

## **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях производства используется большое количество пожаровзрывоопасных материалов и веществ, а, следовательно, имеется опасность их взрыва и загорания. В связи с этим возникает необходимость изучения их взрывопожароопасных свойств.

Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов определяют с целью получения исходных данных для разработки систем по обеспечению пожарной безопасности и взрывобезопасности, строительных норм и правил, правил устройства электроустановок, при классификации опасных грузов, для выбора категории помещений и зданий в соответствии с требованиями норм технологического проектирования, анализа пожарной опасности объекта защиты.

При проведении оценки пожарной безопасности технологических процессов повышенной пожарной опасности применяют критерии: индивидуального и социального риска, регламентированных параметров пожарной опасности технологических процессов. Значения допустимых параметров пожарной опасности должны быть такими, чтобы исключить гибель людей и ограничить распространение пожара.

Анализ пожарной опасности технологических процессов отличных от процессов повышенной опасности предусматривает определение пожарной опасности используемых в технологическом процессе веществ и материалов, путей распространения пожара, расчет категории помещений, зданий и наружных установок по взрывоопасной и пожарной опасности, определение систем предотвращения пожара и противопожарной защиты, разработку мероприятий по повышению пожарной безопасности технологических процессов.

В учебном пособии рассматриваются основные методы определения взрывопожароопасных свойств горючих веществ и материалов, критериев пожарной опасности, средства и методы обеспечения пожарной безопасности на производстве.

Для удобства использования студентами материалов учебного пособия, каждая работа имеет собственную нумерацию формул, таблиц и рисунков.

# Практическое занятие № 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

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

### 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, окислитель, источник зажигания.

По горючести вещества и материалы подразделяют на 3 группы:

а) негорючие (несгораемые) – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе;

б) трудногорючие (трудносгораемые) – вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;

в) горючие (сгораемые) – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

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

При этой температуре 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, можно добиться, что кратковременное воздействие источника зажигания вызовет не только вспышку паров, но и последующее горение.

Значения температуры вспышки применяют при классификации жидкостей по степени пожароопасности, при определении категорий помещений и зданий по взрыво- и пожарной опасности, а также классов взрывоопасных и пожароопасных зон и при разработке мероприятий для обеспечения взрыво- и пожарной безопасности.

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.

**Горючая жидкость** – 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].

## 2. Расчетные методы определения температуры вспышки жидкости

### *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

$$T_{\text{в}} = 0,736 \cdot T_{\text{к}}, \quad (1)$$

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

$$T_{\text{в}} = \frac{A_{\text{б}}}{P_{\text{в}} \cdot D_0 \cdot \beta} \text{ или } T_{\text{в}} P_{\text{в}} = \frac{A_{\text{б}}}{D_0 \cdot \beta}, \quad (2)$$

где  $A_{\text{б}}$  – константа метода определения (рекомендуется при расчете температуры вспышки в закрытом тигле  $A_{\text{б}} = 280 \text{ К} \cdot \text{кПа} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ),  $P_{\text{в}}$  – парциальное давление паров горючего вещества при температуре

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

$$D_0 = \frac{1}{\sqrt{(25 + n_c \cdot n_c + n_H - 17 \cdot n_o)}}; \beta - \text{стехиометрический коэффициент}$$

кислорода в реакции горения (количество молей кислорода), определяемый по формуле

$$\beta = n_c + n_s + 0,25 (n_H - n_x) - 0,5n_o + 2,5 n_p, \quad (3)$$

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

Расчет по формуле (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

$$\lg P = A - \frac{B}{t + C_a}, \quad (4)$$

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), °C;

3) произведение данной температуры и соответствующего ей парциального давления, определенного по формуле (4), подставить в формулу (2).

В случае неравенства левой и правой частей формулы (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  $C_3H_6O$ .

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

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

2. Найдем парциальное давление пара при температуре вспышки

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

$$P_B = 1,4590 \text{ кПа}.$$

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  $\frac{A_6}{D_0 \cdot \beta}$ . Для этого найдем стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения ацетона

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

$$\text{Тогда } \frac{A_6}{D_0 \cdot \beta} = \frac{280}{0,109 \cdot 4} = 642,2.$$

Исходя из того, что  $T_B \cdot P_B = \frac{A_6}{D_0 \cdot \beta}$  имеем, что  $353,3 \neq 642,2$ .

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

$$\begin{aligned} \lg P_B &= 6,37551 - \left( \frac{1281,721}{-22 + 237,088} \right) = 0,43; \\ P_B &= 2,664 \text{ кПа}; \quad T_B \cdot P_B = 251 \cdot 2,664 = 668,6. \end{aligned}$$

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

**Метод 3.** Температуру вспышки жидкостей ( $t_{всп}$ ), имеющих нижеперечисленные виды связей (табл. 1), вычисляют по формуле

$$t_{\text{всп}} = a_0 + a_1 t_{\text{кип}} + \sum_{i=2}^n a_j \cdot l_j, \quad (5)$$

где  $a_0$  – размерный коэффициент, равный минус 73,14 °С;  $a_1$  – безразмерный коэффициент, равный 0,659;  $t_{\text{кип}}$  – температура кипения исследуемой жидкости, °С;  $a_j$  – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 1;  $l_j$  – количество связей вида  $j$  в молекуле исследуемой жидкости.

Таблица 1

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

Вид связи	$a_j, \text{°C}$	Вид связи	$a_j, \text{°C}$
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  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ .

Исходные данные: химическая формула ацетона –  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ,  $T_{\text{к}} = 329 \text{ К}$ .

### Решение

Вычисляем температуру вспышки:

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

**Метод 4.** Для нижеперечисленных классов веществ (табл. 2) температуру вспышки вычисляют по формуле

$$t_{\text{всп}} = a + b t_{\text{кип}}, \quad (6)$$

где  $a, b$  — эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 2 вместе со среднеквадратическими погрешностями расчета  $\delta$ .

Таблица 2

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

Класс веществ	Коэффициенты		$\delta$ , °С
	$a$ , °С	$b$	
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

### Пример

Определить температуру вспышки ацетона  $C_3H_6O$ .

Исходные данные: химическая формула ацетона –  $C_3H_6O$ ,  $T_k = 329$  К.

### Решение

Вычисляем температуру вспышки:

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

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

$$t_{всп} = t_{кип} - 18 \cdot \sqrt{K}, \quad (7)$$

где  $t_{кип}$  – температура кипения исследуемой жидкости, °С;  $K$  – коэффициент горючести,  $K = 4n_C + n_H + 4n_S + n_N - 2n_O - 2n_{Cl} - 3n_F - 5n_{Br}$ , где  $n_C$ ,  $n_S$ ,  $n_H$ ,  $n_x$ ,  $n_O$ ,  $n_p$  – 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:

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

## **Методы расчета температуры вспышки индивидуальных жидкостей в открытом тигле**

Температуру вспышки в открытом тигле вычисляют по формуле

$$t_{\text{всп}} = a_0 + a_1 t_{\text{кип}} + \sum_{i=2}^n a_j l_j \quad (8)$$

где  $a_0$  – размерный коэффициент, равный минус 73 °С;  $a_1$  – безразмерный коэффициент, равный 0,409;  $t_{\text{кип}}$  – температура кипения исследуемой жидкости, °С;  $a_j$  – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 3;  $l_j$  – количество связей вида  $a_j$  в молекуле исследуемой жидкости.

Таблица 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≡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 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O.

Исходные данные: химическая формула ацетона – C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O, T<sub>к</sub> = 329 К.

### **Решение**

Вычисляем температуру вспышки:

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

### **3. Расчетные методы определения температуры воспламенения**

Температуру воспламенения ( $t_{\text{в}}$ ) индивидуальных жидкостей в °С вычисляют по формуле

$$t_{\text{в}} = a_0 + a_1 t_{\text{кип}} + \sum_{i=2}^n a_j l_j \quad (9)$$

где  $a_0$  – размерный коэффициент, равный минус 47,78 °С;  $a_1$  – безразмерный коэффициент, равный 0,882;  $t_{\text{кип}}$  – температура кипения исследуемой жидкости, °С;  $a_j$  – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 4;  $l_j$  – количество связей вида  $a_j$  в молекуле исследуемой жидкости.

Таблица 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 –  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ,  $T_K = 329 \text{ K}$ .

### Решение

Вычисляем температуру воспламенения:

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

## 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  $T_{\text{св}}$  основан на эмпирической зависимости  $T_{\text{св}}$  от средней длины углеродной цепи.

Метод пригоден для расчета  $T_{\text{св}}$  *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

$$m = \frac{M_p \cdot (M_p - 1)}{2}, \quad (10)$$

где  $M_p$  – число концевых функциональных групп, таких как:  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{OH}$  и бензольных колец.

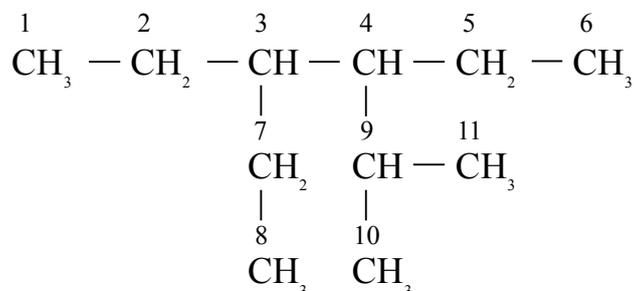
Средняя длина углеродной цепи определяется как  $l_{\text{ср}} = \sum l_i / m$ , где  $l_i$  – длина углеродной цепи.

### 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 ( $\text{CH}_3$ ), 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 $l_i$	6	5	6	6	6	5	5	6	6	3

4. Определим среднее арифметическое значение длины углеродных цепей

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

5. По табл. 7 находим температуру самовоспламенения 3-этил-4-изопропилгексана, отыскивая ее по значению средней длины цепи в молекуле соединения:  $T_{\text{св}} = 522 \text{ K} = 249 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### *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.

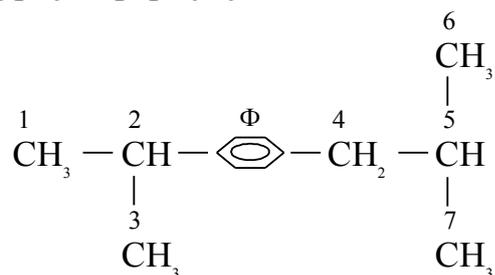
### Пример

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



## Решение

1. Записываем структурную формулу соединения и вводим обозначения:



2. В молекуле соединения 4 концевые метильные группы ( $-\text{CH}_3$ ) и 1 фенил, то есть  $M_p = 5$ :

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

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 $\ell_i$	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

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

5. По табл. 9 найдем  $T_{\text{св}}$  ароматического соединения с соответствующей длиной цепи  $T_{\text{св}} = 698 \text{ K} = 425 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

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

2. Определить температуру самовоспламенения горючего вещества (табл. 7, 8, 9) по средней длине углеродной цепи, определив число концевых групп и число цепей. Исходные данные представлены в табл. 6.

Таблица 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 пара в 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

## Исходные данные для определения температуры самовоспламенения

Номер варианта	Название вещества	Структурная формула
1	2,3-диметил-4-этилоктан	$  \begin{array}{cccccccc}  \text{CH}_3 & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_3 \\  & &   & &   & &   & & & & & & & & \\  & & \text{CH}_3 & & \text{CH}_3 & & \text{CH}_2 - \text{CH}_3 & & & & & & & & \\  & & & & & &   & & & & & & & & \\  & & & & & & \text{CH}_3 & & & & & & & &   \end{array}  $
2	2,2,4-триметилпентан	$  \begin{array}{ccccccc}  & & \text{CH}_3 & & & & \\  & &   & & & & \\  \text{CH}_3 & - & \text{C} & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH} & - & \text{CH}_3 \\  & &   & & & &   & & \\  & & \text{CH}_3 & & & & \text{CH}_3 & &   \end{array}  $
3	1,3-диметил-4-пропилбензол	$  \begin{array}{ccccccc}  \text{CH}_3 & - & \text{C}_6\text{H}_4 & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH}_3 \\  & &   & & & & & & \\  & & \text{CH}_3 & & & & & &   \end{array}  $
4	2,2,3,3-тетраметилбутан	$  \begin{array}{ccccccc}  & & \text{CH}_3 & & \text{CH}_3 & & \\  & &   & &   & & \\  \text{CH}_3 & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{CH}_3 \\  & &   & &   & & \\  & & \text{CH}_3 & & \text{CH}_3 & &   \end{array}  $
5	1-метил-4,5-диизопропилбензол	$  \begin{array}{ccccccc}  & & & & \text{CH}_3 & & \\  & & & &   & & \\  \text{CH}_3 & - & \text{C}_6\text{H}_4 & - & \text{CH} & - & \text{CH}_3 \\  & &   & & & & \\  & & \text{CH}_3 & - & \text{CH} & - & \text{CH}_3 &   \end{array}  $
6	Изобутилбензол	$  \begin{array}{ccc}  & & \text{CH}_3 \\  & &   \\  \text{CH}_3 & - & \text{C} & - & \text{C}_6\text{H}_5 \\  & &   & & \\  & & \text{CH}_3 & &   \end{array}  $
7	2,2-диметил-3-этилбутанол-1	$  \begin{array}{ccccccc}  & & & & \text{CH}_3 & & \\  & & & &   & & \\  \text{OH} & - & \text{CH}_2 & - & \text{C} & - & \text{CH} & - & \text{CH}_3 \\  & & & &   & &   & & \\  & & & & \text{CH}_3 & & \text{CH}_2 - \text{CH}_3 & &   \end{array}  $

Продолжение табл. 6

Номер варианта	Название вещества	Структурная формула
8	2,3-диметил-4-этилгексанол-1	$\text{OH}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\underset{\text{CH}_2-\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
9	1-метил-2-этил-3-пропилбензол	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\   \quad   \\ \text{CH}_3-\langle \bigcirc \rangle \end{array}$
10	2,2-диэтилпентанол-1	$\text{OH}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2-\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{CH}_2-\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
11	Нормальный пентан	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
12	Изобутан	$\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\   \\ 4 \\ \text{CH}_3 \end{array}$
13	2,2-дифенилпропана	$\begin{array}{c} 1 \\ \text{CH}_3 \\   \\ \text{C} \\   \\ 3 \\ \text{CH}_3 \end{array} \begin{array}{c} \Phi_1 \\ \langle \bigcirc \rangle \\   \\ \text{C} \\   \\ \langle \bigcirc \rangle \\ \Phi_2 \end{array}$
14	Бутиловый спирт	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
15	Гексан	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Окончание табл. 6

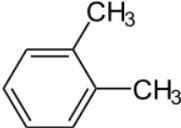
Номер варианта	Название вещества	Структурная формула
16	н-бутан	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$
17	н-пентан	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$
18	Пропанол (пропиловый спирт)	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$
19	Этанол (этиловый спирт)	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$
20	Орто-Ксилол	

Таблица 7

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

$l_{\text{ср}}$	$T_{\text{св}}, \text{K}$						
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

Окончание табл. 7

$l_{cp}$	$T_{cb}, K$						
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 8

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

$l_{cp}$	$T_{cb}, K$						
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

Окончание табл. 8

$l_{cp}$	$T_{cb}, K$						
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 9

Температура самовоспламенения некоторых ароматических углеводородов 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
-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

## Практическое занятие № 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.

### 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. 1.

Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в табл. 1, от высшей (А) к низшей (Д).

Таблица 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>

## 2. Методы расчета критериев взрывопожарной опасности помещений

### 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 газоздушные 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 свежеокрашенных 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. 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

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

где  $P_{\max}$  – максимальное давление взрыва стехиометрической газозвушной или парозвушной 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 (6), а для паров ЛВЖ и ГЖ по формуле (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;  $V_{\text{св}}$  – свободный объем помещения,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{г,п}}$  – плотность газа или пара при расчетной температуре  $t_p$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , вычисляемая по формуле

$$\rho_{\text{г,п}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)}, \quad (2)$$

где  $M$  – молярная масса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $V_0$  – мольный объем, равный  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $t_p$  – расчетная температура,  $^{\circ}\text{C}$ . 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  $61 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $C_{\text{ст}}$  – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % (об.), вычисляемая по формуле

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (3)$$

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.

Таблица 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

Вид горючего вещества	Значение Z
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

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

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_B \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H} \quad (4)$$

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  $T_0$ , кг·м<sup>-3</sup>;  $C_p$  – теплоемкость воздуха, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> (допускается принимать равной 1,01·10<sup>3</sup> Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>);  $T_0$  – начальная температура воздуха, К.

В случае обращения в помещении горючих газов, легковоспламеняющихся или горючих жидкостей при определении значения массы  $m$ , входящей в формулы (1) и (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

$$K = AT + 1 \quad (5)$$

где  $A$  – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с<sup>-1</sup>;  $T$  – 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

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_r, \quad (6)$$

где  $V_a$  – объем газа, вышедшего из аппарата,  $\text{м}^3$ ;  $V_T$  – объем газа, вышедшего из трубопроводов,  $\text{м}^3$ .

При этом

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (7)$$

где  $P_1$  – давление в аппарате, кПа;  $V$  – объем аппарата,  $\text{м}^3$ ;

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (8)$$

где  $V_{1T}$  – объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения,  $\text{м}^3$ ;

$V_{2T}$  – объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения,  $\text{м}^3$ ;

$$V_{1T} = q \cdot T, \quad (9)$$

где  $q$  – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т. д.,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $T$  – время, определяемое по п. 2.1 в), с;

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2 + \dots + r_n^2 \cdot L_n) \quad (10)$$

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

$$m = m_p + m_{\text{вмк}} + m_{\text{св.окр}}, \quad (11)$$

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 (11) определяется по формуле

$$m = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T, \quad (12)$$

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

$$m_{\text{п}} = [\varepsilon \cdot V_{\text{ап}} + 0,785 \cdot (L_{\text{ни}} \cdot d_{\text{ни}}^2 + L_{\text{оті}} \cdot d_{\text{оті}}^2) + q_i \cdot \tau_{3i}] \cdot \rho_{\text{ж}}, \quad \text{кг} \quad (13)$$

Если аварийная ситуация связана с возможным поступлением жидкости в распыленном состоянии, то она должна быть учтена в формуле (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

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (14)$$

где  $\eta$  – коэффициент, принимаемый по табл. 3 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;  $M$  – молярная масса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $P_H$  – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости  $t_p$ ,  $\text{кПа}$ , определяемое по справочным данным или по формуле

$$P_H = 10^{\left[ A - \left( \frac{B}{C_a + t_p} \right) \right]} \quad (15)$$

Таблица 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
–					
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

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{M \cdot P_H} \cdot \frac{C_{ж} \cdot m_{п}}{L_{исп}}, \quad (16)$$

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

$$L_{исп} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 \cdot M}, \quad (17)$$

где  $B$ ,  $C_a$  – константы уравнения Антуана, определяемые по справочным данным для давления насыщенных паров, измеряемого в  $\text{кПа}$ ;  $T_a$  – началь-

ная температура нагретой жидкости, К; М – молярная масса жидкости, кг·кмоль<sup>-1</sup>.

Формулы (16) и (17) справедливы для жидкостей, нагретых от температуры вспышки и выше при условии, что температура вспышки жидкости превышает значение расчетной температуры.

### Пример 1

В цехе комбината произошла утечка сжиженного пропана C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> из емкости, в результате чего все содержимое емкости оказалось в помещении цеха. При соприкосновении с источником зажигания произошел взрыв газовой 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 м<sup>3</sup>, давление в аппарате равно давлению в трубопроводах P<sub>1</sub> = P<sub>2</sub> и составляет 5000 кПа, расход газа в соответствии с технологическим процессом q = 0,05 м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>. Время отключения трубопровода τ = 300 с. Длина трубопровода от аппарата до задвижки L = 6 м; внутренний радиус трубопровода r = 0,15 м.

Помещение оборудовано аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена A = 10 ч<sup>-1</sup>. Температура в помещении t = 20 °С.

Нижний концентрационный предел распространения пламени пропана равен φ<sub>н</sub> = 2,3 % (об.), верхний концентрационный предел распространения пламени пропана φ<sub>в</sub> = 9,5 % (об.).

### Решение

Определим объем газа, вышедшего из аппарата:

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

Вычислим объем газа, вышедшего из трубопровода:

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

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

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

Тогда V<sub>T</sub> = 15 + 21,2 = 36,2 м<sup>3</sup>, V<sub>a</sub> + V<sub>T</sub> = 50 + 36,2 = 86,2 м<sup>3</sup>.

Масса пропана, поступившего в помещение при аварийной ситуации равна:

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_{г.п};$$

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

$$\rho_r = (44,096 : 22,4) \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20) = 1,834 \text{ кг/м}^3.$$

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. 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 кПа) составит:

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

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 газовой 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  $\text{H}_2$  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  $2 \text{ с}$ . 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 газовой смеси водорода в замкнутом объеме  $P_{\max} = 730 \text{ кПа}$ .

### Решение

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

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

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

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

Масса водорода, поступившего в помещение при расчетной аварии, составит

$$m_v = V_v \rho_v = 0,03945 \cdot 0,0787 = 3,105 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

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

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

### 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  $V_{\text{св}} = 160 \text{ м}^3$  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

$$\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{X}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4.$$

Стехиометрическая концентрация паров ацетона составит

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

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

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

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

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

## 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  $t_b = 37$  °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  $C_{нкр} \% (\text{об.}) = 1,0$ .

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 (13)

$$m_{ж} = [\varepsilon \cdot V_{ап} + 0,785 \cdot (L_{ни} \cdot d_{ни}^2 + L_{оти} \cdot d_{оти}^2) + q_i \cdot \tau_{3i}] \cdot \rho_{ж}, \text{ кг};$$
$$m_{ж} = [0,9 \cdot 0,075 + 0,785 \cdot (10 \cdot 0,025^2 + 10 \cdot 0,04^2) + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300] \cdot 860 = 93,955 \text{ кг}.$$

Расчет массы испарившейся ЛВЖ определяется по формуле (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

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

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)

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

Стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания,

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

Стехиометрическая концентрация паров ксилола

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

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  $t_{\text{всп}} = 24$  °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  $V_{\text{ап}} = 3$  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  $\rho_{\text{ж}}$  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  $p_{\text{н}}$  при  $t_p$  равно 24,54 кПа.

### Решение

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

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

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

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

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

Объем ацетона, поступившего в помещение

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

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:

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

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

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

### 2.3. Расчет избыточного давления взрыва для горючих пылей

Расчет избыточного давления взрыва  $\Delta P$ , кПа, производится по формуле (4)

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

где  $H_T$  – теплота сгорания, Дж·кг<sup>-1</sup>;  $P_0$  – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  $\rho_{\text{в}}$  – 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 аэрозоль 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

$$m = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}} \\ \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}} / Z \end{array} \right. \quad (18)$$

где  $m_{\text{вз}}$  – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;  $m_{\text{ав}}$  – расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг;  $\rho_{\text{ст}}$  – стехиометрическая концентрация горючей пыли в аэрозольной взвеси, кг·м<sup>-3</sup>;  $V_{\text{ав}}$  – расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации в объеме помещения, м<sup>3</sup>.

В отсутствие возможности получения сведений для расчета  $V_{ав}$  **расчетная масса взвешенной в объеме помещения пыли  $m$ , кг**, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяется по формуле

$$m = m_{ав} + m_{вз}, \quad (19)$$

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

$$m_{ав} = (m_{ан} + q \cdot T) \cdot K_n, \quad (20)$$

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,  $кг \cdot с^{-1}$ ;  $T$  – 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

$$m_{вз} = K_{вз} \cdot m_n, \quad (21)$$

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

$$m_n = \frac{K_r}{K_y} (m_1 + m_2), \quad (22)$$

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, ежесуточно и т. п.).

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

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \beta_i, \quad (i = 1; 2) \quad (23)$$

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;  $M_2 = \sum M_{2j}$  – 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

$$M_i = \sum (G_{ij} \cdot F_{ij}) \cdot \tau_i, \quad (i = 1; 2) \quad (24)$$

где  $G_{1j}, G_{2j}$  – интенсивность пылеотложений соответственно на труднодоступных  $F_{1j}$  ( $m^2$ ) и доступных  $F_{2j}$  ( $m^2$ ) площадях,  $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$ ;  $\tau_1, \tau_2$  – 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;  $V_{св} = 2000$  м<sup>3</sup>;  $V_{ав} = 20$  м<sup>3</sup>;  $\rho_v = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $T_0 = 298$  К;  $p_{ст} = 0,1$  кг/м<sup>3</sup>.

### 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  $M = 14 \text{ кг}$ .

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

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

### 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  $M = 342,3 \text{ кг/кмоль}$ , теплота сгорания  $H_{\text{T}} = 16,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ , начальная температура воздуха  $T_0 = 290 \text{ К}$ .

Длина цеха  $L = 9 \text{ м}$ , ширина  $B = 6 \text{ м}$ , высота  $H = 6 \text{ м}$ .

Масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях помещения за период между генеральной уборкой  $m_1 = 10 \text{ кг}$ . Масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях между текущими уборками  $m_2 = 2 \text{ кг}$ . 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  $m_{\text{ап}} = 50 \text{ кг}$ . Производительность аппарата  $q = 0,5 \text{ кг/с}$ , время отключения  $\tau = 15 \text{ с}$ . Аварийная вентиляция отсутствует. Дисперсность пыли менее  $350 \text{ мкм}$ , НКПР:  $\varphi_{\text{н}} = 35 \text{ г/м}^3$ .

#### Решение

Определим массу отложившейся в помещении пыли к моменту аварии:

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

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:

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

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:

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

***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

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (25)$$

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

***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

$$X_{НКПР} = K_1 \cdot 1 \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5}, \quad (26)$$

$$Y_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot b \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (27)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = K_3 \cdot h \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (28)$$

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. 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.

Таблица 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	0,100 000	1,29
	0,050 000	1,38
	0,010 000	1,53
	0,003 000	1,63
	0,001 000	1,70
	0,000 001	2,04

Характер распределения концентраций	$Q(C > \bar{C})$	$\delta$
Для горючих газов при подвижности воздушной среды	0,100 000	1,29
	0,050 000	1,37
	0,010 000	1,52
	0,003 000	1,62
	0,001 000	1,70
	0,000 001	2,03
Для паров легковоспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды	0,100 000	1,19
	0,050 000	1,25
	0,010 000	1,35
	0,003 000	1,41
	0,001 000	1,46
	0,000 001	1,68
Для паров легковоспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды	0,100 000	1,21
	0,050 000	1,27
	0,010 000	1,38
	0,003 000	1,45
	0,001 000	1,51
	0,000 001	1,75

$C_0$  – предэкспоненциальный множитель, % (об.), равный:  
при отсутствии подвижности воздушной среды для ГГ

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}}}, \quad (29)$$

при подвижности воздушной среды для горючих газов

$$C_0 = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}} \cdot U}, \quad (30)$$

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

• при отсутствии подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ

$$C_0 = C_{\text{Н}} \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_{\text{Н}} \cdot \rho_{\text{П}} \cdot V_{\text{СВ}}} \right)^{0,41}, \quad (31)$$

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

$\rho_{\text{П}}$  – плотность паров, кг/м<sup>3</sup>;

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

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;  $C_{\text{Н}}$  – концентрация

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

$$C_H = \frac{100 \cdot P_H}{P_0}, \quad (32)$$

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

• при подвижности воздушной среды для паров легко воспламеняющихся жидкостей

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{св}}} \right)^{0,46}. \quad (33)$$

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

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

При этом  $R_6 > X_{\text{НКПР}}$ ,  $R_6 > Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_6 > h + R_6$  для ГГ и  $Z_6 > Z_{\text{НКПР}}$  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  $Z_6 = Z_{\text{НКПР}}$  при высоте источника поступления паров ЛВЖ  $h < Z_{\text{НКПР}}$  и  $Z_6 = h + Z_{\text{НКПР}}$  при  $h \geq Z_{\text{НКПР}}$ . За начало отсчета принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок, трубопроводов и т. п.

Во всех случаях значения расстояний  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  и  $Z_{\text{НКПР}}$  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  $h_{б} = 1,5$  м и диаметр 0,5 м. Расчетная температура в помещении  $t_{р} = 30$  °С. Плотность метана  $\rho_{м}$  при  $t_{р}$  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

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

при неработающей вентиляции

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

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

при работающей вентиляции

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

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

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

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

при неработающей вентиляции

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

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

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

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  $Z_6 = h + R_6 = 3 + 3,34 = 6,34$  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.

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

Приведенные расчетные формулы применяются для случая  $100 \text{ м} / (\rho_{\text{г,п}} V_{\text{св}}) < 0,5 C_{\text{НКПР}}$ , [ $C_{\text{НКПР}}$  – 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  $X_{\text{НКПР}} \leq 0,5$  л и  $Y_{\text{НКПР}} \leq 0,5$  в

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \cdot \rho_{\text{г,п}} \cdot \left( C_0 + \frac{C_{\text{НКПР}}}{\delta} \right) \cdot X_{\text{НКПР}} \cdot Y_{\text{НКПР}} \cdot Z_{\text{НКПР}}, \quad (34)$$

при  $X_{\text{НКПР}} > 0,5$  л и  $Y_{\text{НКПР}} > 0,5$  в

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \cdot \rho_{\text{г,п}} \cdot \left( C_0 + \frac{C_{\text{НКПР}}}{\delta} \right) \cdot F \cdot Z_{\text{НКПР}}, \quad (35)$$

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. 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

$$C_0 = 3,37 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}}},$$

при подвижности воздушной среды для горючих газов

$$C_0 = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{СВ}} \cdot U},$$

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

- при отсутствии подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ

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

где  $C_{\text{Н}}$  – концентрация насыщенных паров при расчетной температуре  $t_p$ , °С воздуха в помещении, % (об.). Концентрация  $C_{\text{Н}}$  может быть найдена по формуле

$$C_{\text{Н}} = \frac{100 \cdot P_{\text{Н}}}{P_0}, \quad (36)$$

где  $p_{\text{Н}}$  – давление насыщенных паров при расчетной температуре (находится по справочной литературе или по формуле  $\lg P = A - \frac{B}{t + C_a}$ ),

кПа;  $P_0$  – атмосферное давление, равное 101 кПа;  $\rho_{\text{П}}$  – плотность паров,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

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

где  $M$  – молярная масса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $V_0$  – мольный объем, равный  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $t_p$  – расчетная температура, °С;

- при подвижности воздушной среды для паров легко воспламеняющихся жидкостей

$$C_0 = C_{\text{Н}} \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_{\text{Н}} \cdot \rho_{\text{П}} \cdot V_{\text{СВ}}} \right)^{0,46} \quad (37)$$

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

$$X_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot l \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (38)$$

$$Y_{\text{НКПР}} = K_1 \cdot b \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (39)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = K_3 \cdot h \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,5}, \quad (40)$$

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 40×40 м и высотой  $H_{\text{п}} = 3$  м установлен аппарат с ацетоном. Аппарат представляет собой цилиндр диаметром основания  $d_a = 0,5$  м и высотой  $h_a = 1$  м, в котором содержится 25 кг ацетона. Расчетная температура в помещении  $t_p = 30$  °С. Плотность паров ацетона  $\rho_a$  при  $t_p$  равна 2,33 кг/м<sup>3</sup>. Давление насыщенных паров ацетона  $p_n$  при  $t_p$  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

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

$$C_H = 100p_H / p_0 = 100 \cdot 37,73/101 = 37,36 \% \text{ (об.)},$$

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

при неработающей вентиляции

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

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

при работающей вентиляции

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

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

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

при неработающей вентиляции

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

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

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

Таким образом, для ацетона геометрически зона, ограниченная НКПР паров, будет представлять собой цилиндр с основанием радиусом  $R_6$  и высотой  $Z_6 = h_a + Z_{\text{НКПР}}$ , так как  $h_a > Z_{\text{НКПР}}$ ,

при работающей вентиляции

$$Z_6 = 1 + 0,2 = 1,2 \text{ м, } R_6 = 9,01 \text{ м;}$$

при неработающей вентиляции

$$Z_6 = 1 + 0,03 = 1,03 \text{ м, } R_6 = 10,56 \text{ м.}$$

За начало отсчета принимают внешние габаритные размеры аппарата. При  $X_{\text{НКПР}} < 0,5$  l и  $Y_{\text{НКПР}} < 0,5$  b 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

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

### 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. 5 [6, 8].

Таблица 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

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ни}^p, \quad (41)$$

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;  $Q_{ни}^p$  – 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

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (42)$$

где  $S$  – площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup> (но не менее 10 м<sup>2</sup>).

В помещениях категорий В1–В4 допускается наличие нескольких участков с пожарной нагрузкой, не превышающей значений, приведенных в табл. 5. В помещениях категории В4 расстояния между этими участками должны быть более предельных.

В табл. 6 приведены рекомендуемые значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$ , кВт·м<sup>-2</sup>, для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов.

Значения  $l_{пр}$ , приведенные в табл. 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. 6,  $H$  – минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия), м.

Таблица 6

Рекомендуемые значения предельных расстояний от величины критической плотности падающих лучистых потоков

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

Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки приведены в табл. 7.

Таблица 7

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

Материал	$q_{кр}, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью $417 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ )	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  $l_{пр} \geq 12 \text{ м}$ .

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

$$l_{пр} \geq 15 \text{ м} \quad \text{при } H \geq 11, \quad (43)$$

$$l_{пр} \geq 26 - H \quad \text{при } H < 11. \quad (44)$$

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

$$Q \geq 0,64g_{г}H^2,$$

то помещение будет относиться к категориям В1 или В2 соответственно. Здесь  $g_{г} = 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $1401 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  и  $g_{г} = 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  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. 1).

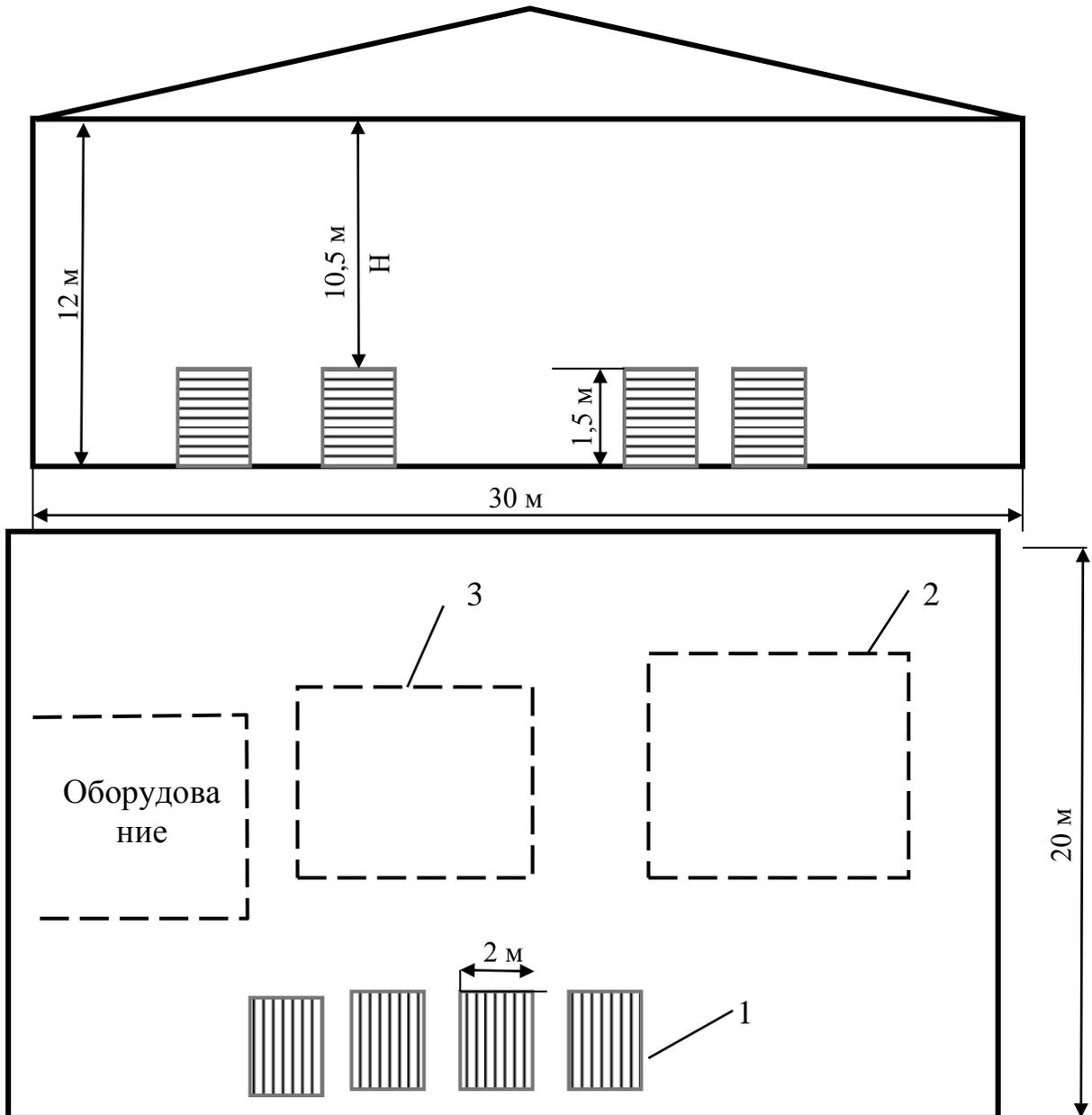


Рис. 1. Схема размещения горючих материалов и оборудования:

1 – древесина, 2 – масло, 3 – антрацит

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  $Q_{\text{ни}}^p = 48,87 \cdot 10^3$  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  $Q_{\text{ни}}^p = 24,93 \cdot 10^3$  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

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

отсюда:

$$Q = Q_{\text{сг.др}} \cdot \rho_{\text{др}} \cdot V_{\text{др}} + Q_{\text{сг.м}} \cdot \rho_m \cdot V_m + Q_{\text{сг.ан}} \cdot \rho_{\text{ан}} \cdot V_{\text{ан}} = 21,31 \cdot 10^3 \cdot 500 \cdot 50 + 48,87 \cdot 10^3 \cdot 900 \cdot 5 + 24,93 \cdot 10^3 \cdot 670 \cdot 10 = 888196 \cdot 10^3 \text{ кДж} = 888196 \text{ МДж}.$$

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

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

Пользуясь табл. 5 присваиваем помещению категорию В2 ( $q = 1401\text{--}2200$  МДж · м<sup>-2</sup>).

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

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

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

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

Низшая 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

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

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

Определим выполняется ли условие  $Q \geq 0,64 g_{\text{т}} \cdot H^2$ .

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

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  $61 \text{ }^\circ\text{C}$ , 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 м<sup>2</sup>. В помещении минимальное расстояние Н 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 м<sup>2</sup>, в соответствии с табл. 5 принимаем площадь 10 м<sup>2</sup>.

Удельная пожарная нагрузка составит

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

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 Н от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм составляет 9 м. При этих условиях (Н < 11 м) предельное расстояние I<sub>пр</sub> должно удовлетворять неравенству I<sub>пр</sub> ≥ 26 – Н или при Н = 9 м предельное расстояние I<sub>пр</sub> ≥ 17 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 цехе комбината 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. 8.

2. В производственном 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  $t_p = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , скорость воздушного потока в помещении  $v = 0,1\text{ м/с}$ . Данные для расчета представлены в табл. 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  $K_T = 0,9$ . Данные для расчета представлены в табл. 10.

4. В центре помещения установлен аппарат с ЛВЖ. Аппарат представляет собой цилиндр с основанием диаметром  $d_a = 0,5\text{ м}$  и высотой  $h_a = 2\text{ м}$ , 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  $v = 0,1\text{ м/с}$ .

Определить размеры зоны, ограниченной НКПР паров, образующейся при аварийной разгерметизации аппарата с ЛВЖ, при работающей и неработающей общеобменной вентиляции (табл. 11).

5. В центре помещения размером  $l$  (ширина),  $b$  (длина) и высотой  $h$  м установлен аппарат с ЛВЖ. Аппарат представляет собой цилиндр диаметром основания  $d_a = 1\text{ м}$  и высотой  $h_a = 1,5\text{ м}$ , 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  $v = 0,1\text{ м/с}$ . Определить коэффициент  $Z$  участия паров ЛВЖ при сгорании паровоздушной смеси для случая разгерметизации аппарата с ЛВЖ. Данные для расчета представлены в табл. 12.

6. Определить категорию В1–В4 пожароопасного помещения. Схема размещения пожарной нагрузки представлена на рисунке 1. Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 13 и 14. Значения критических плотностей падающих лучистых потоков и низших теплот сгорания материалов – в табл. 7, 15, 16.

Таблица 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	10
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	15
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	20
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	25
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	30
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	35
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	40
8	Водород	H <sub>2</sub>	2,016	5/7/4	32	8	140	10 · 10 <sup>-3</sup>	60	500	70	45
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	50
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	10
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	60
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	70

Окончание табл. 8

№ 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
21	Аммиак	NH <sub>3</sub>	17,03	5/10/5	25	1	100	3·10 <sup>-3</sup>	2	150	50	10
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	15
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	20
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	25
25	Водород	H <sub>2</sub>	2,016	5/7/4	32	8	140	10·10 <sup>-3</sup>	60	500	70	45

Таблица 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
						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	-34	710	7,54424	2629,65	384,195	44094	0,79	5/10/5	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	5/9/5	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

Продолжение табл. 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
						A	B	C <sub>A</sub>				
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	5/10/4	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	5/9/4	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	5/7/4	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	6/10/5	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	6/9/5	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	6/8/5	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	6/10/4	180

Продолжение табл. 9

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Плот- ность жидкос- ти, кг/м <sup>3</sup>	Константы уравнения Антуана			Теплота сгорания, кДж·кг <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота поме- щения, м	Масса жидкости, вышедшей из емкости в поме- щение, кг
						А	В	С <sub>А</sub>				
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	6/9/4	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	6/10/3	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	6/9/3	150
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	6/8/3	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	6/10/3	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	6/9/3	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	6/10/3	200

Окончание табл. 9

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Формула	Молярная масса, кг кмоль <sup>-1</sup>	Темпе- ратура вспыш- ки, °С	Плот- ность жидкос- ти, кг/м <sup>3</sup>	Константы уравнения Антуана			Теплота сгорания, кДж·кг <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота поме- щения, м	Масса жидкости, вышедшей из емкости в поме- щение, кг
						А	В	С <sub>А</sub>				
18	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	$C_{6,837}H_{9,217}$ $O_{0,515}$	99,6	+10	851	6,17297	1403,079	221,483	43154	1,26	6/9/3	250
19	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол-10, этиловый спирт-64, н- бутиловый спирт-10, этилцеллозольв-16)	$C_{2,645}H_{6,810}$ $O_{1,038}$	55,24	+10	900	8,69654	2487,728	290,920	40936	2,85	6/9/5	160
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)	$C_{4,791}H_{8,318}$ $O_{0,974}$	81,51	+4	690	7,20244	1761,043	251,546	43154	1,72	6/8/5	170

Таблица 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						
							Объем помещения V, м <sup>3</sup>	Масса пыли m <sub>1</sub> , кг	Масса пыли m <sub>2</sub> , кг	Масса пыли из аппарата m <sub>апп</sub> , кг	Производительность питающего трубопровода q, кг/с	Время отключения τ, с	Вид пылеборки
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, сухая
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, сухая
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, сухая
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, сухая
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, сухая
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, сухая
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, влажная
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, влажная

Продолжение табл. 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>	Диспер- сность пыли, мкм	НКПР, г/м <sup>3</sup>	Началь- ная темпера- тура воздуха, °С	Исходные данные по аварийной ситуации						
							Объем помещения V, м <sup>3</sup>	Масса пыли m <sub>1</sub> , кг	Масса пыли m <sub>2</sub> , кг	Масса пыли из аппарата m <sub>апп</sub> , кг	Производитель- ность питающего трубопровода q, кг/с	Время отключения τ, с	Вид пылеуборки
10	Диметилтереф- талат, 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, влажная
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, влажная
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	Ручная, влажная
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	Ручная, влажная
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	Механи- зированная, 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	Механи- зированная, вакуумная, пол ровный
16	Диметилтерефтал ат, 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	Механи- зированная, 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						
							Объем помещения V, м <sup>3</sup>	Масса пыли m <sub>1</sub> , кг	Масса пыли m <sub>2</sub> , кг	Масса пыли из аппарата m <sub>апп</sub> , кг	Производительность питающего трубопровода q, кг/с	Время отключения τ, с	Вид пылеуборки
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	Механи- зированная, 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	Механи- зированная, 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	Механи- зированная, 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	Механи- зированная, 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	Механи- зированная, вакуумная, пол с выбоинами

№ 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						
							Объем помещения V, м <sup>3</sup>	Масса пыли m <sub>1</sub> , кг	Масса пыли m <sub>2</sub> , кг	Масса пыли из аппарата m <sub>апп</sub> , кг	Производительность питающего трубопровода q, кг/с	Время отключения τ, с	Вид пылеуборки
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	Механизованная, вакуумная, пол с выбоинами
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	Механизованная, вакуумная, пол с выбоинами
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	Механизованная, вакуумная, пол с выбоинами
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	Механизованная, вакуумная, пол с выбоинами

Таблица 11

## Значения показателей пожарной опасности ЛВЖ

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Моляр- ная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота помеще- ния, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышед- ших в резуль- тате аварии в поме- щение, кг	Время испа- рения, с	Расчет- ная темпера- тура t <sub>p</sub> , °С
						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

Продолжение табл. 11

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Моляр-ная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота помеще- ния, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышед- ших в резуль- тате аварии в поме- щение, кг	Время испа- рения, с	Расчет- ная темпера- тура $t_p$ , °С
						A	B	C <sub>A</sub>			
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
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

Продолжение табл. 11

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Моляр- ная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота помеще- ния, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышед- ших в резуль- тате аварии в поме- щение, кг	Время испа- рения, с	Расчет- ная темпера- тура t <sub>p</sub> , °С
						А	В	С <sub>А</sub>			
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 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 помеще- ния, м	Константы уравнения Ангуана			Масса паров, вышедших в результате аварии в поме- щение, кг	Время испа- рения, с	Расчет- ная темпе- ратура t <sub>p</sub> , °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 «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	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

Продолжение табл. 12

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота помеще- ния, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышедших в результате аварии в поме- щение, кг	Время испа- рения, с	Расчет- ная темпе- ратура t <sub>p</sub> , °С
						А	В	С <sub>А</sub>			
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
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

Окончание табл. 12

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг·кмоль <sup>-1</sup>	НКПР, % (об.)	Ширина/ длина/ высота помеще- ния, м	Константы уравнения Антуана			Масса паров, вышедших в результате аварии в поме- щение, кг	Время испа- рения, с	Расчет- ная темпе- ратура t <sub>p</sub> , °С
						А	В	С <sub>А</sub>			
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, этилцеллоэольв-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 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 14

Расположение пожарной нагрузки в складе согласно схеме

№ 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> )

## Значения критических плотностей падающих лучистых потоков

Материалы	$q_{кр},$ 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

Окончание табл. 15

Материалы	$Q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup>
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
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 16

Значения низшей теплоты сгорания  
твердых горючих веществ и материалов

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания $Q_{Н}^P$ , МДж · кг <sup>-1</sup>
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

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания $Q_H^P$ , МДж · кг <sup>-1</sup>
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 «З» М	13,76
Ледерин (кожзаменитель)	17,76
Линкруст поливинилхлоридный	17,08
Лиолеум:	
масляный	20,97
поливинилхлоридный	14,31
поливинилхлоридный двухслойный	17,91
поливинилхлоридный на войлочной основе	16,57
поливинилхлоридный на тканевой основе	20,29
Лиопор	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
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

### Практическое занятие № 3

## РАСЧЕТ ФЛЕГМАТИЗИРУЮЩЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНЕРТНЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ И ГАЛОГЕНОСОДЕРЖАЩИХ ИНГИБИТОРОВ

**Цель занятия.** Ознакомится с методиками определения флегматизирующей концентрации инертных разбавителей и галогенсодержащих ингибиторов.

### 1. Общие положения

Для обеспечения взрывобезопасности технологического оборудования и производственных помещений осуществляют флегматизацию горючих парогазовых смесей в указанных объемах с помощью различных газообразных добавок. Предотвращение образования горючей среды достигается следующими путями:

1) поддержанием концентрации горючих газов, паров, взвесей и (или) окислителей в смеси вне пределов их воспламенения (ниже НКПР, выше ВКПР);

2) достижением достаточной концентрации флегматизатора в воздухе защищаемого объекта или его части.

**Флегматизация** заключается в создании в технологическом оборудовании или занимаемом помещении среды, не поддерживающей горение. Это один из эффективных способов предупреждения образования взрывоопасной смеси.

Различают два метода флегматизации:

- 1) разбавление воздуха инертными разбавителями ( $N_2$ ,  $CO_2$ , пар);
- 2) введение в воздух ингибиторов горения – хладонов ( $CFBr_3$ ,  $C_2F_4Br_2$ ,  $CF_3Cl$ ), а также комбинированных составов (смесь  $N_2$  с хладонами).

Первый метод предназначен для взрывозащиты технологического оборудования, а второй – преимущественно для защиты производственных помещений.

Флегматизацией инертными разбавителями достигается снижение концентрации кислорода в газовой смеси до 12–15 % (по объему). Для веществ с широким диапазоном воспламенения ( $H_2$ , ацетилен,  $CO$ ), некоторых металлосодержащих соединений ( $LiH$ ) содержание кислорода при флегматизации необходимо снижать до 5 % (по объему) и ниже.

Флегматизация воздуха производственных помещений галогенсодержащими ингибиторами обеспечивает возможность не только взрывозащиты, но и пожаротушения. При этом для флегматизации требуется гораздо меньшее количество ингибитора (около 3–5 % по объему). Это обеспечивает быстрое создание зафлегматизированной среды, что очень важно при быстром заполнении помещений взрывоопасным веществом, достижение эффекта флегматизации при

полученном содержании кислорода (около 18 % кислорода по объему), что допустимо для кратковременного пребывания людей.

При увеличении концентрации флегматизатора в горючей смеси верхний концентрационный предел уменьшается, а нижний, как правило, незначительно увеличивается. При некоторой определенной для каждого флегматизатора концентрации нижний и верхний концентрационные пределы сливаются. Эта точка называется экстремальной точкой области распространения пламени или точкой флегматизации. Концентрация флегматизатора, при которой происходит слияние нижнего и верхнего концентрационных пределов, называется минимальной флегматизирующей концентрацией (МФК) – это минимальное количество флегматизатора, которое необходимо ввести в газоздушную смесь стехиометрического состава, чтобы сделать ее негорючей. Речь идет о стехиометрической смеси, так как она наиболее пожаровзрывоопасна.

Флегматизирующую концентрацию инертных разбавителей и галогенсодержащих ингибиторов можно определить разными способами.

## **2. Способы определения флегматизирующей концентрации инертных разбавителей и галогенсодержащих ингибиторов**

**Способ 1.** Флегматизирующую концентрацию (%) применительно к воздушным смесям органических веществ, состоящих из атомов С, Н, N, О можно рассчитать по формуле

$$\varphi_{\phi} = 100 \frac{S - 4,84\beta}{1 + S + (\gamma - 1) \cdot (1 + 4,84\beta)}, \quad (1)$$

где  $S$  – безразмерный параметр, определяемый по формуле

$$S = n_{\text{H}} \cdot h_{\text{H}} + n_{\text{C}} \cdot h_{\text{C}} + n_{\text{O}} \cdot h_{\text{O}} + n_{\text{N}} \cdot h_{\text{N}} + h \cdot \Delta Q^{\circ}; \quad (2)$$

$\beta$  – стехиометрический коэффициент  $\text{O}_2$  в реакции горения;  $\gamma$  – безразмерный параметр, характеризующий флегматизирующую способность (табл. 1);

$n_{\text{H}}, n_{\text{C}}, n_{\text{O}}, n_{\text{N}}$  – число соответствующих атомов в формуле горючего;  $h_{\text{H}}, h_{\text{C}}, h_{\text{O}}, h_{\text{N}}$  – эмпирические коэффициенты, соответственно равные:  $h_{\text{H}} = 2,989$  (для водорода);  $h_{\text{C}} = 3,441$ ;  $h_{\text{O}} = -0,522$ ;  $h_{\text{N}} = -0,494$ ;  $h = 0,0314$  моль/кДж;  $\Delta Q^{\circ}$  – стандартная теплота образования горючего, кДж/моль.

Коэффициент  $\beta$  определяется по формуле

$$\beta = 0,5n_{\text{C}} + 0,25n_{\text{H}} - 0,5n_{\text{O}}. \quad (3)$$

Расчет флегматизирующей концентрации инертных разбавителей ( $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  пар) для пылевоздушных смесей проводится по тем же формулам, в которых эмпирические коэффициенты соответственно равны (моль/кДж):

- для пылей полимерных материалов:  $h_H = 2,93$ ;  $h_C = 10,17$ ;  $h_O = -0,522$ ;  $h_N = -0,49$ ;  $h = 0,0263$ ;
- для пылей лекарственных препаратов:  $h_H = 2,06$ ;  $h_C = 7,37$ ;  $h_O = -0,53$ ;  $h_N = -0,49$ ;  $h = 0,0202$ .

Таблица 1

Значения параметра  $\gamma$  для различных флегматизаторов

Флегматизатор	$\gamma$	Флегматизатор	$\gamma$
Азот ( $N_2$ )	1,00	Тетрахлорметан ( $CCl_4$ )	4,8
Водяной пар ( $H_2O$ )	1,23	Трифтортрихлорэтан ( $C_2F_3Cl_3$ )	5,6
Диоксид углерода ( $CO_2$ )	1,56	Хлорпентафторэтан ( $C_2FCl_5$ )	6,0
Тetraфторметан ( $CF_4$ )	2,40	Дихлортetraфторэтан ( $C_2F_4Cl_2$ )	6,0
Шестифтористая сера ( $SF_6$ )	3,90	Перфторпропан ( $C_3F_8$ )	6,1
Дифторхлорметан ( $CHF_2Cl$ )	3,30	Хлорбромметан ( $CH_2ClBr$ )	10,4
Фтортрихлорметан ( $CFCl_3$ )	4,00	Дифторхлорбромметан ( $CF_2ClBr$ )	12,7
Дифтордихлорметан ( $CF_2Cl_2$ )	4,50	Трифторбромметан ( $CF_3Br$ )	16,2

Для практического применения значения флегматизирующей концентрации необходимо умножить на коэффициенты безопасности, которые равны 1,2 для химически инертных газов ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  пар) и 1,5 для галогеносодержащих ингибиторов [4].

### Пример

Определить концентрацию флегматизаторов азота  $N_2$  и тетрачлорметана  $CCl_4$  для предотвращения образования взрывоопасной смеси этана с воздухом.

#### Исходные данные

$\Delta Q_{C_2H_6} = -121,4$  кДж/моль – стандартная теплота образования горючего (этана  $C_2H_6$ ).

1) Определим величину стехиометрического коэффициента для  $C_2H_6$ :

$$\beta = 0,5n_C + 0,25n_H;$$

$$\beta = 0,52 + 0,256 = 2,5.$$

2) Определим безразмерный параметр  $S$  по формуле 2:

$$S_{C_2H_6} = n_H \cdot h_H + n_C \cdot h_C + h \cdot \Delta Q,$$

где эмпирические коэффициенты равны

$$h_H = 2,989; h_C = 3,441; h = 0,0314 \text{ моль/кДж};$$

$$S_{C_2H_6} = 6 \cdot 2,989 + 2 \cdot 3,441 - 121,4 \cdot 0,0314 = 21,004.$$

3) Рассчитаем флегматизирующую концентрацию (%) по формуле (1) с учетом, что  $\gamma_{N_2} = 1$ ;  $\gamma_{CCl_4} = 4,8$  (табл. 1).

$$\varphi_{N_2} = 100 \cdot \frac{21,004 - 4,84 \cdot 2,5}{1 + 21,004 + (1 - 1)(1 + 4,84 \cdot 2,5)} = 40,47 \% \text{ (об.)}$$

$$\varphi_{CCl_4} = 100 \cdot \frac{21,004 - 4,84 \cdot 2,5}{1 + 21,004 + (4,8 - 1)(1 + 4,84 \cdot 2,5)} = 12,31 \% \text{ (об.)}$$

Для повышения надежности по предупреждению образования взрывоопасной смеси вводят коэффициенты безопасности для этано-воздушной смеси:

$$\varphi_{N_2} = 40,47 \cdot 1,2 = 48,56 \% \text{ (об.)};$$

$$\varphi_{CCl_2} = 12,31 \cdot 1,5 = 18,47 \% \text{ (об.)}$$

**Способ 2.** ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

Минимальную флегматизирующую концентрацию флегматизатора  $C_\Phi$ , (% об.), для горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, рассчитывают по формуле [7]

$$C_\Phi = C_r \cdot V_\Phi, \quad (4)$$

где  $C_r$  – концентрация горючего в точке флегматизации, % (об.);

$$C_r = 100 / [1 + 2,42(m_c + 0,5 m_H - m_O) + V_\Phi]; \quad (5)$$

где  $V_\Phi$  – число молей флегматизатора, приходящееся на один моль горючего в смеси, соответствующей по составу точке флегматизации:

$$V_\Phi = \frac{8,097m_C + 65,571m_H + 69,079m_O - 17,469m_V + \Delta H_f^0}{(H_\Phi^1 - H_\Phi^0)} \quad (6)$$

$\Delta H_f^0$  – стандартная теплота образования горючего газа, кДж/моль.

$(\Delta H_f^1 - \Delta H_f^0)$  – разность энтальпий флегматизатора (определяют в соответствии с приведенными в табл. 2).

Предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора  $C_{рф}$ , % (об.), рассчитывают по формуле

$$C_{рф} = C_{\phi} \cdot K, \quad (7)$$

где

$$K = \begin{cases} 1,2 & \text{при } C_{\phi} \geq 15\% \\ 1,5 & \text{при } C_{\phi} \leq 15\% \end{cases}$$

Таблица 2

Разность энтальпий флегматизаторов

Флегматизатор	$(H_{\phi}^1 - H_{\phi}^0)$ кДж/моль	Флегматизатор	$(H_{\phi}^1 - H_{\phi}^0)$ кДж/моль
$N_2$	34,9	$CF_2ClBr$	449,0
$H_2O$	43,6	$CF_3Br$	573,0
$CO_2$	55,9	$CFCl_3$	142,0
$C_2F_3Cl_3$	218,0	$CCl_4$	170,0
$CF_6$	150,0	$CF_4$	90,0
$CHF_2Cl$	110,0	$C_3H_4F_3Cl$	208,0
$C_2F_2Cl_2$	170,0	$C_3H_8$	216,0
$C_2F_4Br_2$	830,0	$C_2F_5Cl$	200,0
$C_2F_4 Cl_2$	200,0		

### Пример

Рассчитать концентрацию горючего  $C_r$  и разбавителя  $C_{\phi}$  в экстремальной точке области воспламенения и предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора  $C_{рф}$ , % (об.) при флегматизации пропана  $C_3H_8$  диоксидом углерода.

Разность  $(H_{\phi}^1 - H_{\phi}^0)$ , равная 55,9 кДж/моль, берут из табл. 2. По формуле 6 вычисляют  $V_{\phi}$  с учетом того, что теплота образования пропана – минус 103,85 кДж/моль, а адиабатическая температура горения составов, отвечающих экстремальным точкам, равна 1400 К:

$$V_{\phi} = \frac{8,097 \cdot 3 + 65571 \cdot 8 + 103,85}{55,9} = 7,96$$

Находим  $C_r$  и  $C_{\phi}$ :

$$C_r = 100 / [1 + 2,42 (3 + 4) + 7,96] = 3,86 \% (\text{об.});$$

$$C_\phi = 3,86 \cdot 7,96 = 30,7 \% (\text{об.});$$

$$C_{рф} = 30,7 \cdot 1,2 = 36,84 \% (\text{об.}).$$

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить концентрацию флегматизаторов по формуле (1) для предотвращения образования взрывоопасной смеси газа с воздухом. Исходные данные представлены в табл. 3.

2. Рассчитать по способу 2 концентрацию горючего  $C_r$  и разбавителя  $C_\phi$  в экстремальной точке области воспламенения и предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора  $C_{рф}$ , % (об.) при флегматизации горючего газа. Исходные данные для решения задачи представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для определения концентрации флегматизаторов

№ варианта	Флегматизатор–горючий газ	№ варианта	Флегматизатор–горючий газ
1	$N_2-CH_4$	15	$C_2F_4 Cl_2- C_2H_4$
2	$N_2-C_2H_6$	16	$C_2F_4 Cl_2-CO$
3	$N_2-C_2H_4$	17	$C_2F_3Cl_3-CH_4$
4	$N_2-CO$	18	$C_2F_3Cl_3- C_2H_6$
5	$CO_2-CH_4$	19	$C_2F_3Cl_3- C_2H_4$
6	$CO_2- C_2H_6$	20	$C_2F_3Cl_3-CO$
7	$CO_2- C_2H_4$	21	$CF_3Br-CH_4$
8	$CO_2-CO$	22	$CF_3Br- C_2H_6$
9	$H_2O-CH_4$	23	$CF_3Br- C_2H_4$
10	$H_2O- C_2H_6$	24	$CF_3Br-CO$
11	$H_2O- C_2H_4$	25	$CCl_4-CH_4$
12	$H_2O-CO$	26	$CCl_4- C_2H_6$
13	$C_2F_4 Cl_2-CH_4$	27	$CCl_4- C_2H_4$
14	$C_2F_4 Cl_2- C_2H_6$	28	$CCl_4-CO$

Стандартные теплоты образования горючих газов  $\Delta Q^\circ$  кДж/кмоль:

$CH_4 = 76,67$ ;  $C_2H_6 = 88,40$ ;  $C_2H_4 = -48,60$ ;  $CO = 112,63$ .

## **Практическое занятие № 4**

### **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.

#### **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.

## 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. 1.

Таблица 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						

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).

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, цельности 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. 2.

Таблица 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. 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.

Таблица 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. 1) и класса конструктивной пожарной опасности (табл. 4).

Таблица 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
Жилые и общественные					
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
Производственные и складские					
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. 5.

Таблица 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>		
				одно-этажных	двух-этажных	в три этажа и более
А, Б	36	I	С0	Не огр.	5200	3500
А	36	II	С0	Не агр.	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	–
					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. 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 5, необходимо уменьшить на 25 %.

По одному из вариантов табл. 6 предусмотреть ограничение распространения пожара при проектировании здания, для чего:

1. По табл. 5 определить предельную высоту здания и степень огнестойкости здания.

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

3. В соответствии с данной степенью огнестойкости произвести выбор конструктивных характеристик здания и минимальные пределы огнестойкости (табл. 1).

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

5. Результаты работы занести в табл. 7.

Таблица 6

Исходные данные для выполнения задания

№ 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

Окончание табл. 6

№ варианта	Категория зданий или пожарных отсеков	Высота здания, м	Число этажей	Класс конструктивной пожарной опасности
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

Таблица 7

Результаты работы

№ 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

## Практическое занятие № 5

### ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ ВО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ СРЕДАХ

*Цель занятия.* Ознакомится с понятием взрывоопасная смесь, классификацией взрывоопасных и пожароопасных зон, уровнем и видом взрывозащиты электрооборудования. Научиться определять виды защиты электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных помещений.

#### 1. Общие положения

Для предупреждения взрывов, пожаров и аварий от коротких замыканий, перегрузок, больших переходных сопротивлений и других причин необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей и электрооборудования (машин, аппаратов, устройств).

Предупреждение и предотвращение пожаров и взрывов обеспечивается различными способами и средствами: технологическими, строительными и организационно-техническими. Мероприятия пожарной профилактики по предупреждению пожаров и взрывопредупреждению регламентируются различными нормативными документами.

Регламентирующим документом являются Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [11].

Электроустановки разделяют на открытые и закрытые.

К *открытым* или *наружным* относятся электроустановки незащищенные зданием от атмосферных воздействий, в т.ч. защищенные навесами, сетчатыми или решетчатыми ограждающими конструкциями.

*Закрытыми* или *внутренними* называются электроустановки, размещенные внутри здания, защищающего их от атмосферных воздействий.

*Взрывоопасная зона* – помещение или ограниченное пространство в помещении или наружные установки, в которых имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси.

*Взрывозащищенное* электрооборудование – электрооборудование, в котором предусмотрены конструктивные меры по устранению или затруднению возможности воспламенения окружающей его взрывоопасной среды при его эксплуатации.

*Электрооборудование общего назначения* – электрооборудование, выполненное без учета требований специфики для определенного назначения, определенных условий эксплуатации.

*Безопасный экспериментальный максимальный зазор (БЭМЗ)* максимальный зазор между фланцами, через который не происходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации смеси в воздухе.

*Взрывоопасная смесь* – смесь с воздухом горючих газов, паров жидкости, а также пыли или волокон с нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПР) не более  $65 \text{ г/м}^3$ , находящейся во взвешенном состоянии, которая при определенных концентрациях способна взорваться, если имеется источник воспламенения.

*Пожароопасная зона* – пространство внутри или вне помещения, в пределах которого постоянно или периодически происходит обращение горючих веществ и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

*Искробезопасная электрическая цепь* – цепь, выполненная так, что электрический разряд или его нагрев не может воспламенить взрывоопасную среду при предписанных условиях испытания.

## 2. Классификация взрывоопасных и пожароопасных зон

Выбор взрывозащищенности электрооборудования производится с учетом наличия в помещении взрыво – и пожароопасных зон.

Все помещение будет взрывоопасной зоной, если взрывоопасные парогазовоздушные или пылевоздушные смеси при воспламенении могут развивать расчетное избыточное давление, превышающее 5 кПа. Если взрывоопасная смесь при воспламенении развивает расчетное избыточное давление не превышающее 5 кПа, то взрывоопасной считается зона в помещении в пределах 5 м по горизонтали и вертикали от технологического оборудования из которого возможно выделение горючих газов, паров жидкостей и пыли [11].

Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует считать не взрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность. Классификация взрывоопасных зон приведена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация взрывоопасных зон

Класс зоны	Характеристика смеси
В-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранения или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях и т. п.
В-Ia	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей. Например, к таким зонам относятся зоны хранения лакокрасочных материалов, горюче-смазочных материалов, баллонов ацетилена, кислорода, карбида кальция, сжиженного газа, подготовки поверхностей к окраске, окраски и сушки окрашенных поверхностей

Класс зоны	Характеристика смеси
В-Іб	<p>Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Горючие газы в этих зонах обладают высоким нажимом концентрационным пределом воспламенения (15% и более) и резким запахом.</li> <li>2. Помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения. Например, зона зарядки аккумуляторных батарей. Зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами и ЛВЖ производится без применения открытого пламени. Эти зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами</li> </ol>
В-Іг	<p>Пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, эстакад для слива и налива ЛВЖ, например, заправка топливом автомобилей всех типов на автозаправочных пунктах, открытых нефтеловушек, прудов – отстойников с плавающей нефтяной пленкой. Пространства: у проемов за наружными ограждающими конструкциями помещения со взрывоопасными зонами классов В-І, В-Іа и В-ІІ; у наружных ограждающих конструкций, если на них расположены устройства для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений со взрывоопасными зонами любого класса; у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ</p>
В-ІІ	<p>Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы</p>
В-ІІа	<p>Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, указанные для зоны В-ІІ, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.</p>

Помещение и установки, в которых содержатся горючие жидкости и горючие пыли, нижний концентрационный предел которых выше  $65 \text{ г/см}^3$ , относят к пожароопасным и их классификация приведена в табл. 2 [1, 11].

Таблица 2

Классификация пожароопасных зон

Класс зоны	Характеристика зоны
П-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки $61^\circ\text{C}$ и более (склад автомобильных масел, участок разборочно-моечный, эмульсионная)
П-II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более $65 \text{ г/м}^3$ к объему воздуха (шиномонтажный участок при проведении шиномонтажных работ)
П-IIa	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества (инструментально-раздаточная кладовая, участок деревообрабатывающий)
П-III	Зоны, расположенные вне помещения, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки $61^\circ\text{C}$ и более или твердые горючие вещества (хранение пиломатериалов, хранение автомобилей на открытых площадках)

### 3. Взрыво- и пожарозащищенное электрооборудование

Установлены следующие уровни взрывозащиты электрооборудования:

Электрооборудование **повышенной надежности против взрыва** – взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается только в признанном нормальном режиме работы (знак уровня – 2).

**Взрывобезопасное** электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме поврежденных средств взрывозащиты (знак уровня – 1).

**Особовзрывобезопасное** электрооборудование – взрывозащищенное электрооборудование, в котором по отношению к взрывобезопасному электрооборудованию приняты дополнительные средства взрывозащиты, предусмотренные стандартами на виды взрывозащиты (знак уровня – 0).

Взрывозащищенное электрооборудование может иметь следующие виды взрывозащиты табл. 3.

Таблица 3

## Виды защиты взрывозащищенного электрооборудования

Вид взрывозащиты	Меры, обеспечивающие взрывозащиту	Маркировка
Взрывонепроницаемая оболочка	Оболочка, выдерживающая давление взрыва внутри нее и предотвращающая распространение взрыва в окружающую ее среду	d
Искробезопасная электрическая цепь	Цепь выполнена так, что электрический разряд или ее нагрев не могут воспламенить взрывоопасную среду при предписанных условиях испытания	i
Защита вида «е»	Повышенная надежность против взрыва, в котором исключено искрение и нагрев	e
Масляное заполнение оболочки	Оболочка заполняется маслом или жидким негорючим диэлектриком	o
Заполнение или продувка оболочки защитным газом	Продувка чистым воздухом или инертным газом, препятствующая засасыванию воздуха из внешней взрывоопасной среды	p
Специальный вид взрывозащиты	Вид взрывозащиты, основанный на принципах, отличных от приведенных выше, но признанный достаточным для ее обеспечения (заливочные смолы)	s
Кварцевое заполнение оболочки	Оболочка заполнена кварцевым песком	q

Использование взрывозащищенного электрооборудования подразделяется на две группы.

К первой относится рудничное, предназначенное для подземных выработок, шахт, опасных по взрыву газа и пыли. Ко второй группе – взрывозащищенное, предназначенное для взрывоопасных помещений и наружных установок.

Группа II подразделяется на три подгруппы, соответствующие категориям взрывоопасных смесей и размерам БЭМЗ (табл. 8).

Кроме этого группа II в зависимости от значения предельной температуры подразделяется на шесть температурных классов, соответствующих группам взрывоопасных смесей (по температуре) самовоспламенения смеси (табл. 9). Предельная температура – это

наибольшая температура поверхностей взрывозащищенного электрооборудования, безопасная в отношении воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

В маркировку по взрывозащите электрооборудования в указанной ниже последовательности входят:

- знак уровня взрывозащиты электрооборудования (2, 1, 0);
- знак Ex, указывающий на соответствие электрооборудования стандартам на взрывозащищенное электрооборудование;
- знак вида взрывозащиты (p, d, i, q, o, s, e);
- знак группы или подгруппы электрооборудования (II, IIA, IIB, IIC);
- знак температурного класса электрооборудования (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

Пример маркировки: 2ExiIIC<sub>T6</sub> – электрооборудование повышенной надежности против взрыва (уровень взрывозащиты 2, соответствующего требованиям ГОСТ 12.2.020-76 с искробезопасной электрической цепью (i) для группы II электрооборудования (IIC) и смесей с предельной температурой  $t = 85\text{ °C}$  (T<sub>6</sub>).

В маркировке по взрывозащите могут иметь место дополнительные знаки и надписи в соответствии со стандартами на электрооборудование с отдельными видами взрывозащиты.

Электрооборудование для взрывоопасных помещений выбирают исходя из принципа его надежности против взрыва в условиях, как исправного состояния, так и при вероятных повреждениях. Поэтому согласно ПУЭ во взрывоопасных помещениях стационарно установленные электродвигатели с частями, как искрящими по условиям работы, так и не искрящими, должны иметь следующие конструктивные исполнения взрывозащиты в помещениях:

- классы В-I и В-II – взрывонепроницаемое или продуваемое под избыточным давлением;
- класс В-Ia и для аварийной вентиляции в помещениях класса В-Iб – любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей;
- класс В-Iб – невзрывозащищенное, но по меньшей мере защищенное или брызгозащищенное;
- класс В-IIa – закрытое обдуваемое или продуваемое. При этом искрящие части машины должны быть заключены в кожухи следующих исполнений: в помещениях классов В-Ia и В-IIa – взрывонепроницаемого продуваемое под избыточным давлением или специального, а в помещениях класса В: В-Iб – закрытого исполнения.

При отсутствии электродвигателей необходимого исполнения имеющиеся выносят за стену взрывоопасного помещения. В этом случае допускается применение электродвигателей нормального (не

взрывозащищенного) исполнения, однако необходимо, чтобы привод вала, пропущенного через стену, был снабжен сальниковым уплотнением, а помещение, где установлен электродвигатель, отделено от взрывоопасного помещения глухой несгораемой стеной.

Это помещение оборудуют вентиляцией с усиленным притоком воздуха, превышающим вытяжку.

Выбор и установка электрооборудования (машин, аппаратов, устройств) и сетей для пожароопасных зон выполняются в соответствии с ПУЭ на основе классификации горючих материалов (жидкостей, пылей и волокон).

При размещении в помещениях или наружных установках единичного пожароопасного оборудования, когда специальные меры против распространения пожара не предусмотрены, зона в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от этого оборудования является пожароопасной.

Маркировка степени защиты оболочки электрооборудования осуществляется при помощи международного знака защиты (IP) и двух цифр [1], первая из которых означает защиту от попадания твердых предметов, вторая – от проникновения воды (например, IP54):

- степень защиты от внешних твердых предметов: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 (табл. 4);

- степень защиты от проникновения воды: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (табл. 5).

Таблица 4

Степень защиты пожарозащищенного электрооборудования от твердых предметов

Первая цифра	Краткое описание степени защиты
0	Нет защиты
1	Защищено от внешних твердых предметов диаметром 50 и более мм
2	Защищено от внешних твердых предметов диаметром 12,5 и более мм
3	Защищено от внешних твердых предметов диаметром 2,5 и более мм
4	защищено от внешних твердых предметов диаметром 1 и более мм
5	Пылезащищено; защищено от проникновения пыли в количестве, нарушающем нормальную работу оборудования или снижающем его безопасность
6	Пыленепроницаемо; защищено от проникновения пыли

Таблица 5

Степень защиты пожарозащищенного электрооборудования  
от проникновения воды

Вторая цифра	Краткое описание степени защиты
0	Нет защиты
1	Защищено от вертикально падающих капель воды
2	Защищено от вертикально падающих капель воды, когда оболочка отклонена на угол не более 15 градусов
3	Защищено от воды, падающей в виде дождя под углом не более 60°
4	Защищено от сплошного обрызгивания любого направления
5	Защищено от водяных струй из сопла с внутренним диаметром 6,3 мм
6	Защищено от водяных струй из сопла с внутренним диаметром 12,5 мм
7	Защищено от воздействия при погружении в воду не более чем на 30 мин
8	Защищено от воздействия при погружении в воду более чем на 30 мин

В пожароопасных помещениях всех классов рекомендуется устанавливать электрооборудование в закрытом исполнении, когда пространство внутри оболочки машины практически не сообщается с наружной средой (за исключением небольших неплотностей в сочленениях отдельных частей). Лишь в помещениях класса II-Па допускается электрооборудование защищенного (от случайного попадания внутрь пыли, предметов) исполнения. Электропроводки монтируют защищенными в стальных трубах либо кабелем. Открытая прокладка допускается только изолированным проводом, укрепленным на изоляторах на недоступной высоте и вдали от мест скопления горючих материалов. Переносные светильники, используемые в пожароопасных помещениях всех классов, должны быть в закрытом исполнении и защищены стальной сеткой. Светильники общего освещения выбирают в закрытом или пылезащищенном исполнении (класс помещения II-I), в закрытом или влагозащищенном исполнении (II-Па).

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. В соответствии с выполняемым вариантом задания (табл. 6) определить принадлежность жидкости к взрывоопасной смеси, категорию и группу смеси, используя табл. 7.
2. По табл. 8 выбрать для этой категории смеси БЭМЗ, а по табл. 9 – группу смеси и сравнить температуру самовоспламенения смеси с заданной в исходных данных (табл. 6), проверив тем самым правильность выбора смеси.

3. Из табл. 1 выбрать класс взрывоопасной зоны.

4. Выбрать уровень взрывозащиты для применяемого по варианту электрооборудования, при этом использовать рекомендации, изложенные в табл. 10.

5. Результаты работы внести в табл. 11.

Таблица 6

Исходные данные по вариантам

Наименование исходных данных	Варианты		
	I	II	III
Применяемая жидкость	Дизельное топливо	Бензин	Ацетон
Температура само-воспламенения жидкости, °С	240	220	460 – 670
Применяемое электро-оборудование	Электродвигатель, стационарные электроприборы, светильники стационарные	Электродвигатель, стационарные электроприборы, светильники переносные	Электродвигатель, стационарные электроприборы, светильники переносные
Дополнительные условия	Работы, ведущиеся в помещении, связанные с хранением и переливом дизельного топлива	Заправка топливом автомобиля на авто-заправочных станциях	Работы, ведущиеся в помещении, связанные с хранением лакокрасочных материалов (ацетона)

Таблица 7

Распределение некоторых взрывоопасных смесей по категориям и группам

Категория смеси	Группа смеси	Вещества, образующие с воздухом взрывоопасную смесь
I	T <sub>1</sub>	Метан рудничный
IIА	T <sub>1</sub>	Аммиак, ацетон, доменный газ, окись углерода, пропан, растворители Р-4, Р-5, РС-1, этан
IIА	T <sub>2</sub>	Бензин Б95/130, бутан, пропилен, растворители N 646. 647 и др. спирты: метиловый, этиловый
IIА	T <sub>3</sub>	Бензины: А66, А72, А76, Б-70, керосин, нефть, уайт-спирит, этилмеркаптан

Окончание табл. 7

Категория смеси	Группа смеси	Вещества, образующие с воздухом взрывоопасную смесь
ПА	T <sub>4</sub>	Альдегид масляный
ПВ	T <sub>1</sub>	Коксовый газ
ПВ	T <sub>2</sub>	Этилен, растворители АМР-3 и АКР
ПВ	T <sub>3</sub>	Дизельное топливо, акролеин, сероводород
ПС	T <sub>1</sub>	Водород

Таблица 8

Категория взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом

Категория смеси	Наименование смеси	БЭМЗ, мм
I	Рудничный метан	Более 1,0
II в т. ч.:	Промышленные газы и пары	
ПА	То же	Более 0,9
ПВ	То же	Более 0,5 до 0,9
ПС	То же	До 0,5

БЭМЗ – безопасный экспериментальный максимальный зазор между фланцами оболочки, через который не передается взрыв в окружающую среду при любой концентрации горючего вещества в воздухе.

Таблица 9

Группы взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом

Группа смеси	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
Температура самовоспламенения смеси, °С	≥450	300...450	200...300	135...200	100...135	85...100 и <

Таблица 10

Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электрических машин (стационарных и передвижных) электрических аппаратов и приборов, электрических светильников в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
<b>Электрические машины</b>	
В-I, В-II	Взрывобезопасное
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва

Класс зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
В-Іб, В-Іа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44 – для В 1б и IP54 – для В-Іа. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты не менее IP44- В 1б и IP54 – для В-Іа
<b>Электрические аппараты и приборы (стационарные):</b>	
В-І, В-ІІ	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-Іа, В-Іг	Повышенной надежности против взрыва – для аппаратов и приборов искрящих или подверженных нагреву выше 80 °С. Без средств взрывозащиты – для аппаратов и приборов не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С. Оболочка со степенью защиты не менее IP54
В-Іб, В-Іа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44. – для В 1б и IP54 – для В-Іа
<b>Электрические аппараты и приборы (передвижные или переносные):</b>	
В-І, В-Іа, В-ІІ	Взрывобезопасное, особовзрывобезопасное
В-Іб, В-Іг	Повышенной надежности против взрыва
В-Іа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54
<b>Светильники (стационарные)</b>	
В-І	Взрывобезопасное
В-Іа, В-Іг В-ІІ	Повышенной надежности против взрыва
В-Іб, В-Іа	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP53
<b>Светильники (переносные)</b>	
В-І, В-Іа, В-ІІ	Взрывобезопасное
В-Іб, В-Іг, В-Іа	Повышенной надежности против взрыва

Таблица 11

## Результаты работы

Вид электрооборудования	Категория и группа смеси	БЭМЗ, мм	Группа и температурный класс электрооборудования	Класс взрывоопасной зоны	Маркировка электрооборудования

## **Практическое занятие № 6**

### **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.

#### **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).

## 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. 1) [5].

Таблица 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

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 горючей среды. При таком тушении сокращается расход воды.

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. 2, 3, 4) [13].

### **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. 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. 6 [9]. Пожарные щиты

комплекуются немеханизированным пожарным инструментом и инвентарем согласно табл. 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. 8, 9, выполнить самостоятельное задание, для чего:

- 1) по табл. 1 определить класс пожара;
- 2) определить класс помещения по способу размещения пожарной нагрузки и способ пожаротушения;
- 3) определить нормы оснащения помещений ручными огнетушителями (табл. 5);
- 4) определить нормы оснащения зданий, строений и территорий пожарными щитами (табл. 6) и комплектации пожарных щитов немеханизированным инструментом и инвентарем (табл. 7);
- 5) определить расход воды на внутреннее и наружное пожаротушение (табл. 2, 3, 4) в соответствии с условием задания.

Полученные результаты занести в табл. 10.

Таблица 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 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

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 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-эмульсионные
				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	2++	4+	2++	1+	—	—	2+	1++
		Д	—	—	2+	1++	—	—	—	1++
		Е	—	—	2++	1+	2+	4+	2++	—
Г	800	В	2+	—	2++	1+	—	—	—	2++
		С	—	4+	2++	1+	—	—	—	2++

## Окончание табл. 5

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-эмульсионные
				2/2	5/4	10/9		2/2	5(8) или 3(5)	
Г, Д	1800	А	2++	4+	2++	1+	–	–	–	4++
		В	–	–	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 емкостью (массой).

Таблица 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 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) емкостью 10 л	2+	2+	–	2+	2+
	порошковые (ОП) емкостью, л/ массой огнетушащего состава, кг					
	10/9	1++	1++	1++	1++	1++
	или					
	5/4	2+	2+	2+	2+	2+
	углекислотные (ОУ) емкостью, 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 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 9

## Исходные данные для выполнения задания

№ 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	C1	Стол для размещения обезжириваемых деталей	Толуол	Пролив толуола на $S = 5 \text{ м}^2$ , воспламенение	90	3,5
2	В	III	C1	Автомобили	Дизельное топливо	Течь дизельного топлива из неисправного бака ( $S = 3 \text{ м}^2$ )	1000	6,0
3	Г	III	C1	Электрооборудование	Эл. изоляция	Появление электрической дуги	50	5,0
4	Г	III	C0	Сварочные аппараты	Эл. изоляция	Появление электрической искры	200	5,0
5	В	II	C0	Книги, журналы	Бумага	Короткое замыкание	300	3,0
6	В	I	C0	Документы	Бумага	Короткое замыкание	500	4,5
7	А	I	C0	Газовые баллоны	Метан	Утечка газа в помещение, воспламенение газа	550	6,0

Продолжение табл. 9

№ 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
8	Б	II	C1	Аппарат для измельчения сахара	Сахарная пудра	Выброс сахарной пудры из аппарата, воспламенение	800	6,0
9	Б	I	C0	Аппарат для измельчения зерна	ука	Воспламенение мучной пыли на поверхности оборудования	700	5,0
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

Окончание табл. 9

№ 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
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 10

## Оформление результатов работы

Класс пожара	Оснащение ручными огнетушителями	Оснащение пожарными щитами	Расход воды на пожаротушение		Комплектация пожарных щитов
			Внутреннее	Наружное	

## Практическое занятие № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА И ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

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

#### 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.

### ***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.

### ***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.

## **2. Определение характеристик пожарной нагрузки [14]**

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

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

$$R_{пн} = m / F_{\text{пола}}, \quad (1)$$

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

$$K_{\text{п}} = F_{\text{пг}} / F_{\text{п}}. \quad (2)$$

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

$$v_{\text{м}} = \Delta m / \Delta t. \quad (3)$$

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

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

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

$$q_{\text{п}} = \beta v_{\text{м}} Q_{\text{н}}, \quad (4)$$

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

### Пример

Определить параметры пожарной нагрузки для помещения площадью  $10 \text{ м}^2$ , в котором находится штабель древесины. Штабель выложен из 36 брусков, размером  $1 \times 0,1 \times 0,1 \text{ м}$  шириной в 9 рядов. При данных условиях за 20 мин выгорает 20 % его массы. Плотность древесины принять равной  $500 \text{ кг}/\text{м}^3$ , 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 негорючих 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,  $P_{\text{пн}} = 180/10 = 18 \text{ кг/м}^2$ .

2. Для расчета  $K_{\text{п}}$  необходимо сначала вычислить  $F_{\text{пр}}$ , 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  $9aL + 2(4aL) + 2(36a^2)$ , площадь одного пересечения –  $a^2$ .

Таким образом, для штабеля, выложенного из брусков:

$$F_{\text{пр}} = 9aL + 2(4aL) + 2(36a^2) = 0,9 + 0,8 + 0,72 = 2,42. \quad (5)$$

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:

$$K_{\text{п}} = F_{\text{пр}} / F_{\text{п}} = 2,42 : 0,4 = 6,05.$$

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

Следовательно:

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

Приведенная массовая скорость выгорания:

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

Удельная массовая скорость выгорания:

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

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

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

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

### 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. 1).

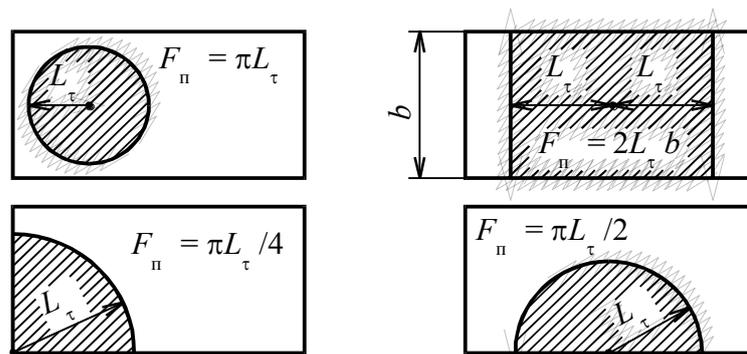


Рис. 1. Форма площади пожара (● – место возникновения пожара)

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:

$$L_{\tau} = 0,5v_{л} \cdot \tau \text{ при } \tau \leq 10 \text{ мин}; \quad (6)$$

$$L_{\tau} = L_{10} + L_{\tau-10} = 5v_{л} + v_{л}(\tau-10) \text{ при } \tau > 10 \text{ мин}. \quad (7)$$

Здесь  $L_{10}$  – путь, который проходит фронт пламени за первые 10 мин;  $L_{10} = 0,5v_{л} \cdot 10 = 5v_{л}$ , 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. 2), если скорость распространения равна 1,2 м/мин, а предел огнестойкости двери – 0,2 ч.

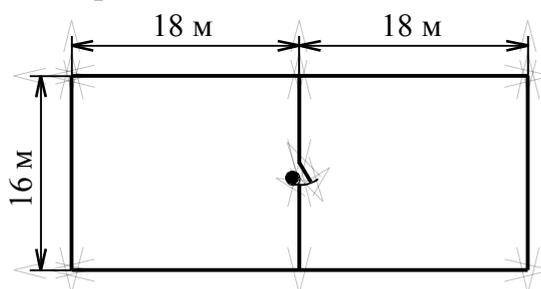


Рисунок 2. План помещения (● – место возникновения пожара)

### 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 и  $F_{\text{п}}^5 = 3,14 \cdot 3^2/2 = 14 \text{ м}^2$  (рис. 3).

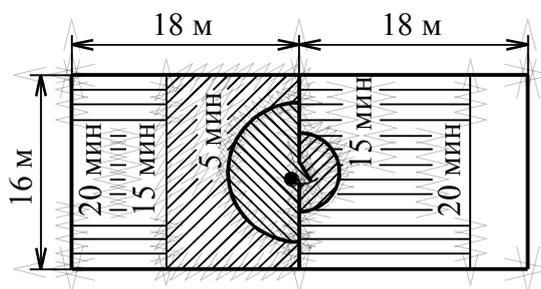


Рисунок 3. План развития пожара

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  $\pi \cdot 3,6^2 / 2 = 20$  м<sup>2</sup>.

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  $L_{20} = 5 \cdot 1,2 + 1,2 \cdot (20 - 10) = 18$  м. Тогда все левое помещение к этому моменту времени будет охвачено пожаром (см. рис. 3). Однако в правом помещении он будет распространяться 20–12 = 8 мин. За это время он пройдет  $1,2 \cdot 8 = 9,6$  м и, достигнув боковых стен, примет форму прямоугольника размером 16x9,6 м. В результате:

$$F_{п}^{20} = 16 \cdot 18 + 16 \cdot 9,6 = 441 \text{ м}^2.$$

Таким образом,  $F_{п}^5 = 14$  м<sup>2</sup>;  $F_{п}^{15} = 212$  м<sup>2</sup>;  $F_{п}^{20} = 441$  м<sup>2</sup>. По этим данным строим зависимость  $F_{п} = f(\tau)$ , которая называется графиком развития пожара.

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить параметры пожарной нагрузки (табл. 1) для помещения площадью  $S$ , в котором находится штабель древесины. Штабель выложен из  $N$  брусков размером 1x0,05x0,05 м в  $n$  рядов. Время горения равно  $\tau$ , степень выгорания  $\Delta m$ . Плотность древесины принять равной 500 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент полноты сгорания 0,9.

Элементный состав древесины: С = 51 %, Н = 6 %, N = 20 %, О = 13 %, влага – 10 %. Строительные конструкции выполнены из негорючих материалов.

Таблица 1

Исходные данные для определения параметров пожарной нагрузки

Номер варианта	$S$ , м <sup>2</sup>	$N$	$n$	$\tau$ , 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

Окончание табл. 1

Номер варианта	S, м <sup>2</sup>	N	n	τ, мин	Δm, %
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
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. 4) на заданные моменты времени: 7, 15, 20, 25 и 30 мин. Построить план и график развития пожара.

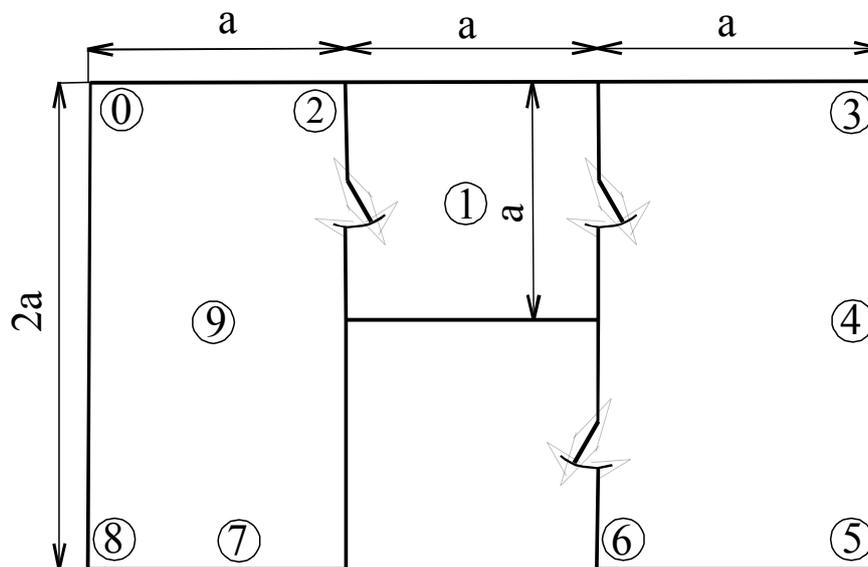


Рис. 4. План помещения  
(○ – место возникновения пожара)

Таблица 2

Исходные данные для определения площади пожара

Номер варианта	Место возникновения пожара	Масштабный коэффициент а, 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

## Практическое занятие № 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

*Цель занятия.* Ознакомится с методами категорирования зданий производственного и складского назначения по взрывоопасной и пожарной опасности.

### 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, 6].

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.

### 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 помещения 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  $350 \text{ м}^2$  – столярная мастерская, обработка и складирование древесины (категория помещения  $B_2$ );
- помещение площадью  $250 \text{ м}^2$  – кузница (категория помещения «Г»);
- помещение площадью  $80 \text{ м}^2$  – 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. 1.

Таблица 1

## Исходные данные для расчета категорий зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

№ 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> .
7	Производственное четырехэтажное здание. Общая площадь помещений здания F=16000 м <sup>2</sup> . Площадь помещений категорий А и Б составляет F <sub>А,Б</sub> =800 м <sup>2</sup> , помещений категорий В–F <sub>В</sub> = 1500 м <sup>2</sup> , помещений категории Г–F <sub>Г</sub> =3000 м <sup>2</sup> . Помещения категорий А, Б, В оборудованы установками автоматического пожаротушения.
8	Производственное одноэтажное здание. Общая площадь помещений здания F = 8000 м <sup>2</sup> . Площадь помещений категорий А и Б составляет F <sub>А,Б</sub> =600 м <sup>2</sup> , категорий В–F <sub>В</sub> =1000 м <sup>2</sup> , категории Г–F <sub>Г</sub> =200 м <sup>2</sup> , категории Д – F <sub>Д</sub> = 6200 м <sup>2</sup> . Помещения категорий А, Б, В оборудованы установками автоматического пожаротушения.
9	Производственное пятиэтажное здание. Общая площадь помещений здания F = 25000 м <sup>2</sup> . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет F <sub>В</sub> = 1000 м <sup>2</sup> , категории Г – F <sub>Г</sub> = 200 м <sup>2</sup> , категории Д – F <sub>Д</sub> = 23800 м <sup>2</sup> .

Продолжение табл. 1

№ варианта	Исходные данные
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 $F_{В} = 4000 \text{ м}^2$ .
19	Производственное пятиэтажное здание. Общая площадь помещений здания – $30000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В составляет $2000 \text{ м}^2$ , категории Г – $10000 \text{ м}^2$ .

№ варианта	Исходные данные
20	Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 60000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категории А составляет $F_A = 150 \text{ м}^2$ , категории Б – $F_B = 400 \text{ м}^2$ .
21	Здание общей площадью $300 \text{ м}^2$ состоит из 3 помещений: помещение площадью $100 \text{ м}^2$ (категория помещения «Б»), помещение оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью $100 \text{ м}^2$ (категория помещения В); помещение площадью $50 \text{ м}^2$ (категория помещения «Г»); помещение площадью $50 \text{ м}^2$ (категория помещения «Д»).
22	Здание общей площадью $500 \text{ м}^2$ состоит из 3 помещений: помещение площадью $100 \text{ м}^2$ (категория помещения «Б»), помещение оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью $100 \text{ м}^2$ (категория помещения В) оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью $150 \text{ м}^2$ (категория помещения «Г»); помещение площадью $150 \text{ м}^2$ (категория помещения «Д»).
23	Здание общей площадью $400 \text{ м}^2$ состоит из 4 помещений: помещение площадью $100 \text{ м}^2$ (категория помещения «Б»), помещение оборудовано установкой автоматического пожаротушения; помещение площадью $200 \text{ м}^2$ (категория помещения В); помещение площадью $50 \text{ м}^2$ (категория помещения «Г»); помещение площадью $50 \text{ м}^2$ (категория помещения «Д»).

## **Практическое занятие № 9**

### **РАСЧЕТ КРИТЕРИЕВ**

### **ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК**

*Цель занятия.* Ознакомится с методами определения классификационных признаков категорий наружных установок производственного и складского назначения по пожарной опасности и расчета критериев взрывопожарной опасности наружных установок.

#### **1. Категории наружных установок по пожарной опасности**

Классификация наружных установок по пожарной опасности используется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара на наружных установках [12, 15].

По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории АН, БН, ВН, ГН и ДН.

Категории пожарной опасности наружных установок определяются исходя из вида находящихся в наружных установках 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 наружных установок по пожарной опасности принимаются в соответствии с табл. 1.

Определение категорий наружных установок следует осуществлять путем последовательной проверки их принадлежности к категориям, приведенным в табл. 1, от высшей (АН) к низшей (ДН).

В случае если из-за отсутствия данных представляется невозможным оценить величину индивидуального риска, допускается использование вместо нее следующих критериев.

Таблица 1

## Категории наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории по пожарной опасности
АН повышенная взрывопожаро-опасность	Установка относится к категории АН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
БН взрывопожаро-опасность	Установка относится к категории БН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие пыли и (или) волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании пыле- и (или) паровоздушных смесей с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
ВН пожароопасность	Установка относится к категории ВН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие и (или) трудногорючие жидкости, твердые горючие и (или) трудногорючие вещества и (или) материалы (в том числе пыли и (или) волокна), вещества и (или) материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом гореть, и если не реализуются критерии, позволяющие отнести установку к категории АН или БН (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ и (или) материалов превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
ГН умеренная пожароопасность	Установка относится к категории ГН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) негорючие вещества и (или) материалы в горячем, раскаленном и (или) расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и (или) пламени, а также горючие газы, жидкости и (или) твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
ДН пониженная пожароопасность	Установка относится к категории ДН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) в основном негорючие вещества и (или) материалы в холодном состоянии и если по перечисленным выше критериям она не относится к категории АН, БН, ВН или ГН

Для категорий АН и БН:

– горизонтальный размер зоны, ограничивающей газопаровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), превышает 30 м (данный критерий применяется только для горючих газов и паров) и/или расчетное избыточное давление при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 5 кПа.

Для категории ВН:

– интенсивность теплового излучения от очага пожара веществ и/или материалов, указанных для категории ВН, на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 4 кВт/м<sup>2</sup>.

## **2. Методы расчета значений критериев пожарной опасности для горючих газов и паров**

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

Выбор расчетного варианта следует осуществлять с учетом годовой частоты реализации и последствий тех или иных аварийных ситуаций. В качестве расчетного для вычисления критериев пожарной опасности для горючих газов и паров следует принимать вариант аварии, для которого произведение годовой частоты реализации этого варианта  $Q_w$  и расчетного избыточного давления  $\Delta P$  при сгорании газопаровоздушных смесей в случае реализации указанного варианта максимально, то есть:

$$G = Q_w \cdot \Delta P = \max. \quad (1)$$

Расчет величины  $G$  производится следующим образом:

а) рассматриваются различные варианты аварии и определяются из статистических данных или на основе годовой частоты аварий со сгоранием газопаровоздушных смесей  $Q_{wi}$  для этих вариантов;

б) для каждого из рассматриваемых вариантов определяются по изложенной ниже методике значения расчетного избыточного давления  $\Delta P_i$ ;

в) вычисляются величины  $G_i = Q_{wi} \cdot \Delta P_i$  для каждого из рассматриваемых вариантов аварии, среди которых выбирается вариант с наибольшим значением  $G_i$ ;

г) в качестве расчетного для определения критериев пожарной опасности принимается вариант, в котором величина  $G_i$  максимальна. При этом количество горючих газов и паров, вышедших в атмосферу, рассчитывается исходя из рассматриваемого сценария аварии.

При невозможности реализации описанного выше метода в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газопаровоздушных смесей участвует наибольшее количество

газов и паров, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей. В этом случае количество газов и паров, вышедших в атмосферу, рассчитывается в соответствии с методикой (см. п. 2.2).

Количество поступивших веществ, которые могут образовывать горючие газоздушные или паровоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

а) происходит расчетная авария одного из аппаратов (в зависимости от того, какой из подходов к определению расчетного варианта аварии принят за основу);

б) все содержимое аппарата поступает в окружающее пространство;

в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат по прямому и обратному потоку 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 систем автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов (но не более 120 с);

- 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, для которых время отключения 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 окружающее пространство. 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 министерств или ведомств по согласованию с Ростехнадзором на подконтрольных ему производствах и предприятиях и МЧС России;

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на горизонтальную поверхность определяется (при отсутствии справочных или иных экспериментальных данных) исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,10 м<sup>2</sup>, а остальных жидкостей – на 0,15 м<sup>2</sup>;

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

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

## ***2.2. Расчет избыточного давления взрыва, развиваемое при сгорании газопаровоздушных смесей***

**Масса газа  $m$** , кг, поступившего в окружающее пространство при расчетной аварии, определяется по формуле:

$$m = (V_o + V_T) \cdot \rho_G, \quad (2)$$

где  $V_o$  – объем газа, вышедшего из аппарата, м<sup>3</sup>;  $V_T$  – объем газа вышедшего из трубопровода, м<sup>3</sup>;  $\rho_G$  – плотность газа, кг·м<sup>-3</sup>.

При этом

$$V_o = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (3)$$

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

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (4)$$

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>;

$$V_{1T} = q \cdot T, \quad (5)$$

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 пункту 2.1 в), с;

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2 + \dots + r_n^2 \cdot L_n), \quad (6)$$

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  $m$** , кг, поступивших в окружающее пространство при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, поверхность со свеженанесенным составом, открытые емкости и т. п.), определяется из выражения

$$m = m_p + m_{\text{емк}} + m_{\text{св.окр.}} + m_{\text{пер}}, \quad (7)$$

где  $m_p$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;  $m_{\text{емк}}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых емкостей, кг;  $m_{\text{св.окр.}}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг;  $m_{\text{пер}}$  – масса жидкости, испарившейся в окружающее пространство в случае ее перегрева, кг.

При этом каждое из слагаемых ( $m_p$ ,  $m_{\text{емк}}$ ,  $m_{\text{св.окр.}}$ ) в формуле (7) определяют из выражения

$$m = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T, \quad (8)$$

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  $m_p$ , вышедшей в окружающее пространство;  $T$  – продолжительность поступления паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в окружающее пространство согласно п. 2.1 в), с.

Величину  $m_{\text{пер}}$  определяют по формуле (при  $T_a > T_{\text{кип}}$ ).

$$m_{\text{пер}} = \min \left\{ 0,8 \cdot m_{\text{п}}; \frac{2 \cdot C_p \cdot (T_a - T_{\text{кип}})}{L_{\text{исп}}} \cdot m_{\text{п}} \right\}, \quad (9)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса вышедшей перегретой жидкости, кг;  $C_p$  – удельная теплоемкость жидкости при температуре перегрева жидкости  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $T_a$  – температура перегретой жидкости в соответствии с технологическим регламентом в технологическом аппарате или оборудовании, К;  $T_{\text{кип}}$  – нормальная температура кипения жидкости, К;  $L_{\text{исп}}$  – удельная теплота испарения жидкости при температуре перегрева жидкости  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Если аварийная ситуация связана с возможным поступлением жидкости в распыленном состоянии, то она должна быть учтена в формуле (7) введением дополнительного слагаемого, учитывающего общую массу поступившей жидкости от распыляющих устройств исходя из продолжительности их работы.

Масса  $m_p$  вышедшей жидкости, кг, определяется в соответствии с п. 2.1 а–е).

Интенсивность испарения  $W$  определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать  $W$  по формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (10)$$

где  $M$  – молярная масса, г·моль<sup>-1</sup>;  $P_H$  – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, определяемое по справочным данным или расчетным путем, кПа.

Для сжиженных углеводородных газов (СУГ) при отсутствии данных допускается рассчитывать удельную массу испарившегося СУГ  $m_{\text{СУГ}}$  из пролива, кг·м<sup>-2</sup>, по формуле

$$m_{\text{СУГ}} = \frac{M}{L_{\text{исп}}} \cdot (T_0 - T_{\text{ж}}) \cdot \left( 2 \cdot \lambda_{\text{ТВ}} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot a} + \frac{5,1 \cdot \sqrt{\text{Re}} \cdot \lambda_{\text{В}} \cdot t}{d}} \right), \quad (11)$$

где  $M$  – молярная масса СУГ, кг·моль<sup>-1</sup>;  $L_{\text{исп}}$  – молярная теплота испарения СУГ при начальной температуре СУГ  $T_{\text{ж}}$ , Дж·моль<sup>-1</sup>;  $T_0$  – начальная температура материала, на поверхность которого разливается СУГ, К;  $T_{\text{ж}}$  – начальная температура СУГ, К;  $t$  – текущее время, с, принимаемое равным времени полного испарения СУГ, но не более 3600 с;  $\lambda_{\text{В}}$  – коэффициент

теплопроводности воздуха, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>,  $a = \frac{\lambda_{\text{ТВ}}}{C_{\text{ТВ}} \cdot \rho_{\text{ТВ}}}$  – коэффициент

температуропроводности материала, на поверхность которого разливается СУГ, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $\lambda_{\text{ТВ}}$  – коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается СУГ, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $C_{\text{ТВ}}$  – теплоемкость материала, на поверхность которого разливается СУГ, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $\rho_{\text{ТВ}}$  – плотность материала, на поверхность которого разливается СУГ, кг·м<sup>-3</sup>,

$\text{Re} = \frac{U \cdot d}{\nu_{\text{В}}}$  – число Рейнольдса;  $\nu_{\text{В}}$  – кинематическая вязкость воздуха,

м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $U$  – скорость воздушного потока, м·с<sup>-1</sup>;  $d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{П}}}{\pi}}$  – характерный размер пролива СУГ, м;  $F_{\text{П}}$  – площадь пролива.

Формула (11) справедлива для СУГ с температурой  $T_{\text{ж}} \leq T_{\text{кип}}$ .

При температуре СУГ  $T_{\text{ж}} > T_{\text{кип}}$  дополнительно рассчитывается масса перегретых СУГ  $m_{\text{пер}}$  по формуле (9).

**Величину избыточного давления**  $\Delta P$ , кПа, развиваемого при сгорании газопаровоздушных смесей, определяют по формуле

$$\Delta P = P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \quad (12)$$

где  $P_0$  – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  $r$  – расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м;  $m_{\text{пр}}$  – приведенная масса газа или пара, кг, вычисляется по формуле

$$m_{\text{пр}} = \left( \frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z, \quad (13)$$

где  $Q_{\text{сг}}$  – удельная теплота сгорания газа или пара, Дж·кг<sup>-1</sup>;  $Z$  – коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который допускается принимать равным 0,1;  $Q_0$  – константа, равная  $4,52 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;  $m$  – масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

**Величину импульса волны давления**  $i$ , (Па·с), вычисляют по формуле

$$i = 123 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r} \quad (14)$$

### Пример 1

Определить массу газообразного этилена, образующегося при испарении пролива сжиженного этилена в условиях аварийной разгерметизации резервуара.

#### Исходные данные

Изотермический резервуар сжиженного этилена объемом  $V_{\text{и.р.э}} = 10000 \text{ м}^3$  установлен в бетонном обваловании свободной площадью  $S_{\text{об}} = 5184 \text{ м}^2$  и высотой отбортовки  $H_{\text{об}} = 2,2 \text{ м}$ . Степень заполнения резервуара  $\alpha = 0,95$ .

Ввод трубопровода подачи сжиженного этилена в резервуар выполнен сверху, а вывод отводящего трубопровода снизу. Диаметр отводящего трубопровода  $d_{\text{тр}} = 0,25 \text{ м}$ .

Длина участка трубопровода от резервуара до автоматической задвижки  $L = 1 \text{ м}$ , вероятность отказа которой превышает  $10^{-6}$  в год и не обеспечивает резервирование ее элементов.

Максимальный расход сжиженного этилена в режиме выдачи  $G_{\text{ж.э}} = 3,19 \text{ кг/с}$ . Плотность сжиженного этилена  $\rho_{\text{ж.э}}$  при температуре эксплуатации

$T_{\text{ЭК}} = 169,5 \text{ К}$  (начальная температура СУГ) равна  $568 \text{ кг/м}^3$ . Температура рабочая  $t_p$  или максимально возможная температура воздуха в соответствующей климатической зоне  $309 \text{ К}$ .

Молярная масса сжиженного этилена  $M = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

Расчетное время отключения трубопровода  $\tau$  равно  $120 \text{ с}$  (при ручном отключении).

Плотность газообразного этилена  $\rho_{\text{г.э}}$  при  $T_{\text{ЭК}}$  равна  $2,0204 \text{ кг/м}^3$ .

Молярная теплота испарения сжиженного этилена  $L_{\text{исп}}$  при  $T_{\text{ЭК}}$  равна  $1,344 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}$ .

Температура бетона (начальная температура материала, на поверхность которого разливается СУГ) равна максимально возможной температуре воздуха в соответствующей климатической зоне  $T_{\text{б}} = 309 \text{ К}$ .

Коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_{\text{б}} = 1,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ .

Коэффициент температуропроводности бетона  $a = 8,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Минимальная скорость воздушного потока  $v_{\text{min}} = 0 \text{ м/с}$ , а максимальная для данной климатической зоны  $v_{\text{max}} = 5 \text{ м/с}$ .

Кинематическая вязкость воздуха  $\nu_{\text{в}}$  при расчетной температуре воздуха для данной климатической зоны  $t_p = 36 \text{ }^\circ\text{С}$  равна  $1,64 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Коэффициент теплопроводности воздуха  $\lambda_{\text{в}}$  при  $t_p$  равен  $2,74 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ .

### Решение

При разрушении изотермического резервуара объем сжиженного этилена составит ( $\text{м}^3$ )

$$V_{\text{э.ж}} = \alpha \cdot V_{\text{и.р.э.}} + \frac{G_{\text{ж.э.}} \cdot \tau}{\rho_{\text{ж.э.}}} + \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = 0,95 \cdot 10^4 + \frac{3,19 \cdot 120}{568} + \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} \cdot 1 = 9500,7. \quad (15)$$

Свободный объем обвалования  $V_{\text{об}} = 5184 \cdot 2,2 = 11404,8 \text{ м}^3$ . Ввиду того, что  $V_{\text{ж.э.}} < V_{\text{об}}$  примем за площадь испарения  $S_{\text{исп}}$  свободную площадь обвалования  $S_{\text{об}}$ , равную  $5184 \text{ м}^2$ .

Тогда массу испарившегося этилена  $m_{\text{и.э.}}$  с площади пролива при скорости воздушного потока  $v = 5 \text{ м/с}$  рассчитывают по формуле:

$$m_{\text{и.э.}} = S_{\text{исп}} \cdot \frac{M}{L_{\text{исп}}} \cdot (T_{\text{б}} - T_{\text{ЭК}}) \cdot \left( 2 \cdot \lambda_{\text{ТВ}} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot a}} + \frac{5,01 \cdot \sqrt{\text{Re} \cdot \lambda_{\text{в}} \cdot t}}{d} \right) = 5184 \cdot \frac{28 \cdot 10^{-3}}{1,344 \cdot 10^4} \cdot \left( \frac{3600}{\sqrt{3,14 \cdot 8,4 \cdot 10^{-8}}} + \frac{5,01 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot \sqrt{5184}}{1,64 \cdot 10^{-5}} \cdot 2,74 \cdot 10^{-2} \cdot 3600}}{\sqrt{5184}} \right) = 577358 \text{ кг.}$$

Масса  $m_{\text{и.э.}}$  при  $v = 0 \text{ м/с}$  составит  $528\,039 \text{ кг}$ .

## Пример 2

Рассчитать избыточное давление и импульс волны давления при выходе в атмосферу пропана, хранящегося в сферической емкости на расстоянии 500 м от нее.

### Исходные данные

Объем емкости 600 м<sup>3</sup>. Температура 20 °С. Плотность сжиженного пропана 530 кг/м<sup>3</sup>. Степень заполнения емкости 80 % (по объему). Удельная теплота сгорания пропана 4,6·10<sup>7</sup> Дж/кг. Принимается, что в течение времени, необходимого для выхода сжиженного газа из емкости, весь пропан испаряется.

### Решение

Находим приведенную массу  $m_{пр}$  по формуле (13):

$$m_{пр} = 4,6 \cdot 10^7 / 4,52 \cdot 10^6 \cdot (0,8 \cdot 530 \cdot 600) \cdot 0,1 = 2,59 \cdot 10^5 \text{ кг.}$$

Находим избыточное давление  $\Delta P$  по формуле (12):

$$\Delta P = 101 \cdot [0,8 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,33} / 500 + 3 (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500^2 + 5 \cdot (2,59 \cdot 10^5) / 500^3] = 16,2 \text{ кПа.}$$

Импульс волны давления при выходе в атмосферу пропана равен

$$i = 123 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500 = 919,8 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

### *2.3. Расчет избыточного давления взрыва, развиваемое при сгорании горючих пылей в открытом пространстве*

В качестве расчетного варианта аварии для определения критериев пожарной опасности для горючих пылей следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в горении пылевоздушной смеси участвует наибольшее количество веществ или материалов, наиболее опасных в отношении последствий такого горения.

Количество поступивших веществ, которые могут образовывать горючие пылевоздушные смеси, определяется исходя из предпосылки о том, что в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в окружающее пространство находившейся в аппарате пыли.

Расчетная масса пыли, поступившей в окружающее пространство при расчетной аварии, определяется по формуле

$$M = \min \begin{cases} M_{\text{вз}} + M_{\text{ав}} \\ \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}} / Z, \end{cases} \quad (16)$$

где  $M$  – расчетная масса поступившей в окружающее пространство горючей пыли, кг;  $M_{\text{вз}}$  – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;  $M_{\text{ав}}$  – расчетная масса пыли, поступившей в результате аварийной ситуации, кг;  $\rho_{\text{ст}}$  – стехиометрическая концентрация горючей пыли в аэровзвеси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $V_{\text{ав}}$  – расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации,  $\text{м}^3$ .

В отсутствие возможности получения сведений для расчета  $V_{\text{ав}}$  допускается принимать:

$$M = M_{\text{вз}} + M_{\text{ав}}, \quad (17)$$

где  $M$  – расчетная масса поступившей в окружающее пространство горючей пыли, кг;  $M_{\text{вз}}$  – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;  $M_{\text{ав}}$  – расчетная масса пыли, поступившей в результате аварийной ситуации, кг.

Величина  $M_{\text{вз}}$  определяется по формуле:

$$M_{\text{вз}} = K_{\text{г}} \cdot K_{\text{вз}} + M_{\text{п}}, \quad (18)$$

где  $K_{\text{г}}$  – доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;  $K_{\text{вз}}$  – доля отложенной вблизи аппарата пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. В отсутствие экспериментальных данных о величине  $K_{\text{вз}}$  допускается принимать  $K_{\text{вз}} = 0,9$ ;  $M_{\text{п}}$  – масса отложившейся вблизи аппарата пыли к моменту аварии, кг.

Величина  $M_{\text{ав}}$  определяется по формуле:

$$M_{\text{ав}} = (M_{\text{ап}} + q \cdot T) \cdot K_{\text{п}}, \quad (19)$$

где  $M_{\text{ап}}$  – масса горючей пыли, выбрасываемой в окружающее пространство при разгерметизации технологического аппарата, кг; при отсутствии ограничивающих выброс пыли инженерных устройств следует полагать, что в момент расчетной аварии происходит аварийный выброс в окружающее пространство всей находившейся в аппарате пыли;  $q$  – производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $T$  – расчетное время отключения, с, определяемое в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки. Следует принимать равным времени срабатывания системы автоматики, если вероятность ее отказа не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов (но не более 120 с); 120 с, если

вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов; 300 с при ручном отключении;  $K_{\text{п}}$  – коэффициент пыления, представляющий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата. В отсутствие экспериментальных данных о величине  $K_{\text{п}}$  допускается принимать: 0,5 – для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм; 1,0 – для пылей с дисперсностью менее 350 мкм.

**Избыточное давление взрыва для горючих пылей** рассчитывается следующим образом:

а) определяют приведенную массу горючей пыли  $m_{\text{пр}}$ , кг, по формуле

$$m_{\text{пр}} = M \cdot Z \cdot H_{\text{T}} / H_{\text{То}}, \quad (20)$$

где  $M$  – масса горючей пыли, поступившей в результате аварии в окружающее пространство, кг;  $Z$  – коэффициент участия пыли в горении, значение которого допускается принимать равным 0,1. В отдельных обоснованных случаях величина  $Z$  может быть снижена, но не менее чем до 0,02;  $H_{\text{T}}$  – теплота сгорания пыли, Дж·кг<sup>-1</sup>;  $H_{\text{То}}$  – константа, принимаемая равной  $4,6 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;

б) вычисляют расчетное избыточное давление  $\Delta P$ , кПа, по формуле

$$\Delta P = P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \quad (21)$$

где  $r$  – расстояние от центра пылевоздушного облака, м. Допускается отсчитывать величину  $r$  от геометрического центра технологической установки;  $P_0$  – атмосферное давление, кПа.

**Величину импульса волны давления  $i$** , Па·с, вычисляют по формуле

$$i = 123 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r} \quad (22)$$

**2.4. Расчет максимальных размеров взрывоопасных зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени газов и паров жидкостей, размеров зон поражения при реализации пожара-вспышки**

Радиус  $R_{\text{нкпр}}$  (м) и высота  $Z_{\text{нкпр}}$  (м) зоны, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), при неподвижной воздушной среде определяется по формулам [7]:

для горючих газов (ГГ)

$$R_{\text{нкпр}} = 7,8 \left( \frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33}, \quad (23)$$

$$Z_{\text{нкпр}} = 0,26 \left( \frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33}, \quad (24)$$

для паров ЛВЖ

$$R_{\text{нкпр}} = 7,8 \left( \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33}, \quad (25)$$

$$Z_{\text{нкпр}} = 0,26 \left( \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33}, \quad (26)$$

где  $m_{\text{Г}}$  – масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;  $\rho_{\text{Г}}$  – плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м<sup>3</sup>;  $m_{\text{П}}$  – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения, кг;  $\rho_{\text{П}}$  – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа;  $C_{\text{нкпр}}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров, % об.

Плотность ГГ и паров ЛВЖ определяется по формуле

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

За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают геометрический центр пролива, а в случае, если  $R_{\text{нкпр}}$  меньше габаритных размеров пролива, – внешние габаритные размеры пролива.

При необходимости может быть учтено влияние различных метеорологических условий на размеры взрывоопасных зон.

В случае образования паровоздушной смеси в незагроможденном технологическим оборудованием пространстве и его зажигании относительно слабым источником (например, искрой) сгорание этой смеси происходит, как правило, с небольшими видимыми скоростями пламени. При этом амплитуды волны давления малы и могут не приниматься во внимание при оценке поражающего воздействия. В этом случае реализуется так называемый пожар-вспышка, при котором зона поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси практически совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания (то есть поражаются в основном объекты, попадающие в это облако). Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке  $R_F$  определяется формулой

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{нкпр}}, \quad (27)$$

где  $R_{\text{нкпр}}$  – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, определяемый по формуле (25).

### Пример

Определить размеры зоны, ограниченной НКПР паров, при аварийной разгерметизации трубопровода, транспортирующего ацетон.

### Исходные данные

Трубопровод, транспортирующий ацетон, проложен на открытом пространстве на высоте  $h = 0,5$  м от поверхности земли. Трубопровод оснащен ручными задвижками.

Масса паров ацетона, поступивших в открытое пространство за время полного испарения составляет  $m_a = 240$  кг при времени испарения  $T = 3600$  с.

Максимально возможная температура для данной климатической зоны  $t_p = 36$  °С. Плотность паров ацетона  $\rho_a$  при  $t_p$  равна  $2,29$  кг/м<sup>3</sup>. Нижний концентрационный предел распространения пламени паров ацетона  $C_{\text{НКПР}} = 2,7$  % (об.).

### Решение

Размеры зоны, ограниченной НКПР паров для ацетона составит:

$$R_{\text{нкпр}} = 7,8 \cdot \left( \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{г}} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33} = 7,8 \cdot \left( \frac{240}{2,29 \cdot 2,7} \right)^{0,33} = 6,59 \text{ м}$$

$$Z_{\text{нкпр}} = 0,26 \cdot \left( \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{г}} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33} = 0,26 \cdot \left( \frac{240}{2,29 \cdot 2,7} \right)^{0,33} = 2,14 \text{ м}$$

Таким образом, граница зоны, ограниченной НКПР паров, по горизонтали будет проходить на расстоянии 6,59 м от обечайки трубопровода, а по вертикали – на высоте  $Z_{\text{НКПР}} = 2,14$  м от поверхности земли.

### 2.5. Расчет интенсивности теплового излучения

Интенсивность теплового излучения рассчитывают для двух случаев пожара (или для того из них, который может быть реализован в данной технологической установке):

- пожар проливов ЛВЖ, ГЖ, СУГ (сжиженный углеводородный газ), СПГ (сжиженный природный газ) или горение твердых горючих материалов (включая горение пыли);
- «огненный шар».

Если возможна реализация обоих случаев, то при оценке значений критерия пожарной опасности учитывается наибольшая из двух величин интенсивности теплового излучения [6].

#### *Интенсивность теплового излучения для пожара пролива жидкости или при горении твердых материалов [7]*

Интенсивность теплового излучения  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>, рассчитывают по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (28)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

$E_f$  принимают на основе имеющихся экспериментальных данных. Для некоторых жидких углеводородных топлив указанные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени в зависимости от диаметра очага и удельная массовая скорость выгорания для некоторых жидких углеводородных топлив

Топливо	$E_f$ , кВт/м <sup>2</sup> , при $d$ , м					$m$ , кг/(м <sup>2</sup> · с)
	10	20	30	40	50	
СПГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,1
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельное топливо	40	32	25	21	18	0,04
Нефть	25	19	15	12	10	0,04

Примечание— Для диаметров очага менее 10 м или более 50 м следует принимать  $E_f$  такой же, как и для очагов диаметром 10 м и 50 м соответственно

При отсутствии данных допускается  $E_f$  принимать равной 100 кВт/м<sup>2</sup> для СУГ, 40 кВт/м<sup>2</sup> для нефтепродуктов.

Рассчитывают эффективный диаметр пролива  $d$ , м, по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \quad (29)$$

где  $S$  – площадь пролива, м<sup>2</sup>.

Рассчитывают высоту пламени  $H$ , м, по формуле

$$H = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{m}{\rho_E \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (30)$$

где  $m$  – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м<sup>2</sup> · с);  
 $\rho_E$  – плотность окружающего воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Определяют угловой коэффициент облученности  $F_q$  по формуле

$$E_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (31)$$

где  $F_V$ ,  $F_H$  – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, которые определяют с помощью выражений:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right\} \right], \quad (32)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{B-1/S}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}}\right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right], \quad (33)$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S}; B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S}; S = \frac{2 \cdot r}{d}; h = \frac{2 \cdot H}{d},$$

где  $r$  – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта).

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  определяют по формуле:

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} (r - 0,5 d)]. \quad (34)$$

### ***Интенсивность теплового излучения для «огненного шара»***

Огненный шар – это крупномасштабное диффузионное горение, реализуемое при разрыве резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого резервуара.

Процесс разрушения резервуара при нагреве от очага пожара находящейся в резервуаре жидкости до температуры, превышающей нормальную температуру кипения, с дальнейшим взрывообразным вскипанием жидкости сопровождается образованием волн давления, и, если жидкость горючая, «огненным шаром» [6].

Расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара»  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>, проводят по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (35)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

$E_f$  определяют на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать  $E_f$  равным 450 кВт/м<sup>2</sup>.

$F_q$  рассчитывают по формуле

$$F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \cdot \left[ (H/D_s + 0,5)^2 + (r/D_s)^2 \right]^{1,5}}, \quad (36)$$

где  $H$  – высота центра «огненного шара», м;  $D_s$  – эффективный диаметр «огненного шара», м;  $r$  – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара», м.

Эффективный диаметр «огненного шара»  $D_s$  рассчитывают по формуле:

$$D_s = 5,33 m^{0,327}, \quad (37)$$

где  $m$  — масса горючего вещества, кг.

$H$  определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать  $H$  равной  $D_s/2$ .

Время существования «огненного шара»  $t_s$ , с, рассчитывают по формуле:

$$t_s = 0,92 m^{0,303}. \quad (38)$$

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  рассчитывают по формуле:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2)]. \quad (39)$$

### Пример 1

Определить интенсивность теплового излучения от пожара пролива бензина площадью  $300 \text{ м}^2$  на расстоянии  $40 \text{ м}$  от центра пролива.

### Решение

Определяем эффективный диаметр пролива  $d$  по формуле (29)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 300}{3,14}} \cong 19,5 \text{ м.}$$

Находим высоту пламени по формуле (27), принимая  $m = 0,06 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  и  $\rho_B = 1,2 \text{ кг/м}^3$ :

$$H = 42 \cdot 19,5 \cdot \left( \frac{0,06}{1,2 \cdot \sqrt{9,8 \cdot 19,5}} \right)^{0,61} \cong 26,5$$

Находим угловой коэффициент облученности  $F_q$  по формулам (28–33), принимая  $r = 40 \text{ м}$ :

$$h = 2 \cdot 26,5 / 19,5 = 2,72,$$

$$S_1 = 2 \cdot 40 / 19,5 = 4,10,$$

$$A = (2,72^2 + 4,10^2 + 1) / (2 \cdot 4,1) = 3,08;$$

$$B = (1 + 4,1^2) / (2 \cdot 4,1) = 2,17.$$

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{4,1} \cdot \arctg \left( \frac{2,72}{\sqrt{4,1^2 - 1}} \right) - \frac{2,72}{4,1} \cdot \left\{ \arctg \left( \sqrt{\frac{4,1-1}{4,1+1}} \right) - \frac{3,08}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(3,08+1) \cdot (4,1-1)}{(3,08-1) \cdot (4,1+1)}} \right) \right\} \right] = 0,00126;$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{2,17 - 1/4,1}{\sqrt{2,17^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(2,17+1) \cdot (4,1-1)}{(2,17-1) \cdot (4,1+1)}} \right) - \frac{(3,08 - 1/4,1)}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(3,08+1) \cdot (4,1-1)}{(3,08-1) \cdot (4,1+1)}} \right) \right] = 0,03236;$$

$$E_q = \sqrt{0,00126^2 + 0,03236^2} = 0,03240..$$

Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (34):

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (40 - 0,5 \cdot 19,5)] = 0,979.$$

Находим интенсивность теплового излучения  $q$  по формуле (28), принимая  $E_f = 47 \text{ кВт/м}^2$  в соответствии с табл. 2:

$$q = 47 \cdot 0,0324 \cdot 0,979 = 1,5 \text{ кВт/м}^2.$$

## Пример 2

Определить время существования «огненного шара» и интенсивность теплового излучения от него на расстоянии 500 м при разрыве сферической емкости с пропаном объемом  $600 \text{ м}^3$  в очаге пожара.

### Исходные данные

Объем сферической емкости (резервуара)  $600 \text{ м}^3$ . Плотность жидкой фазы  $530 \text{ кг/м}^3$ . Степень заполнения резервуара жидкой фазы 80 %. Расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара» 500 м.

### Решение

Находим массу горючего  $m$  (кг) в «огненном шаре» по формуле

$$m = V \rho \cdot \alpha = 600 \cdot 530 \cdot 0,8 = 2,54 \cdot 10^5,$$

где  $V$  – объем резервуара,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность жидкой фазы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\alpha$  – степень заполнения резервуара.

Определяем эффективный диаметр «огненного шара»  $D_s$ :

$$D_s = 5,33 \cdot (2,54 \cdot 10^5)^{0,327} = 312 \text{ м.}$$

Принимая  $H = D_s/2 = 156 \text{ м}$ , находим угловой коэффициент облученности  $F_q$ .

$$F_q = \frac{156/312 + 0,5}{4 \cdot [156/312 + 0,5]^2 + 500(r/312)^2]^{1,5}} = 0,037.$$

Находим коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$ :

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} (\sqrt{500^2 + 156^2} - 312/2)] = 0,77.$$

Принимая  $E_f = 450 \text{ кВт/м}^2$ , находим интенсивность теплового излучения  $q$

$$q = 450 \cdot 0,037 \cdot 0,77 = 12,9 \text{ кВт/м}^2.$$

Определяем время существования «огненного шара»  $t_s$

$$t_s = 0,92 (2,54 \cdot 10^5)^{0,303} = 40 \text{ с.}$$

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить размеры зоны, ограниченной НКПР паров ЛВЖ, при аварийной разгерметизации емкости на открытом пространстве. При разгерметизации емкости в атмосферу поступают пары ЛВЖ при времени испарения  $T = 3600 \text{ с}$ . Емкость представляет собой цилиндр с основанием радиусом  $2 \text{ м}$  и высотой  $h_a = 10 \text{ м}$ . Данные для расчета представлены в табл. 3.

2. Определить интенсивность теплового излучения при проливе жидких углеводородных топлив. Принять плотность окружающего воздуха  $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$ . Исходные данные представлены в табл. 4.

Оценить воздействие интенсивности теплового излучения на людей в результате пролива жидкого топлива (табл. 5).

3. Определить время существования «огненного шара» и интенсивность теплового излучения, если известен объем сферической емкости, плотность жидкой фазы, степень заполнения резервуара жидкой фазой, расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара». Исходные данные по вариантам представлены в табл. 6.

Оценить степень поражения человека в зависимости от дозы теплового излучения (табл. 7).

Таблица 3

Значения показателей пожарной опасности некоторых смесей и технических продуктов ЛВЖ (исходные данные для определения размера зоны, ограниченной НКПР паров ЛВЖ, при аварийной разгерметизации емкости на открытом пространстве)

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг · кмоль <sup>-1</sup>	С <sub>НКПР</sub> , % (об.)	Масса паров, вышедших в результате аварии, кг	Расчетная температура t <sub>p</sub> , °С
1	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	200	25
2	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	220	26
3	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	240	27
4	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	260	28
5	Керосин осветительный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>10,914</sub> H <sub>21,832</sub>	153,1	0,64	280	32
6	Керосин осветительный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>11,054</sub> H <sub>21,752</sub>	154,7	0,66	300	33

Окончание табл. 3

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ) (состав смеси), % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг · кмоль <sup>-1</sup>	C <sub>НКПР</sub> , % (об.)	Масса паров, вышедших в результате аварии, кг	Расчетная температура t <sub>p</sub> , °C
8	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	147,3	0,7	150	35
9	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	C <sub>21,74</sub> H <sub>42,28</sub> S <sub>0,04</sub>	303,9	0,29	160	36
10	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	140	37
11	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	180	38
12	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	190	39
13	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	130	40
14	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C <sub>7,267</sub> H <sub>14,796</sub>	102,2	0,79	125	25
15	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,991</sub> H <sub>13,108</sub>	97,2	1,08	127	26
16	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>7,024</sub> H <sub>13,708</sub>	98,2	1,06	129	27
17	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,911</sub> H <sub>12,168</sub>	95,3	1,1	231	28
18	Дизельное топливо «З» (ГОСТ 305-73)	C <sub>12,343</sub> H <sub>23,889</sub>	172,3	0,61	130	29
19	Дизельное топливо "Л" (ГОСТ 305-73)	C <sub>14,511</sub> H <sub>29,120</sub>	203,6	0,52	235	30
20	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	C <sub>13,595</sub> H <sub>26,860</sub>	191,7	0,55	145	31

Таблица 4

Исходные данные для определения интенсивность теплового излучения  
при проливе жидких углеводородных топлив

№ п/п	Вид топлива	Площадь пролива, S, м <sup>2</sup>	Расстояние от центра пролива до облучаемого объекта r, м	Удельная массовая скорость выгорания топлива, т,кг/(м <sup>2</sup> · с)
1	СПГ (метан)	200	20	0,05
2	СУГ (пропан-бутан)	250	20	0,06
3	Бензин	300	20	0,07
4	Дизельное топливо	350	20	0,08
5	Нефть	400	20	0,09
6	СПГ (метан)	220	30	0,05
7	СУГ (пропан-бутан)	250	30	0,06
8	Бензин	320	30	0,07
9	Дизельное топливо	370	30	0,08
10	Нефть	450	30	0,09
11	СПГ (метан)	230	40	0,05
12	СУГ (пропан-бутан)	260	40	0,06
13	Бензин	330	40	0,07
14	Дизельное топливо	400	40	0,08
15	Нефть	450	40	0,09
16	СПГ (метан)	100	50	0,05
17	СУГ (пропан-бутан)	200	50	0,06

Окончание табл. 4

№ п/п	Вид топлива	Площадь пролива, S, м <sup>2</sup>	Расстояние от центра пролива до облучаемого объекта r, м	Удельная массовая скорость выгорания топлива, m, кг/(м <sup>2</sup> · с)
18	Бензин	300	50	0,07
19	Дизельное топливо	400	50	0,08
20	Нефть	500	50	0,09

Таблица 5

Предельно допустимая интенсивность теплового излучения пожаров проливов ЛВЖ и ГЖ

Степень поражения	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20–30 с Ожог 1-й степени через 15–20 с Ожог 2-й степени через 30–40 с Воспламенение хлопка-волокна через 15 мин	7,0
Непереносимая боль через 3–5 с Ожог 1-й степени через 6–8 с Ожог 2-й степени через 12–16 с	10,5
Воспламенение древесины с шероховатой поверхностью (влажность 12 %) при длительности облучения 15 мин	12,9
Воспламенение древесины, окрашенной масляной краской по строганой поверхности; воспламенение фанеры	17,0

Таблица 6

Исходные данные для определения интенсивность теплового излучения  
при проливе жидких углеводородных топлив

№ п/п	Вид топлива	Объем сферической емкости V, м <sup>3</sup>	Расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара» r, м	Плотность топлива ρ, кг/м <sup>3</sup>	Степень заполнения резервуара жидкой фазой, %
1	Метан	200	500	555	80
2	Этан	300	500	561	75
3	Пропан	400	500	530	70
4	Бутан	500	500	580	65
5	Пентан	600	500	626	60
6	Гексан	700	500	655	55
7	Метан	250	450	555	55
8	Этан	320	450	561	60
9	Пропан	370	450	530	65
10	Бутан	450	450	580	70
11	Пентан	230	450	626	75
12	Гексан	260	450	655	80
13	Метан	330	400	555	73
14	Этан	400	400	561	77
15	Пропан	450	400	530	82

Окончание табл. 6

№ п/п	Вид топлива	Объем сферической емкости V, м <sup>3</sup>	Расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара» r, м	Плотность топлива ρ, кг/м <sup>3</sup>	Степень заполнения резервуара жидкой фазой, %
16	Бутан	100	400	580	84
17	Пентан	200	400	626	63
18	Гексан	300	400	655	66
19	Метан	400	350	555	68
20	Этан	500	350	561	58
21	Пропан	250	350	530	53
22	Бутан	350	350	580	52
23	Пентан	450	350	626	50
24	Гексан	550	350	655	45
25	Метан	650	300	555	40
26	Этан	750	300	561	80
27	Пропан	330	300	530	77
28	Бутан	440	300	580	66
29	Пентан	555	300	626	55
30	Гексан	660	300	655	44

Таблица 7

Предельно допустимая доза теплового излучения при воздействии «огненного шара» на человека

Степень поражения	Доза теплового излучения, Дж/м <sup>2</sup>
Ожог 1-й степени	$1,2 \cdot 10^5$
Ожог 2-й степени	$2,2 \cdot 10^5$
Ожог 3-й степени	$3,2 \cdot 10^5$

Примечание. Дозу теплового излучения  $Q$ , Дж/м<sup>2</sup>, рассчитывают по формуле

$$Q = q \cdot t_s,$$

где  $q$  – интенсивность теплового излучения «огненного шара», Вт/м<sup>2</sup>;  $t_s$  – время существования «огненного шара», с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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 объемно-планировочным и конструктивным решениям.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Практическое занятие № 1. Определение взрывопожароопасных свойств веществ и материалов.....	4
Практическое занятие № 2. Расчет критериев взрывопожарной опасности помещений.....	21
Практическое занятие № 3. Расчет флегматизирующей концентрации инертных разбавителей и галогеносодержащих ингибиторов.....	76
Практическое занятие № 4. Ограничение распространения пожара при проектировании зданий.....	82
Практическое занятие № 5. Выбор электрооборудования для работы во взрыво- и пожароопасных средах.....	90
Практическое занятие № 6. Средства пожаротушения.....	101
Практическое занятие № 7. Определение параметров пожара и процесса горения.....	115
Практическое занятие № 8. Определение категорий зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.....	126
Практическое занятие № 9. Расчет критериев взрывопожарной опасности наружных установок.....	132
Библиографический список.....	159