5} = 1,1314 \cdot 13 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0,$$

$$Y_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot b \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5} = 1,1314 \cdot 13 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0,$$

$$Z_{\text{НКПР}} = K_3 \cdot h \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5} = 0,0253 \cdot 3 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,37 \cdot 3,21}{5,28} \right)^{0,5} < 0.$$

следовательно  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_{\text{НКПР}} = 0$ ;

при неработающей вентиляции

$$X_{\text{НКПР}} = 1,1314 \cdot 13 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 4,04}{5,28} \right)^{0,5} = 3,34 \text{ м},$$

$$Y_{\text{НКПР}} = 1,1314 \cdot 13 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 4,04}{5,28} \right)^{0,5} = 3,34 \text{ м},$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,0253 \cdot 3 \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 4,04}{5,28} \right)^{0,5} = 0,02 \text{ м}.$$

Таким образом, для метана при неработающей вентиляции геометрически зона, ограниченная НКПР газов, будет представлять собой цилиндр с основанием радиусом  $R_6 = 3,34$  м и высотой

$$Z_6 = h + R_6 = 3 + 3,34 = 6,34 \text{ м}.$$

Ввиду того, что  $Z_6$  расчетное больше высоты помещения  $H_{\text{п}} = 3$  м, за высоту зоны, ограниченной НКПР газов, принимаем высоту помещения  $Z_6 = 3$  м.

### 2.2.6. Определение коэффициента участия $Z$ горючих газов и паров, не нагретых выше температуры окружающей среды

Приведенные расчетные формулы применяются для случая  $100 m / (\rho_{\text{г,п}} V_{\text{св}}) < 0,5 C_{\text{НКПР}}$ , [ $C_{\text{НКПР}}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени горючего газа или пара, % (об.)] и помещений в форме прямоугольного параллелепипеда с отношением длины к ширине не более пяти.

Коэффициент участия  $Z$  горючих газов и паров ненагретых выше температуры окружающей среды легковоспламеняющихся жидкостей при сгорании газопаровоздушной смеси для заданного уровня значимости  $Q$  ( $C > \bar{C}$ ) (уровень значимости – вероятность того, что значение концентрации  $C$  превысит значение математического ожидания этой случайной величины  $\bar{C}$ ) рассчитывают по формулам:

при  $X_{\text{НКПР}} \leq 0,5 l$  и  $Y_{\text{НКПР}} \leq 0,5 b$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \cdot \rho_{\text{г,п}} \cdot \left( C_0 + \frac{C_{\text{НКПР}}}{\delta} \right) \cdot X_{\text{НКПР}} \cdot Y_{\text{НКПР}} \cdot Z_{\text{НКПР}}, \quad (2.34)$$

при  $X_{\text{НКПР}} > 0,5 l$  и  $Y_{\text{НКПР}} > 0,5 b$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \cdot \rho_{\text{г,п}} \cdot \left( C_0 + \frac{C_{\text{НКПР}}}{\delta} \right) \cdot F \cdot Z_{\text{НКПР}}, \quad (2.35)$$

где  $m$  – масса газа или паров ЛВЖ, поступающих в помещение, кг;

$\delta$  – допустимые отклонения концентраций при задаваемом уровне значимости  $Q$  ( $C > \bar{C}$ ), приведенные в табл. 2.4;

$X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$ ,  $Z_{\text{НКПР}}$  – расстояния по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  от источника поступления газа или пара, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения пламени, соответственно, м;

$l$ ,  $b$  – длина и ширина помещения, соответственно, м;

$F$  – площадь пола помещения,  $\text{м}^2$ ;

$C_0$  – предэкспоненциальный множитель, % (об.), равный:

при отсутствии подвижности воздушной среды для ГГ

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\text{г}} \cdot V_{\text{св}}},$$

при подвижности воздушной среды для горючих газов



$$C_0 = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{CB} \cdot U},$$

где  $U$  – подвижность воздушной среды, м/с;

при отсутствии подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_{CB}} \right)^{0,41},$$

где  $C_H$  – концентрация насыщенных паров при расчетной температуре  $t_p$ , °С воздуха в помещении, % (об.). Концентрация  $C_H$  может быть найдена по формуле

$$C_H = \frac{100 \cdot P_H}{P_0}, \quad (2.36)$$

где  $P_H$  – давление насыщенных паров при расчетной температуре кПа;  
 $P_0$  – атмосферное давление, равное 101 кПа;  
 $\rho_{\Pi}$  – плотность паров, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_{\Gamma, \Pi} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 t_p)},$$

где  $M$  – молярная масса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;  
 $V_0$  – мольный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;  
 $t_p$  – расчетная температура, °С.

при подвижности воздушной среды для паров легковоспламеняющихся жидкостей

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_{CB}} \right)^{0,46}, \quad (2.37)$$

Расстояния  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_{\text{НКПР}}$  рассчитывают по формулам

$$X_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot l \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (2.38)$$

$$Y_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot b \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (2.39)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = K_3 \cdot h \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (2.40)$$

где  $K_1$  – коэффициент, принимаемый равным 1,1314 для горючих газов и 1,1958 для легковоспламеняющихся жидкостей;

$K_2$  – коэффициент, равный 1 для горючих газов;

$K_2 = \frac{T}{3600}$  для легковоспламеняющихся жидкостей;

$K_3$  – коэффициент, принимаемый равным:

– 0,0253 для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды;

– 0,02828 для горючих газов при подвижности воздушной среды;

– 0,04714 для легковоспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды;

– 0,3536 для легковоспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды;

$h$  – высота помещения, м.

При отрицательных значениях логарифмов расстояния  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_{\text{НКПР}}$  принимают равными 0.

### **Пример**

Определить коэффициент  $Z$  участия паров ацетона при сгорании паровоздушной смеси для случая разгерметизации аппарата с ацетоном.

### **Исходные данные**

В центре помещения размером  $40 \times 40$  м и высотой  $H_{\text{п}} = 3$  м установлен аппарат с ацетоном. Аппарат представляет собой цилиндр диаметром основания  $d_{\text{а}} = 0,5$  м и высотой  $h_{\text{а}} = 1$  м, в котором содержится 25 кг ацетона. Расчетная температура в помещении  $t_{\text{р}} = 30$  °С. Плотность паров ацетона  $\rho_{\text{а}}$  при  $t_{\text{р}}$  равна  $2,33$  кг/м<sup>3</sup>. Давление насыщенных паров ацетона  $p_{\text{н}}$  при  $t_{\text{р}}$  равно  $37,73$  кПа. Нижний концентрационный предел распространения пламени  $C_{\text{НКПР}} = 2,7$  % (об.). В результате разгерметизации аппарата в объем помещения поступит 25 кг паров ацетона за время испарения  $T = 208$  с. При работающей общеобменной вентиляции подвижность воздушной среды в помещении  $v = 0,1$  м/с.

### **Решение**

Допустимые значения отклонений концентраций  $\delta$  при уровне значимости  $Q = 0,05$  будут равны: 1,27 – при работающей вентиляции; 1,25 – при неработающей вентиляции ( $v = 0$ ). Предэкспоненциальный множитель  $C_0$  будет равен:

при работающей вентиляции

$$C_0 = C_{\text{н}} \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{св}}} \right)^{0,46} = 37,36 \cdot \left( \frac{25 \cdot 100}{37,36 \cdot 2,33 \cdot 3840} \right)^{0,46} = 3,93 \text{ \% (об.)},$$

$$C_{\text{н}} = \frac{100 \cdot p_{\text{н}}}{P_0} = \frac{100 \cdot 37,73}{101} = 37,36 \text{ \% (об.)},$$

$$V_{\text{св}} = 0,8 \cdot V_{\text{п}} = 0,8 \cdot 40 \cdot 40 \cdot 3 = 3840 \text{ м}^3;$$

при неработающей вентиляции

$$C_0 = C_{\text{н}} \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{св}}} \right)^{0,41} = 37,36 \cdot \left( \frac{25 \cdot 100}{37,36 \cdot 2,33 \cdot 3840} \right)^{0,41} = 5,02 \% \text{ (об.)}$$

Расстояния  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_{\text{НКПР}}$  составят:

при работающей вентиляции

$$X_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot l \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 40 \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 3,93}{2,7} \right)^{0,5} = 9,01 \text{ м},$$

$$Y_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot b \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 40 \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 3,93}{2,7} \right)^{0,5} = 9,01 \text{ м},$$

$$Z_{\text{НКПР}} = K_3 \cdot h \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5} = 0,3536 \cdot 3 \cdot \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 3,93}{2,7} \right)^{0,5} = 0,2 \text{ м}.$$

при неработающей вентиляции

$$X_{\text{НКПР}} = 1,1958 \cdot 40 \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 5,02}{2,7} \right)^{0,5} = 10,56 \text{ м},$$

$$Y_{\text{НКПР}} = 1,1958 \cdot 40 \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 5,02}{2,7} \right)^{0,5} = 10,56 \text{ м},$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,04714 \cdot 3 \cdot \left( \frac{208}{3600} \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 5,02}{2,7} \right)^{0,5} = 0,03 \text{ м}.$$

Таким образом, для ацетона геометрически зона, ограниченная НКПР паров, будет представлять собой цилиндр с основанием радиусом  $R_{\text{с}}$  и высотой  $Z_{\text{с}} = h_{\text{а}} + Z_{\text{НКПР}}$ , так как  $h_{\text{а}} > Z_{\text{НКПР}}$ ,

при работающей вентиляции

$$Z_{\text{с}} = 1 + 0,2 = 1,2 \text{ м}, R_{\text{с}} = 9,01 \text{ м};$$

при неработающей вентиляции

$$Z_{\text{с}} = 1 + 0,03 = 1,03 \text{ м}, R_{\text{с}} = 10,56 \text{ м};$$

За начало отсчета принимают внешние габаритные размеры аппарата.

При  $X_{\text{НКПР}} < 0,5 \text{ л}$  и  $Y_{\text{НКПР}} < 0,5 \text{ в}$  коэффициент  $Z$  составит:

при работающей вентиляции

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \cdot \rho_a \cdot \left( C_0 + \frac{C_{\text{НКПР}}}{\delta} \right) \cdot X_{\text{НКПР}} \cdot Y_{\text{НКПР}} \cdot Z_{\text{НКПР}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14}{25} \cdot 2,33 \cdot \left( 3,93 + \frac{2,7}{1,27} \right) \cdot 9,01 \cdot 9,01 \cdot 0,2 = 0,14,$$

при неработающей вентиляции

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14}{25} \cdot 2,33 \cdot \left( 5,02 + \frac{2,7}{1,27} \right) \cdot 10,56 \cdot 10,56 \cdot 0,03 = 0,04.$$

### 2.3. Определение категорий В1–В4 помещений

Определение пожароопасной категории помещения В1–В4 осуществляется путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки (далее по тексту – пожарная нагрузка) на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в табл.2.5 [6, 8].

Таблица 2.5

Величина удельной пожарной нагрузки и способ размещения

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка $g$ на участке, МДж·м <sup>-2</sup>	Способ размещения
В1	Более 2200	Не нормируется
В2	1401 – 2200	Согласно методике
В3	181 – 1400	Согласно методике
В4	1 – 180	На любом участке пола помещения площадью 10 м <sup>2</sup> . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно методике

При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) горючих, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, пожарная нагрузка  $Q$ , МДж, определяется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{\text{ни}}^p, \quad (2.41)$$

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_{\text{ни}}^p$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж·кг<sup>-1</sup>.

Удельная пожарная нагрузка  $g$ , МДж·м<sup>-2</sup>, определяется из соотношения

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (2.42)$$

где  $S$  – площадь размещения пожарной нагрузки,  $m^2$  (но не менее  $10 m^2$ ).

В помещениях категорий В1–В4 допускается наличие нескольких участков с пожарной нагрузкой, не превышающей значений, приведенных в табл.2.5. В помещениях категории В4 расстояния между этими участками должны быть более предельных.

В табл.2.6 приведены рекомендуемые значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$ ,  $кВт \cdot м^{-2}$ , для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов.

Значения  $l_{пр}$ , приведенные в табл.2.6, рекомендуются при условии, если  $H > 11$  м; если  $H < 11$  м, то предельное расстояние определяется как

$$l = l_{пр} + (11 - H),$$

где  $l_{пр}$  – определяется из табл.2.6;

$H$  – минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия), м.

Таблица 2.6

Рекомендуемые значения предельных расстояний  
от величины критической плотности падающих лучистых потоков

$q_{кр}, кВт \cdot м^{-2}$	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{пр}, м$	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки приведены в табл.2.7.

Таблица 2.7

Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки

Материал	$q_{кр}, кВт \cdot м^{-2}$
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью $417 кг \cdot м^{-3}$ )	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0

Если пожарная нагрузка состоит из различных материалов, то значение  $q_{кр}$  определяется по материалу с минимальным значением  $q_{кр}$ .

Для материалов пожарной нагрузки с неизвестными значениями  $q_{кр}$  значения предельных расстояний принимаются  $l_{пр} \geq 12$  м.

Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ или ГЖ, рекомендуемое расстояние  $l_{пр}$  между соседними участками размещения (разлива) пожарной нагрузки рассчитывается по формулам

$$l_{пр} \geq 15 \text{ м при } H \geq 11, \quad (2.43)$$

$$l_{пр} \geq 26 - H \text{ при } H < 11. \quad (2.44)$$

Если при определении категорий В2 или В3 количество пожарной нагрузки  $Q$ , определенное по формуле 41, отвечает неравенству

$$Q \geq 0,64 g_T H^2,$$

то помещение будет относиться к категориям В1 или В2 соответственно. Здесь

$$g_T = 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \text{ при } 1401 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$$

$$g_T = 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \text{ при } 181 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

### **Пример 1**

Определить категорию пожароопасного помещения.

#### **Исходные данные**

В складе находится 3 вида пожарной нагрузки (рис.2.1).

1) Древесина сосновая:

- теплота сгорания древесины  $Q_{ни}^p = 21,31 \cdot 10^3$  кДж/кг;
- плотность  $\rho_{др} = 500$  кг/м<sup>3</sup>;
- объем древесины  $V_{др} = 50$  м<sup>3</sup>;

2) Масло АМТ 300Т:

- теплота сгорания масла  $Q_{ни}^p = 48,87 \cdot 10^3$  кДж/кг;
- плотность масла  $\rho_m = 900$  кг/м<sup>3</sup>;
- объем масла  $V_m = 5$  м<sup>3</sup>;

3) Антрацит:

- теплота сгорания антрацита  $Q_{ни}^p = 24,93 \cdot 10^3$  кДж/кг;
- плотность антрацита насыпная  $\rho_a = 670$  кг/м<sup>3</sup>;
- объем антрацита  $V_a = 10$  м<sup>3</sup>.

Площадь размещения пожарной нагрузки 432 м<sup>2</sup>. Расстояние между пожарными нагрузками 5 м.

### Решение

Определим пожарную нагрузку  $Q$ , МДж по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{hi}^p, \text{ где } G_i = \rho_i \cdot V_i,$$

отсюда:

$$Q = Q_{сг.др} \cdot \rho_{др} \cdot V_{др} + Q_{сг.м} \cdot \rho_{м} \cdot V_{м} + Q_{сг.ан} \cdot \rho_{ан} \cdot V_{ан}.$$

$$Q = 21,31 \cdot 10^3 \cdot 500 \cdot 50 + 48,87 \cdot 10^3 \cdot 900 \cdot 5 + 24,93 \cdot 10^3 \cdot 670 \cdot 10 = 888196 \cdot 10^3 \text{ кДж} = 888196 \text{ МДж}.$$

Определим удельную пожарную нагрузку  $g$ , МДж·м<sup>-2</sup> по формуле

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{888196}{432} = 2056 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

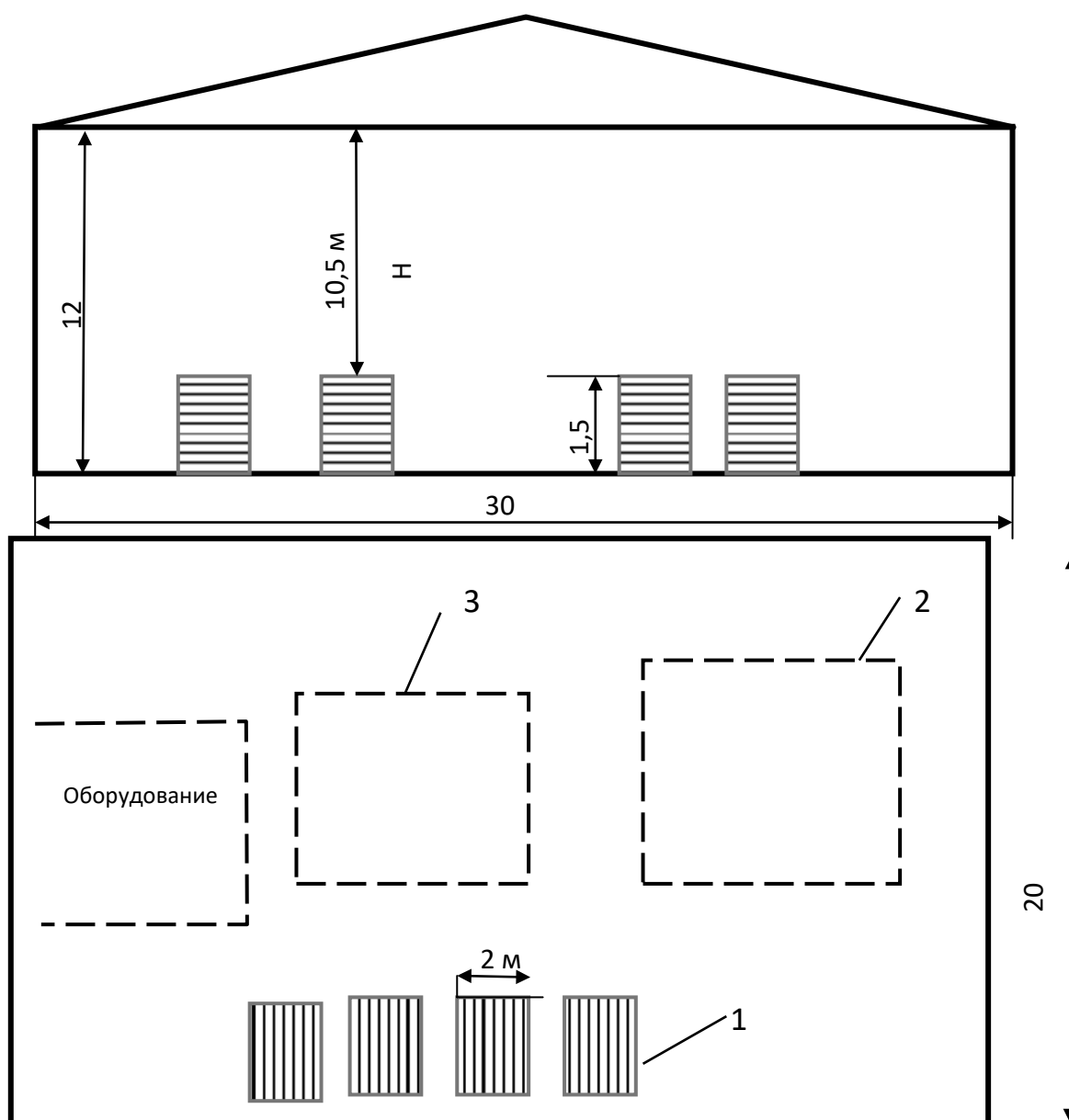


Рис.2.1. Схема размещения горючих материалов и оборудования  
1 – древесина, 2 – масло, 3 – антрацит

Пользуясь табл.2.5 присваиваем помещению категорию В2 ( $q = 1401-2200$  МДж·м<sup>-2</sup>).

Проведем проверочный расчет согласно равенству  $Q \geq 0,64g_T \cdot H^2$ .

$$Q = 0,64 \cdot 2200 \cdot 10,5^2 = 155232 \text{ МДж.}$$

В нашем случае неравенство выполняется  $Q = 888196 \text{ МДж} > 155232 \text{ МДж}$ , поэтому помещению присваивается категория В1.

### **Пример 2**

Определить категорию помещения «Серверная» и класс взрыво- и пожароопасной зоны.

### **Исходные данные**

В помещении с размерами (ширина–длина–высота) 1,9 м на 3,63 м и 2,26 м находится компьютерное оборудование и источник бесперебойного питания. Высота размещения пожарной нагрузки составляет 1,7 м. Площадь размещения пожарной нагрузки составляет 4 м<sup>2</sup>.

Вес поливинилхлорида в изделиях и элементах оборудования, изоляции кабельных коммуникаций на участке составляет 10 кг.

Низшая теплота сгорания поливинилхлорида составляет 20,7 МДж/кг. Вся пожарная нагрузка располагается компактно.

### **Решение**

Проводим проверку помещения «Серверная» на принадлежность к категории В1-В4, согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Исходим из того, что 99 % всей пожарной нагрузки в помещении серверной сосредоточено на участке площадью 4 м<sup>2</sup>.

Количество пожарной нагрузки на участке ее размещения в помещении «Серверная» будет составлять

$$Q = 10 \cdot 20,7 = 207 \text{ МДж.}$$

Удельная пожарная нагрузка  $g$ , МДж/м<sup>2</sup> определяется из соотношения

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{207}{10} = 20,7 \text{ МДж·м}^{-2}.$$

Полученное значение удельной пожарной нагрузки, соответствует категории В4 (табл.2.5).

В помещении «Серверная» имеется только один участок размещения горючей нагрузки. Способ размещения пожарной нагрузки подтверждает определенную категорию В4 (площадь участка не превышает 10 м<sup>2</sup>).



В соответствии с [1, 9], руководитель организации обеспечивает наличие на дверях помещения складского и производственного назначения обозначение их категорий по взрывопожарной и пожарной опасности, а также класса зоны.

Классифицируем пожароопасные зоны для выбора электротехнического по степени их защиты, обеспечивающей их пожаровзрывобезопасную эксплуатацию в указанной зоне для помещения «Серверной» категории В4.

Для расчетного варианта определяем пожароопасную зону П-Па – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 МДж на квадратный метр [1].

Таким образом, в результате проведенного расчета установлено, что помещение «Серверной» относится к категории В4 по пожарной опасности. В помещении имеется пожароопасная зона П-Па.

### **Пример 3**

Определить категорию помещения гаража, в котором находится грузовой автомобиль. Основную пожарную нагрузку автомобиля составляют резина, топливо, смазочное масло, искусственные полимерные материалы.

### **Исходные данные**

Среднее значение количества горючих материалов для грузового автомобиля следующее: резина – 118,4 кг, дизельное топливо – 120 кг, смазочное масло – 18 кг, полиэтилен – 1,8 кг, пенополиуретан – 4 кг, полихлорвинил – 2,6 кг, картон – 2,5 кг, искусственная кожа – 9 кг. Известно, что помещение не относится к категории А и Б.

Нижшая теплота сгорания составляет (МДж/кг): для резины – 33,52; дизельного топлива – 43,59; смазочного масла – 41,87; пенополиуретана – 24,3; полиэтилена – 47,14; полихлорвинила – 14,31; картона – 13,4; искусственной кожи – 17,76.

Минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до покрытия Н составляет 6 м. Площадь размещения пожарной нагрузки  $S = 10 \text{ м}^2$ .

### **Решение**

Пожарная нагрузка будет равна

$$Q = 118,4 \cdot 33,52 + 120 \cdot 43,59 + 18 \cdot 41,87 + 4 \cdot 24,3 + 1,8 \cdot 47,14 + 2,6 \cdot 14,31 + 2,5 \cdot 13,4 + 9,0 \cdot 17,76 = 10365,8 \text{ МДж.}$$

Удельная пожарная нагрузка составит

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{10365,8}{10} = 1036,58 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Следовательно, помещение с данной удельной нагрузкой следует отнести к категории В3.

Определим выполняется ли условие  $Q \geq 0,64g_T \cdot H^2$ .

$$Q = 0,64 \cdot 1400 \cdot 6^2 = 32256 \text{ МДж.}$$

В нашем случае неравенство не выполняется:

$$Q = 10365,8 \text{ МДж} > 32256 \text{ МДж},$$

поэтому помещению присваивается категория В3.

#### **Пример 4**

Определить категорию машинного отделения. В помещении находятся горючие вещества: турбинные, промышленные и другие масла с температурой вспышки выше  $61^\circ\text{C}$ , которые обрабатываются в центробежных и поршневых компрессорах.

#### **Исходные данные**

Количество масла в компрессоре составляет 15 кг. Количество компрессоров – 5. Низшая теплота сгорания для турбинного масла составляет 41,87 МДж/кг. Расстояние между агрегатами не более 5 м.

Площадь размещения пожарной нагрузки –  $8\text{ м}^2$ . В помещении минимальное расстояние  $H$  от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм составляет 9 м.

#### **Решение**

Пожарная нагрузка будет равна

$$Q = 15 \cdot 41,87 = 628 \text{ МДж}.$$

Площадь размещения пожарной нагрузки (одного компрессора) составляет  $8\text{ м}^2$ , в соответствии с табл.2.5 принимаем площадь  $10\text{ м}^2$ .

Удельная пожарная нагрузка составит

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{628}{10} = 62,8 \text{ МДж}\cdot\text{м}^{-2}.$$

Следовательно, помещение с данной удельной нагрузкой следует отнести к категории В4 при условии, что способ ее размещения удовлетворяет требованиям и расстояния между участками, состоящих из ЛВЖ и ГЖ, должны быть более предельных.

В помещении минимальное расстояние  $H$  от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм составляет 9 м. При этих условиях ( $H < 11\text{ м}$ ) предельное расстояние  $l_{\text{пр}}$  должно удовлетворять неравенству  $l_{\text{пр}} \geq 26 - H$  или при  $H = 9\text{ м}$  предельное расстояние  $l_{\text{пр}} \geq 17\text{ м}$ .

Поскольку данное условие для машинного отделения не выполняется (расстояние между агрегатами не более 5 м), это помещение следует отнести к категории В3.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1) В одном из цехов металлургического предприятия расположена емкость, в которую подается газ по трубопроводу. В результате аварии произошла утечка газа из емкости и взрыв газовоздушной смеси. Трубопровод оснащен системой автоматического отключения, задвижки системы установлены перед стеной помещения в месте ввода трубопровода. Определить массу газа, поступившего в помещение в результате аварии, избыточное давление взрыва и категорию помещения по взрывопожарной опасности. Данные для расчета по вариантам представлены в табл.2.8.

2) В цехе в результате разгерметизации емкости произошла авария с последующим разливом горючей жидкости по всему помещению. Определить массу испарившейся горючей жидкости и категорию помещения по взрывопожарной опасности. Температура в помещении  $t_p = 25^\circ\text{C}$ , скорость воздушного потока в помещении  $v = 0,15$  м/с. Данные для расчета представлены в табл.2.9.

3) В цехе произошел выброс взрывопожароопасной пыли из технологического оборудования. Рассчитать массу поступившей в помещение пыли в результате аварийной ситуации, величину избыточного давления ( $\Delta P$ ) взрыва и категорию помещения по взрывопожарной опасности. Доля горючей пыли  $K_r = 0,9$ . Данные для расчета представлены в табл.2.10.

4) В центре помещения установлен аппарат с ЛВЖ. Аппарат представляет собой цилиндр с основанием диаметром  $d_a = 0,45$  м и высотой  $h_a = 2,5$  м, в котором содержится ЛВЖ. В результате разгерметизации аппарата в помещение поступают пары ЛВЖ за время испарения  $T$ , с. При работающей общеобменной вентиляции подвижность воздушной среды в помещении  $v = 0,1$  м/с.

Определить размеры зоны, ограниченной НКПР паров, образующейся при аварийной разгерметизации аппарата с ЛВЖ, при работающей и неработающей общеобменной вентиляции (табл.2.11).

5) В центре помещения размером  $l$  (ширина),  $b$  (длина) и высотой  $h$  м установлен аппарат с ЛВЖ. Аппарат представляет собой цилиндр диаметром основания  $d_a = 1$  м и высотой  $h_a = 1,5$  м, в котором содержится ЛВЖ. В результате разгерметизации аппарата в объем помещения поступают пары ЛВЖ за время испарения  $T$ , с. При работающей общеобменной вентиляции подвижность воздушной среды в помещении  $v = 0,1$  м/с. Определить коэффициент  $Z$  участия паров ЛВЖ при сгорании паровоздушной смеси для случая разгерметизации аппарата с ЛВЖ. Данные для расчета представлены в табл.2.12.

6) Определить категорию В1–В4 пожароопасного помещения. Схема размещения пожарной нагрузки представлена на рисунке 2.1. Исходные данные для решения задачи приведены в табл.2.13 и 2.14. Значения критических плотностей падающих лучистых потоков и низших теплот сгорания материалов – в табл.2.7, 2.15, 2.16.

Таблица 2.8

## Значения показателей пожарной опасности индивидуальных веществ (горючие газы)

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль <sup>-1</sup>	Ширина/длина/высота помещения, м	Расчетная температура, °С	Объем аппарата, м <sup>3</sup>	Давление в аппарате, кПа	Расход газа, м <sup>3</sup> /с	Время отключения трубопровода, с	Макс. давление в трубопроводе, кПа	Внутренний радиус трубопровода, мм	Длина трубопровода от аппарата до задвижек, м
1	Аммиак	NH <sub>3</sub>	17,03	5/10/5	25	1	100	3 · 10 <sup>-3</sup>	2	150	50	15
2	Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,038	5/9/5	26	2	110	4 · 10 <sup>-3</sup>	5	200	60	20
3	1,3-Бутадиен	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,091	5/8/5	27	3	115	5 · 10 <sup>-3</sup>	10	250	70	25
4	н-Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	5/7/5	28	4	120	6 · 10 <sup>-3</sup>	15	300	50	30
5	1-Бутен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,107	5/10/4	29	5	125	7 · 10 <sup>-3</sup>	20	350	100	35
6	2-Бутен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,107	5/9/4	30	6	130	8 · 10 <sup>-3</sup>	30	400	50	40
7	Винилхлорид	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	62,499	5/8/4	31	7	135	9 · 10 <sup>-3</sup>	40	450	30	45
8	Водород	H <sub>2</sub>	2,016	5/7/4	32	8	140	10 · 10 <sup>-3</sup>	60	500	70	50
9	Изобутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	6/10/5	33	9	145	3 · 10 <sup>-3</sup>	70	550	100	55
10	Изобутилен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,11	6/9/5	34	10	150	4 · 10 <sup>-3</sup>	80	600	80	60
11	Метан	CH <sub>4</sub>	16,04	6/8/5	35	11	155	5 · 10 <sup>-3</sup>	100	650	50	15
12	Оксид углерода	CO	28,01	6/10/4	36	12	160	6 · 10 <sup>-3</sup>	120	700	40	20
13	Оксид этилена	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,05	6/9/4	37	13	165	7 · 10 <sup>-3</sup>	140	750	60	25
14	Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,096	6/7/4	38	14	170	8 · 10 <sup>-3</sup>	150	800	80	30
15	Пропилен	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,080	6/10/3	39	15	175	9 · 10 <sup>-3</sup>	160	850	100	35
16	Сероводород	H <sub>2</sub> S	34,076	6/9/3	40	16	180	10 · 10 <sup>-3</sup>	180	900	80	40
17	Формальдегид	CH <sub>2</sub> O	30,03	6/8/3	41	17	185	3 · 10 <sup>-3</sup>	200	1000	50	45
18	Хлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	64,51	6/10/3	42	18	190	4 · 10 <sup>-3</sup>	240	150	100	50
19	Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,069	5/10/5	43	19	200	5 · 10 <sup>-3</sup>	260	200	150	55
20	Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,05	5/9/5	44	20	205	6 · 10 <sup>-3</sup>	300	300	200	60
21	Аммиак	NH <sub>3</sub>	17,03	5/10/5	25	1	100	3 · 10 <sup>-3</sup>	2	150	50	15
22	Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,038	5/9/5	26	2	110	4 · 10 <sup>-3</sup>	5	200	60	20
23	1,3-Бутадиен	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,091	5/8/5	27	3	115	5 · 10 <sup>-3</sup>	10	250	70	25
24	н-Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	5/7/5	28	4	120	6 · 10 <sup>-3</sup>	15	300	50	30
25	Водород	H <sub>2</sub>	2,016	5/7/4	32	8	140	10 · 10 <sup>-3</sup>	60	500	70	35

Таблица 2.9

## Значения показателей пожарной опасности смесей и технических продуктов ЛВЖ и ГЖ

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °С	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	Константы уравнения Антуана			Теплота сгорания, кДж·кг <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота помещения, м	Масса жидкости, вышедшей из емкости в помещение, кг
						А	В	С <sub>А</sub>				
1	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C <sub>7,267</sub> H <sub>14,796</sub>	102,2	-34	710	7,54424	2629,65	384,195	44094	0,79	6/11/5	150
2	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,991</sub> H <sub>13,108</sub>	97,2	-36	730	4,19500	682,876	222,066	44239	1,08	4/10/5	130
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>7,024</sub> H <sub>13,708</sub>	98,2	-36	770	4,12311	664,976	221,695	43641	1,06	5/8/5	100
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,911</sub> H <sub>12,168</sub>	95,3	-37	775	4,26511	695,019	223,220	43641	1,1	6/10/4	120
5	Дизельное топливо «З» (ГОСТ 305-73)	C <sub>12,343</sub> H <sub>23,889</sub>	172,3	> +35	860	5,07818	1255,73	199,523	43590	0,61	5/9/5	130
6	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-73)	C <sub>14,511</sub> H <sub>29,120</sub>	203,6	> +40	865	5,00109	1314,04	192,473	43419	0,52	6/7/4	140
7	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>13,595</sub> H <sub>26,860</sub>	191,7	> +40	830	4,82177	1211,73	194,677	43692	0,55	7/11/5	150
8	Керосин осветительный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>10,914</sub> H <sub>21,832</sub>	153,1	> +40	805	5,59599	1394,72	204,260	43692	0,64	6/10/4	160
9	Керосин осветительный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>11,054</sub> H <sub>21,752</sub>	154,7	> +40	805	5,12496	1223,85	203,341	43692	0,66	5/7/5	170
10	Ксилол(смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+29	862	6,17972	1478,16	220,535	43154	1,1	7/12/5	180
11	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	147,3	> +33	790	7,13623	2218,3	273,15	43966	0,7	5/9/3	150
12	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	C <sub>21,74</sub> H <sub>42,28</sub> S <sub>0,04</sub>	303,9	> +135	890	7,75932	2524,17	224,010	43111	0,29	7/11/3	100
13	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C <sub>22,25</sub> H <sub>33,48</sub> S <sub>0,34</sub> N <sub>0,07</sub>	312,9	> +170	895	7,12439	2240,001	197,85	42257	0,2	5/9/4	150

Окончание табл.2.9

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °С	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	Константы уравнения Антуана			Теплота сгорания, кДж·кг <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота помещения, м	Масса жидкости, вышедшей из емкости в помещение, кг
						А	В	С <sub>А</sub>				
14	Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	C <sub>19,04</sub> H <sub>24,58</sub> S <sub>0,196</sub> N <sub>0,04</sub>	260,3	> +189	990	7,62020	2023,77	200,09	41778	0,2	5/10/3	100
15	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	C <sub>5,452</sub> H <sub>7,608</sub> O <sub>0,535</sub>	81,7	-7	867	6,29685	1373,667	242,828	40936	1,65	6/6/3	150
16	Растворитель Р-4 (ксилол- 15, толуол- 70, ацетон-15)	C <sub>6,231</sub> H <sub>7,798</sub> O <sub>0,223</sub>	86,3	-4	870	6,27853	1415,199	244,752	43154	1,38	5/9/4	180
17	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	C <sub>5,309</sub> H <sub>8,655</sub> O <sub>0,397</sub>	86,8	-9	870	6,30343	1378,851	245,039	43154	1,57	6/8/4	200
18	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	C <sub>6,837</sub> H <sub>9,217</sub> O <sub>0,515</sub>	99,6	+10	851	6,17297	1403,079	221,483	43154	1,26	5/9/3	250
19	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол-10, этиловый спирт-64, н- бутиловый спирт-10, этилцеллозольв-16)	C <sub>2,645</sub> H <sub>8,810</sub> O <sub>1,038</sub>	55,24	+10	900	8,69654	2487,728	290,920	40936	2,85	7/12/4	160
20	Растворитель РМЛ- 218 (МРТУ 6-10-729- 68) (н-бутилацетат-9, ксилол-21,5, толуол- 21,5, этиловыйспирт- 16, н- бутиловый спирт-3, этилцеллозольв-13, этилацетат-16)	C <sub>4,791</sub> H <sub>8,318</sub> O <sub>0,974</sub>	81,51	+4	690	7,20244	1761,043	251,546	43154	1,72	5/7/5	170

Таблица 2.10

## Значения показателей пожарной опасности горючих пылей

№ п/п	Вещество, химическая формула пыли	Молярная масса кг·кмоль <sup>-1</sup>	Теплота сгорания, Q <sub>сг</sub> ·10 <sup>3</sup> , кДж·кг <sup>-1</sup>	Дисперсность пыли, мкм	НКПР, г/м <sup>3</sup>	Начальная температура воздуха, °С	Исходные данные по аварийной ситуации						Вид пылеуборки
							Объем помещения V, м <sup>3</sup>	Масса пыли m1, кг	Масса пыли m2, кг	Масса пыли из аппарата тапп, кг	Производительность питающего трубопровода q, кг/с	Время отключения τ, с	
1	Антрацен, C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,24	39,08	< 350	45	20	150	10	2	50	0,5	15	Ручная, влажная
2	Гидрохинон, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,13	25,89	< 350	7	25	200	10	2	50	0,5	15	Ручная, влажная
3	Диметилтерефталат, C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	194,19	23,87	< 350	30	15	250	10	2	50	0,5	15	Ручная, влажная
4	Нафталин, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,06	40,36	< 350	8	17	150	10	2	50	0,5	15	Ручная, влажная
5	Резорцин, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,11	25,88	< 350	25	26	200	10	2	50	0,5	15	Ручная, влажная
6	Салициловая кислота, C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138,12	22,32	< 350	50	20	250	10	2	50	0,5	15	Ручная, влажная
7	Сахар, C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	342,30	16,5	< 350	35	25	150	10	2	50	0,5	15	Ручная, сухая
8	Антрацен, C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,24	39,08	> 350	45	20	200	11	1	55	0,5	16	Ручная, сухая
9	Гидрохинон, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,13	25,89	> 350	7	35	250	11	1	55	0,5	16	Ручная, сухая
10	Диметилтерефталат, C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	194,19	23,87	> 350	30	30	150	11	1	55	0,5	16	Ручная, сухая
11	Нафталин, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,06	40,36	> 350	8	30	200	11	1	55	0,5	16	Ручная, сухая

Продолжение табл.2.10

№ п/п	Вещество, химическая формула пыли	Молярная масса кг·кмоль <sup>-1</sup>	Теплота сгорания, Q <sub>сг</sub> ·10 <sup>3</sup> , кДж·кг <sup>-1</sup>	Дисперсность пыли, мкм	НКПР, г/м <sup>3</sup>	Начальная температура воздуха, °С	Исходные данные по аварийной ситуации						Вид пылеуборки
							Объем помещения V, м <sup>3</sup>	Масса пыли m1, кг	Масса пыли m2, кг	Масса пыли из аппарата mапп, кг	Производительность питающего трубопровода q, кг/с	Время отключения τ, с	
12	Резорцин, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,11	25,88	> 350	25	20	250	11	1	55	0,5	16	Механизированная, вакуумная, пол с выбоинами
13	Салициловая кислота, C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138,12	22,32	> 350	50	20	150	11	1	55	0,5	16	Механизированная, вакуумная, пол с выбоинами
14	Антрацен, C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,24	39,08	< 350	45	20	200	12	1,5	58	0,5	14	Механизированная, вакуумная, пол ровный
15	Гидрохинон, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,13	25,89	< 350	7	37	250	12	1,5	58	0,5	14	Механизированная, вакуумная, пол ровный
16	Диметилтерефталат, C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	194,19	23,87	< 350	30	20	150	12	1,5	58	0,54	14	Механизированная, вакуумная, пол ровный
17	Нафталин, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,06	40,36	< 350	8	30	200	12	1,5	60	0,5	14	Механизированная, вакуумная, пол ровный
18	Резорцин, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,11	25,88	< 350	25	20	250	12	1,5	65	0,5	14	Механизированная, вакуумная, пол ровный
19	Салициловая кислота, C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138,12	22,32	< 350	50	20	120	12	1,5	60	0,5	14	Механизированная, вакуумная, пол ровный
20	Антрацен, C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,24	39,08	> 350	45	20	450	12,5	1,5	60	0,5	15	Механизированная, вакуумная, пол с выбоинами
21	Гидрохинон, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,13	25,89	> 350	7	50	450	12,5	1,5	60	0,5	15	Механизированная, вакуумная, пол ровный
22	Диметилтерефталат, C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	194,19	23,87	> 350	30	0	450	12,5	1,5	60	0,5	15	Механизированная, вакуумная, пол ровный



№ п/п	Вещество, химическая формула пыли	Молярная масса кг·кмоль <sup>-1</sup>	Теплота сгорания, Q <sub>сг</sub> ·10 <sup>3</sup> , кДж·кг <sup>-1</sup>	Дисперсность пыли, мкм	НКПР, г/м <sup>3</sup>	Начальная температура воздуха, °С	Исходные данные по аварийной ситуации						Вид пылеуборки
							Объем помещения V, м <sup>3</sup>	Масса пыли m1, кг	Масса пыли m2, кг	Масса пыли из аппарата маш, кг	Производительность питающего трубопровода q, кг/с	Время отключения τ, с	
23	Нафталин, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,06	40,36	> 350	8	30	450	12,5	1,5	60	0,5	15	Механизированная, вакуумная, пол ровный
24	Резорцин, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,11	25,88	> 350	25	-20	450	12,5	1,5	60	0,5	15	Механизированная, вакуумная, пол ровный
25	Салициловая кислота, C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138,12	22,32	> 350	50	20	450	12,5	1,5	60	0,5	15	Механизированная, вакуумная, пол ровный

Таблица 2.11

## Значения показателей пожарной опасности ЛВЖ

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/длина/высота помещения, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышедших в результате аварии в помещении, кг	Время испарения, с	Расчетная температура $t_p$ , °C
						A	B	C <sub>A</sub>			
1	Керосин осветительный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>10,914</sub> H <sub>21,832</sub>	153,1	0,64	6/9/5	5,59599	1394,72	204,260	25	225	25
2	Керосин осветительный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>11,054</sub> H <sub>21,752</sub>	154,7	0,66	6/8/5	5,12496	1223,85	203,341	30	230	30
3	Ксилол(смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	1,1	6/10/4	6,17972	1478,16	220,535	35	235	40
4	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	147,3	0,7	6/9/4	7,13623	2218,3	273,15	40	240	35
5	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	C <sub>21,74</sub> H <sub>42,28</sub> S <sub>0,04</sub>	303,9	0,29	6/10/3	6,88412	2524,17	174,010	42	245	36
6	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C <sub>22,25</sub> H <sub>33,48</sub> S <sub>0,34</sub> N <sub>0,07</sub>	312,9	0,2	6/9/3	6,12439	2240,001	167,85	43	250	37
7	Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	C <sub>19,04</sub> H <sub>24,58</sub> S <sub>0,196</sub> N <sub>0,04</sub>	260,3	0,2	6/8/3	5,62020	2023,77	164,09	44	200	38
8	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C <sub>7,267</sub> H <sub>14,796</sub>	102,2	0,79	5/10/5	7,54424	2629,65	384,195	50	200	25
9	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,991</sub> H <sub>13,108</sub>	97,2	1,08	5/9/5	4,19500	682,876	222,066	80	202	30
10	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>7,024</sub> H <sub>13,708</sub>	98,2	1,06	5/8/5	4,12311	664,976	221,695	100	205	27
11	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,911</sub> H <sub>12,168</sub>	95,3	1,1	5/10/4	4,26511	695,019	223,220	120	208	28
12	Дизельное топливо «3» (ГОСТ 305-73)	C <sub>12,343</sub> H <sub>23,889</sub>	172,3	0,61	5/9/4	5,07818	1255,73	199,523	130	210	35

Окончание табл.2.11

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/длина/высота помещения, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышедших в результате аварии в помещение, кг	Время испарения, с	Расчетная температура t <sub>p</sub> , °С
						A	B	C <sub>A</sub>			
13	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-73)	C <sub>14,511</sub> H <sub>29,120</sub>	203,6	0,52	5/7/4	5,00109	1314,04	192,473	140	215	30
14	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>13,595</sub> H <sub>26,860</sub>	191,7	0,55	6/10/5	4,82177	1211,73	194,677	150	220	31
15	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	C <sub>5,452</sub> H <sub>7,608</sub> O <sub>0,535</sub>	81,7	1,65	6/10/3	6,29685	1373,667	242,828	45	202	40
16	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	C <sub>5,309</sub> H <sub>8,655</sub> O <sub>0,397</sub>	86,8	1,57	6/10/3	6,30343	1378,851	245,039	25	208	25
17	Растворитель Р-4 (ксилол-15, толуол-70, ацетон-15)	C <sub>6,231</sub> H <sub>7,798</sub> O <sub>0,223</sub>	86,3	1,38	6/9/3	6,27853	1415,199	244,752	50	205	40
18	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	C <sub>6,837</sub> H <sub>9,217</sub> O <sub>0,515</sub>	99,6	1,26	6/9/3	6,17297	1403,079	221,483	26	210	30
19	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол-10, этиловый спирт-64, н-бутиловый спирт-10, этилцеллозольв-16)	C <sub>2,645</sub> H <sub>6,810</sub> O <sub>1,038</sub>	55,24	2,85	6/9/5	8,69654	2487,728	290,920	27	215	35
20	Растворитель РМЛ- 218 (МРТУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат-9, ксилол-21,5, толуол- 21,5, этиловый спирт- 16, н-бутиловый спирт-3, этилцеллозольв-13, этилацетат-16)	C <sub>4,791</sub> H <sub>8,318</sub> O <sub>0,974</sub>	81,51	1,72	6/8/5	7,20244	1761,043	251,546	28	220	28

Таблица 2.12

Значения показателей пожарной опасности смесей и технических  
продуктов ЛВЖ (исходные данные для определения коэффициента  $Z$ )

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/длина/высота помещения, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышедших в результате аварии в помещение, кг	Время испарения, с	Расчетная температура тр, °С
						A	B	C <sub>A</sub>			
1	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C <sub>7,267</sub> H <sub>14,796</sub>	102,2	0,79	5/10/5	7,54424	2629,65	384,195	50	200	25
2	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,991</sub> H <sub>13,108</sub>	97,2	1,08	5/9/5	4,19500	682,876	222,066	80	202	26
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>7,024</sub> H <sub>13,708</sub>	98,2	1,06	5/8/5	4,12311	664,976	221,695	100	205	27
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,911</sub> H <sub>12,168</sub>	95,3	1,1	5/10/4	4,26511	695,019	223,220	120	208	28
5	Дизельное топливо «З» (ГОСТ 305-73)	C <sub>12,343</sub> H <sub>23,889</sub>	172,3	0,61	5/9/4	5,07818	1255,73	199,523	13	210	29
6	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-73)	C <sub>14,511</sub> H <sub>29,120</sub>	203,6	0,52	5/7/4	5,00109	1314,04	192,473	140	215	30
7	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>13,595</sub> H <sub>26,860</sub>	191,7	0,55	6/10/5	4,82177	1211,73	194,677	150	220	31
8	Керосин осветительный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>10,914</sub> H <sub>21,832</sub>	153,1	0,64	6/9/5	5,59599	1394,72	204,260	25	225	32
9	Керосин осветительный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>11,054</sub> H <sub>21,752</sub>	154,7	0,66	6/8/5	5,12496	1223,85	203,341	30	230	33
10	Ксилол(смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	1,1	6/10/4	6,17972	1478,16	220,535	35	235	34
11	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	147,3	0,7	6/9/4	7,13623	2218,3	273,15	40	240	35
12	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	C <sub>21,74</sub> H <sub>42,28</sub> S <sub>0,04</sub>	303,9	0,29	6/10/3	6,88412	2524,17	174,010	42	245	36
13	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C <sub>22,25</sub> H <sub>33,48</sub> S <sub>0,34</sub> N <sub>0,07</sub>	312,9	0,2	6/9/3	6,12439	2240,001	167,85	43	250	37

Окончание табл. 2.12

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/длина/высота помещения, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышедших в результате аварии в помещение, кг	Время испарения, с	Расчетная температура тр, °С
						A	B	C <sub>A</sub>			
14	Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	C <sub>19,04</sub> H <sub>24,58</sub> S <sub>0,196</sub> N <sub>0,04</sub>	260,3	0,2	6/8/3	5,62020	2023,77	164,09	44	200	38
15	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	C <sub>5,452</sub> H <sub>7,608</sub> O <sub>0,535</sub>	81,7	1,65	6/10/3	6,29685	1373,667	242,828	45	202	39
16	Растворитель Р-4 (ксилол-15, толуол- 70, ацетон-15)	C <sub>6,231</sub> H <sub>7,798</sub> O <sub>0,223</sub>	86,3	1,38	6/9/3	6,27853	1415,199	244,752	50	205	40
17	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	C <sub>5,309</sub> H <sub>8,655</sub> O <sub>0,397</sub>	86,8	1,57	6/10/3	6,30343	1378,851	245,039	25	208	25
18	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	C <sub>6,837</sub> H <sub>9,217</sub> O <sub>0,515</sub>	99,6	1,26	6/9/3	6,17297	1403,079	221,483	26	210	26
19	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол-10, этиловый спирт-64, н-бутиловый спирт-10, этилцеллозольв-16)	C <sub>2,645</sub> H <sub>6,810</sub> O <sub>1,038</sub>	55,24	2,85	6/9/5	8,69654	2487,728	290,920	27	215	27
20	Растворитель РМЛ- 218 (МРТУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат-9, ксилол-21,5, толуол- 21,5, этиловый спирт-16, н-бутиловый спирт-3, этилцеллозольв-13, этилацетат-16)	C <sub>4,791</sub> H <sub>8,318</sub> O <sub>0,974</sub>	81,51	1,72	6/8/5	7,20244	1761,043	251,546	28	220	28

Таблица 2.13

Исходные данные для определения категории помещения В1–В4

№ п/п	Материал	Q, кДж/кг	P, кг/м <sup>3</sup>	V <sub>1</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>2</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>3</sub> , м <sup>3</sup>
<b>1</b>	<b>Древесина (S=60 м<sup>2</sup>)</b>					
1.1	Бук	20,0·10 <sup>3</sup>	530	1	1,2	1,5
1.2	Береза	19,99·10 <sup>3</sup>	510	1	1,2	1,5
1.3	Дуб	19,36·10 <sup>3</sup>	520	1	1,2	1,5
1.4	Сосна	21,31·10 <sup>3</sup>	500	1	1,2	1,5
<b>2</b>	<b>Масло (S=50 м<sup>2</sup>)</b>					
2.1	Трансформаторное	42,0·10 <sup>3</sup>	878	1	1,2	1,5
2.2	АМТ 300Т	41,87·10 <sup>3</sup>	900	1	1,2	1,5
<b>3</b>	<b>Антрацит (S=30 м<sup>2</sup>)</b>					
		24,93·10 <sup>3</sup>	670	1	1,2	1,5

Расстояние между пожарными нагрузками 5 м.

Таблица 2.14

Расположение пожарной нагрузки в складе согласно схеме

Номер варианта	Схема выбора исходных данных
1	1.1 (V <sub>1</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
2	1.1 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
3	1.1 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
4	1.2 (V <sub>1</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
5	1.2 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
6	1.2 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
7	1.3 (V <sub>1</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
8	1.3 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
9	1.3 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
10	1.4 (V <sub>1</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
11	1.4 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
12	1.4 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )
13	1.1 (V <sub>1</sub> ) → 2.2 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
14	1.1 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
15	1.1 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
16	1.2 (V <sub>1</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
17	1.2 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
18	1.2 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
19	1.3 (V <sub>1</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
20	1.3 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
21	1.3 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
22	1.4 (V <sub>1</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
23	1.4 (V <sub>2</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
24	1.4 (V <sub>3</sub> ) → 2.1 (V <sub>2</sub> ) → 3 (V <sub>2</sub> )
25	1.1 (V <sub>1</sub> ) → 2.2 (V <sub>1</sub> ) → 3 (V <sub>1</sub> )

Таблица 2.15

## Значения критических плотностей падающих лучистых потоков

Материалы	q <sub>кр</sub> , кВт · м <sup>-2</sup>
Древесина (сосна, влажность 12 %)	13,9
Древесно-стружечная плита плотностью 417 кг · м <sup>-3</sup>	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Картон серый	10,8
Декоративный бумажно-слоистый пластик, ГОСТ 9590-76	19,0
Декоративный бумажно-слоистый пластик, ТУ 400-1-18-64	24,0
Металлопласт, ТУ 14-1-4003-85	24,0
Металлопласт, ТУ 14-1-4210-86	27,0
Плита древесно-волокнистая, ГОСТ 8904-81	13,0
Плита древесно-стружечная, ГОСТ 10632-77	12,0
Плита древесно-стружечная с отделкой «Полиплен», ГОСТ 21-29-94-81	12,0
Плита древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева, ГОСТ 8904-81	12,0
Плита древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева, ТУ 400-1-199-80	16,0
Винилискожа обивочная пониженной горючести, ТУ 17-21-488-84	30,0
Винилискожа, ТУ 17-21-473-84	32,0
Кожа искусственная «Теза», ТУ 17-21-488-84	17,9
Кожа искусственная «ВИК-ТР», ТУ 17-21-256-78	20,0
Кожа искусственная «ВИК-Т» на ткани 4ЛХ ТУ 17-21-328-80	20,0
Стеклопластик на полиэфирной основе, ТУ 6-55-15-88	14,0
Лакокрасочные покрытия РХО, ТУ 400-1-120-85	25,0
Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе, ТУ 21-29-11-72	12,0
Линолеум ПВХ однослойный, ГОСТ 14632-79	10,0
Линолеум алкидный, ГОСТ 19247-73	10,0
Линолеум ПВХ марки ТГН-2, ТУ 21-29-5-69	12,0
Линолеум ПВХ на тканевой основе, ТУ 21-29-107-83	12,0
Линолеум рулонный на тканевой основе	12,0
Линолеум ПВХ, ТУ 480-1-237-86:	
– с применением полотна, ТУ 17-14-148-81	7,2
– с применением полотна, ТУ 17-РОФСР-18-17-003-83	6,0
– на подоснове «Неткол»	9,0
Дорожка прутковая чистошерстяная, ТУ 17-Таджикская ССР-463-84	9,0
Покрытие ковровое, прошивное, ОСТ 17-50-83, арт. 5867	22,0
Покрытие ковровое для пола рулонное «Ворсолон», ТУ 21-29-12-72	5,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Мистра-1», ТУ 17-Эстонская ССР-266-80	6,0

Материалы	q <sub>кр</sub> , кВт · м <sup>-2</sup>
Покрытие ковровое иглопробивное «Мистра-2», ТУ 17-Эстонская ССР-266-80	5,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Авистра»	12,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Востра», ТУ 17-Эстонская ССР-551-86	5,0
Покрытие ковровое типа А, ТУ 21-29-35, арт, 10505	4,0
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0

Таблица 2.16

Значения низшей теплоты сгорания твердых горючих веществ и материалов

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания Q <sup>P</sup> , МДж · кг <sup>-1</sup> Н
Бумага:	
разрыхленная	13,40
книги, журналы	13,40
Древесина (бруски W = 14 %)	13,80
Древесина (мебель в жилых и административных зданиях W = 8–10 %)	13,80
Кальций (стружка)	15,80
Канифоль	30,40
Киноплёнка триацетатная	18,80
Капрон	31,09
Карболитовые изделия	26,90
Каучук СКС	43,89
Каучук натуральный	44,73
Каучук хлоропреновый	27,99
Краситель жировой 5С	33,18
Краситель 9-78Ф п/э	20,67
Краситель фталоцианотен 4 «3» М	13,76
Ледерин (кожзаменитель)	17,76
Линкруст поливинилхлоридный	17,08
Линолеум:	
масляный	20,97
поливинилхлоридный	14,31
поливинилхлоридный двухслойный	17,91
поливинилхлоридный на войлочной основе	16,57
поливинилхлоридный на тканевой основе	20,29
Линопор	19,71
Магний	25,10
Мипора	17,40
Натрий металлический	10,88
Органическое стекло	27,67
Полистирол	39,00
Резина	33,52
Текстолит	20,90
Торф	16,60



Окончание табл.2.16

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания $Q^P$ , МДж · кг <sup>-1</sup> Н
Пенополиуретан	24,30
Волокно штапельное	13,80
Полиэтилен	47,14
Полипропилен	45,67
Хлопок в тюках $\rho = 190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	16,75
Хлопок разрыхленный	15,70
Лен разрыхленный	15,70
Хлопок + капрон (3:1)	16,20

### 3. ОГРАНИЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ

**Цель занятия.** Ознакомится с требованиями, ограничивающими развитие загораний при проектировании промышленных предприятий. Изучить классификацию строительных конструкций, требования, предъявляемые к их степени огнестойкости и противопожарным расстояниям между зданиями.

#### 3.1. Общие положения

При проектировании промышленных предприятий предусматриваются мероприятия, ограничивающие развитие загораний до размеров крупных пожаров. К ним относятся:

- разделение зданий противопожарными стенками или противопожарными перекрытиями на пожарные отсеки;
- разделение зданий противопожарными перегородками на секции;
- устройство противопожарных преград для ограничения распространения огня на конструкции, по горючим материалам (гребни, бортики, козырьки, пояса и др.);
- устройство противопожарных разрывов (расстояний) между зданиями.

Все элементы зданий в перечисленных выше мероприятиях должны обладать определенной огнестойкостью.

Огнестойкость строительных конструкций – свойство конструкций сохранять несущую и ограждающую способность в условиях пожара.

Противопожарные преграды в зависимости от способа предотвращения распространения опасных факторов пожара подразделяются на следующие типы [1]:

- 1) противопожарные стены;
- 2) противопожарные перегородки;
- 3) противопожарные перекрытия;
- 4) противопожарные разрывы;
- 5) противопожарные занавесы, шторы и экраны;
- 6) противопожарные водяные завесы;
- 7) противопожарные минерализованные полосы.

Для выделения пожарных отсеков применяются противопожарные стены и (или) перекрытия 1-го типа или устройство технических этажей, отделенных от смежных этажей противопожарными перекрытиями 2-го типа.

Противопожарные стены, разделяющие здание на пожарные отсеки, должны возводиться на всю высоту здания или до противопожарных перекрытий 1-го типа и обеспечивать нераспространение пожара в смежный по горизонтали пожарный отсек при обрушении конструкций здания со стороны очага пожара.

При разделении здания на пожарные отсеки противопожарной должна быть стена более высокого и более широкого отсека.

### 3.2. Степень огнестойкости зданий и строительных конструкций

Согласно [1, 10] здания и пожарные отсеки (части зданий, выделенных противопожарными стенами) подразделяются по степени огнестойкости, согласно табл.3.1.

Для нормирования пределов огнестойкости строительных конструкций используются следующие предельные состояния:

- для колонн, балок, ферм, арок и рам только потеря несущей способности конструкции и узлов (R);
- для наружных несущих стен и покрытий – потеря несущей способности и целостности (R, E), для наружных и ненесущих (E);
- для несущих и внутренних стен и противопожарных преград – потеря несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности (R, E, J);
- для ненесущих внутренних стен и перегородок – потеря теплоизолирующей способности и целостности – (E, J).

Таблица 3.1

Показатели огнестойкости зданий

Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости строительных конструкций здания, не менее						
	несущие элементы здания	наружные не несущие стены	перекрытия между этажами (в том числе чердачные и над подвалами)	элементы безчердачных покрытий		лестничные клетки	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REJ 60	RE 30	R 30	REJ 120	R 60
II	R 90	E 15	REJ 45	RE 15	R 15	REJ 90	R 60
III	R 45	E 15	REJ 45	RE 15	R 15	REJ 60	R 45
IV	R 15	E 15	REJ 15	RE 15	R 15	REJ 45	R 15
V	Не нормируется						

Обозначение предела огнестойкости в строительной конструкции, состоящей из вышеуказанных условных символов и числа соответствующего времени достижения одного из этих состояний (первого во времени) в минутах. Например, R 120 – предел огнестойкости 120 мин по потере несущей способности; REJ 30 – предел огнестойкости 30 мин по потере несущей способности, целостности или теплоизолирующей способности независимо от того, какое из этих предельных состояний наступит ранее.

Если для конструкций нормируются различные требования по предельным состояниям обозначение предела огнестойкости состоит из 2-х или 3-х частей, разделенных между собой наклонной чертой.

Например, R 120/ EJ 60 – предел огнестойкости 120 мин по потере несущей способности и предел огнестойкости 60 мин по потере целостности и

теплоизолирующей способности, независимо от других повреждений. Характеристика зданий по степени огнестойкости представлена в табл.3.2.

Таблица 3.2

Характеристика зданий по степени огнестойкости

Степень огнестойкости зданий	Характеристика зданий по степени огнестойкости
I степень	Здание с несущими или ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов
II степень	Здание с несущими или ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов. В покрытиях зданий допускается применять незащищенные стальные конструкции
III степень	Здание с несущими или ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов. Для перекрытий допускается использование деревянных конструкций, защищенных штукатуркой или трудногорючими листовыми или плитными материалами. К элементам покрытий не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня; элементы покрытия из древесины подвергаются огнезащитной обработке

IV степень	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из цельной или клееной древесины, или других горючих или трудногорючих материалов, защищенных от воздействия огня и высоких температур штукатуркой или другими листовыми или плитными материалами. К элементам покрытий не предъявляются требований по пределам огнестойкости и пределам распространения огня
V степень	Здания к несущим и ограждающим конструкциям, которым не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня

Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков должна устанавливаться в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов.

### 3.3. Конструктивная пожарная опасность зданий и противопожарные расстояния

Здания, сооружения, строения и пожарные отсеки по конструктивной пожарной опасности подразделяются на классы С0, С1, С2 и С3.

Строительные конструкции по пожарной опасности подразделяются на следующие классы:

- 1) непожароопасные (К0);
- 2) малопожароопасные (К1);
- 3) умереннопожароопасные (К2);
- 4) пожароопасные (К3).

Класс пожарной опасности строительных конструкций определяется в соответствии с табл.3.3.

Таблица 3.3

Соответствие класса конструктивной пожарной опасности и класса пожарной опасности строительных конструкций зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Класс пожарной опасности строительных конструкций				
	несущие стержневые элементы (колонны, ригели, фермы)	наружные стены с внешней стороны	стены, перегородки, перекрытия и бесчердачные покрытия	стены лестничных клеток и противопожарные преграды	марши и площадки лестниц в лестничных клетках
С0	К0	К0	К0	К0	К0
С1	К1	К2	К1	К0	К0
С2	К3	К3	К2	К1	К1
С3	не нормируется	не нормируется	не нормируется	К1	К3

Численные значения критериев отнесения строительных конструкций к определенному классу пожарной опасности определяются в соответствии с методами, установленными нормативными документами по пожарной безопасности.

Класс конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков должен устанавливаться в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов.

При расположении зданий на территории предприятия для ограничения распространения пожара регламентируются наименьшие расстояния между объектами промышленных предприятий с различной взрывопожарной и пожарной опасностью. Наименьшим расстоянием между наружными зданиями и сооружениями считается расстояние в свету между наружными стенами и конструкциями.

Противопожарные расстояния назначаются в зависимости от степени огнестойкости зданий (табл.3.1) и класса конструктивной пожарной опасности (табл.3.4).

Таблица 3.4

Противопожарные расстояния между зданиями и сооружениями

Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Минимальные расстояния при степени огнестойкости и классе конструктивной пожарной опасности жилых и общественных зданий, м			
		I, II, III C0	II, III C1	IV C0, C1	IV, V C2, C3
<b>Жилые и общественные</b>					
I, II, III	C0	6	8	8	10
II, III	C1	8	10	10	12
IV	C0, C1	8	10	10	12
IV, V	C2, C3	10	12	12	15
<b>Производственные и складские</b>					
I, II, III	C0	10	12	12	12
II, III	C1	12	12	12	12
IV	C0, C1	12	12	12	15
IV, V	C2, C3	15	15	15	18

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ**

Выбор размеров зданий и пожарных отсеков следует производить в зависимости от степени их огнестойкости, класса конструктивной и функциональной пожарной опасности и пожарной опасности, происходящих в них технологических процессов, в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности [10].

Площадь этажа в пределах пожарного отсека определяется максимальной площадью этажа, ограниченной наружными стенами здания и (или) противопожарными стенами 1-го типа.

Степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности, высоту зданий и площадь этажа в пределах пожарного отсека для производственных зданий, в зависимости от категории по взрывопожарной и пожарной опасности, следует принимать по табл.3.5.

Таблица 3.5

Степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности, высота зданий и площадь этажа в пределах пожарного отсека для производственных зданий [10]

Категория зданий или пожарных отсеков	Высота здания*, м	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Площадь этажа в пределах пожарного отсека зданий, м <sup>2</sup>		
				одноэтажных	двухэтажных	в три этажа и более
А, Б	36	I	С0	Не огр.	5200	3500
А	36	II	С0	Не огр.	5200	3500
	24	III	С0	7800	3500	2600
	–	IV	С0	3500	–	–
Б	36	II	С0	Не огр.	10 400	7800
	24	III	С0	7800	3500	2600
	–	IV	С0	3500	–	–
В	48	I, II	С0	Не огр.	25 000	10 400
					7800**	5200**
	24	III	С0	25 000	10 400	5200
					5200**	3600**
	18	IV	С0, С1	25 000	10 400	–
	18	IV	С2, С3	2600	2000	–
12	V	Не норм.	1200	600***	–	
Г	54	I, II	С0	Не ограничивается		
	36	III	С0	Не огр.	25 000	10 400
	30	III	С1	Не огр.	10 400	7800
	24	IV	С0	Не огр.	10 400	5200
	18	IV	С1	6500	5200	–
Д	54	I, II	С0	Не ограничивается		
	36	III	С0	Не огр.	50 000	15 000
	30	III	С1	Не огр.	25 000	10 400
	24	IV	С0, С1	Не огр.	25 000	7800
	18	IV	С2, С3	10 400	7800	–
	12	V	Не норм.	2600	1500	–

\* Высота здания в данной таблице измеряется от пола 1-го этажа до потолка верхнего этажа, включая технический этаж; при переменной высоте потолка принимается средняя высота этажа. Высота одноэтажных зданий классов пожарной опасности С0 и С1 не нормируется.

\*\* Для деревообрабатывающих производств.

\*\*\*Для лесопильных цехов с числом рам до четырех, деревообрабатывающих цехов первичной обработки древесины и рубильных станций дробления древесины

При определении этажности здания учитываются площадки, ярусы этажерок и антресолей, площадь которых на любой отметке превышает 40 % площади этажа здания.

При оборудовании производственных зданий установками автоматического пожаротушения указанные в табл.3.5 площади этажей в пределах пожарных отсеков допускается увеличивать на 100 %, за исключением зданий IV и V степеней огнестойкости.

В зданиях категории В при наличии помещений категории В1, имеющих общую площадь более половины площади соответствующего этажа, площадь этажа в пределах пожарного отсека, указанную в таблице 3.5, необходимо уменьшить на 25 %.

По одному из вариантов табл.3.6 предусмотреть ограничение распространения пожара при проектировании здания

Таблица 3.6

Исходные данные для выполнения задания

Номер варианта	Категория зданий или пожарных отсеков	Высота здания, м	Число этажей	Класс конструктивной пожарной опасности
1	Б	36	6	С0
2	В	18	2	С1
3	А	36	6	С0
4	Г	24	2	С0
5	Д	30	5	С1
6	Г	18	2	С1
7	В	12	1	–
8	В	24	1	С0
9	Б	24	1	С0
10	А	24	1	С0
11	А	36	2	С0
12	Б	24	2	С0
13	Б	24	1	С0
14	В	12	2	–
15	В	18	1	С3
16	В	18	2	С2
17	В	24	5	С0
18	Г	54	6	С0
19	Г	36	6	С0
20	Г	30	2	С1
21	Г	24	2	С0
22	Д	54	8	С0
23	Д	30	6	С1
24	Д	18	2	С2
25	Д	18	1	С3



Для этого необходимо:

1) По табл.3.5 определить предельную высоту здания и степень огнестойкости здания.

2) По табл.3.2 дать характеристику здания по степени огнестойкости.

3) В соответствии с данной степенью огнестойкости произвести выбор конструктивных характеристик здания и минимальные пределы огнестойкости (табл.3.1).

4) Определить противопожарные расстояния между зданиями (табл.3.4). При определении противопожарного расстояния второе здание по степени огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности считать аналогично первому.

Результаты работы занести в табл.3.7.

Таблица 3.7

Результаты работы

Номер варианта	Степень огнестойкости здания	Характеристика здания по степени огнестойкости	Пределы огнестойкости строительных конструкций здания	Площадь этажа в пределах пожарного отсека здания, м <sup>2</sup>	Расстояние между зданиями, м

## 4. СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ

**Цель занятия.** Ознакомится с классификацией пожаров и средствами пожаротушения, нормами оснащения помещений первичными средствами пожаротушения. Научиться определять расход воды на внутреннее и внешнее пожаротушение.

### 4.1. Общие положения

Выбор условия пожаротушения, а, следовательно, и огнетушащих веществ зависит от физико-химических свойств горючего материала; пожарной нагрузки и скорости ее выгорания; газообмена очага пожара с окружающей средой и внешней атмосферой; теплообмена между очагом пожара и окружающими материалами и конструкциями; размера и формы очага пожара и помещения; метеорологических условий.

Пожарную нагрузку дифференцируют в зависимости от ее распределения по площади на распределенную и сосредоточенную и характеризуют массой на единицу поверхности ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ).

Пожарная нагрузка – это масса горючих и трудногорючих материалов, находящихся в рассматриваемом объекте, отнесенная к площади пола помещения.

По способу распределения пожарной нагрузки помещения делятся на два класса:

- I помещения больших объемов, в которых пожарная нагрузка сосредоточена и горение может развиваться на отдельных разобщенных участках, без образования общей зоны горения;
- II помещения, в которых пожарная нагрузка рассредоточена по всей площади таким образом, что горение может происходить с образованием общей зоны горения.

Класс помещения в свою очередь влияет на выбор способа пожаротушения. Существует два способа пожаротушения: поверхностный и объемный.

Поверхностное тушение (тушение пожара по площади) заключается в подаче огнетушащих веществ непосредственно на очаг горения. Оно применяется для всех видов пожаров. При этом используются жидкостные составы, пена, порошки и т. д.

Объемное тушение заключается в создании в районе пожара огнетушащей среды, не поддерживающей горения. Оно применяется в ограниченном объеме (в помещениях, отсеках, галереях). Тушат водяными, газовыми, порошковыми составами.

Исходя из вышеизложенного, поверхностное тушение применимо к пожарам в помещении I класса, а объемное – к пожарам в помещениях II класса. Способ объемного пожаротушения наиболее прогрессивен, так как обеспечивает не только быстрое и надежное прекращение горения в любой

точке защищаемого объема, но и флегматизацию этого объема (то есть предупреждение образования взрывоопасной среды).

## 4.2. Огнетушащие вещества и составы

Огнетушащие вещества оказывают, как правило, комбинированное воздействие на процесс горения. В качестве огнетушащих веществ используют растворы некоторых солей, а также воду со смачивателями и другими добавками, водопенные составы, инертные газообразные разбавители, хладоны, порошки, комбинированные составы. Выбор огнетушащих веществ обусловлен классом пожара, который зависит от характеристики горючей среды (табл.4.1) [5].

Наиболее широко применяемым огнетушащим веществом является вода. Огнетушащая способность воды обуславливается охлаждающим действием, разбавлением горючей среды, образующимися от испарения парами и механическим воздействием на горящее вещество, то есть срывом пламени. Разбавляющее действие паров, приводящее к снижению содержания кислорода в окружающем воздухе, объясняется тем, что объем пара в 1700 раз превышает объем испарившейся воды.

Вода подается в очаг горения в виде сплошных и распыленных струй. Сплошная струя представляет собой неразрывный поток воды, имеющий большую скорость и сравнительно небольшое сечение, и используется в тех случаях, когда требуется подать воду на большое расстояние или придать ей значительную ударную силу. Этот способ наиболее простой и распространенный.

Распыленные струи – это поток воды, состоящий из мелких капель. Они характеризуются незначительной ударной силой и дальностью действия, но орошают большую поверхность. При подаче воды распыленными струями создаются наиболее благоприятные условия для испарения и тем самым повышается охлаждающего эффекта и разбавление горячей среды. При таком тушении сокращается расход воды.

Таблица 4.1

Классификация пожаров и рекомендуемые средства пожаротушения

Класс пожара	Характеристика горючей среды или горящего объекта	Рекомендуемые огнетушащие составы и средства
А	Обычные твердые горючие материалы (дерево, уголь, бумага, резина, текстильные материалы и др.)	Все виды огнетушащих средств (только на начальной стадии), водопенные огнетушащие вещества, вода со смачивателями

В	Горючие жидкости и плавящиеся при нагревании материалы (мазут, бензин, лаки, масла, спирт, стеарин, каучук, некоторые синтетические материалы и др.)	Распыленная вода, все виды водопенных составов, составы на основе галогеналкилов, порошки, газоаэрозольные составы
С	Горючие газы (водород, ацетилен, углеводороды и др.)	Газовые составы: инертные разбавители (N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ), галогеноуглеводороды, порошки, вода аэрозольного распыла с добавками и без, вода как средство охлаждения, газоаэрозольные составы
Д	Металлы и их сплавы (калий, натрий, алюминий, магний)	Порошки (при спокойной подаче на горящую поверхность)
Е	Оборудование под напряжением	Порошки, CO <sub>2</sub> , хладоны, газоаэрозольные составы
Ф	Пожары ядерных материалов, радиоактивных отходов и радиоактивных веществ	Порошки, CO <sub>2</sub> , хладоны

Параметры элементов водопроводных сооружений системы противопожарного водоснабжения рассчитывают на расход воды для внутреннего, наружного и автоматического тушения пожаров [12, 13]. При этом элементы системы противопожарного водоснабжения рассчитывают из условия одновременной подачи воды для тушения пожаров внутри зданий (от внутренних пожарных кранов); расхода воды для тушения наружных пожаров (от пожарных гидрантов), а также расхода воды для тушения пожаров автоматическими или стационарными установками.

Расход воды на наружное пожаротушение принимают в зависимости от объема здания, степени огнестойкости его строительных конструкций, а также от категории помещения по взрывопожарной и пожарной опасности (табл.4.2, 4.3, 4.4) [13].

### 4.3. Первичные средства пожаротушения

Все производственные, складские, вспомогательные и административные здания и сооружения, а также отдельные помещения и технологические установки должны быть обеспечены огнетушителями, пожарным инвентарем (бочки для воды, ведра пожарные, ткань асбестовая, ящики с песком, пожарные щиты и стенды) и пожарным инструментом (багры, ломы, топоры, ножницы и др.), которые используются для локализации и ликвидации небольших загораний, а также пожаров в их начальной стадии развития.

В соответствии с Правилами противопожарного режима [9] при определении видов и количества первичных средств пожаротушения следует учитывать физико-химические и пожароопасные свойства горючих веществ, их

взаимодействие с огнетушащими веществами, а также площадь производственных помещений, открытых площадок и установок.

Комплектование технологического оборудования огнетушителями осуществляется согласно требованиям технических условий (паспортов) на это оборудование.

Выбор типа и расчет необходимого количества огнетушителей на объекте (в помещении) осуществляется в соответствии с табл.4.5.

Для тушения пожаров различных классов порошковые огнетушители должны иметь соответствующие заряды:

- для пожаров класса А – порошок АВСЕ;
- для пожаров классов В, С, Е – порошок ВСЕ или АВСЕ;
- для пожаров класса D – порошок D.

В замкнутых помещениях объемом не более 50 куб. метров для тушения пожаров вместо переносных огнетушителей (или дополнительно к ним) могут быть использованы огнетушители самосрабатывающие порошковые.

Выбор огнетушителя (передвижной или ручной) обусловлен размерами возможных очагов пожара. При значительных размерах возможных очагов пожара необходимо использовать передвижные огнетушители. Если возможны комбинированные очаги пожара, то предпочтение при выборе огнетушителя отдается более универсальному по области применения.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже размещается не менее 2 ручных огнетушителей.

Помещение категории Д по взрывопожарной и пожарной опасности не оснащается огнетушителями, если площадь этого помещения не превышает 100 кв. метров. При наличии нескольких помещений одной категории пожарной опасности, суммарная площадь которых не превышает предельную защищаемую площадь, размещение в этих помещениях огнетушителей осуществляется с учетом: расстояние от возможного очага пожара до места размещения огнетушителя не должно превышать 20 метров для общественных зданий и сооружений, 30 метров – для помещений категорий А, Б и В по взрывопожарной и пожарной опасности, 40 метров – для помещений категории Г по взрывопожарной и пожарной опасности, 70 метров – для помещений категории Д по взрывопожарной и пожарной опасности.

При защите помещений с вычислительной техникой, телефонных станций, музеев, архивов и т. д. следует учитывать специфику взаимодействия огнетушащих веществ с защищаемым оборудованием, изделиями и материалами. Указанные помещения следует оборудовать хладоновыми и углекислотными огнетушителями.

Помещения, оборудованные автоматическими стационарными установками пожаротушения, обеспечиваются огнетушителями на 50 процентов от расчетного количества огнетушителей.

Каждый огнетушитель, установленный на объекте, должен иметь паспорт и порядковый номер, нанесенный на корпус белой краской. Запускающее или запорно-пусковое устройство огнетушителя должно быть опломбировано одноразовой пластиковой номерной контрольной пломбой роторного типа.

Опломбирование огнетушителя осуществляется заводом-изготовителем при производстве огнетушителя или специализированными организациями при регламентном техническом обслуживании или перезарядке огнетушителя. На одноразовую номерную контрольную пломбу роторного типа наносятся следующие обозначения:

- индивидуальный номер пломбы;
- дата в формате квартал-год;
- модель пломбировочного устройства;
- символ завода-изготовителя пломбировочного устройства.

Контрольные пломбы с ротором белого цвета используются для опломбирования огнетушителей, произведенных заводом-изготовителем. Контрольные пломбы с ротором желтого цвета используются для опломбирования огнетушителей после проведения регламентных работ специализированными организациями.

Руководитель организации обеспечивает наличие и исправность огнетушителей, периодичность их осмотра и проверки, а также своевременную перезарядку огнетушителей. Учет наличия, периодичности осмотра и сроков перезарядки огнетушителей, а также иных первичных средств пожаротушения ведется в специальном журнале произвольной формы.

В зимнее время (при температуре ниже +1 °С) огнетушители с зарядом на водной основе необходимо хранить в отапливаемых помещениях.

Огнетушители, размещенные в коридорах, проходах, не должны препятствовать безопасной эвакуации людей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,5 метра.

Для размещения первичных средств пожаротушения, немеханизированного пожарного инструмента и инвентаря в зданиях, сооружениях, строениях и на территориях оборудуются пожарные щиты. Требуемое количество пожарных щитов для зданий, сооружений, строений и территорий определяется в соответствии с табл.4.6 [9]. Пожарные щиты комплектуются немеханизированным пожарным инструментом и инвентарем согласно табл.4.7.

Бочки для хранения воды, устанавливаемые рядом с пожарным щитом, должны иметь объем не менее 0,2 куб. метра и комплектоваться ведрами. Ящики для песка должны иметь объем 0,5 куб. метра и комплектоваться совковой лопатой. Ящики с песком, как правило, устанавливаются со щитами в помещениях или на открытых площадках, где возможен разлив легковоспламеняющихся или горючих жидкостей.

Для помещений и наружных технологических установок категорий А, Б и В по взрывопожарной и пожарной опасности предусматривается запас песка 0,5 куб. метра на каждые 500 кв. метров защищаемой площади, а для помещений и наружных технологических установок категорий Г и Д по взрывопожарной и пожарной опасности – не менее 0,5 куб. метра на каждые 1000 кв. метров защищаемой площади.

Асбестовые полотна, полотна из грубошерстной ткани или из войлока должны иметь размер не менее 1 х 1 метра. В помещениях, где применяются и (или) хранятся легковоспламеняющиеся и (или) горючие жидкости, размеры полотен должны быть не менее 2 х 1,5 метра. Полотна хранятся в водонепроницаемых закрывающихся футлярах (чехлах, упаковках), позволяющих быстро применить эти средства в случае пожара. Указанные полотна должны не реже 1 раза в 3 месяца просушиваться и очищаться от пыли.

Использование первичных средств пожаротушения, немеханизированного пожарного инструмента и инвентаря для хозяйственных и прочих нужд, не связанных с тушением пожара, запрещается.

### **ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ**

Используя исходные данные, представленные в табл.4.8, 4.9, выполнить самостоятельное задание, для чего:

- 1) по табл.4.1 определить класс пожара;
  - 2) определить класс помещения по способу размещения пожарной нагрузки и способ пожаротушения;
  - 3) определить нормы оснащения помещений ручными огнетушителями (табл.4.5);
  - 4) определить нормы оснащения зданий, строений и территорий пожарными щитами (табл.4.6) и комплектации пожарных щитов немеханизированным инструментом и инвентарем (табл.4.7);
  - 5) определить расход воды на внутреннее и наружное пожаротушение (табл.4.2, 4.3, 4.4) в соответствии с условием задания.
- Полученные результаты занести в табл.4.10.

Таблица 4.2

Расход воды на наружное пожаротушение  
зданий класса функциональной пожарной опасности Ф5

Степень огнестойкости зданий	Класс конструктивной пожарной опасности зданий	Категория зданий по взрывопожарной и пожарной опасности	Расход воды на наружное пожаротушение зданий с фонарями, а также зданий без фонарей шириной не более 60 м на 1 пожар, л/с, при объеме зданий, тыс. м <sup>3</sup>						
			не более 3	более 3, но не более 5	более 5, но не более 20	более 20, но не более 50	более 50, но не более 200	более 200, но не более 400	более 400, но не более 600
I и II	C0, C1*	Г, Д	10	10	10	10	15	20	25
I и II	C0, C1*	А, Б, В	10	10	15	20	30	35	40
III	C0, C1*	Г, Д	10	10	15	25	35	–	–
III	C0, C1*	А, Б, В	10	15	20	30	45	–	–
IV	C0, C1*	Г, Д	10	15	20	30	40	–	–

Таблица 4.3

Расход воды на наружное пожаротушение  
зданий надземных автостоянок закрытого и открытого типов

Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Расход воды на наружное пожаротушение зданий автостоянок на один пожар, л/с, при объемах зданий (пожарного отсека), тыс. м <sup>3</sup>			
		до 5	свыше 5 до 20	свыше 20 до 50	свыше 50
I, II, III	C0, C1	10	15	20	30
IV	C0, C1	10	15	20	–
IV	C2, C3	20	25	–	–
V	не нормируется	20	–	–	–



Таблица 4.4

Число пожарных стволов и минимальный расход воды  
на внутреннее пожаротушение в производственных и складских зданиях

Степень огнестойкости зданий	Категория зданий по пожарной опасности	Число пожарных стволов и минимальный расход воды (л/с), на 1 пожарный ствол, на внутреннее пожаротушение в производственных и складских зданиях высотой до 50 м включ. и объемом, тыс. м <sup>3</sup> . Знак «-» обозначает необходимость разработки специальных ТУ				
		от 0,5 до 5 включ.	св. 5 до 50 включ.	св. 50 до 200 включ.	св. 200 до 400 включ.	св. 400 до 800 включ.
I и II	А, Б, В	2×2,5	2×5	2×5	3×5	4×5
III	В	2×2,5	2×5	2×5	–	–
III	Г, Д	*	2×2,5	2×2,5	–	–
IV и V	В	2×2,5	2×5	–	–	–
IV и V	Г, Д	*	2×2,5	–	–	–

Примечание. Знак «\*» обозначает, что пожарные стволы не требуются.

Таблица 4.5

Нормы оснащения помещений ручными  
огнетушителями (за исключением автозаправочных станций)

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности	Предельная защищаемая площадь, м <sup>2</sup>	Класс пожара	Огнетушители (штук)*							
			пенные и водные (емкостью 10 л)	порошковые (емкость огнетушащего вещества), кг			хладоновые (емкостью 2 (3), л)	углекислотные (емкостью огнетушащего вещества), л		воздушно-мультизонные
				2/2	5/4	10/9		2/2	5 (8) или 3 (5)	
А, Б, В	200	А	2++	–	2+	1++	–	–	–	1++
		В	4+	–	2+	1++	4+	–	–	1++
		С	–	–	2+	1++	4+	–	–	1++
		Д	–	–	2+	1++	–	–	–	1++
		Е	–	–	2+	1++	–	–	2++	–
В	400	А Д Е	2++	4+	2++	1+	–	–	2+	1++
			–	–	2+	1++	–	–	–	1++
			–	–	2++	1+	2+	4+	2++	–
Г	800	В	2+	–	2++	1+	–	–	–	2++
		С	–	4+	2++	1+	–	–	–	2++

## Окончание табл.4.5

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности	Предельная защищаемая площадь, м <sup>2</sup>	Класс пожара	Огнетушители (штук)*							
			пенные и водные (вместимостью 10 л)	порошковые (вместимость огнетушащего вещества), кг			хладоновые (вместимостью 2 (3), л)	углекислотные (вместимостью огнетушащего вещества), л		воздушноэмульсионные
				2/2	5/4	10/9		2/2	5 (8) или 3 (5)	
Г, Д	1800	А Д	2++	4+	2++	1+	–	–	–	4++
			–	–	2+	1++	–	–	–	4++
		Е	–	2+	2++	1+	2+	4+	2++	–
Общественные здания	800	А	4++	8+	4++	2+	–	–	4+	2++
		Е	–	–	4++	2+	4+	4+	2++	–

\*Помещения оснащаются одним из 4 представленных в настоящей таблице видов огнетушителей с соответствующей вместимостью (массой).

Таблица 4.6

## Нормы оснащения зданий, строений и территорий пожарными щитами

Наименование функционального назначения помещений и категория помещений или наружных технологических установок по взрывопожарной и пожарной опасности	Предельная защищаемая площадь 1 пожарным щитом, м <sup>2</sup>	Класс пожара	Тип щита
А, Б и В	200	А В Е	ЩП-А ЩП-В ЩП-Е
В	400	А Е	ЩП-А ЩП-Е
Г и Д	1800	А В Е	ЩП-А ЩП-В ЩП-Е
Помещения и открытые площадки предприятий (организаций) по первичной переработке сельскохозяйственных культур	1000	–	ЩП-СХ
Помещения различного назначения, в которых проводятся огневые работы	–	А	ЩПП

\* – условные обозначения щитов:

- ЩП–А – щит пожарный для очагов пожара класса А;
- ЩП–В – щит пожарный для очагов пожара класса В;
- ЩП–Е – щит пожарный для очагов пожара класса Е;

- ЩП–СХ – щит пожарный для сельскохозяйственных предприятий (организаций);
- ЩПП – щит пожарный передвижной.

Таблица 4.7

Нормы комплектации пожарных щитов  
немеханизированным инструментом и инвентарем

Наименование первичных средств пожаротушения, немеханизированного инструмента и инвентаря		Нормы комплектации в зависимости от типа пожарного щита и класса пожара				
		ЩП-А класс А	ЩП-В класс В	ЩП-Е класс Е	ЩП-СХ	ЩПП
1	Огнетушители: воздушно-пенные (ОВП) вместимостью 10 л	2+	2+	–	2+	2+
	порошковые (ОП) вместимостью, л/ массой огнетушащего состава, кг					
	10/9	1++	1++	1++	1++	1++
	или					
	5/4	2+	2+	2+	2+	2+
	углекислотные (ОУ) вместимостью, л/ массой огнетушащего состава, кг					
	5/3	–	–	2+	–	–
2	Лом	1	1	–	1	1
3	Багор	1	–	–	1	–
4	Крюк с деревянной рукояткой	–	–	1	–	–
5	Ведро	2	1	–	2	1
6	Комплект для резки электропроводов: ножницы, диэлектрические боты и коврик	–	–	1	–	–
7	Покрывало для изоляции очага возгорания	–	1	1	1	1
8	Лопата штыковая	1	1	–	1	1
9	Лопата совковая	1	1	1	1	–
10	Вилы	–	–	–	1	–
11	Тележка для перевозки оборудования	–	–	–	–	1
12	Емкость для хранения воды объемом:					
	0,2 м <sup>3</sup>	1	–	–	1	–
	0,02 м <sup>3</sup>	–	–	–	–	1
13	Ящик с песком 0,5 м <sup>3</sup>	–	1	1	–	–
14	Насос ручной	–	–	–	–	1
15	Рукав Ду 18-20 длиной 5 м	–	–	–	–	1
16	Защитный экран 1,4 х 2 м	–	–	–	–	6
17	Стойки для подвески экранов	–	–	–	–	6

Примечание.

Знаком «++» обозначены рекомендуемые для оснащения объектов огнетушители, знаком «+» – огнетушители, применение которых допускается при отсутствии рекомендуемых и при соответствующем обосновании, знаком «-» – огнетушители, которые не допускаются для оснащения данных объектов.

Таблица 4.8

Перечень производственных цехов и помещений

Номер варианта	Производственное помещение
1	Малярный цех
2	Гараж
3	Распределительные устройства с $U = 1000$ В
4	Электросварочный участок
5	Книгохранилище
6	Архив
7	Газонаполнительный участок
8	Цех по приготовлению сахарной пудры
9	Мукомольный цех
10	Склад резинотехнических изделий
11	Малярный цех
12	Гараж
13	Распределительные устройства с $U = 1000$ В
14	Электросварочный участок
15	Книгохранилище
16	Архив
17	Газонаполнительный участок
18	Цех по приготовлению сахарной пудры
19	Мукомольный цех
20	Склад бытовой техники

Таблица 4.9

## Исходные данные для выполнения задания

Номер варианта	Категория помещения по взрывопожарной опасности	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Оборудование и предметы, находящиеся в помещении	Основные сгораемые материалы	Сценарий возникновения пожара	Площадь помещения, м <sup>2</sup>	Высота помещения, м
1	А	II	С1	Стол для размещения обезжириваемых деталей	Толуол	Пролив толуола на $S = 5 \text{ м}^2$ , воспламенение	90	3,5
2	В	III	С1	Автомобили	Дизельное топливо	Течь дизельного топлива из неисправного бака ( $S = 3 \text{ м}^2$ )	1000	6,0
3	Г	III	С1	Электрооборудование	Эл. изоляция	Появление электрической дуги	50	5,0
4	Г	III	С0	Сварочные аппараты	Эл. изоляция	Появление электрической искры	200	5,0
5	В	II	С0	Книги, журналы	Бумага	Короткое замыкание	300	3,0
6	В	I	С0	Документы	Бумага	Короткое замыкание	500	4,5
7	А	I	С0	Газовые баллоны	Метан	Утечка газа в помещение, воспламенение газа	550	6,0
8	Б	II	С1	Аппарат для измельчения сахара	Сахарная пудра	Выброс сахарной пудры из аппарата, воспламенение	800	6,0
9	Б	I	С0	Аппарат для измельчения зерна	ука	Воспламенение мучной пыли на поверхности оборудования	700	5,0

Окончание табл.4.9

Номер варианта	Категория помещения по взрывопожарной опасности	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Оборудование и предметы, находящиеся в помещении	Основные сгораемые материалы	Сценарий возникновения пожара	Площадь помещения, м <sup>2</sup>	Высота помещения, м
10	В	III	C1	Автомобильные покрышки	Резина	Короткое замыкание	1000	6,0
11	А	I	C0	Стол для размещения обезжириваемых деталей	Ацетон	Пролив ацетона на S = 3 м <sup>2</sup> , воспламенение	100	3,0
12	В	II	C2	Резинотехнические изделия	Резина	Короткое замыкание	100	3,0
13	В	II	C1	Электрооборудование	Эл. изоляция	Появление электрической дуги	150	6,0
14	В	II	C1	Сварочные аппараты	Эл. изоляция	Появление электрической искры	400	3,5
15	В	III	C1	Книги	Бумага	Короткое замыкание	200	3,0
16	В	II	C1	Документы	Бумага	Короткое замыкание	200	2,5
17	А	II	C1	Газовые баллоны	Бутан	Утечка газа в помещение, воспламенение газа	350	3,0
18	Б	I	C0	Классификатр	Сахарная пудра	Выброс сахарной пудры из аппарата, воспламенение	500	5,0
19	Б	II	C1	Размольное оборудование	Мука	Повышенная запыленность, воспламенение	500	5,0
20	В	III	C1	Бытовая техника	Пластик	Короткое замыкание	2000	6,0

Таблица 4.10

## Оформление результатов работы

Класс пожара	Оснащение ручными огнетушителями	Оснащение пожарными щитами	Расход воды на пожаротушение		Комплектация пожарных щитов
			внутреннее	наружное	

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА И ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

**Цель занятия.** Ознакомится с параметрами пожара, методикой определения характеристик пожарной нагрузки, площади и динамикой развития пожара

### 5.1. Общие положения

Знание закономерностей изменения параметров пожара необходимо для обеспечения безопасности людей, разработки мер по предотвращению распространения пожаров, для проектирования систем автоматического обнаружения и тушения, планирования сил и средств, необходимых при ликвидации пожаров.

Непосредственной причиной возникновения процесса горения и, следовательно, пожара является источник зажигания. Им может быть в принципе любой источник тепла достаточной мощности (бытовой кипятильник, рефлектор и т. д.). Во многих случаях пожар начинается с прогрева локального участка поверхности горючего материала и образования над ним горючей смеси, которая затем воспламеняется. Лучистый тепловой поток от образовавшегося факела нагревает соседние участки поверхности, вызывая образование и воспламенение над ними горючей смеси, то есть начинается процесс распространения пламени по поверхности, увеличение площади пожара. С ростом площади пожара увеличивается объем зоны горения и, соответственно, площадь излучения, конвективные потоки. Все это приводит к повышению среднеобъемной температуры и, как следствие, температуры всех предметов и материалов, находящихся в помещении. В свою очередь, рост температуры материалов сопровождается увеличением линейной скорости распространения фронта пламени.

По характеру теплового воздействия на ограждающие конструкции зданий пожары подразделяются на *локальные и объемные*.

*Локальные пожары* характеризуются слабым тепловым воздействием на ограждения. Они развиваются при избытке воздуха, то есть при превышении теоретически необходимого для горения его количества.

*Объемные пожары* характеризуются значительными тепловыми воздействиями на ограждающие конструкции. Для объемного пожара, регулируемого вентиляцией, характерно наличие между факелом пламени и ограждающими поверхностями дымовой прослойки, при этом процесс горения происходит при избытке воздуха, сопоставимым с аналогичным параметром для открытых пожаров. Для объемного пожара в помещении, регулируемом пожарной нагрузкой, характерно отсутствие дымовой прослойки между пламенем и ограждением.

Объемные пожары в ограждениях принято называть открытыми пожарами. Пожары, протекающие в помещениях при закрытых дверных и оконных проемах, относят к закрытым пожарам.

*Скорость распространения горения* представляет собой физическую величину, характеризующую поступательное движение фронта пламени в



единицу времени. Она зависит от вида и природы горючих веществ и материалов, от начальной температуры, способности горючего к воспламенению, интенсивности газообмена на пожаре, плотности теплового потока на поверхности веществ и материалов и других факторов.

Под *температурой пожара* в помещениях понимают среднеобъемную температуру газовой среды в помещении, под температурой пожара на открытых пространствах – температуру пламени. Температура пожаров в ограждениях, как правило, ниже, чем на открытых пространствах.

Одним из главных параметров, характеризующих процесс горения, является *тепловая мощность пожара*. Это величина равна по значению теплоте, выделяющейся на пожаре за единицу времени. Она определяется массовой скоростью выгорания материалов и их теплотворными способностями.

### ***5.1.1. Горение твердых веществ и материалов. Открытые пожары***

Большинство пожаров связано с горением твердых горючих материалов (ТГМ) (древесина, целлюлоза, шерсть, полимерные материалы, металлы). Механизм горения ТГМ разнообразнее и сложнее. Большинство ТГМ, как известно, горят в пламенном режиме (гомогенное горение). Образование газообразных горючих веществ связано с разложением ТГМ при нагревании - пиролизом. При пиролизе ТГМ происходит разрыв химических связей в молекулах горючего и образование промежуточных веществ с относительно низкой молекулярной массой. Пламенное горение возможно в том случае, если концентрация горючих продуктов пиролиза лежит в области концентрационных пределов распространения пламени. Непрерывное поступление горючих паров и газов в зону горения поддерживается интенсивным тепловым потоком от пламени к поверхности ТГМ. Имеет значение пространственное расположение поверхности ТГМ по отношению к пламени, так как передача тепла может осуществляться не только лучистым потоком, но и конвекцией и теплопроводностью.

Наиболее распространенным ТГМ является древесина, горение которой сопровождается образованием углеродного остатка.

После выхода летучих продуктов пиролиза и угасания пламени нагретый углеродный остаток поверхности древесины непосредственно вступает в контакт с воздухом, начинается заключительная стадия горения – «тление» или беспламенное горение – поверхностное окисление твердого материала (гетерогенное горение). Надо отметить, что самоподдерживающееся тлеющее горение характерно не только для древесины, но и для бумаги, целлюлозных тканей, опилок, латексной резины и т. д. Максимальная температура тления целлюлозных материалов 600–750 °С. Скорость распространения тлеющего горения (линейная скорость) составляет 0,01 мм/с.

Характерным параметром горения ТГМ является массовая скорость выгорания.

Характер горения металлов во многом определяется значениями температур плавления и кипения самого металла и образующейся окиси, которая создает пленку на поверхности горящего материала. Горение металлов, как правило, наблюдается в том случае, если они находятся в виде стружки, порошков, аэрозолей.

К открытым пожарам, связанным с горением твердых горючих материалов, относятся: пожары на складах лесоматериалов, лесные пожары, пожары торфополей, а также пожары хлебных массивов и степные пожары.

На этих пожарах горение происходит в естественных условиях, не ограниченных строительными конструкциями. За температуру таких пожаров принимают температуру пламени. Газообмен в большой степени зависит от внешних естественных газовых потоков: интенсивности и направления ветра.

Зона горения определяется, главным образом, распределением горючих веществ в пространстве и формирующими ее конвективными газовыми потоками. Зона теплового воздействия на земле определяется преимущественно лучистым тепловым потоком, так как конвективные тепловые потоки уходят вверх.

### ***5.1.2. Динамика внутренних пожаров***

Динамикой любого процесса, в том числе пожара, называется зависимость его параметров от времени.

Если помещение имеет большой свободный объем (обычно более 1000 м<sup>3</sup>) или большие открытые проемы, процесс распространения пожара протекает путем постепенного охвата пламенем предметов (изделий, материалов) одного за другим. В помещениях меньшего объема при достижении среднеобъемной температуры 300–350 °С и наличии воздуха содержание газообразных продуктов пиролиза достигает нижнего концентрационного предела распространения пламени. В этом случае скорость распространения пламени достигает максимального значения, поскольку процесс происходит уже не по поверхности, а по объему газовой среды. Скорость распространения пламени по газу составляет от нескольких метров до сотен метров в секунду в зависимости от состава газа. Внешне это воспринимается как объемная вспышка, то есть одновременное воспламенение всех горючих материалов, которые находятся в помещении. В результате свободный объем помещения превращается в зону горения (объемный пожар). Обычно это сопровождается разрушением остекления проемов вследствие резкого нарастания давления. Соответственно в помещение начинает поступать свежий воздух.

Если свободный объем помещения мал, то при объемном пожаре быстро расходуется запас кислорода, массовая скорость выгорания и, соответственно, интенсивность тепловыделения начинают постепенно уменьшаться. Температура также снижается. В герметичном помещении может произойти самопроизвольное затухание пожара. Однако на практике это бывает редко. Как правило, всегда есть приток воздуха через неплотно закрытые проемы, щели, а температура газовой среды в помещении успевает достичь температуры

воспламенения горючих материалов. Поэтому через какое-то время, в зависимости от скорости притока воздуха, в помещении создается горючая смесь продуктов пиролиза с воздухом и горение интенсифицируется.

Если во время «затухания» обеспечить доступ воздуха в помещение (например, открыв дверь), произойдет мгновенное образование и воспламенение горючей смеси. А поскольку объем продуктов сгорания больше объема исходной смеси, в помещении резко возрастет давление и произойдет выброс нагретых газов. Такая вспышка может быть причиной травмирования или гибели пожарных при тушении пожаров в подвалах, банях-саунах, гаражах, холодильниках. Данная стадия пожара, в течение которой продолжается распространение фронта пламени, называется начальной.

После того как рост площади пожара в данном помещении прекращается, начинается вторая стадия – стадия развития, во время которой, при наличии достаточного притока воздуха, увеличивается скорость выгорания горючих веществ, теплота пожара, растет температура газовой среды. В конце этой стадии прекращается изменение параметров процессов тепло- и газообмена, температура достигает максимального значения и начинается третья стадия пожара – стационарная. При свободном развитии пожара горючие материалы постепенно выгорают, и пожар переходит в стадию затухания.

## 5.2. Определение характеристик пожарной нагрузки [14]

*Пожарная нагрузка* это количество теплоты, которое может выделиться в помещении при пожаре.

Собственно *пожарной нагрузкой*  $P_{пн}$  называется масса горючих веществ и материалов, приходящаяся на единицу площади их размещения ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ):

$$P_{пн} = m/F_{\text{пола}}, \quad (5.1)$$

Степень доступности поверхности горючего для окислителя характеризуется *коэффициентом поверхности*. Он равен отношению площади поверхности горения  $F_{пг}$  к площади пожара  $F_{п}$ :

$$K_{п} = F_{пг}/F_{п}. \quad (5.2)$$

*Массовая скорость выгорания*  $v_{м}$  ( $\text{кг}/\text{с}$ ) представляет собой массу вещества или материала  $\Delta m$ , сгорающего в единицу времени:

$$v_{м} = \Delta m/\Delta \tau. \quad (5.3)$$

*Приведенная массовая скорость выгорания*  $v'_{м}$  ( $\text{кг}/\text{с}\cdot\text{м}^2$ ) определяется по формуле

$$v'_{м} = v_{м}/F_{п}.$$

Отношение  $v_m / F_{\text{пг}}$  представляет собой удельную массовую скорость выгорания и обозначается  $v_m$ .

Интенсивность тепловыделения (теплота пожара)  $q_{\text{п}}$ , кВт, показывает, какое количество тепла выделяется при горении пожарной нагрузки в единицу времени и определяется выражением:

$$q_{\text{п}} = \beta \cdot v_m \cdot Q_{\text{н}}, \quad (5.4)$$

где  $\beta$  – коэффициент полноты сгорания;  
 $v_m$  – массовая скорость выгорания, кг/с;  
 $Q_{\text{н}}$  – низшая теплота сгорания, кДж/кг.

### **Пример**

Определить параметры пожарной нагрузки для помещения площадью  $10 \text{ м}^2$ , в котором находится штабель древесины. Штабель выложен из 36 брусков, размером  $1 \times 0,1 \times 0,1$  м шириной в 9 рядов. При данных условиях за 20 мин выгорает 20 % его массы. Плотность древесины принять равной  $500 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент полноты сгорания – 0,9. Элементный состав древесины: С = 40 %, Н = 4 %, N = 16 %, О = 10 %, влага (W) – 15 %, остальное – зола. Строительные конструкции выполнены из негоряемых материалов.

### **Решение**

1) Пожарная нагрузка в данном случае состоит только из штабеля, так как строительные конструкции являются негорючими. Суммарная масса всех брусков равна:

$$(1 \cdot 0,1 \cdot 0,1) \cdot 36 \cdot 500 = 180 \text{ кг}.$$

Следовательно,

$$P_{\text{пн}} = \frac{180}{10} = 18 \text{ кг/м}^2.$$

2) Для расчета  $K_{\text{п}}$  необходимо сначала вычислить  $F_{\text{пг}}$ , учитывая, что поверхность брусков в местах их пересечений друг с другом гореть не будет.

Введем обозначения:  $N$  – число брусков в штабеле;  $a$ ,  $b$  и  $L$  – ширина, толщина и длина бруска соответственно;  $n$  – число рядов.

В нашем случае  $a = b$ . Поэтому общая площадь поверхности всех брусков равна

$$9aL + 2(4aL) + 2(36a^2), \quad (5.5)$$

площадь одного пересечения –  $a^2$ .

Таким образом, для штабеля, выложенного из брусков:

$$F_{\text{пг}} = 9aL + 2(4aL) + 2(36a^2) = 0,9 + 0,8 + 0,72 = 2,42.$$

Площадь пожара, по определению, равна площади проекции зоны горения на горизонтальную (в данном случае) плоскость, то есть

$$F_{\text{п}} = a \cdot N \cdot L.$$

Подставим соответствующие значения в формулу и получим:

$$K_{\text{п}} = \frac{F_{\text{пг}}}{F_{\text{п}}} = \frac{2,42}{0,4} = 6,05.$$

3) Находим массовую скорость выгорания. Масса штабеля составляет 180 кг. За 20 мин выгорает 20 % его массы:  $0,2 \cdot 180 = 36$  кг.

Следовательно:

$$v_{\text{м}} = \frac{36}{20} = 1,8 \text{ кг/мин или } 0,03 \text{ кг/с.}$$

Приведенная массовая скорость выгорания:

$$v'_{\text{м}} = \frac{1,8}{0,4} = 4,5 \text{ кг/мин} \cdot \text{м}^2 \text{ или } 0,08 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2.$$

Удельная массовая скорость выгорания:

$$v_{\text{м}} = \frac{1,8}{2,42} = 0,74 \text{ кг/мин} \cdot \text{м}^2 \text{ или } 0,01 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2.$$

4) Определяем интенсивность тепловыделения. Для этого сначала рассчитаем  $Q_{\text{н}}$ . Так как древесина является веществом сложного состава, расчет ведем по формуле:

$$Q_{\text{н}} = 339 \cdot C + 1256 \cdot H - 109 \cdot (O - S) - 25,1 \cdot (9 \cdot H + W).$$
$$Q_{\text{н}} = 339 \cdot 40 + 1256 \cdot 4 - 109 \cdot (10 - 0) - 25,1 \cdot (9 \cdot 4 + 15) = 16213,9. \text{ кДж/кг}$$

Подставив полученное значение в формулу для определения  $q_{\text{п}}$  и выразив  $v_{\text{м}}$  в кг/с, получим

$$q_{\text{п}} = 0,9 \cdot 0,03 \cdot 16213,9 = 437,8 \text{ кВт.}$$

Ответ:  $P_{\text{пн}} = 18 \text{ кг/м}^2$ ;  $K_{\text{п}} = 6,05$ ;  $v_{\text{м}} = 0,03 \text{ кг/с}$ ;  $v'_{\text{м}} = 0,08 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$ ;  $v_{\text{м}} = 0,01 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$ ;  $q_{\text{п}} = 437,8 \text{ кВт.}$

### 5.3. Расчет площади и построение графика развития пожара

При расчете площади пожара принимается ряд допущений:

1) пожарная нагрузка в помещении распределена равномерно по всей площади пола. Это означает, что распространение фронта пламени происходит

непрерывно;

2) фронт пламени распространяется обязательно во все стороны и с одинаковой скоростью. Следовательно, площадь пожара может иметь только форму круга, полукруга, четверти круга, сектора, прямоугольника или квадрата;

3) в первые 10 минут свободного развития пожара линейная скорость распространения фронта пламени  $v_{л}$  равна половине значения. То есть при  $\tau \leq 10$  мин  $v_{л} = 0,5v_{л}$ ; при  $\tau > 10$  мин  $v_{л} = v_{л}$ .

4) когда фронт пламени достигает ограждающей конструкции, его форма сразу становится прямоугольной.

Таким образом, площадь пожара  $F_{п}$  рассчитывается по следующим основным формулам (рис.5.1).

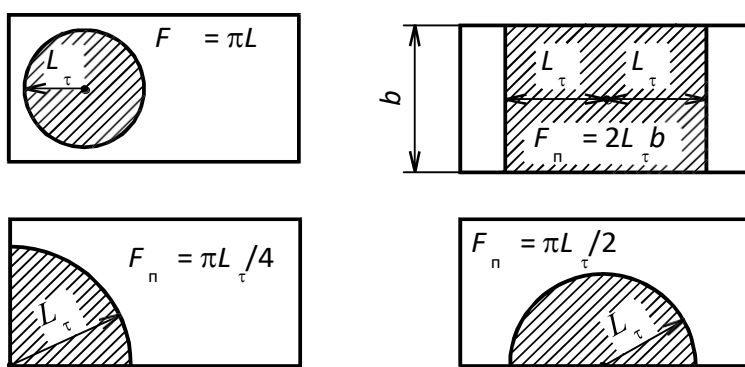


Рис.5.1. Форма площади пожара  
(● – место возникновения пожара)

Учитывая, что в начальной стадии развития пожара (длительность которой принимается равной 10 мин)  $v_{л} = 0,5v_{л}$  (м/мин), путь, пройденный фронтом пламени к моменту  $\tau$ , будет равен:

$$L_{\tau} = 0,5v_{л} \cdot \tau \text{ при } \tau \leq 10 \text{ мин}; \quad (5.6)$$

$$L_{\tau} = L_{10} + L_{\tau-10} = 5v_{л} + v_{л}(\tau - 10) \text{ при } \tau > 10 \text{ мин}. \quad (5.7)$$

Здесь  $L_{10}$  – путь, который проходит фронт пламени за первые 10 мин;

$$L_{10} = 0,5v_{л} \cdot 10 = 5v_{л}, \text{ м};$$

$L_{\tau-10}$  – путь, который проходит фронт пламени за оставшееся после 10 мин время  $(\tau - 10)$ :  $L_{\tau-10} = v_{л}(\tau - 10)$ , м.

Расчет площади пожара на заданный момент времени целесообразно проводить в следующей последовательности:

- найти  $L_{\tau}$ ;
- по плану помещения установить, где будет находиться фронт пламени;
- учитывая, что при достижении ограждающих конструкций фронт пламени спрямляется, определить форму полученной геометрической

фигуры;

– найти площадь пожара.

Графиком развития пожара называется зависимость его площади от времени  $F_{\text{п}} = f(\tau)$ . Его необходимо построить для моментов времени, указанных в задании.

### Пример

Рассчитать площадь пожара на 5-й, 15-й и 20-й минутах с момента его возникновения (рис.5.2), если скорость распространения равна 1,2 м/мин, а предел огнестойкости двери – 0,2 ч.

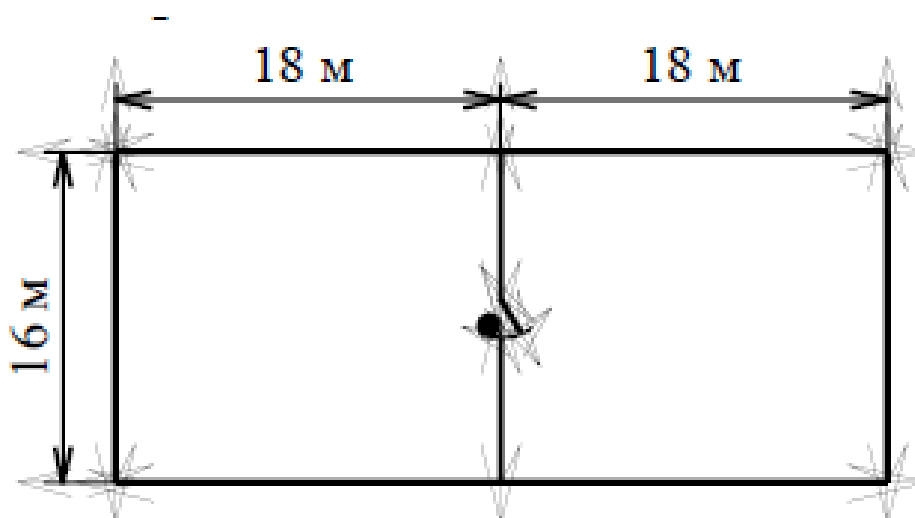


Рис.5.2. План помещения  
(● – место возникновения пожара)

### Решение

1) Поскольку пожар возник возле двери, отсчет предела ее огнестойкости начнется сразу. Тогда в правое помещение пламя проникнет через  $0,2 \cdot 60 = 12$  мин с момента возникновения пожара. До 12-й минуты пожар будет распространяться только в одном помещении.

2) За 5 минут фронт пламени пройдет расстояние  $L_5 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 5 = 3$  м. До ближайших боковых стен – 8 м. Следовательно, фронт пламени на 5-й минуте будет иметь форму полукруга (рис.5.3).

$$F_{\text{п}}^5 = 3,14 \cdot 3^2 / 2 = 14 \text{ м}^2.$$

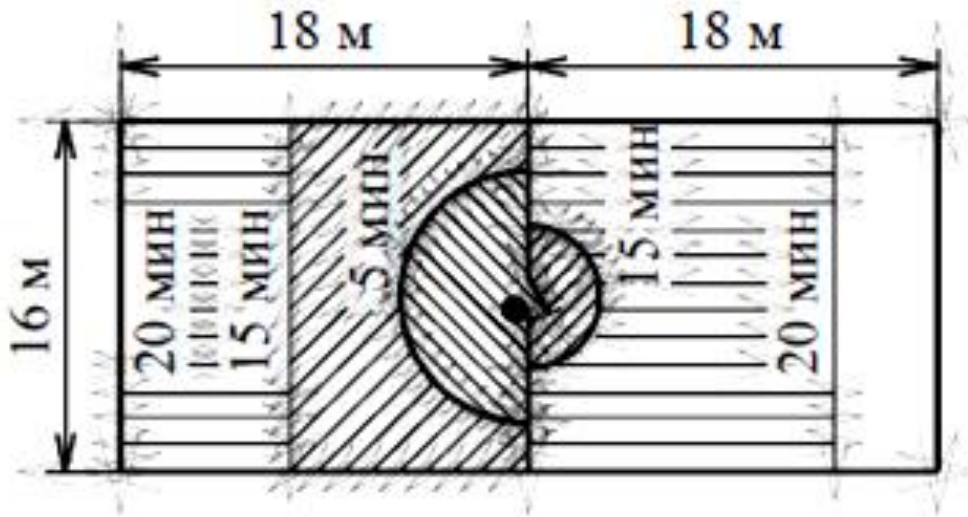


Рис.5.3. План развития пожара

3) За 15 минут фронт пламени может пройти расстояние:

$$L_{15} = 5 \cdot 1,2 + 1,2(15 - 10) = 12 \text{ м.}$$

К этому времени в левом помещении он уже достигнет боковых стен и примет форму прямоугольника размером 16 x 12 м площадью 192 м<sup>2</sup>.

В смежном помещении он будет распространяться всего 15 - 12 = 3 мин (причем скорость его равна  $v_{л}$ , так как  $\tau > 10$  мин).

За это время он пройдет расстояние  $1,2 \cdot 3 = 3,6$  м.

Следовательно, в смежном помещении фронт пламени имеет форму полукруга и площадь, равную

$$\pi \cdot 3,6^2 / 2 = 20 \text{ м}^2.$$

Общая площадь пожара на 15-й минуте:

$$F_{п}^{15} = 16 \cdot 12 + 20 = 212 \text{ м}^2.$$

4) К 20-й минуте фронт пламени может пройти

$$L_{20} = 5 \cdot 1,2 + 1,2(20 - 10) = 18 \text{ м.}$$

Тогда все левое помещение к этому моменту времени будет охвачено пожаром (см. рис.5.3). Однако в правом помещении он будет распространяться 20 - 12 = 8 мин.

За это время он пройдет



$$1,2 \cdot 8 = 9,6 \text{ м}$$

и, достигнув боковых стен, примет форму прямоугольника размером 16х9,6 м. В результате:

$$F_{\Pi}^{20} = 16 \cdot 18 + 16 \cdot 9,6 = 441 \text{ м}^2$$

Таким образом,  $F^5 = 14 \text{ м}^2$ ;  $F^{15} = 212 \text{ м}^2$ ;  $F^{20} = 441 \text{ м}^2$ . По этим данным строим зависимость  $F_{\Pi} = f(\tau)$ , которая называется графиком развития пожара.

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1) Определить параметры пожарной нагрузки (табл.5.1) для помещения площадью  $S$ , в котором находится штабель древесины. Штабель выложен из  $N$  брусков размером  $1 \times 0,05 \times 0,05$  м в  $n$  рядов. Время горения равно  $\tau$ , степень выгорания  $\Delta m$ . Плотность древесины принять равной  $500 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент полноты сгорания  $0,9$ .

Элементный состав древесины: С = 51 %, Н = 6 %, N = 20 %, О = 13 %, влага – 10 %. Строительные конструкции выполнены из негоряемых материалов.

Таблица 5.1

Исходные данные для определения параметров пожарной нагрузки

Номер варианта	$S, \text{ м}^2$	$N$	$n$	$\tau, \text{ мин}$	$\Delta m, \%$
1	15	45	9	25	37
2	13	36	9	20	40
3	20	45	9	15	22
4	23	40	8	15	25
5	14	30	6	10	22
6	18	32	8	10	20
7	21	40	10	15	25
8	17	25	5	10	27
9	10	24	6	10	28
10	12	40	8	20	34
11	16	30	7	20	25
12	19	35	10	15	30
13	20	45	8	10	40
14	12	22	12	22	22

Окончание табл.5.1

Номер варианта	S, м <sup>2</sup>	N	n	τ, мин	Δm, %
15	22	30	6	15	27
16	14	36	9	18	23
17	17	35	7	25	20
18	19	24	5	15	30
19	20	20	10	18	22
20	17	35	15	21	37

2) Определить площадь пожара в помещении (рис.5.4, табл.5.2) на заданные моменты времени: 7, 15, 20, 25 и 30 мин. Построить план и график развития пожара.

Таблица 5.2

Исходные данные для определения площади пожара

Номер варианта	Место возникновения пожара	Масштабный коэффициент, м	Предел огнестойкости дверей, ч	Линейная скорость распространения пламени, м/мин
1	9	10	0,2	0,6
2	7	8	0,1	1
3	5	6	0,2	0,6
4	3	10	0,1	1,2
5	1	8	0,1	0,8
6	2	6	0,3	0,6
7	4	8	0,2	1,2
8	6	8	0,2	1
9	8	10	0,1	1,4
10	10	8	0,2	1,2
11	9	8	0,1	0,6
12	7	10	0,1	1
13	5	8	0,2	0,6
14	3	8	0,3	1,2
15	1	6	0,2	0,8
16	2	8	0,1	0,6
17	4	10	0,2	1,2
18	6	6	0,1	1
19	8	8	0,3	1,4
20	10	10	0,2	1,2

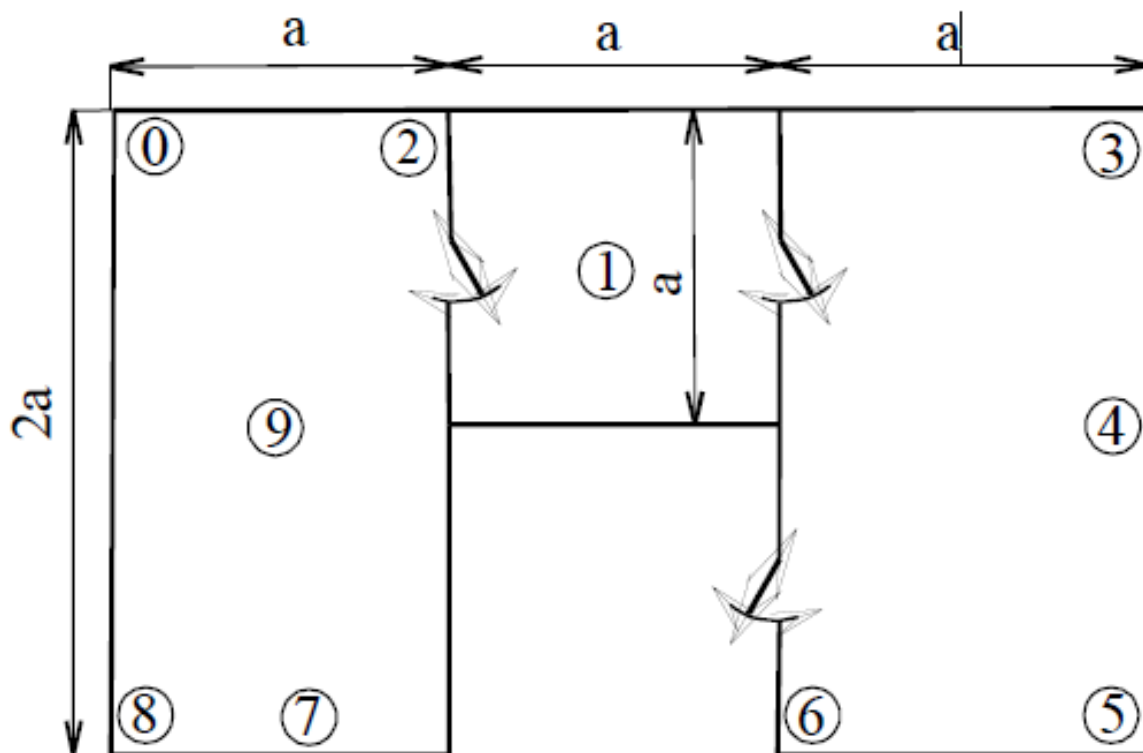


Рис. 5.4. План помещения  
 (○ – место возникновения пожара)

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

*Цель занятия.* Ознакомится с методами категорирования зданий производственного и складского назначения по взрывоопасной и пожарной опасности.

### 6.1. Общие положения

Классификация зданий по взрывопожарной и пожарной опасности применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара [1, б].

По взрывопожарной и пожарной опасности здания подразделяются на категории А, Б, В, Г и Д.

Категории помещений и зданий определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности определяются, исходя из доли и суммированной площади помещений той или иной категории опасности в этом здании.

Классификация зданий по взрывопожарной и пожарной опасности используется при разработке специальных технических условий при проектировании зданий.

### 6.2. Определение категорий зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

Здание относится к **категории А**, если в нем суммарная площадь помещений категории А превышает 5% площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к **категории Б**, если одновременно выполнены два условия:

- здание не относится к категории А;
- суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5% суммарной площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к **категории В**, если одновременно выполнены два условия:

- здание не относится к категориям А или Б;
- суммарная площадь помещений категорий А, Б и В превышает 5% (10%, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категорий А, Б и В в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м<sup>2</sup>) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к **категории Г**, если одновременно выполнены два условия:

- здание не относится к категориям А, Б или В;
- суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г превышает 5% суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м<sup>2</sup>) и помещений категорий А, Б, В оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к **категории Д**, если оно не относится к категориям А, Б, В или Г.

### ***Пример 1***

Определить категорию здания по взрывопожарной и пожарной опасности, состоящего из нескольких помещений.

Здание общей площадью 1000 м<sup>2</sup> состоит из 5 помещений:

- помещение площадью 100 м<sup>2</sup> для хранения сжиженных газов и легковоспламеняющихся жидкостей (категория помещения «А»), помещение оборудовано установкой автоматического пожаротушения;
- помещение площадью 220 м<sup>2</sup> (цех по получению горючих порошков ферросилиция ФС-30, дисперсностью менее 100 мкм (категория помещения «Б»);
- помещение площадью 350 м<sup>2</sup> – столярная мастерская, обработка и складирование древесины (категория помещения В<sub>2</sub>);
- помещение площадью 250 м<sup>2</sup> – кузница (категория помещения «Г»);
- помещение площадью 80 м<sup>2</sup> – токарно-слесарная мастерская (категория помещения «Д»).

### ***Решение***

Здание относится к категории «Б», так как:

- не удовлетворяет нормативному требованию по отнесению зданий к категории «А» (суммарная площадь помещения категории «А» не превышает 25% и помещение оборудовано установкой автоматического

- пожаротушения);
- удовлетворяет нормативному требованию по отнесению зданий к категории «Б» (суммарная площадь помещений категории «А» и «Б» в здании составляет 32% суммарной площади всех помещений, расположенных в здании, что больше 25%).

### **Пример 2**

Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещения здания  $F = 9000 \text{ м}^2$ . В здании находятся помещения категории А суммарной площадью  $F_A = 400 \text{ м}^2$ .

### **Решение**

Суммарная площадь помещений категории А составляет 4,44% и не превышает 5% площади всех помещений здания, но более  $200 \text{ м}^2$ .

Следовательно, здание относится к категории А.

### **Пример 3**

Производственное восьмиэтажное здание. Общая площадь помещений здания  $F = 40000 \text{ м}^2$ . В здании отсутствуют помещения категории А и Б. Площадь помещений категорий В1–В3 составляет  $F_{В1-В3} = 8000 \text{ м}^2$ .

### **Решение**

Суммарная площадь помещений категорий В1–В3 составляет 20% площади всех помещений здания, что более 10%. Следовательно, здание относится к категории В.

## **ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ**

Необходимо выполнить расчеты и определить категорию здания по взрывопожарной и пожарной опасности. Исходные данные для решения представлены в табл.6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные для расчета категорий  
зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

Номер варианта	Исходные данные
1	Производственное трехэтажное здание. Общая площадь помещений здания 20000 м <sup>2</sup> . В здании находятся помещения категории А суммарной площадью F <sub>А</sub> =2000 м <sup>2</sup> . Эти помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения.
2	Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания F=32000 м <sup>2</sup> . Площадь помещений категории А составляет F <sub>А</sub> =150 м <sup>2</sup> , категории Б – F <sub>Б</sub> = 400 м <sup>2</sup> .
3	Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений здания F=15000 м <sup>2</sup> . Площадь помещений категории А составляет F <sub>А</sub> = 800 м <sup>2</sup> , категории Б – F <sub>Б</sub> = 600 м <sup>2</sup> . Помещения категорий А и Б оборудованы установками автоматического пожаротушения.
4	Производственное трехэтажное здание. Общая площадь помещений здания F=12000 м <sup>2</sup> . Площадь помещений категорий А и Б составляет F <sub>А,Б</sub> =180 м <sup>2</sup> , категорий В–F <sub>В</sub> =5000 м <sup>2</sup> .
5	Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений здания F=20000 м <sup>2</sup> . Площадь помещений категорий А и Б составляет F <sub>А,Б</sub> =900 м <sup>2</sup> , категорий В–F <sub>В</sub> = 4000 м <sup>2</sup> . Помещения категорий А, Б, В оборудованы установками автоматического пожаротушения.
6	Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания F =30000 м <sup>2</sup> . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет F <sub>В</sub> = 1800 м <sup>2</sup> , категории Г– F <sub>Г</sub> = 2000 м <sup>2</sup> .

Номер варианта	Исходные данные
7	Производственное четырехэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F=16000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А,Б}=800 \text{ м}^2$ , помещений категорий В – $F_{В} = 1500 \text{ м}^2$ , помещений категории Г – $F_{Г} = 3000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А, Б, В оборудованы установками автоматического пожаротушения.
8	Производственное одноэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 8000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А,Б}=600 \text{ м}^2$ , категорий В – $F_{В}=1000 \text{ м}^2$ , категории Г – $F_{Г} = 200 \text{ м}^2$ , категории Д – $F_{Д} = 6200 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А, Б, В оборудованы установками автоматического пожаротушения.
9	Производственное пятиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 25000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет $F_{В} = 1000 \text{ м}^2$ , категории Г – $F_{Г} = 200 \text{ м}^2$ , категории Д – $F_{Д} = 23800 \text{ м}^2$ .
10	Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений $F = 10000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А, Б, В1–В3 и Г отсутствуют. Площадь помещений категории В4 составляет $F_{В4} = 2000 \text{ м}^2$ , категории Д – $F_{Д} = 8000 \text{ м}^2$ .
11	Общая площадь помещений здания $F = 15000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категории А составляет $800 \text{ м}^2$ , категории Б – $600 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б оборудованы установками автоматического пожаротушения.
12	Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания – $20000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет $1800 \text{ м}^2$ , категории Г – $2000 \text{ м}^2$ .
13	Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания – $10000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет $1800 \text{ м}^2$ , категории Г – $3000 \text{ м}^2$ .
14	Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений $F = 10000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А, Б, В1–В3 и Г отсутствуют. Площадь помещений категории В4 составляет $F_{В4} = 1000 \text{ м}^2$ , категории Д – $F_{Д} = 9000 \text{ м}^2$ .
15	Производственное пятиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 25000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет $F_{В} = 2000 \text{ м}^2$ , категории Г – $F_{Г} = 200 \text{ м}^2$ , категории Д – $F_{В4,Д} = 22800 \text{ м}^2$ .
16	Производственное трехэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 10000 \text{ м}^2$ . В здании находятся помещения категории А суммарной площадью $F_{А} = 1000 \text{ м}^2$ . Эти помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения.
17	Производственное трехэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 40000 \text{ м}^2$ . В здании находятся помещения категории А суммарной площадью $F_{А} = 4000 \text{ м}^2$ . Эти помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения.
18	Производственное восьмиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 20000 \text{ м}^2$ . В здании отсутствуют помещения категорий А и Б. Площадь помещений категорий В составляет $F_{В} = 4000 \text{ м}^2$ .



Номер варианта	Исходные данные
19	Производственное пятиэтажное здание. Общая площадь помещений здания – 30000 м <sup>2</sup> . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет 2000 м <sup>2</sup> , категории Г – 10000 м <sup>2</sup> .
20	Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания F = 60000 м <sup>2</sup> . Площадь помещений категории А составляет F <sub>А</sub> = 150 м <sup>2</sup> , категории Б – F <sub>Б</sub> = 400 м <sup>2</sup> .
21	Здание общей площадью 300 м <sup>2</sup> состоит из 3 помещений: помещение площадью 100 м <sup>2</sup> (категория помещения «Б»), помещение оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью 100 м <sup>2</sup> (категория помещения В); помещение площадью 50 м <sup>2</sup> (категория помещения «Г»); помещение площадью 50 м <sup>2</sup> (категория помещения «Д»).
22	Здание общей площадью 500 м <sup>2</sup> состоит из 3 помещений: помещение площадью 100 м <sup>2</sup> (категория помещения «Б»), помещение оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью 100 м <sup>2</sup> (категория помещения В) оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью 150 м <sup>2</sup> (категория помещения «Г»); помещение площадью 150 м <sup>2</sup> (категория помещения «Д»).
23	Здание общей площадью 400 м <sup>2</sup> состоит из 4 помещений: помещение площадью 100 м <sup>2</sup> (категория помещения «Б»), помещение оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью 200 м <sup>2</sup> (категория помещения В); помещение площадью 50 м <sup>2</sup> (категория помещения «Г»); помещение площадью 50 м <sup>2</sup> (категория помещения «Д»).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 22 июня 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. ГОСТ 12.1.044.-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 143с.5. Нормы пожарной безопасности НПБ-105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
3. ГОСТ Р ЕН ИСО 2719-2008. Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса. – М.: Стандартиформ, 2008. – 17 с.
4. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко: справочник: в 2-х ч. – 2 изд. перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004 . – Ч.1. – 713 с.
5. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное издание в 2-х кн. / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н.Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – Кн. 1. – 490 с., Кн. 2. – 380 с.
6. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: Изд-во «ФГУ ВНИИПО МЧС России», 2009. – 28 с.
7. ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
8. Корольченко, А.Я. Средства огнезащиты: справочник / А.Я. Корольченко, О.Н. Корольченко. – М.: Пожнаука , 2009. – 554 с.
9. Постановление правительства Российской Федерации № 390. Правила противопожарного режима в Российской Федерации.
10. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
11. Правила устройства электроустановок: утв. Министерством энергетики РФ от 20.06.2003. – 7-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2003. – 557 с.
12. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод.
13. СП 8.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения.
14. Бегишев И.Р. и др. Методические указания и контрольные задания по курсу «Теоретические основы процессов горения» / С.А. Бобков, Л.К. Исаева. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1978. - 456 с
15. Корольченко, А.Я. Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности / А.Я. Корольченко, Д.О. Загорский. – М.: Изд-во «Пожнаука», 2010. – 118 с.
16. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемнопланировочным и конструктивным решениям.
17. Пожарная безопасность: учебное пособие к практическим занятиям / С.И. Боровик. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 160 с

Учебное текстовое электронное издание

**Сомова Юлия Васильевна  
Свиридова Татьяна Валерьевна**

**ОХРАНА ТРУДА. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ**

Учебное пособие

Ответственность за содержание возлагается на авторов  
Издается полностью в авторской редакции

0,77 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2023 год  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
Кафедра промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности  
Библиотечно-информационный комплекс  
e-mail: bik@magtu.ru