

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА
И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ
В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Лабораторный практикум

Утверждено
Редакционным советом университета
в качестве учебного пособия

Москва
2023

УДК 658.345:628.51:66.013(076) (075.8)

ББК 51.24

Б40

Авторы: Н. И. Акинин, А. Я. Васин, Е. Б. Аносова, Г. Г. Гаджиев,
А. Н. Шушпанов, М. Д. Чернецкая, Т. Е. Трифонова

Рецензенты:

Доктор технических наук, доцент

Национального исследовательского технологического
университета «МИСиС»

Т. И. Овчинникова

Кандидат химических наук, доцент

Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева

В. И. Колесов

**Безопасность жизнедеятельности. Пожарная профилактика
Б40 и электробезопасность в химической промышленности. лабора-
торный практикум: учеб. пособие /Н. И. Акинин, А. Я. Васин, Е. Б.
Аносова, Г. Г. Гаджиев, А. Н. Шушпанов, М. Д. Чернецкая, Т. Е. Три-
фонова. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2023. – 112 с.
ISBN 978-5-7237-2013-8**

Пособие является руководством для проведения лабораторных и практиче-
ских работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». Рассмотрены во-
просы пожарной профилактики в химической промышленности. Для каждой работы
даны: теоретическая часть, методика проведения лабораторной работы, задания
к расчетным работам.

Предназначено для студентов всех направлений подготовки бакалавров
и специалистов.

УДК 658.345:628.51:66.013(076) (075.8)

ББК 51.24

ISBN 978-5-7237-2013-8

© Российский химико-технологический
университет им. Д. И. Менделеева, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
РАБОТА 1. Определение группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов.....	6
РАБОТА 2. Определение концентрационных пределов распространения пламени газовоздушных смесей.....	17
РАБОТА 3. Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.....	28
РАБОТА 4. Определение температуры вспышки горючих жидкостей	52
РАБОТА 5. Определение типа и количества огнетушителей для производственных помещений. Расчет максимального количества горючих жидкостей для помещений химических лабораторий.....	66
РАБОТА 6. Определение нижнего концентрационного предела распространения пламени пылевоздушных смесей.....	84
РАБОТА 7. Исследование опасности поражения человека током в трехфазных электрических сетях.....	96
Библиографический список	111

ВВЕДЕНИЕ

В химической промышленности используется большое количество газообразных, жидких и твердых веществ. Эти вещества могут быть сами по себе горючими и взрывоопасными.

Для безопасного получения, переработки, хранения и транспортировки опасных химических веществ необходимо располагать сведениями по показателям их пожаровзрывоопасности. Эти показатели являются основой при разработке мер пожарной и промышленной безопасности технологических процессов и промышленных зданий, выборе средств пожаротушения в случае возникновения пожаров.

Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях техногенного характера (пожары, взрывы) проводятся для заблаговременного принятия мер по предупреждению аварий, определению сил и средств, необходимых для смягчения и ликвидации последствий. Целью прогнозирования и оценки обстановки является определение размеров зоны чрезвычайной ситуации, степени разрушения зданий и сооружений, а также потерь среди персонала объекта и населения.

Мероприятия, направленные на обеспечение пожарной безопасности, проводятся по двум направлениям – пожарная профилактика и активная противопожарная защита. Первое направление связано с недопущением возникновения пожаров и взрывов или с максимально возможным ослаблением последствий этих явлений, если они все-таки произойдут. Второе направление охватывает мероприятия по ликвидации возникших пожаров.

Лабораторный практикум является обязательной и неотъемлемой частью дисциплины «Безопасность жизнедеятельности», основная цель которого – практическое закрепление теоретического материала, рассматриваемого на лекциях и изучаемого в ходе самостоятельной работы студентов по разделам «Основы пожарной безопасности» и «Электробезопасность».

В пособии рассмотрены вопросы электробезопасности и пожарной профилактики в химической промышленности. Большое внимание уделяется определению показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, таких как температура вспышки, группа горючести, концентрационные пределы

распространения пламени, а также разработке мер пожаровзрывобезопасности технологических процессов и производственных зданий, где обращаются горючие газы, жидкости и пыли.

Для каждой работы даны теоретические сведения, методика проведения эксперимента, задания к расчетным работам, а также примеры решения типовых задач. Для закрепления полученных знаний приведены контрольные вопросы.

В пособии использованы материалы действующих в настоящее время законодательных и нормативно–технических документов в области пожарной безопасности.

Выполнение лабораторных работ и практических заданий, приведенных в пособии, позволит обучающимся освоить необходимые универсальные компетенции дисциплины «Безопасность жизнедеятельности», соответствующие направлению и профилю их подготовки.

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППЫ ТРУДНОГОРЮЧИХ И ГОРЮЧИХ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Введение

Группа горючести является одним из основных показателей пожарной опасности веществ и материалов. Результаты оценки группы горючести следует применять при классификации веществ и материалов по горючести и включать эти данные в стандарты и технические условия на вещества и материалы, при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями норм технологического проектирования, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004 и 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Цель работы: ознакомление с установками и методами определения группы горючести веществ и материалов; прогнозирование и оценка обстановки при авариях, сопровождающихся пожарами.

Общие сведения

Группа горючести – классификационная характеристика способности веществ и материалов к горению.

По горючести вещества и материалы подразделяют на три группы:

– **негорючие (несгораемые)** – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе. Негорючие вещества могут быть пожаровзрывоопасными (например, окислители или вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом);

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

– **горючие (сгораемые)** – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления. Горючие жидкости с температурой вспышки не более 61 °С в закрытом тигле или 66 °С в открытом тигле относят

к легковоспламеняющимся (ЛВЖ). Особо опасными называют легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С.

Легковоспламеняющимися называют горючие вещества и материалы, способные воспламеняться от кратковременного (до 30 с) воздействия источника зажигания с низкой энергией (например, пламя спички, искра, тлеющая сигарета и т. п.)

Сущность экспериментального метода определения горючести заключается в создании температурных условий, способствующих горению, и оценке поведения исследуемых веществ и материалов в этих условиях.

Определение **группы негорючих твердых веществ и материалов** проводится в печи трубчатого типа, внутренним диаметром 75 мм, высотой 150 мм.

Для испытаний готовят пять образцов исследуемого материала диаметром 45 мм и высотой 50 мм. В верхней части образца делают осевое отверстие диаметром 2 мм и глубиной 25 мм для размещения термоэлектрического преобразователя. Рабочие спаи трех термоэлектрических преобразователей устанавливают с помощью шаблона на одном горизонтальном уровне, соответствующем средней линии печи с целью измерения температуры в печи, на поверхности и внутри образца исследуемого материала.

Образец опускают в печь, нагретую до 750 °С, где выдерживают в течении 30 мин.

Материал относят к группе негорючих, если соблюдены следующие условия:

- среднее арифметическое изменение температуры в печи, на поверхности и внутри образца не превышает 50 °С;
- среднее арифметическое значение потери массы для пяти образцов не превышает 50 % от их среднего значения первоначальной массы после кондиционирования;
- среднее арифметическое значение продолжительности устойчивого горения пяти образцов не превышает 10 с.

Для газов и жидкостей проводится **косвенное определение группы горючести** по другим экспериментально определенным показателям пожаровзрывоопасности.

При наличии концентрационных пределов распространения пламени **газ** относится к горючим; при отсутствии концентрационных пределов распространения пламени и наличии температуры самовоспламенения газ относят к трудногорючим; при отсутствии концентрационных пределов распространения пламени и температуры самовоспламенения газ относят к негорючим.

При наличии температуры воспламенения **жидкость** относят к горючим; при отсутствии температуры воспламенения и наличии температуры самовоспламенения жидкость относят к трудногорючим. При отсутствии температур вспышки, воспламенения, самовоспламенения, температурных и концентрационных пределов распространения пламени жидкость относят к группе негорючих.

Прогнозирование последствий аварий, связанных с пожарами

В пространстве, где развивается пожар, можно выделить три зоны: горения, теплового воздействия, где нельзя находиться без специальной тепловой защиты, и задымления с опасностью для жизни и здоровья. Интенсивность горения при пожаре зависит от скорости поступления в зону горения кислорода из окружающей среды. Размер зоны горения определяется той частью здания или сооружения, в которой образуется пламя. Температура в зоне горения внутри здания достигает 800–900 °С; температура горения твердых веществ на воздухе достигает 1000–1200 °С; а газов и легко воспламеняющихся жидкостей – 1200–1600 °С.

Основным поражающим фактором пожаров является термическое воздействие продуктов горения. Человек ощущает сильную (едва переносимую) боль, когда температура верхнего слоя кожного покрова повышается до 45 °С. Время достижения «порога боли» (τ , с) связано с плотностью теплового потока (q , кВт/м²) соотношением $\tau = (35/q)^{1,33}$.

При плотности теплового потока менее 1,7 кВт/м² боль не ощущается даже при длительном тепловом воздействии. Степень термического

воздействия зависит от величины теплового потока и длительности теплового излучения.

Термическое воздействие на легковоспламеняющиеся материалы (например, вследствие пожара, ядерного взрыва и т. п.) может вызвать дальнейшее распространение аварии и переход ее в стадию каскадного развития.

Для каждого материала существует критическое значение плотности теплового потока ($q_{кр}$), при котором воспламенение не происходит даже при длительном тепловом воздействии. При увеличении плотности теплового потока время до начала воспламенения материала сокращается. В общем случае зависимость времени воспламенения от плотности теплового потока имеет вид:

$$\tau = A/(q - q_{кр})^n,$$

где A и n – константы для конкретного вещества (например, для древесины $A = 4360$, $n = 1,61$).

Плотность теплового потока, равная $4,0 \text{ кВт/м}^2$, является безопасной для объектов.

Горение зданий и промышленных объектов

Расчет протяженности зон теплового воздействия (R , м) при горении зданий и промышленных объектов проводят по формуле:

$$R = 0,282R^* \cdot (q_{соб}/q_{кр}), \quad (1.1)$$

где $q_{соб}$ – плотность потока собственного излучения пламени пожара, кВт/м^2 (табл. 1.1);

$q_{кр}$ – критическая плотность потока излучения пламени пожара, падающего на облучаемую поверхность, кВт/м^2 (табл. 1.2);

R^* – приведенный размер очага горения, м, равный $(lh)^{1/2}$ – для горящих зданий; $(1,75-2,0)(lh)^{1/2}$ – для штабеля пиленого леса; $0,8D_{рез}$ – для горения нефтепродуктов в резервуаре (l – длина объекта горения, м; h – высота объекта горения, м; $D_{рез}$ – диаметр резервуара, м).

Задавая ту или иную степень поражения человека, сооружений и других объектов, по формуле (1.1) можно определить искомое расстояние от очага пожара.

Таблица 1.1

Теплотехнические характеристики материалов и веществ

Вещество, материал	Массовая скорость выгорания $V_{\text{выг}}$, кг/(м ² · с)	Теплота горения Q_v , кДж/кг	Плотность потока пламени пожара $q_{\text{соб}}$, кВт/м ²
Ацетон	0,047	28400	1200
Бензол	0,08	30500	2500
Бензин	0,05	44000	1780–2200
Керосин	0,05	43000	1520
Мазут	0,013	40000	1300
Нефть	0,02	43700	874
Древесина	0,015	19000	260
Каучук натуральный	0,013	42000	460
Пиломатериалы	0,017	14000	150

Таблица 1.2

Критические значения плотности потока падающего излучения

$q_{\text{кр}}$, кВт/м ²	Время воздействия теплового излучения до появления критических состояний, с				
	Ожоги у человека		Возгорание		
	I степень	II степень	Горючих жидкостей	ЛВЖ	Древесины
40,0	<1,0	<1,0	180	–	–
35,0	<1,0	<1,0	–	180	–
30,0	1,0	2,0	–	–	240
20	2,0	3,0	–	–	600
15	4,0	5,0	–	–	–
10	6,0	9,0	–	–	–
5	16,0	25,0	–	–	–
4,2	20,0	40,0	–	–	–
1,5	Безопасно	Безопасно	–	–	–

Примечание: прочерк означает отсутствие данных.

Образующиеся при пожаре продукты горения (или выделяющиеся в атмосферу и находящиеся в зоне горения опасные химические вещества (ОХВ)), распространяются по направлению ветра, образуя зону задымления (заражения).

Глубина зоны задымления Γ , м, определяется по формуле:

$$\Gamma = \frac{34,2}{k_1} \cdot \left(\frac{M}{k_2 \cdot w \cdot D} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (1.2)$$

где M – масса токсичных продуктов, кг; D – пороговая или летальная токсодоза, мг·мин/л (табл. 1.3); w – скорость ветра, м/с; k_1 – коэффициент шероховатости подстилающей поверхности, равный: 1 – для открытой поверхности, 2 – для степной растительности и сельскохозяйственных угодий, 2,5 – для кустарников, 3,3 – для леса и городской застройки; k_2 – коэффициент степени вертикальной устойчивости атмосферы, равный: 1 – для инверсии, 1,5 – для изотермии, 2 – для конвекции.

В табл. 1.3 приведены значения токсодоз некоторых опасных химических веществ.

Таблица 1.3

Значение токсодоз некоторых ОХВ

ОХВ	Токсодоза, мг·мин/л	
	Летальная $D_{лет}$	Пороговая $D_{пор}$
Аммиак	150	15
Угарный газ CO	60	25
Оксид азота NO _x	3	1,5
Диоксид серы SO ₂	70	1,8
Фосген	6	0,2
Хлор	6	0,6
Соляная кислота	200	2,0

Пример

Во время пожара на деревянном складе произошла разгерметизация емкости с хлором и утечка газообразного хлора массой 300 кг. Характер местности – промышленная зона (городская застройка), степень вертикальной устойчивости атмосферы – инверсия, скорость ветра – 3 м/с.

Определить наибольшее безопасное по термическому воздействию на человека расстояние от горящего здания размером $10 \times 5 \times 3$ м и размеры зон порогового и летального поражения.

Решение

Безопасное для человека расстояние от горящего здания определим по формуле (1.1), принимая приведенные размеры очага поражения равным со стороны длины склада $R_1^* = (10 \cdot 3)^{1/2} = 5,48$ м, со стороны ширины склада $R_2^* = (5 \cdot 3)^{1/2} = 3,87$ м. Плотность потока собственного излучения пламени пожара для древесины находим по табл. 1.1, $q_{\text{соб}} = 260$ кВт/м², а критическую плотность потока излучения пламени пожара, безопасную для человека, по табл. 1.2, $q_{\text{кр}} = 1,5$ кВт/м²:

$$R_1 = 0,282 \cdot 5,48 \cdot (260/1,5)^{1/2} \approx 20 \text{ (м)};$$

$$R_2 = 0,282 \cdot 3,87 \cdot (260/1,5)^{1/2} \approx 14 \text{ (м)},$$

т. е. наибольшее безопасное расстояние, равное 20 м, будет со стороны длины склада.

Размеры зон токсического поражения определим по формуле (1.2), принимая $k_1 = 3,3$ (городская застройка), $k_2 = 1$ (инверсия), $D_{\text{пор}} = 0,6$ мг · мин/л и $D_{\text{лет}} = 6$ мг · мин/л (для хлора).

$$\Gamma_{\text{пор}} = \frac{34,2}{3,3} \cdot \left(\frac{300}{1 \cdot 3 \cdot 0,6} \right)^{2/3} = 313,9 \text{ (м)}$$

$$\Gamma_{\text{лет}} = \frac{34,2}{3,3} \cdot \left(\frac{300}{1 \cdot 3 \cdot 6} \right)^{2/3} = 15,2 \text{ (м)}$$

Экспериментальная часть

Экспериментальное определение группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов проводится на стандартной аттестованной установке ОТМ, в соответствии с ГОСТ 12.1.044.

Прибор ОТМ (рис. 1.1) состоит из керамической реакционной камеры прямоугольной формы высотой 295 мм и имеющей в сечении квадрат со стороной 90 мм; газовой горелки; механизма ввода образца с держателем; зонты с рукояткой, установленного соосно на верхнюю кромку реакционной камеры и смотрового зеркала для наблюдения за образцом в реакционной камере.

Для испытаний готовят 3 образца материала длиной 60 мм, высотой 150 мм и фактической толщиной, но не более 30 мм. Для сыпучих веществ готовят 3 корзиночки прямоугольной формы длиной 60 мм, шириной 10 мм, высотой 150 мм, в которые помещают 90 см³ вещества. Корзиночки изготовлены из металлической сетки с размером ячеек 1,0 мм.

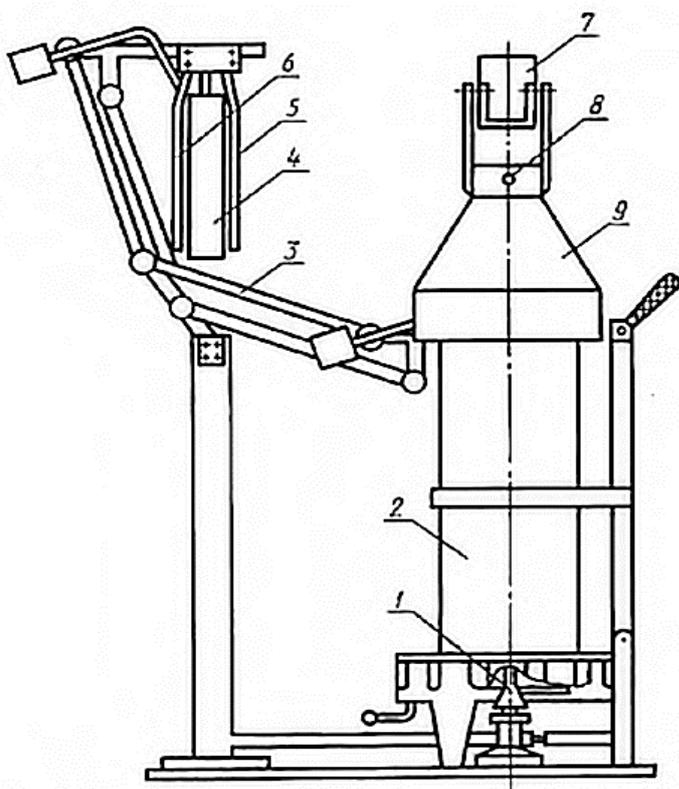


Рис. 1.1. Прибор ОТМ для определения группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов:

- 1 – горелка;
- 2 – реакционная камера;
- 3 – механизм ввода образца;
- 4 – образец;
- 5, 6 – держатели образца;
- 7 – зеркало;
- 8 – термоэлектрический преобразователь;
- 9 – зонг

Включают прибор КСП-4 для регистрации температуры, зажигают газовую горелку и регулируют расход газа так, чтобы температура газообразных продуктов горения на выходе из камеры составляла 200 °С. После этого в камеру вводят образец и испытывают в течение пяти минут или до достижения максимальной температуры отходящих газообразных продуктов горения материала, при этом регистрируют время ее достижения. В процессе испытаний фиксируется максимальная температура газообразных продуктов горения вещества. После испытаний остывший образец извлекают из камеры и взвешивают.

Максимальное приращение температуры (Δt_{\max}) вычисляют по формуле:

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_0 ,$$

где t_{\max} – максимальная температура газообразных продуктов горения исследуемого материала, °С; t_0 – начальная температура испытания, 200 °С.

Потерю массы образца (Δm) в процентах вычисляют по формуле:

$$\Delta m = \frac{m_H - m_K}{m_H} \cdot 100,$$

где m_H и m_K – массы образца до и после испытания, г.

По значению максимального приращения температуры Δt_{\max} и потере массы Δm материалы классифицируют:

трудногорючие – $\Delta t_{\max} < 60$ °С и $\Delta m < 60$ %;

горючие – $\Delta t_{\max} \geq 60$ °С или $\Delta m \geq 60$ %.

Горючие материалы подразделяют в зависимости от времени τ достижения t_{\max} :

на трудновоспламеняемые – $\tau > 4$ мин;

средней воспламеняемости – $0,5 \leq \tau \leq 4$ мин;

легковоспламеняемые – $\tau < 0,5$ мин.

Задание 1. Экспериментально определить группу трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов. Условия в помещении и результаты испытаний занести в протокол.

Протокол

Экспериментальное определение группы

трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов

Дата _____

Наименование, состав и фи-

Условия в помещении:

зико-химические свойства или

температура, °С _____

указание НТД на материал

атмосферное давление, кПа _____

относительная влажность, % _____

Характеристика измерительных приборов: _____

Номер образца для испытания	Температура реакционной камеры до введения	Максимальная температура газообразных продуктов	Время достижения максимальной температуры, с	Масса образца, г		Потеря массы образца, %
				до испытания	после испытания	

Выводы. В выводах указать установленную группу горючести исследованного материала.

Задание 2. Во время пожара на деревянном складе произошла разгерметизация емкости с опасным химическим веществом (ОХВ) и утечка его паров. Характер местности – промышленная зона (городская застройка). В табл. 1.4 даны варианты возможных аварийных производственных ситуаций. Определить:

- расстояние, на котором термическое воздействие будет безопасным для человека;
- расстояние, на котором человек может получить ожог второй степени;
- расстояние, на котором термическое воздействие будет безопасным для соседнего объекта;
- протяженность зон порогового и летального поражения.

Таблица 1.4

Варианты производственной ситуаций к заданию 2

№ п/п	Размеры здания, м (длина, ширина, высота)	СВУВ	Соседний объект	Время термического воздействия на объект, мин	ОХВ и его масса, кг	Скорость ветра w, м/с	Время термического воздействия на человека, с
1	10x6x3	ин	Деревянный дом	10	Соляная кислота 500	2	40
2	12x6x4	из	Деревянный дом	10	Хлор 300	3	2
3	9x6x4	кон	Пиломатериалы	10	Сернистый ангидрид 700	4	5
4	10x3x4	из	Пиломатериалы	10	Аммиак 1000	1	25
5	15x8x4	ин	Резервуар с ЛВЖ	3	Фосген 600	3	9
6	5x3x3	ин	Резервуар с ЛВЖ	3	Фосген 100	6	2
7	15x6x4	из	Резервуар с ГЖ	3	Оксиды азота 800	4	25
8	12x6x5	кон	Резервуар с ГЖ	3	Хлор 900	3	9
9	6x6x3	ин	Деревянный дом	4	Соляная кислота 200	2	5
10	8x4x5	из	Деревянный дом	4	Сернистый ангидрид 500	3	9

Примечание: ин – инверсия; из – изотермия; кон – конвекция.

Контрольные вопросы

1. Что такое группа горючести вещества?
2. Где применяются результаты оценки группы горючести?
3. Назовите основные группы горючести веществ и дайте им определения.
4. Расскажите порядок определения группы негорючих веществ и материалов.
5. По каким параметрам, в соответствии с методикой определения группы горючести веществ и материалов, их классифицируют на трудногорючие и горючие?
6. Как определяется группа горючести у жидкостей и газов?
7. Что является основным поражающим фактором пожаров?
8. Как характеризуется термическое воздействие продуктов горения по отношению к человеку?
9. Как характеризуется термическое воздействие продуктов горения по отношению к легковоспламеняющимся материалам?
10. Что такое критическое значение плотности теплового потока?
11. Какие данные необходимы для расчета протяженности зон теплового воздействия?
12. Расскажите, как прогнозируются последствия аварий, связанных с пожарами?
13. Что может вызвать термическое воздействие на легковоспламеняющиеся материалы (например, вследствие пожара, ядерного взрыва и т. п.)?
14. Какие данные необходимы для расчета глубины зоны задымления?
15. Какие данные необходимы для расчета зон токсического поражения?
16. Устройство прибора ОТМ и принцип его работы.

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРЕДЕЛОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Введение

Применение в химической и других отраслях промышленности горючих газов, способных в присутствии кислорода (воздуха) или других окислителей образовывать взрывоопасные смеси, требует разработки специальных мер безопасности, не только при использовании этих газов в технологических процессах, но и при их хранении и транспортировке.

Значения концентрационных пределов распространения пламени применяются для определения группы горючести газов, при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями норм технологического проектирования, при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности технологических процессов, при расчете взрывобезопасных концентраций газов и паров внутри технологического оборудования и трубопроводов.

Цель работы: определение концентрационных пределов распространения пламени газозвоздушных смесей расчетными и экспериментальными методами.

Общие сведения

Для создания и поддержания безопасных условий труда на производстве необходимым условием является знание и правильное использование показателей пожаровзрывоопасности применяемых веществ. Поэтому, прежде чем какое-либо вещество будет внедрено в производство, проводят всестороннее изучение показателей его пожаровзрывоопасности.

При определении пожаровзрывоопасности веществ и материалов различают:

- **газы** – вещества, абсолютное давление паров которых при 50 °С равно или более 300 кПа;
- **жидкости** – вещества с температурой плавления (каплепадения) менее 50 °С;

- **твердые** вещества и материалы с температурой плавления (каплепадения) более 50 °С;
- **пыли** – диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм.

Горением называется химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и свечением. В зависимости от скорости процесса горение может происходить в форме собственного горения, взрыва и детонации. Для возникновения и развития процесса горения обычно необходимы горючее, окислитель и источник зажигания.

Наиболее распространенным окислителем является кислород (чистый и атмосферный) и вещества, в состав которых входит кислород (пероксиды, хлораты и др.), а источником зажигания – открытое пламя, механические искры, нагретые поверхности, тепло химической реакции, искры от электрооборудования, статического и атмосферного электричества, солнечная радиация, электромагнитные и другие излучения.

Как количественное, так и качественное изменение горючей системы ведет к изменению протекания процесса горения. Если скорость горения достигает сотен метров в секунду, то такой процесс протекает весьма бурно, сопровождается механическими разрушениями и называется взрывом. **Взрыв** – это быстрое превращение вещества (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием газов, способных производить работу.

На производстве взрыв, как правило, вызывает пожар. **Пожар** – это неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб. Основную опасность во время пожара при любых условиях оказывает лучистая энергия, которая как мощный источник зажигания способна вызвать горение других конструкций, материалов и веществ. Горючие газы, пары и взвешенная горючая пыль в смеси с воздухом при определенных концентрациях способны сгорать со скоростью взрыва.

Смеси горючего газа с воздухом или другими окислителями можно воспламенить лишь в определенном интервале концентраций, за пределами которого невозможно стационарное, т. е. незатухающее распространение пламени. Эти граничные концентрации называются **концентрационными пределами распространения пламени**.

Согласно ГОСТ 12.1.044 нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени – это минимальное (максимальное) содержание горючего в смеси «горючее вещество – окислительная среда», при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Концентрационные пределы объясняются влиянием потерь тепла из зоны пламени, в основном, вследствие конвекции и термического излучения.

При нормальном горении газовоздушных смесей в трубах скорость распространения пламени для большинства газов лежит в пределах 0,3 – 2,7 м/с. При сгорании газовоздушных смесей в сосудах сравнительно небольших размеров (до 1 м³) скорость распространения пламени составляет 6,5 – 10,0 м/с. Величина температуры горения распространенных горючих смесей лежит в пределах 1500 – 3000 К.

Нормативная скорость горения (м/с) зависит от состава смеси, давления, начальной температуры и наличия примесей.

Если изменять состав смеси, то при некотором содержании горючего газа, обычно больше того, которое соответствует полному сгоранию, скорость горения и давление взрыва проходит через максимум ($P_{\text{макс}} = 1,1$ МПа (11 кгс/см²)). По мере приближения к пределам скорость и давление падают и имеют некоторые конечные значения ($P_{\text{мин}} \approx 0,3 - 0,4$ МПа).

Значения нижнего и верхнего концентрационных пределов распространения пламени следует применять при расчете взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технологического оборудования, трубопроводов, при проектировании вентиляционных систем, а также при расчете предельно допустимых взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей в воздухе рабочей зоны с потенциальными источниками зажигания.

Допускается использовать экспериментальные и расчетные значения концентрационных пределов распространения пламени.

Концентрационные пределы не являются абсолютной константой взрывоопасной смеси, они в значительной мере зависят от условий испытаний.

Повышение давления до 3,0 – 4,0 МПа практически не влияет на величину концентрационных пределов распространения пламени. Уменьшение

давления ниже атмосферного сужает пределы. При определенном давлении достигается смыкание нижней и верхней границ области воспламенения. Ниже этого давления воспламенение в смеси любого состава невозможно.

В атмосфере кислорода область воспламенения растет за счет увеличения верхнего предела распространения пламени.

Некоторые примеси, замедляющие реакции горения, оказывают сильное влияние на пределы распространения пламени. Наиболее активны галогенопроизводные углеводородов, которые при небольшом содержании делают негорючими смеси оксида углерода, водорода или углеводородов с воздухом.

Добавление инертных газов сужает пределы и в конце концов делает смесь негорючей.

Взрывоопасность горючего вещества тем больше, чем меньше нижний предел распространения пламени, чем шире область распространения пламени, чем меньше период индукции (промежуток времени от момента введения в горючую смесь источника зажигания до момента воспламенения смеси) и чем ниже температура самовоспламенения.

Пределы распространения пламени некоторых горючих газов приведены в табл. 2.1.

Концентрационные пределы распространения пламени газопаровоздушных смесей можно определить расчетными методами:

1. Метод расчета нижнего концентрационного предела распространения пламени

Нижний предел φ_H в объемных процентах для индивидуальных веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, рассчитывается по формуле:

$$\varphi_H = 100 / (h_C n_C + h_O n_O + h_N n_N + h_f \Delta H_f^0 + 1), \quad (2.1)$$

где n_C, n_H, n_O, n_N – число атомов С, Н, О, N в молекуле горючего;
 h_C, h_H, h_O, h_N, h_f – коэффициенты; их значение составляют $h_C = 8,737$,
 $h_H = 2,757$, $h_O = -0,522$, $h_N = -0,494$, $h_f = 2,36 \cdot 10^{-2}$ кДж/моль;
 ΔH_f^0 – стандартная теплота образования горючего вещества, кДж/моль.

**Концентрационные пределы распространения пламени
некоторых горючих газов**

Наименование газа	Формула	Нижний предел, об. %	Верхний предел, об. %
Метан	CH ₄	5,3	14,1
Этан	C ₂ H ₆	2,9	15,0
Пропан	C ₃ H ₈	2,3	9,4
Бутан	C ₄ H ₁₀	1,8	9,1
Этилен	C ₂ H ₄	2,7	34,0
Ацетилен	C ₂ H ₂	2,5	81,0
Аммиак	NH ₃	15,0	28,0
Сероводород	H ₂ S	4,3	46,0
Водород	H ₂	4,1	75,0
Оксид углерода	CO	12,5	74,0

Относительная средняя квадратичная погрешность расчета по формуле (2.1) не превышает 6 %.

Пример. Рассчитать нижний предел распространения пламени для о-ксилола C₈H₁₀ по формуле (2.1). Стандартная теплота образования вещества составляет -18,99 кДж/моль:

$$\varphi_{\text{н}} = 100 / (8,737 \cdot 8 + 2,757 \cdot 10 - 2,36 \cdot 10^{-2} \cdot 18,99 + 1) = 1,02 \text{ об. \%}$$

Нижний предел о-ксилола, полученный экспериментально, составляет 1,0 об. %. Отсюда относительная погрешность расчета составляет 2 %.

2. Метод расчета верхнего концентрационного предела распространения пламени индивидуальных веществ

Верхний предел $\varphi_{\text{в}}$ в объемных процентах для индивидуальных органических веществ вычисляют по формуле:

$$\varphi_{\text{в}} = 100 / \left(\sum_{j=1}^n h_j \cdot m_j + \sum_{s=1}^q q_s \right), \quad (2.2)$$

где h_j, q_s – коэффициенты, учитывающие химическое строение вещества; m_j – число связей j -го элемента в молекуле горючего вещества.

Значения коэффициентов h_j и q_s приведены в табл. 2.2 и 2.3, относительная средняя квадратичная погрешность расчета по формуле (2.2) составляет 11 %.

Таблица 2.2

Эмпирические коэффициенты h_j для расчета φ_v

Вид связи	Значение h_j	Вид связи	Значение h_j
C–C	–0,84	C=O	1,31
C–C _{ар}	0,89	C–N	–1,77
C=C	0,24	C≡N	2,07
C≡C	1,93	C–Cl	0,71
C–H	1,39	N–H	0,69
C–O	–1,40	O–H	1,25

Таблица 2.3

Эмпирические коэффициенты q_s для расчета φ_v

Структурная группа	Значение q_s
–CHO	–1,47
Неароматический цикл	9/ n_C
$ \begin{array}{c} \quad \\ -C - C - \\ \backslash \quad / \\ O \end{array} $	1,11

Пример. Рассчитать верхний концентрационный предел распространения пламени для кротонового альдегида по формуле (2.2). Эмпирическая формула C_4H_6O , структурная формула $H_2C=CH-CH_2-CH=O$.

Из структурной формулы определяются значения m_j : $m_{C-H} = 6$, $m_{C-C} = 2$, $m_{C=O} = 1$, $m_{C=C} = 1$.

По формуле (2.2) получаем:

$$\varphi_v = 100 / (1,39 \cdot 6 - 0,84 \cdot 2 + 0,24 \cdot 1 + 1,31 \cdot 1 - 1,47) = 15,7 \text{ об. \%}$$

Верхний концентрационный предел распространения пламени для кротонового альдегида, полученный экспериментально, составляет 15,5 об. %. Таким образом относительная погрешность расчета составляет 1,3 %.

3. Метод расчета концентрационных пределов распространения пламени для смесей горючих веществ при начальной температуре 25 °С

Метод распространяется на вещества, не вступающие между собой в химическую реакцию при начальной температуре. В число компонентов смеси может входить молекулярный водород, объемная концентрация которого не должна превышать 75 %.

Нижний (верхний) предел распространения пламени для смеси φ_H в процентах рассчитывают по формуле:

$$\varphi_H = 100 / \sum_{k=1}^n (\varphi_k / \varphi_{пк}), \quad (2.3)$$

где φ_k – концентрация k -го горючего компонента смеси, об. %; $\varphi_{пк}$ – предел распространения пламени k -го компонента смеси, об. %; n – число горючих компонентов смеси.

Относительная погрешность расчетных значений концентрационных пределов распространения пламени по формуле (2.3) не превышает 30 %.

Пример. Рассчитать нижний концентрационный предел распространения пламени смеси паров этанола и изопропанола, содержащей 50 об. % этанола и 50 об. % изопропанола. Для этанола $\varphi_H = 3,61$ об. %, для изопропанола $\varphi_H = 2,23$ об. %.

$$\varphi_H = 100 / (50 / 3,61 + 50 / 2,23) = 2,76 \text{ об. \%}$$

Экспериментальная часть

Экспериментальное определение концентрационных пределов распространения пламени по газо-паровоздушным смесям проводят по ГОСТ 12.1.044 с помощью прибора КП-1, который представлен на рис. 2.1. Прибор типа КП-1 монтируется в специальном шкафу, оборудованном вытяжной вентиляцией и состоит из следующих частей:

– реакционного сосуда, представляющего собой трубку из термостойкого химико-лабораторного стекла с внутренним диаметром от 50 до 55 мм, высотой (1500 ± 100) мм, толщиной стенки $(2,0 \pm 0,5)$ мм. Нижняя часть сосуда закрывается пришлифованной стеклянной пластинкой. В реакционный сосуд

на расстоянии 100 мм от его нижнего торца введены на шлифах электроды с наконечниками, изготовленными из молибденовой проволоки, диаметром 2 мм, разрядный промежуток электродов равен 8 мм;

– системы циркуляционных трубок с кранами для вакуумирования реакционного сосуда, сообщения с атмосферой, подачи в него компонентов смеси с парциальным давлением, измеренным ртутным чашечным манометром;

– трансформатора на 220 В;

– микровольтного источника питания, с помощью которого на электродах образуется искровой разряд;

– испарителя;

– насоса-мешалки.

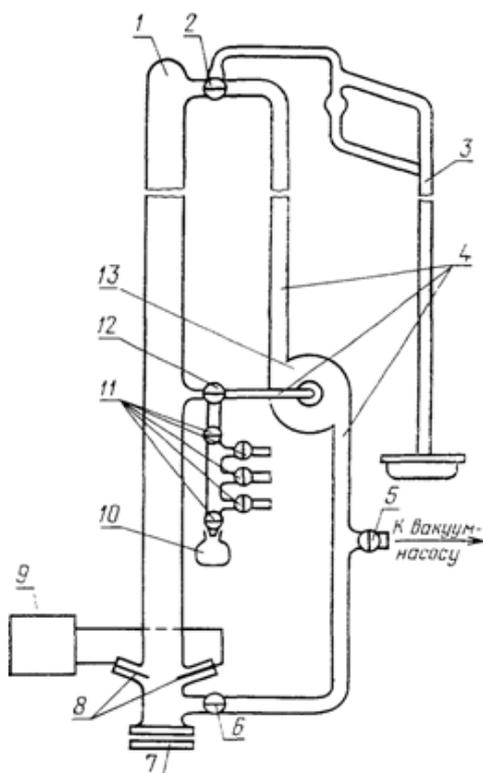


Рис. 2.1. Прибор КП 1

для определения концентрационных пределов распространения пламени газопаровоздушных смесей:

1 – реакционный сосуд;

2, 5, 6, 11, 12 – краны;

3 – ртутный манометр;

4 – циркуляционные трубки;

7 – стеклянная пластина;

8 – электроды зажигания;

9 – высоковольтный источник питания;

10 – испаритель;

13 – насос-мешалка

Порядок выполнения работы

При определении нижнего предела распространения пламени для первого испытания готовят газоздушную смесь, содержащую горючего газа вдвое меньше рассчитанного предела, а при определении верхнего предела

готовят смесь, содержащую кислорода вдвое меньше, чем в смеси, соответствующей верхнему пределу.

Дозировку горючего газа φ_k контролируют по манометру. Дозировка равна парциальному давлению P в кПа, вычисленному по формуле

$$P = \frac{\varphi_k \cdot P_0}{100}, \quad (2.4)$$

где P_0 – атмосферное давление, кПа.

Если при первом испытании смесь не воспламенилась или возникшее пламя не распространилось до верхней части реакционного сосуда, то в каждом последующем испытании при определении нижнего предела распространения пламени концентрацию исследуемого вещества в смеси увеличивают не более чем на 10 %, а при определении верхнего предела – не более чем на 2 %.

Если при первом испытании наблюдается воспламенение с распространением пламени до верхней части реакционного сосуда, то последующие испытания проводят соответственно с уменьшением (для нижнего предела) и увеличением (для верхнего предела) концентрации исследуемого вещества в смеси.

После каждого испытания прибор продувают для удаления газообразных продуктов горения и охлаждения реакционного сосуда. Последующие испытания начинают после того, как сосуд охладится до температуры окружающей среды.

За предел распространения пламени принимают среднее арифметическое шести ближайших значений концентраций исследуемого вещества в смеси, при трех из которых наблюдается воспламенение смеси с распространением пламени до верхней части реакционного сосуда, а при других трех – отказ, т. е. смесь не воспламенилась или возникшее пламя не распространилось до верхней части реакционного сосуда.

Задание 1. Рассчитать и экспериментально определить нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения горючего газа согласно заданию преподавателя (метана, этана, пропана, бутана). Данные занести в протокол.

Определение концентрационных пределов распространения пламени горючего газа

Условия в помещении:	Температура, °С	
	Атмосферное давление, кПа	
	Относительная влажность, %	

Наименование газа	Заданная концентрация горючего газа, об. %	Рассчитанное парциальное давление, Па	Наличие воспламенения, есть – нет	Пределы распространения пламени, об. %			
				экспериментальные		расчетные	
				НКПВ	ВКПВ	НКПВ	ВКПВ

Задание 2. По формуле (2.1) рассчитать НКПР, по формуле (2.2) – ВКПР: (1-я бригада выполняет 1-й вариант, 2-я бригада второй вариант и т. д.). Названия веществ и их энтальпии образования даны в табл. 2.4.

На основании справочных экспериментальных данных значений НКПР и ВКПР веществ, представленных в табл. 2.4 и полученных расчетных значений, рассчитать относительную погрешность расчетных методов определения НКПР и ВКПР.

Таблица 2.4

Наименование и характеристики газов и жидкостей для расчета пределов воспламенения

№ п/п	Вещество	Энтальпия образования, кДж/моль	Пределы воспламенения, об. %			
			НКПР по ф-ле (2.1)	ВКПР по ф-ле (2.2)	НКПР exper.	ВКПР exper.
1	Метан	-74,85			5,30	14,1
2	Этан	-84,68			2,90	15,0
3	Пропан	-103,85			2,30	9,4

Окончание таблицы 2.4

4	Пентан	-146,40			1,47	7,7
5	Этилен	52,47			2,70	34,0
6	Ацетон	-247,69			2,60	13,0
7	Изопропанол	-272,40			2,23	12,7
8	Изопропилформат	-422,70			2,30	13,3
9	Бензол	82,90			1,43	8,0
10	Этиловый спирт	-234,90			3,60	17,7

Контрольные вопросы

1. Какова основная опасность, связанная с применением в химических и других отраслях промышленности горючих газов?
2. На какие группы по агрегатному состоянию подразделяют вещества при определении их пожаровзрывоопасности?
3. Что такое горение? Каковы условия его возникновения и развития, формы протекания?
4. Что такое пожар? Какова основная его опасность?
5. Что такое концентрационные пределы распространения пламени?
6. Объясните физический смысл нижнего и верхнего концентрационных пределов распространения пламени.
7. Каковы характеристики горения газовоздушных смесей в трубах и сосудах?
8. Перечислите условия, от которых зависят значения концентрационных пределов распространения пламени?
9. Какие данные необходимы для предварительного расчета верхнего и нижнего концентрационного пределов распространения пламени?
10. Опишите устройство прибора КП-1.
11. Каков порядок определения концентрационных пределов распространения пламени газовоздушной смеси?

Работа 3. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Введение

В химической промышленности существует широкий спектр производств – от небольших опытных производств-лабораторий до гигантских градообразующих предприятий. Для любого из них в зависимости от категории производства устанавливаются нормативные требования по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности помещений и зданий производства в отношении планировки и застройки, этажности, площадей, размещения помещений, конструктивных решений, инженерного оборудования, электрооборудования и т. п.

Правильность определения категории помещений и зданий производств по взрывопожарной и пожарной опасности является одной из главных задач обеспечения безопасности производства в целом.

Цель работы: Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности согласно нормативной документации. Прогнозирование последствий аварий, вызванных взрывами газозвдушных смесей.

Общие сведения

На стадии проектирования и строительства химических предприятий должны быть разработаны меры, обеспечивающие пожарную безопасность возводимых объектов экономики. Например, устойчивость зданий при пожаре, ограничение площади развития пожара, предотвращение его распространения в здании и на территории, использование соответствующего инженерного оборудования, исключающего источники возникновения пожара и препятствующего его распространению, наличие эвакуационных выходов с целью быстрой эвакуации персонала при пожаре.

В каждом конкретном случае все требования пожарной безопасности определяются на основе оценки категории помещений и зданий производственного и складского назначения по взрывопожарной и пожарной опасно-

сти, с целью предотвращения возможности возникновения пожара и обеспечения противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара.

Указанные категории помещений и зданий определяются в соответствии с СП 12.13130.2009.

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.

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

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

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

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с табл. 3.1.

Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в табл. 3.1, от высшей (А) к низшей (Д).

Определение категорий помещений В1–В4 осуществляют путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки (далее – пожарная нагрузка) на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в табл. 3.2.

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

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni}^p,$$

где G_i – количество i -го материала пожарной нагрузки, кг; Q_{ni}^p – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Таблица 3.1

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А – повышенная взрывопожароопасность	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, и (или) 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.
Б – взрывопожароопасность	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.
В1 – В4 пожароопасность	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 находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.
Г – умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д – пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Таблица 3.2

**Классификация помещений по пожарной опасности
в зависимости от удельной пожарной нагрузки**

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка g на участке, МДж/м ²
В1	более 2200
В2	1401–2200
В3	181–1400
В4	1–180

Удельная пожарная нагрузка g , МДж/м², определяется из соотношения

$$g = Q / S,$$

где S – площадь размещения пожарной нагрузки, м² (но не менее 10 м²).

Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности определяют, исходя из доли и суммированной площади помещений той или иной категории опасности в этом здании.

Здание относится к категории А, если в нем суммарная площадь помещений категории А превышает 5 % площади всех помещений или 200 м².

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 м²) 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 м².

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 м²) 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, В1, В2 и В3 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, В1, В2 и В3 в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м²) 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, В1, В2, В3 и Г превышает 5 % суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2, В3 и Г в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м²) и помещения категорий А, Б, В1, В2, В3 оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Д, если оно не относится к категориям А, Б, В или Г.

Предотвращение распространения пожара достигается **мероприятиями, ограничивающими площадь, интенсивность и продолжительность горения**. К ним относятся:

– конструктивные и объемно-планировочные решения, препятствующие распространению опасных факторов пожара по помещению, между помещениями, между группами помещений различной функциональной пожарной опасности, между этажами и секциями, между пожарными отсеками, а также между зданиями;

– ограничение пожарной опасности строительных материалов, используемых в поверхностных слоях конструкций здания, в том числе кровель, отделок и облицовок фасадов, помещений и путей эвакуации;

– снижение технологической взрывопожарной и пожарной опасности

помещений и зданий; наличие первичных, в том числе автоматических и при-возных средств пожаротушения; сигнализация и оповещение о пожаре.

Степень огнестойкости, высоту здания и площадь этажа здания в пределах пожарного отсека для производственных зданий следует принимать в соответствии с рекомендациями СП 56.13330.2021 (табл. 3.3).

Далее, исходя из выбранных конструктивных решений, а также из плотности людского потока по СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы» определяются **максимальные расстояния до эвакуационных выходов**. Расстояние от наиболее удаленного рабочего места в помещении до ближайшего эвакуационного выхода из помещения не должно превышать значений, приведенных в табл. 3.4. Для помещений площадью более 1000 м² определяемое расстояние уже включает длину пути по коридору до выхода наружу или на лестничную клетку. Расстояние зависит от объема помещения и при промежуточных значениях (если объем лежит в диапазоне от 15 до 60 тыс. м³) его необходимо определять линейной интерполяцией.

Говоря о взрывном горении, различают два принципиально разных его режима: дефлаграционный и детонационный.

При скорости распространения пламени, не превышающей скорости звука, возникает дефлаграционное горение, при котором продукты сгорания нагреваются до температур 1500–3000 °С и генерируются ударные волны с максимальным давлением 20–100 кПа. В ударную волну переходит около 40 % энергии взрыва.

Режим дефлаграционного горения может переходить в режим детонационного горения, при котором скорость распространения пламени достигает 1–5 км/с. Избыточное давление в пределах детонационного облака может достигать 2 МПа. Такому переходу способствует турбулизация процесса горения при встрече фронта пламени с препятствиями.

При этом поверхность фронта пламени становится неровной, а толщина пламени увеличивается, что вызывает рост скорости распространения пламени. При детонационном горении нагрузки значительно возрастают. В связи с этим режим детонационного горения принят за расчетный для прогнозирования обстановки при авариях, сопровождающихся взрывом.

Таблица 3.3

**Степень огнестойкости, высота здания
и площадь этажа здания в пределах пожарного отсека**

Категория зданий или пожарных отсеков	Высота здания*, м	Степень огнестой- кости зда- ний	Класс конструк- тивной пожарной опасности зданий	Площадь этажа, м ² , в пределах пожарного отсека зданий		
				1 этаж	2 этажа	≥ 3 этажа
А	36	I, II	C0	не огр.	5200	3500
	24	III	C0	7800	3500	2600
	–	IV	C0	3500	–	–
Б	36	I, II	C0	не огр.	10400	7800
	24	III	C0	7800	3500	2600
	–	IV	C0	3500	–	–
В	48	I, II	C0	не огр.	25000	10400
					7800**	5200**
	24	III	C0	25000	10400	5200
					5200**	3600**
	18	IV	C0, C1	25000	10400	–
	18	IV	C2, C3	2600	2000	–
	12	V	не норм.	1200	600***	–
Г	54	I, II	C0	Не ограничивается		
	36	III	C0	не огр.	25000	10400
	30	III	C1	то же	10400	7800
	24	IV	C0	то же	10400	5200
	18	IV	C1	6500	5200	–
Д	54	I, II	C0	Не ограничивается		
	36	III	C0	не огр.	50000	15000
	30	III	C1	то же	25000	10400
	24	IV	C0, C1	то же	25000	7800
	18	IV	C2, C3	10400	7800	–
	12	V	не норм.	2600	1500	–

* Высота здания в настоящей таблице измеряется от пола 1-го этажа до потолка верхнего этажа, включая технический; при переменной высоте потолка принимается средняя высота этажа. Высота одноэтажных зданий классов пожарной опасности C0 и C1 не нормируется.

** Для деревообрабатывающих производств.

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

Таблица 3.4

**Расстояния до эвакуационного выхода из помещения
высотой до 6 метров***

Объем помещения, тыс. м ³	Категория помещения	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Расстояние, м, при плотности людского потока в общем проходе, чел/м ²		
				до 1	св. 1 до 3	св. 3 до 5
До 15	А, Б	I, II, III, IV	С0	40	25	15
	В1–В3	I, II, III, IV	С0	100	60	40
		III, IV V	С1 С2, С3	70 50	40 30	30 20
30	А, Б	I, II, III, IV	С0	60	35	25
	В1–В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	145 100	85 60	60 40
40	А, Б	I, II, III, IV	С0	80	50	35
	В1–В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	160 110	95 85	65 45
50	А, Б	I, II, III, IV	С0	120	70	50
	В1–В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	180 160	105 95	75 65
60 и более	А, Б	I, II, III, IV	С0	140	35	30
	В1–В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	200 180	110 105	85 75
80 и более	В1–В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	240 200	140 110	100 85
Независимо от объема	В4, Г	I, II, III, IV	С0	не огр.	не огр.	не огр.
		III, IV	С1	180	35	55
		V	не норм.	120	70	50
Независимо от объема	Д	I, II, III, IV III, IV	С0, С1 С2, С3	не огр. 160	не огр. 95	не огр. 65

* **Примечание:** приведенные расстояния увеличиваются: при высоте 12 м – на 20 %; при высоте 18 м – на 30 %; при высоте 24 м – на 40 %, но не более 140 м для помещений категорий А, Б и 240 м для помещений категории В. При промежуточных значениях высоты помещений увеличение расстояний определяется линейной интерполяцией.

При взрыве газоздушных смесей (ГВС) различают две зоны действия: детонационной волны – в пределах облака газоздушной смеси и воздушной ударной волны – за его пределами. В зоне облака действует детонационная волна, избыточное давление во фронте которой принимается постоянным в пределах облака ГВС и приблизительно равным $\Delta P_d = 1,7$ МПа.

В расчетах принимают, что зона действия детонационной волны ограничена радиусом r_0 , который определяется из допущения, что ГВС после разрушения емкости образует в открытом пространстве полусферическое облако. Объем этого облака определяют по формуле

$$V = 2/3 \cdot \pi \cdot r_0^3 \quad (3.1)$$

Учитывая, что 1 кмоль идеального газа при нормальных условиях занимает $22,4 \text{ м}^3$, объем образовавшейся ГВС при аварийной ситуации должен составить

$$V = 22,4 \cdot k \cdot Q \cdot 100 / (m_k \cdot c), \quad (3.2)$$

где k – коэффициент, учитывающий долю активного газа (долю продукта, участвующего во взрыве); Q – количество сжиженных углеводородных газов в хранилище до взрыва, кг; c – стехиометрическая концентрация газа, об. % (справочные данные); m_k – молярная масса газа, кг/кмоль.

Из условия равенства полусферы и объема образовавшейся смеси, получим:

$$r_0 \approx 10 \cdot (Q \cdot k / (m_k \cdot c))^{1/3} \quad (3.3)$$

Этой формулой широко пользуются при проведении расчетов по определению последствий взрывов для углеводородных газов.

Значение коэффициента k принимают в зависимости от способа хранения продукта: $k = 1$ – для резервуаров с газообразным веществом; $k = 0,6$ – для газов, сжиженных под давлением; $k = 0,1$ – для газов, сжиженных охлаждением (хранящихся в изотермических емкостях); $k = 0,05$ – при аварийном разливе легковоспламеняющихся жидкостей.

Зона действия воздушной ударной волны (ВУВ) начинается сразу за внешней границей облака ГВС. Давление во фронте ударной волны ΔP_ϕ зависит от расстояния до центра взрыва и определяется по табл. 3.5, исходя из соотношения:

$$\Delta P_\phi = f(r/r_0), \quad (3.4)$$

где r – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки.

**Изменение давления во фронте ударной волны ΔP_{ϕ}
при удалении от центра взрыва**

r/r_0	ΔP_{ϕ} , кПа	r/r_0	ΔP_{ϕ} , кПа	r/r_0	ΔP_{ϕ} , кПа
0 – 1	1700	1,4	300	5	40
1,01	1232	1,8	200	6	30
1,04	814	2,7	100	8	20
1,08	568	3	80	12	10
1,2	400	4	50	50	5

Таблица составлена путем аппроксимации значений, полученных с помощью формул, характеризующих зависимость давления от расстояния до центра взрыва.

При взрыве газоздушных и пылевоздушных смесей в производственных помещениях нагрузка действует на объект изнутри. Величина ее определяется типом горючего вещества и его массой, степенью заполнения внутреннего объема помещения горючим веществом, а также его расположением в помещении.

Полное решение задачи определения параметров взрыва является сложной задачей, с ней можно познакомиться в специальной литературе. Ориентировочную оценку возможных последствий взрыва внутри помещения производят по величине избыточного давления, возникающего в объеме производственного помещения в соответствии с положениями СП 12.13130.2009.

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

1. Происходит расчетная авария одного из аппаратов, при котором во взрыве участвует наибольшее количество горючих веществ;
2. Все содержимое аппарата поступает в помещение;
3. Происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат, по прямому и обратному потокам в течении времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматически 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.

4. 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 растворителей, разливается на площади 0,5 м², а остальных жидкостей – на 1 м² пола помещения;
5. Происходит также испарение жидкости из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежеекрашенных поверхностей;
6. Длительность испарения жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

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.

Избыточное давление взрыва ΔP для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Вг, I и F, определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_{\text{гп}}} \frac{100}{C_{\text{ст}}} \frac{1}{K_H}, \quad (3.5)$$

где P_{\max} – максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовойоздушной или паровойоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным. При отсутствии данных допускается принимать P_{\max} равным 900 кПа;

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

m – масса горючего газа или паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг;

Z – коэффициент участия горючего во взрыве. Допускается принимать значение Z по табл. 3.6;

$V_{св}$ – свободный объем помещения, м³;

$\rho_{гп}$ – плотность газа или пара при расчетной температуре t_p , кг/м³;

$C_{ст}$ – концентрация горючего газа или паров ЛВЖ и ГЖ, об. %;

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

Таблица 3.6

Значения коэффициента участия горючего во взрыве Z

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

Плотность газа или пара $\rho_{гп}$ при расчетной температуре t_p , кг·м³, вычисляется по формуле

$$\rho_{гп} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (3.6)$$

где M – молярная масса, кг · кмоль⁻¹;

V_0 – мольный объем, равный 22,413 м³·кмоль⁻¹;

t_p – расчетная температура, °С.

В качестве расчетной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха

по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Если такого значения расчетной температуры t_p по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61 °С.

Стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ $c_{ст}$, об. %, вычисляется по формуле:

$$c_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (3.7)$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания, рассчитываемый по формуле

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}, \quad (3.8)$$

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

В случае обращения в помещении горючих газов, легковоспламеняющихся или горючих жидкостей при определенном значении массы m , входящей в формулу (3.5), 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:

$$K = A \cdot \tau_{ав} + 1, \quad (3.9)$$

где A – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, $ч^{-1}$; $\tau_{ав}$ – время работы аварийной вентиляции, ч. Масса m , кг, поступившего в помещение при расчетной аварии газа определяется по формуле:

$$m = (V_a + V_T)\rho_{г}, \quad (3.10)$$

где V_a – объем газа, вышедшего из аппарата, $м^3$; V_T – объем газа, вышедшего из трубопроводов, $м^3$. При этом:

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 \cdot V,$$

где P_1 – давление в аппарате, кПа; V – объем аппарата, $м^3$.

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

где V_{1T} – объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м^3 ;
 V_{2T} – объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м^3 .

$$V_{1T} = q \cdot \tau,$$

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

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

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:

$$m = m_p + m_{\text{емк}} + m_{\text{св.окр}}, \quad (3.11)$$

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.

При этом каждое из слагаемых в формуле (3.11) определяется по формуле:

$$m = W \cdot F_{\text{и}} \cdot \tau, \quad (3.12)$$

где W – интенсивность испарения, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; $F_{\text{и}}$ – площадь испарения, м^2 ; τ – время испарения жидкости, с.

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:

$$W = 10^{-6} \eta M^{1/2} P_{\text{н}}, \quad (3.13)$$

где η – коэффициент, принимаемый по табл. 3.7 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения; $P_{\text{н}}$ – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости t_p , определяемое по справочным данным, кПа.

Таблица 3.7

Значения коэффициента η в формуле (3.13)

Скорость воздушного потока в помещении, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Значение коэффициента η при температуре воздуха в помещении, t °С				
	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	3,6	4,6

Поражение людей при взрыве может явиться результатом как прямого, так и косвенного воздействия ударной волны. Травмы и контузии при взрыве могут носить характер крайне тяжелых, тяжелых, средней тяжести и легких поражений.

Характеристика степени барического воздействия взрыва на человека, кПа

Безопасно для человека	менее 10
Легкое поражение (ушибы, вывихи, временная потеря слуха, общая контузия)	20–40
Среднее поражение (контузия головного мозга, повреждение органов слуха, разрыв барабанных перепонки, кровотечение из носа и ушей)	40–60
Сильное поражение (сильная контузия всего организма, потеря сознания, переломы конечностей, повреждения внутренних органов)	60–100
Порог смертельного поражения	100
Летальный исход в 50 % случаев	250–300
Безусловное смертельное поражение	более 300

При оценке барического воздействия на здания и сооружения принимают четыре степени разрушения, которым соответствует определенный ущерб, выраженный в процентах от стоимости здания:

Слабое (повреждение или разрушение крыш, оконных и дверных проемов)	10–15
Среднее (разрушение крыш, окон, перегородок, чердачных перекрытий, верхних этажей)	30–40
Сильное (разрушение несущих конструкций и перекрытий, при котором ремонт нецелесообразен)	50
Полное (обрушение зданий, сооружений)	100

Количество зданий, получивших полные, сильные, средние и слабые разрушения определяют путем сопоставления давлений, характеризующих прочность зданий, и давлений, характеризующих воздействие взрыва.

В табл. 3.8 приведены интервалы давлений, вызывающих ту или иную степень разрушения жилых, общественных и производственных зданий при взрывах ВВ и горючих смесей.

Сравнение воздействия ударной волны на людей и строения показывает, что человек, защищенный от воздействия вторичных поражающих факторов взрыва, способен выжить там, где прочные здания разрушаются полностью.

Таблица 3.8

Значения избыточного давления при взрыве горючих смесей, приводящего к разрушению зданий, кПа

Тип зданий	Степени разрушения зданий			
	слабые	средние	сильные	полные
Кирпичные и каменные:				
малоэтажные	8–20	20–35	35–50	50–70
многоэтажные	8–15	15–30	30–45	45–60
Железобетонные крупнопанельные:				
малоэтажные	10–30	30–45	45–70	70–90
многоэтажные	8–25	25–40	40–60	60–80

Окончание таблицы 3.8

Железобетонные монолитные: многоэтажные повышенной этажности	25–50	50–115	115–180	180–250
	25–45	45 – 105	105– 170	170–215
Здания со стенами типа «Сэндвич» и крановым оборудованием грузо- подъемностью до 20 тонн	10–30	30–50	50–65	65– 105
Складские помещения с металлическим каркасом и стенами из листового металла	5–10	10–20	20–35	35–45

Экспериментальная часть

Задание 1. Категорирование помещений и зданий по пожарной и взрывопожарной опасности

В промышленном здании осуществляется технологический процесс с использованием горючего газа пропана. Плотность людского потока 3 чел/м². В табл. 3.9 даны варианты производственных ситуаций.

Таблица 3.9

Варианты производственной ситуации

№ п/ п	Этажность здания	Размеры здания, м (ширина, длина, вы- сота этажа)	Площадь взрывоопас- ного объекта, м ²	$\Delta P_{изб}$, кПа	Площадь помещений категории В, м ²	Степень ог- нестойкости здания
1	3	18×96×5	500	10	300	III
2	2	18×96×5	200	9	400	II
3	1	24×96×5	50	8	50	III
4	3	18×66×6	150	7	300	III
5	2	18×72×6	100	6	100	III
6	1	24×150×6	100	5	100	III
7	3	16×72×5	250	4	500	II
8	2	24×100×6	500	3	450	II
9	1	18×66×6	100	2	50	III
10	3	16×66×5	50	10	100	III

Установить категорию здания по взрывопожарной и пожарной опасности по СП 12.13130.2009 и разработать для этого здания основные меры по пожарной безопасности, согласно СП 56.13330.2021; определить допустимую высоту здания и площадь этажа в пределах пожарного отсека; степень огнестойкости здания; установить число эвакуационных выходов и предельно допустимое расстояние от рабочего места до эвакуационного выхода.

Пример решения типовой задачи

В промышленном одноэтажном здании, размерами 18×96×6 осуществляется технологический процесс с использованием горючего газа пропана. Площадь взрывоопасного объекта 300 м², площадь помещений категории В 100 м²; избыточное давление взрыва 10 кПа. Плотность людского потока 3 чел/м². Необходимо установить категорию здания по взрывопожарной и пожарной опасности по СП 12.13130.2009 и разработать для этого здания основные меры по пожарной безопасности, согласно СП 56.13330.2011; определить допустимую высоту здания и площадь этажа в пределах пожарного отсека; степень огнестойкости здания; установить число эвакуационных выходов и предельно допустимое расстояние от рабочего места до эвакуационного выхода.

Решение

1. Определяем площадь и объем здания для проведения категорирования:

$$18 \cdot 96 = 1728 \text{ (м}^2\text{);} \quad 18 \cdot 96 \cdot 6 = 10368 \text{ (м}^3\text{)}$$

2. Определим категорию помещения объекта: для этого, в соответствии с заданными параметрами согласно СП 12.13130.2009 (табл. 3.1) определим категорию помещения. Вещество пропан – горючий газ, избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно, помещение относится к категории А – взрывопожароопасное.

3. Определив категорию помещения, определим категорию здания по главе 4 СП 12.13130.2009: так как площадь помещений категории А превышает 5 % общей площади здания, то здание относится к категории А, не учитывая наличие площадей категории В.

4. В соответствии с СП 56.13330.2021 (см. табл. 3.3) определяем степень огнестойкости здания, допустимую высоту и площадь этажа в пределах пожарного отсека; далее по табл. 3.4 определяем расстояние до эвакуационного выхода

из здания и в соответствии с длиной здания количество выходов. В данном случае: объем помещения менее 15 тыс. м³, следовательно допустимая высота здания составит 36 м; так как здание одноэтажное, то площадь этажа в пределах пожарного отсека – неограниченна; степень огнестойкости здания – II; расстояние по коридору до ближайшего выхода наружу или лестничную клетку не должно превышать 25 м и соответственно должно быть не менее 2-х эвакуационных выходов, так как каждый выход может охватывать длину здания 50 м (к выходу можно двигаться с двух сторон).

Задание 2. Оценка последствия взрыва газовоздушного облака в неограниченном пространстве

На производственном объекте произошло разрушение резервуара, объемом V , м³ и утечка горючего газа. Давление в резервуаре P , кПа. На расстоянии R , м от резервуара находится диспетчерская, располагающаяся в здании определенного типа. В табл. 3.10 даны варианты производственной ситуации. Определить степень разрушения здания диспетчерской.

Таблица 3.10

Оценка последствий взрыва ГВ-облака в неограниченном пространстве. Варианты производственной ситуации

№ п/п	Газ	$\frac{M, \text{ кг}}{\text{кмоль}}$	$V, \text{ м}^3$	$C, \text{ об. \%}$	$P, \text{ кПа}$	$R, \text{ м}$	Тип здания
1	Аммиак, NH ₃	15	50	19,72	500	100	Кирпичное
2	Бутан, C ₄ H ₁₀	58	75	3,13	400	100	С легким каркасом
3	Водород, H ₂	2	100	29,59	300	100	Железобетонное
4	Метан, CH ₄	16	125	9,45	500	100	Кирпичное
5	Пропан, C ₃ H ₈	44	150	4,03	600	100	С легким каркасом
6	Этилен, C ₂ H ₄	28	160	6,54	400	110	Кирпичное
7	Винилхлорид, C ₂ H ₃ Cl	63	160	7,75	400	110	С легким каркасом
8	Бутилен, C ₄ H ₈	56	175	3,38	450	100	Железобетонное
9	Пропилен, C ₃ H ₆	42	200	4,46	550	120	Кирпичное
10	Дивинил, C ₄ H ₆	54	250	3,68	500	120	С легким каркасом

Величина избыточного давления ВУВ, в зависимости от удаления от центра взрыва, определяется по табл. 3.5, а степень разрушения зданий по табл. 3.8.

Пример решения типовой задачи

На производственном объекте произошло разрушение резервуара и утечка сжатого горючего газа бутана, молярной массы 58 кг/кмоль. Объем резервуара 50 м³; давление в резервуаре 500 кПа. На расстоянии 100 метров от резервуара находится диспетчерская, располагающаяся в монолитном многоэтажном железобетонном здании. Определить степень разрушения здания диспетчерской.

Решение

1. Определим объем газа, выделившегося из аппарата, по формуле:

$$V_a = 0,01 \cdot P \cdot V$$

Получим: $V_a = 0,01 \cdot 500 \cdot 50 = 250$ (м³)

2. Найдем плотность газа при расчетной температуре (так как расчетная температура не задана, допускается принять ее равной 61 °С), применяя формулу (3.6):

$$\rho_{г,п} = \frac{58}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 61)} = 2,11 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

3. Определим количество сжиженных углеводородных газов в резервуаре до взрыва, применяя формулу:

$$Q = V_a \cdot \rho_{г,п}$$

Получим:

$$Q = 250 \cdot 2,11 = 527,5 \text{ (кг)}$$

4. Определяем радиус действия детонационной волны, по формуле:

$$r_0 \approx 10 \cdot (Q \cdot k / (m_k \cdot c))^{1/3}$$

Коэффициент k при хранении газов данным способом принимается равным 1; c – стехиометрическая концентрация газа об. % берется из справочных данных и для бутана равна 3,13.

Получаем:

$$r_0 \approx 10 \cdot (527,5 \cdot 1 / 58 \cdot 3,13)^{1/3} = 14,22 \text{ (м)}.$$

5. Находим соотношение r/r_0 :

$$100 / 14,22 = 7,03.$$

6. По формуле $\Delta P_\phi = f(r/r_0)$ и применяя данные табл. 3.5 определим давление во фронте ударной волны; оно составляет 25 кПа, что, согласно табл. 3.8, для заданного типа здания, представляет опасность слабых разрушений.

Задание 3. Оценка последствий взрыва пропановоздушной смеси в промышленном здании

В промышленном здании объемом $V_{зд}$ осуществляется газофазное нитрование пропана 40–70 %-ной азотной кислотой в аппарате объемом $V_{ап}$. Оптимальная температура процесса 400–500 °С при давлении $P_{ап}$ в аппарате 0,5–1,0 МПа. Других горючих или взрывоопасных веществ и материалов в здании нет, подача пропана отключается автоматически. Принять, что вероятность отказа системы автоматического отключения подачи газа превышает 10^{-6} в год и не обеспечено резервирование ее элементов. Аварийная вентиляция в здании отсутствует. В табл. 3.11 даны варианты производственных ситуаций.

Таблица 3.11

Варианты производственных ситуаций

№ п/п	$V_{ап}, \text{м}^3$	$V_{зд}, \text{м}^3$	$P_{ап}, \text{кПа}$	Тип здания
1	2	1000	500	Кирпичное
2	4	1500	550	Железобетонное мон.
3	5	2000	600	Кирпичное
4	6	2500	650	Железобетонное к/п.
5	3	3000	700	Кирпичное
6	7	3500	750	Железобетонное мон.
7	4	2000	800	Кирпичное
8	2	1000	850	Железобетонное к/п.
9	5	1500	900	Кирпичное
10	3	3000	1000	Железобетонное мон.

Температура воздуха в помещении 20 °С. Длина трубопровода, по которому поступает пропан в нитратор, равна 5 м, диаметр трубопровода 0,06 м,

расход пропана $q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, давление в трубопроводе принять равным $7 \text{ кгс}/\text{см}^2$ (690 кПа), плотность пропана $2,01 \text{ кг}/\text{м}^3$. Максимальное давление взрыва стехиометрической пропановоздушной смеси P_{max} составляет 870 кПа. Коэффициент участия горючего во взрыве для пропана равен 0,5.

Рассчитать избыточное давление взрыва ΔP и определить степень разрушения промышленного здания.

Пример решения типовой задачи

В кирпичном промышленном здании объемом 1000 м^3 осуществляется газофазное нитрование пропана 40–70 %-ной азотной кислотой. Оптимальная температура процесса 400–500 °С, при давлении $P_{\text{ап}}$ в аппарате 0,5–1,0 МПа. Других горючих или взрывоопасных веществ и материалов в здании нет, подача пропана отключается автоматически. Принять, что вероятность отказа системы автоматического отключения подачи газа превышает 10^{-6} в год и не обеспечено резервирование ее элементов. Аварийная вентиляция в здании отсутствует.

Температура воздуха в помещении 20 °С. Длина трубопровода, по которому поступает пропан в нитратор, равна 5 м, диаметр трубопровода 0,06 м, расход пропана $q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, давление в трубопроводе принять равным $7 \text{ кгс}/\text{см}^2$ (690 кПа), плотность пропана $2,01 \text{ кг}/\text{м}^3$. Максимальное давление взрыва стехиометрической пропановоздушной смеси P_{max} составляет 870 кПа. Коэффициент участия горючего во взрыве для пропана равен 0,5. Объем аппарата 2 м^3 и давление в аппарате на момент аварии составляет 500 кПа

Рассчитать избыточное давление взрыва ΔP и определить степень разрушения промышленного здания.

Решение

1. Для определения стехиометрической концентрации горючего газа, рассчитаем стехиометрический коэффициент кислорода β по формуле:

$$\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{X}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2}$$

Получим:

$$\beta = 3 + 8/4 = 5$$

2. Рассчитаем стехиометрическую концентрацию горючего газа $c_{ст}$ по формуле (3.7):

$$c_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 5} = 3,95 \text{ (об. \%)}$$

3. Для вычисления массы пропана, необходимо определить объем газа, участвующего во взрыве. Для этого найдем объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, применяя формулу:

$$V_{1т} = q \cdot T,$$

где T – время до отключения трубопровода.

$$V_{1т} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 0,36 \text{ (м}^3\text{)}$$

4. Находим объем газа, вышедший из трубопровода после его отключения по формуле:

$$V_{2т} = 0,01 \cdot \pi P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n),$$
$$V_{2т} = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 690 (0,03^2 \cdot 5) = 0,098 \text{ (м}^3\text{)}$$

Таким образом, общий объем вышедшего из трубопровода газа составит:

$$V_{т} = V_{1т} + V_{2т},$$
$$V_{т} = 0,36 + 0,098 \approx 0,46 \text{ (м}^3\text{)}$$

Объем газа, вышедшего из аппарата, определим по формуле:

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 V$$
$$V_a = 0,01 \cdot 500 \cdot 2 = 10 \text{ (м}^3\text{)},$$

Теперь, определим массу пропана по формуле:

$$m = (V_a + V_{т}) \rho_{г}$$
$$m = (10 + 0,46) \cdot 2,01 = 21,03 \text{ (кг)}$$

5. Определим свободный объем помещения. Так как никаких данных о нем в задании не имеется, то, исходя из допущения, принятого в методике, принимаем свободный объем помещения равным 80 % всего объема, получаем:

$$V_{св} = 1000 \cdot 0,8 = 800 \text{ (м}^3\text{)}$$

6. Определяем избыточное давление взрыва по формуле (3.5), приняв в соответствии с методикой K_n равным 3:

$$\Delta P = (870 - 101,3) \cdot \frac{21,03 \cdot 0,5}{800 \cdot 2,01} \cdot \frac{100}{3,95} \cdot \frac{1}{3} = 41,73 \text{ (кПа)}$$

7. По табл. 3.8 определяем степень разрушения здания. При данной величине избыточного давления, кирпичное здание получит сильные повреждения.

Контрольные вопросы

1. Что такое взрыв? Чем он отличается от горения и детонации?
2. Опишите дефлаграционный и детонационный режимы взрывного горения. Какой режим горения принят за расчетный для прогнозирования обстановки при авариях?
3. Какие зоны действия при взрыве ГВС вы можете назвать?
4. Порядок определения зоны действия ВУВ.
5. От чего зависит величина нагрузки на объект при взрыве газозвдушенных и пылевоздушных смесей в производственных помещениях?
6. Как определяют избыточное давление взрыва для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, Cl, Br, I, F?
7. Какие виды и степени поражения людей существуют при взрыве?
8. Как оценивается барическое воздействие взрыва на здания и сооружения?
9. Какие существуют категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности?
10. Какие исходные данные необходимы для установления категории помещения по взрывопожарной и пожарной опасности?
11. Какие исходные данные необходимы для установления категории здания по взрывопожарной и пожарной опасности?
12. Что такое стехиометрический коэффициент кислорода β ?
13. Какими нормативными документами руководствуются при категорировании помещений и зданий по взрывопожарной опасности?

Работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Введение

Для создания и поддержания безопасных условий труда на производстве необходимым условием является знание и правильное использование показателей пожаровзрывоопасности применяемых веществ.

Температура вспышки является одним из основных показателей пожарной опасности горючих жидкостей. Значения температуры вспышки применяются для классификации жидкостей по степени пожароопасности, при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями норм технологического проектирования, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов, а также при определении класса взрывоопасной или пожароопасной зоны.

Цель работы: определение температуры вспышки горючих жидкостей, классификация их по степени пожароопасности, установление категории помещения по пожаровзрывоопасности и разработка мер пожарной безопасности для производственных помещений, где используются горючие жидкости.

Общие сведения

Использование в промышленности горючих жидкостей вызывает необходимость принимать предупреждающие меры для снижения пожарной опасности.

Пожарная опасность – возможность возникновения или развития пожара, заключенная в каком-либо веществе, состоянии или процессе.

Основные параметры, определяющие пожаровзрывоопасные свойства горючих жидкостей:

- температура вспышки;
- температура воспламенения;
- температура самовоспламенения;
- концентрационные пределы распространения пламени паров горючих жидкостей в воздухе;

- температурные пределы распространения пламени паров горючих жидкостей в воздухе.

Температура вспышки – самая низкая температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще не достаточна для устойчивого горения.

При этом сгорает только образовавшаяся паровая фаза жидкости, после чего пламя гаснет.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что после их зажигания возникает пламенное горение, продолжающееся не менее 5 с после удаления источника зажигания.

При нагревании горючих жидкостей до определенной критической температуры возможно их самовоспламенение.

Температура самовоспламенения – самая низкая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающихся пламенным горением.

Сгораемые жидкости делятся на **легковоспламеняющиеся (ЛВЖ)** – с температурой вспышки в закрытом тигле (з. т.) не более 61 °С или в открытом тигле (о. т.) не более 66 °С и **горючие (ГЖ)** – с температурой вспышки в закрытом и открытом тигле выше 61 и 66 °С соответственно. ЛВЖ по температуре вспышки подразделяются на три подгруппы (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Классификация легковоспламеняющихся жидкостей по температуре вспышки

Наименование подгруппы ЛВЖ	$t_{всп}$ (з. т.), °С	$t_{всп}$ (о. т.), °С
Особо опасные	$t \leq -18$	$t \leq -13$
Постоянно опасные	$-18 < t \leq 23$	$-13 < t \leq 27$
Опасные при повышенной температуре	$23 < t \leq 61$	$27 < t \leq 66$

Температуру вспышки паров индивидуальных жидких веществ можно рассчитать, пользуясь следующими эмпирическими формулами:

1. Температуру вспышки веществ в закрытом тигле (°C) для различных классов рассчитывают по формуле Эллея:

$$t_{\text{всп}} = a + b \cdot t_{\text{кип}}, \quad (4.1)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 4.2, вместе со средними квадратичными погрешностями расчета δ .

Таблица 4.2

Эмпирические коэффициенты для расчета температуры вспышки (з. т.)

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

2. Температуры вспышки (°C) веществ можно рассчитать и по следующей формуле, учитывающей аддитивные вклады связей:

$$t_{\text{всп}} = a_0 + a_1 \cdot t_{\text{кип}} + \sum_{i=1}^n a_j \cdot l_j, \quad (4.2)$$

где a_0 – коэффициент, равный -73,14 °C (з. т.) или -73 °C (о. т.), a_1 – коэффициент, равный 0,659 (з. т.) или 0,409 (о. т.); $t_{\text{кип}}$ – температура кипения исследуемой жидкости, °C; a_j – эмпирические коэффициенты для закрытого и открытого тиглей, приведенные в табл. 4.3; l_j – количество связей вида j в молекуле; n – количество видов связей.

3. Если известна зависимость давления насыщенных паров жидкости от температуры, то температуру вспышки (°C) рассчитывают по формуле:

$$t_{\text{всп}} = \frac{A_B}{P_{\text{всп}} \cdot D_0 \cdot \beta} - 273, \quad (4.3)$$

где A_B – константа, равная 280 для закрытого тигля и 427 для открытого, кПа·см²·К/с; $P_{\text{всп}}$ – парциальное давление паров исследуемой жидкости при температуре вспышки, кПа; D_0 – коэффициент диффузии пара в воздухе, см²/с; β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения.

Таблица 4.3

Эмпирические коэффициенты для расчета температуры вспышки

Связь	a_j , °C (з. т.)	a_j , °C (о. т.)	Связь	a_j , °C (з. т.)	a_j , °C (о. т.)
C–C	–2,03	3,63	C=S	–11,91	–
C=C _(полуторная)	–0,28	6,48	C–Br	19,40	–
C=C	1,72	–4,18	C–Cl	15,11	–
C–H	1,105	0,35	C–F	3,33	–
C–O	2,47	4,62	O–H	23,90	44,29
C=O	11,66	25,36	S–H	5,64	10,75
C–N	14,15	–7,03	N–H	5,83	18,15
C≡N	12,13	–	P–O	3,27	22,23
C–S	2,09	14,86	P=O	9,64	–9,86

Средние квадратичные погрешности расчета температуры вспышки для веществ различных классов составляют от 9 до 13 °C.

Экспериментальная часть

Сущность экспериментального метода определения температуры вспышки заключается в нагревании определенной массы вещества с заданной скоростью, периодическом зажигании выделяющихся паров и визуальной оценке результатов зажигания.

Определение температуры вспышки горючих жидкостей осуществляется с помощью прибора ТВ-1 в закрытом тигле (рис. 4.1)

по методике ГОСТ 12.1.044. Прибор для определения температуры вспышки устанавливается в вытяжном шкафу.

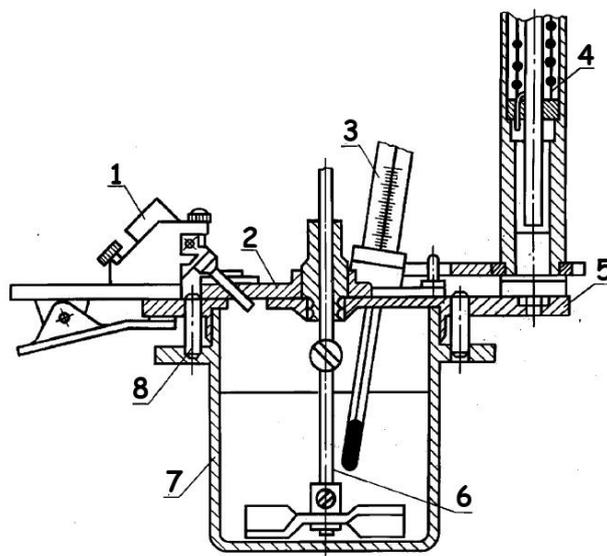


Рис. 4.1. Закрытый тигель ТВ-1:

1 – зажигающая горелка; 2 – заслонка; 3 – термометр; 4 – пружинный механизм; 5 – крышка;
6 – мешалка; 7 – тигель; 8 – штифт-фиксатор крышки

Порядок выполнения работы

Для проведения испытаний выдается жидкость, проверенная на соответствие паспортным данным по внешнему виду, плотности, коэффициенту рефракции и температуре кипения. Образец исследуемой жидкости наливают в тигель до отметки. Тигель закрывают крышкой и устанавливают в нагревательную ванну прибора. В гнездо на крышке тигля устанавливают термометр, выбранный в соответствии с температурой кипения исследуемой жидкости. Подключают к электропитанию нагревательную ванну и перемешивающее устройство. Зажигают газовую горелку прибора и регулируют пламя таким образом, чтобы оно имело форму шара диаметром $(4,0 \pm 0,5)$ мм. Нагревают образец исследуемой жидкости со скоростью $5\text{--}6$ °C/мин, что обеспечивается регулятором скорости нагрева и контролируется по секундомеру.

Образец жидкости, имеющий температуру вспышки ниже 50 °C, охлаждают до температуры, которая не менее чем на 17 °C ниже предполагаемой температуры вспышки. Образцы вязких жидкостей перед испытанием нагревают до достаточной текучести.

Через каждые 1–2 °С повышения температуры проводят испытание на вспышку. В момент испытания на вспышку перемешивание прекращают. Поворотом пружинного механизма открывают заслонку и опускают пламя внутрь тигля на 1 с. Если при этом произошла вспышка паров исследуемой жидкости, то нагревание образца прекращают и показания термометра в момент появления вспышки принимают за температуру вспышки. Если вспышка не произошла, то заслонку и газовую горелку возвращают в исходное положение. Включают мешалку и продолжают нагревать образец. Периодически опускают пламя газовой горелки внутрь тигля до получения вспышки.

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

За температуру вспышки каждого определения принимают показания термометра при появлении пламени над частью или всей поверхностью образца. Вспышку паров исследуемой жидкости над поверхностью крышки тигля не учитывают. Испытание на вспышку (в случае ее отсутствия) прекращают при достижении температуры кипения исследуемой жидкости или 360 °С.

За температуру вспышки исследуемой жидкости принимают среднее арифметическое трех определений серии основных испытаний с поправкой на атмосферное давление.

Поправку рассчитывают по формуле:

$$\Delta t = 0,27 (101,3 - p_a), \quad (4.4)$$

где p_a – фактическое атмосферное давление, кПа.

Сходимость результатов для органических веществ и нефтепродуктов не должна превышать 2 °С, если температура вспышки не превышает 104 °С и 5,5 °С, если температура вспышки свыше 104 °С.

Пожарная безопасность при проектировании производственных объектов

При наличии на производстве жидких веществ для установления категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности необходимо

знать их температуру вспышки. Принципы определения категорий помещений и зданий изложены в работе 3 данного пособия.

Проектные решения при строительстве производственных объектов должны обеспечивать возможность эвакуации людей из здания или в безопасную зону до возможного нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара. Скорость, с которой возникают и распространяются эти факторы, зависит в первую очередь от пожарной опасности применяемых материалов. Строительные конструкции, в зависимости от применяемых материалов и других характеристик, могут иметь разные значения пределов огнестойкости (способности сопротивляться огню) и относится к разным классам пожарной опасности (степень участия в развитии пожара и образовании его опасных факторов). В свою очередь, пределы огнестойкости и классы пожарной опасности используемых конструкций определяют степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности здания в целом.

Выбрать необходимые степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности здания (а следовательно, и конструкции, и используемые материалы) можно, зная категорию здания по пожарной и взрывопожарной опасности, предполагаемую высоту, этажность здания и площадь этажа в пределах пожарного отсека (работа 3, табл. 3.3).

Далее, исходя из выбранных конструктивных решений, а также из плотности людского потока по СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы» определяются максимальные расстояния до эвакуационных выходов. Расстояние от наиболее удаленного рабочего места в помещении до ближайшего эвакуационного выхода из помещения не должно превышать значений, приведенных табл. 4.4. Для помещений площадью более 1000 м² определяемое расстояние включает также длину пути по коридору до выхода наружу или в лестничную клетку. Расстояние зависит от объема помещения и при промежуточных значениях (если объем лежит в диапазоне от 15 до 60 тыс. м³) его необходимо определять линейной интерполяцией.

Расстояние по путям эвакуации от двери наиболее удаленного помещения площадью не более 1000 м² до ближайшего выхода наружу

или в лестничную клетку не должно превышать значений, приведенных в табл. 4.5. При этом определяемое расстояние зависит от количества возможных маршрутов эвакуации по коридору: эвакуация только в одном направлении или маршрутов два и более. Под тупиковым коридором понимается коридор (или его часть), эвакуация из которого возможна только в одном направлении.

В табл. 4.4 и 4.5 приведены расстояния до эвакуационных выходов при предусмотренных сочетаниях степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности здания. При других сочетаниях, расстояние и численность людей принимаются по худшему из этих показателей для данной категории помещения.

Минимум два эвакуационных выхода должны иметь помещения, в которых одновременно находится 50 человек и более, а также помещения площадью более 1000 м².

Минимум два эвакуационных выхода из помещения или с этажа должно быть при наличии помещений категорий А и Б, с численностью одновременно работающих более пяти человек, или при наличии помещения категории В, когда в нем одновременно находится более 25 человек.

Задание 1. Экспериментально определить температуру вспышки жидкости. Условия и результаты испытаний занести в протокол.

Протокол

Определение температуры вспышки жидкостей в закрытом тигле

Условия в помещении: температура, °С _____;

атмосферное давление, кПа; относительная влажность, % _____;

Наименование, состав и физико-химические свойства исследуемой жидкости: _____

Номер образца для испытания	Скорость нагрева образца, °С/мин	Температура испытания, °С	Результат испытания на вспышку (да, нет)	Температура вспышки, °С	Характеристика жидкости (ЛВЖ, ГЖ)
1					

$$t_{\text{всп}} = t_{\text{всп. средн}} + 0,27 (101,3 - p_a) = \underline{\hspace{2cm}}$$

Выводы. В выводах указать температуру вспышки жидкости и ее характер по степени пожароопасности – ЛВЖ или ГЖ.

Таблица 4.4

**Расстояния до эвакуационного выхода из помещения
высотой до 6 метров***

Объем помещения, тыс. м ³	Категория помещения	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Расстояние, м, при плотности людского потока в общем проходе, чел/м ²		
				до 1	св. 1 до 3	св. 3 до 5
До 15	А, Б	I, II, III, IV	C0	40	25	15
	B1–B3	I, II, III, IV	C0	100	60	40
		III, IV V	C1 C2, C3	70 50	40 30	30 20
30	А, Б	I, II, III, IV	C0	60	35	25
	B1–B3	I, II, III, IV III, IV	C0 C1	145 100	85 60	60 40
40	А, Б	I, II, III, IV	C0	80	50	35
	B1–B3	I, II, III, IV III, IV	C0 C1	160 110	95 85	65 45
50	А, Б	I, II, III, IV	C0	120	70	50
	B1–B3	I, II, III, IV III, IV	C0 C1	180 160	105 95	75 65
60 и более	А, Б	I, II, III, IV	C0	140	35	30
	B1–B3	I, II, III, IV III, IV	C0 C1	200 180	110 105	85 75
80 и более	B1–B3	I, II, III, IV III, IV	C0 C1	240 200	140 110	100 85
Независимо от объема	B4, Г	I, II, III, IV	C0	не	не	не огр.
		III, IV	C1	огр.	огр.	55
		V	не норм.	180 120	35 70	50
Независимо от объема	Д	I, II, III, IV	C0, C1	не	не	не огр.
		III, IV	C2, C3	огр.	огр.	65

* **Примечание:** приведенные расстояния увеличиваются: при высоте 12 м – на 20 %; при высоте 18 м – на 30 %; при высоте 24 м – на 40 %, но не более 140 м для помещений категорий А, Б и 240 м для помещений категории В. При промежуточных значениях высоты помещений увеличение расстояний определяется линейной интерполяцией.

Таблица 4.5

Расстояния до лестничных клеток или до выхода наружу

Расположение выхода	Категория помещения	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Расстояние по коридору, м, до выхода наружу или в ближайшую лестничную клетку при плотности людского потока в коридоре, чел/м ²			
				до 2	св. 2 до 3	св. 3 до 4	св. 4 до 5
Между двумя выходами наружу или лестничными клетками	А, Б	I, II, III, IV	С0	60	50	40	35
	В1–В3	I, II, III, IV	С0	120	95	80	65
		III, IV Не норм.	С1 С2, С3	85 60	65 50	55 40	45 35
	В4, Г, Д	I, II, III, IV	С0	180	140	120	100
III, IV Не норм.		С1 С2, С3	125 90	100 70	85 60	70 50	
В тупиковый коридор	Независимо от категории	I, II, III, IV	С0	30	25	20	15
		III, IV	С1	20	15	15	10
		Не норм	С2, С3	15	10	10	8

Задание 2. Задание по вариантам приведено в табл. 4.6. По формулам (4.1) и (4.2) необходимо рассчитать температуру вспышки жидкости в открытом и закрытом тиглях, результаты расчетов занести в соответствующие поля табл. 4.6. Сравнить полученные значения с указанными экспериментальными. Рассчитать и указать абсолютную и относительную погрешности. Определить к какому типу – ГЖ или ЛВЖ (с указанием подгруппы) относится жидкость.

Задание 3. На территории исследуемого промышленного предприятия предполагается строительство производственного здания для осуществления технологического процесса с использованием горючей жидкости. Технологический процесс будет осуществляться на последнем этаже (рис. 4.1), высота которого составит 10,8 м. Высота нижних этажей составляет 7,2 м. Помещение № 2 будет иметь категорию по взрывопожарной и пожарной опасности Б, помещения № 3–8, а также помещения на других этажах – категории В1–В3. Здание не будет оборудовано установками автоматического

пожаротушения, а плотность людского потока составит 2 человека на квадратный метр. Варианты производственной ситуации приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.6

**Наименование и характеристики жидкостей
для расчета температуры вспышки**

№ п/п	Вещество	Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С				
			по формуле (4.1) (з. т.)	по формуле (4.2)		Экспериментальные данные	
				з. т.	о. т.	з. т.	о. т.
1	Гексаналь	131,0			30	32	
2	Бутилбензол	183,1			60	71	
3	Изопропиловый спирт	82,3			14	18	
4	2-метиланилин	199,7			81	83	
5	Гексановая кислота	205,35			102	108	
6	Ацетальдегид	20,2			-40	-37	
7	Пентанон-2	103,3			6	13	
8	2-метилпентандиол-2,4	197,0			93	102	
9	Этилбензол	136,2			20	24	
10	п-этилфенол	219,0			104	105	

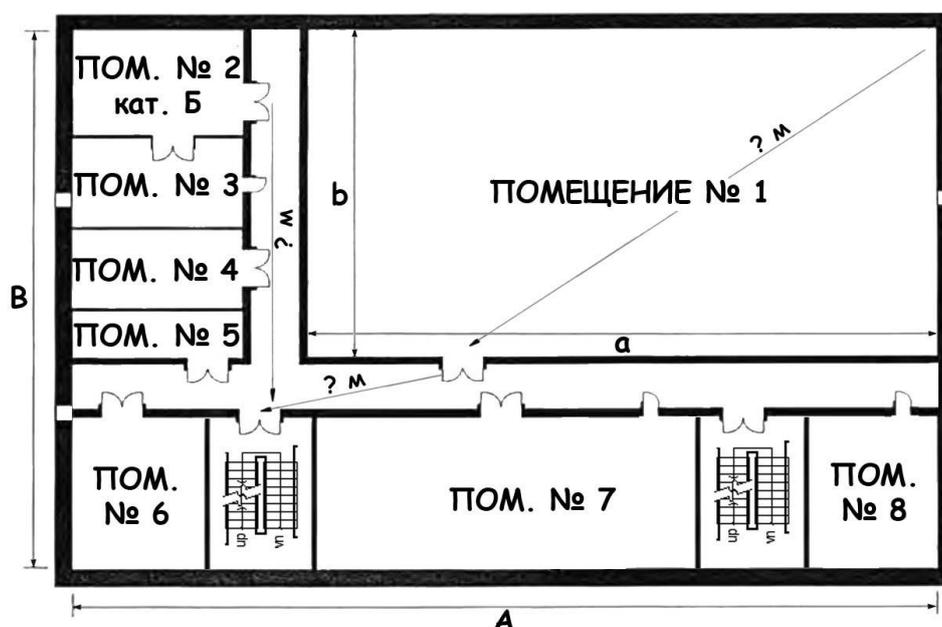


Рис. 4.1. Примерный план последнего этажа производственного здания

Варианты производственных ситуаций

№ п/п	Наименование жидкости	Температура вспышки, °С	Этажность здания	Габариты здания А: В, м	Габариты помещения № 1 а: b, м	Площадь помещения № 2, м ²	Площадь помещений категории В1–В3, м ²	Избыточное давление взрыва, кПа
1	Уайт-спирит	33	3	75:18	14:10	50	3700	6
2	Ацетон	–18	4	110:24	70:15	150	9000	9
3	Ацетальдегид	–40	2	115:24	60:18	300	5000	4
4	Полипропиленгликоль	104	2	120:18	15:12	15	4000	8
5	Гексан	–23	3	50:18	12:10	50	2300	12
6	Уксусный ангидрид	49	5	150:24	100:16	180	17000	3
7	Изопропанол	14	1	160:24	15:10	30	3500	7
8	Этаноламин	85	1	60:18	35:10	190	750	2
9	п-этилфенол	104	3	80:24	18:15	70	5000	6
10	Этилбензол	20	2	85:18	16:12	40	2700	8

Пример решения типовой задачи

Вещество 2-метиланилин с температурой вспышки (з. т.) 81 °С находится в таком количестве, что способно при взрыве газозвушной смеси создавать избыточное давление взрыва 10 кПа. Характеристики производственного объекта: двухэтажное здание длиной 95 и шириной 18 м; помещение № 1 имеет длину 55 и ширину 10 м; площадь помещения № 2 составляет 100 м²; площадь остальных помещений категории В1–В3 2500 м². Плотность людского потока 4 чел/м². Остальные условия совпадают с условиями в задании 3.

Решение:

1. По табл. 3.1 определяем категорию помещения № 1: поскольку 2-метиланилин – горючая жидкость, а давление развиваемое при взрыве

больше 5 кПа, то категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности – Б.

Далее определяем категорию здания:

– так как помещений категории в здании А нет, то здание не относится к категории А;

– помещения № 1 и 2 имеют категорию Б, и их суммарная площадь составляет $55 \cdot 10 + 100 = 650 \text{ м}^2$, что больше 200 м^2 , следовательно здание относится к категории Б.

2. Определим необходимую степень огнестойкости здания и класс конструктивной пожарной опасности. Здание двухэтажное, высота первого этажа – 7,2 м, второго – 10,8 м. Высота здания, таким образом, 18 м. Площадь этажа можно определить по длине и ширине здания: $95 \cdot 18 = 1710 \text{ м}^2$.

По табл. 3.3 для двухэтажного здания категории Б с площадью этажа до 3500 м^2 степень огнестойкости должна быть III, а класс конструктивной пожарной опасности – С0. При этом требование к высоте здания выполняется: $18 \text{ м} < 24 \text{ м}$.

3. Определим расстояние до эвакуационного выхода из помещения № 1. Объем помещения равен $55 \cdot 10 \cdot 10,8 = 5940 \text{ м}^3$. По табл. 4.4 с учетом категории помещения, степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности и плотности людского потока (4 чел/м^2) определяем расстояние до выхода для помещений объемом до 15 тыс. м^3 : 15 м. Интерполяция в данном случае не требуется. Учитывая поправку на высоту помещения 10,8 м увеличим расстояние на 18 %: $15 \cdot 1,18 = 17,7 \text{ м}$. Т.к. помещение имеет площадь менее 1000 м^2 , то найденное расстояние – это расстояние от наиболее удаленного рабочего места в помещении до выхода из помещения.

Определим расстояние до эвакуационного выхода по коридору в ближайшую лестничную клетку. Так как количество людей, одновременно работающих в помещении категории Б, превышает 5 человек, то лестничных клеток должно быть минимум две. Значит в табл. 4.5 ориентируемся на выходы из помещений, расположенные между двумя выходами на лестничные клетки. Для помещений категорий Б при плотности потока 4 чел/м^2 расстояния составляют 40 м.

Ответ: 1) Категория помещения № 1 – Б, категория здания – Б.
2) Степень огнестойкости здания – III, класс конструктивной пожарной опасности – С0. 3) Расстояние до выхода из помещения № 1 – 17,7 м.
Расстояния от помещений № 1 и 2 до лестничной клетки – 40 метров.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры определяют пожаровзрывоопасные свойства жидкостей?
2. Какая характеристика пожаровзрывоопасности сгораемых жидкостей является основной? Где ее используют?
3. Что такое температура вспышки?
4. Что такое температура воспламенения?
5. Чем отличается вспышка сгораемой жидкости от ее горения? Какую опасность представляет вспышка сгораемой жидкости?
6. При какой температуре происходит резкое ускорение экзотермических реакций в веществе, заканчивающееся пламенным горением?
7. На какие классы подразделяются ЛВЖ?
8. Какие исходные данные необходимы для расчета температуры вспышки горючей жидкости? Какова точность такого расчета?
9. Какая поправка учитывается при определении итоговой температуры жидкости при эксперименте?
10. Каков порядок определения температуры вспышки с помощью прибора ТВ-1?
11. Когда прекращают испытание жидкости на вспышку в случае ее отсутствия?
12. Какие характеристики сгораемых жидкостей необходимы для определения категории помещения по пожаровзрывоопасности?
13. Какие данные необходимы для определения категории здания по пожаровзрывоопасности?
14. Как можно установить число эвакуационных выходов и предельно допустимое расстояние от рабочего места до эвакуационного выхода?
15. Как определяют допустимую высоту здания и площадь этажа в пределах пожарного отсека?

**Работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА И КОЛИЧЕСТВА
ОГNETУШИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.
РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ
ХИМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ**

Введение

Пожарная безопасность – одна из важных частей национальной безопасности России. Согласно Федеральному закону от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «О пожарной безопасности», она представляет собой состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров.

Для обеспечения защищенности от опасных факторов пожара на производстве нужно минимизировать риск возникновения и предотвратить развитие пожара. При этом важно выполнять Правила противопожарного режима (ППР).

Согласно ППР, производственные здания и помещения должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения, важнейшими из которых являются огнетушители. Они применяются для тушения пожаров на стадии загорания до прибытия подразделений пожарной охраны, а также для противопожарной защиты небольших сооружений, машин и механизмов.

Огнетушитель – переносное или передвижное устройство для тушения очагов пожара за счет выпуска запасенного огнетушащего вещества. Ввиду многообразия принципов огнетушения, конструкций и возможных очагов горения, для каждого защищаемого объекта необходимо верно подобрать количество огнетушителей, их тип и свойства.

Цель работы: ознакомление с правилами и принципами обеспечения пожарной безопасности на производстве.

Общие сведения

Основным нормативным документом по пожарной безопасности жилых и общественных зданий, помещений, сооружений и производственных объектов является Технический регламент о требованиях пожарной безопасности № 123-ФЗ.

Для обеспечения пожарной безопасности в научных учреждениях и учебных заведениях, работы на опытных (экспериментальных) установках, связанных с применением взрывопожароопасных и пожароопасных веществ и материалов, разрешаются только после принятия их в эксплуатацию комиссией. Руководитель (ответственный исполнитель) экспериментальных исследований должен принять необходимые меры по обеспечению пожарной безопасности при их проведении.

В лабораториях и других помещениях допускается хранение легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ) в количествах, не превышающих максимально допустимое, которое определяется расчетным путем, в зависимости от размеров помещения и вида горючей жидкости. Доставка жидкостей в помещение должна производиться в закрытой безопасной таре.

Не разрешается проводить работы в вытяжном шкафу, если в нем находятся вещества, материалы и оборудование, не относящееся к выполняемым операциям, а также при его неисправности и отключенной системе вентиляции.

Бортики, предотвращающие стекание жидкостей со столов, должны быть исправными.

Отработанные ЛВЖ и ГЖ следует по окончании рабочего дня собирать в специальную закрытую тару и удалять из лаборатории для дальнейшей утилизации.

Не разрешается сливать ЛВЖ и ГЖ в канализацию.

Сосуды, в которых проводились работы с ЛВЖ и ГЖ, после окончания опыта должны промываться пожаробезопасными веществами (раствором ПАВ, дистиллированной водой).

Требования пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) людей при пожарах в зданиях и сооружениях определяются Сводом правил СП 3.13130.2009 «Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре».

Оповещение и управление эвакуацией людей при пожаре должно осуществляться одним из следующих способов или их комбинацией:

- подачей звуковых и (или) световых сигналов во все помещения здания с постоянным или временным пребыванием людей;
- трансляцией текстов о необходимости эвакуации, путях эвакуации, направлении движения и других действиях, направленных на обеспечение безопасности людей;
- трансляцией специально разработанных текстов, направленных на предотвращение паники и других явлений, усложняющих эвакуацию;
- размещением эвакуационных знаков безопасности на путях эвакуации;
- включением эвакуационных знаков безопасности;
- включением эвакуационного освещения;
- дистанционным открыванием дверей эвакуационных выходов (например, оборудованных электромагнитными замками);
- связью пожарного поста–диспетчерской с зонами пожарного оповещения.

Последовательность действий персонала и обучающихся при пожаре включает пять этапов:

- тревога (включение звуковой сигнализации);
- вызов пожарной охраны, МЧС, скорой медицинской помощи, полиции;
- эвакуация из учебного заведения;
- сбор персонала и обучающихся в отведенном месте;
- перекличка.

Кроме того, по прибытии пожарной команды персонал и обучающиеся могут принимать посильное участие в тушении пожара (под руководством командира пожарного подразделения). Для предотвращения воздействия на людей опасных факторов пожара, организованного движения людей при эвакуации и выносе материальных ценностей в зданиях предусматриваются эвакуационные пути и выходы.

Для каждого этажа здания составляется план эвакуации. Количество эвакуационных выходов должно быть не менее двух.

При составлении плана эвакуации принимается во внимание:

- необходимое время эвакуации, связанное со степенью огнестойкости здания;
- категория помещения по пожарной опасности;

– объем помещения.

После утверждения плана эвакуации необходимо отработать его практически, включая подачу команд, вызов пожарных подразделений, оповещение о пожаре, открывание выходов и вывод людей из помещений.

В плане эвакуации должны быть отражены:

- способы быстрого оповещения всего персонала о пожаре;
- пути выхода из горящих или находящихся под угрозой огня и дыма помещений;
- запасные и основные выходы.

План эвакуации состоит из двух частей – графической и текстовой. В графической части показывается планировка этажей здания. Планы можно упрощать, изображая конструкции в одну линию, исключать небольшие помещения, не связанные с пребыванием людей. Но все эвакуационные пути и выходы должны быть обязательно показаны на плане.

Двери на плане эвакуации показывают в открытом виде. Если при эксплуатации отдельные выходы закрыты, на плане эвакуации дверной проем изображают закрытым и отмечают местонахождение ключей надписью «Ящик с ключом от наружной двери».

На план наносятся стрелки, указывающие маршруты движения людей, исходя из наименьшего времени и наибольшей надежности путей эвакуации. Пути эвакуации делят на основные, которые обозначают сплошными зелеными линиями со стрелками, и резервные, которые обозначают пунктирными линиями со стрелками.

Кроме маршрутов движения, обозначают места нахождения извещателей, огнетушителей, пожарных кранов, телефонов и другого пожарно-технического оборудования (рис. 5.1).

Графическую часть плана эвакуации в рамке под стеклом вывешивают на видном месте, обычно при входе на этаж.

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ



Рис. 5.1. Примерный вид плана эвакуации

Текстовая часть плана эвакуации утверждается руководителем объекта и представляет собой таблицу, содержащую перечень действий при пожаре, порядок и последовательность действий, должность и фамилии исполнителей.

Количество, тип и ранг огнетушителей, необходимых для защиты конкретного объекта, устанавливаются, исходя из величины пожарной нагрузки, физико-химических и пожароопасных свойств образующихся горючих материалов (категории защищаемого помещения, определяемой по СП 12.13130.2009), характера возможного их взаимодействия с огнетушащим веществом и размеров защищаемого объекта, а также класса пожара горючих веществ и материалов в защищаемом помещении или на объекте:

- класс А – пожары твердых веществ, органического происхождения, горение которых сопровождается тлением (древесина, текстиль, бумага);
- класс В – пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ;
- класс С – пожары газов;
- класс D – пожары металлов и их сплавов;
- класс Е – пожары, связанные с горением электроустановок.

Огнетушители подразделяют:

По назначению, в зависимости от заряда огнетушащего вещества (ОТВ), для тушения загорания:

- твердых горючих материалов (класс пожара А);
- жидких горючих материалов (класс пожара В);
- газообразных горючих веществ (класс пожара С);
- металлов и металлосодержащих веществ (класс пожара D);
- электроустановок, находящихся под напряжением (класс пожара Е).

Огнетушители могут быть предназначены для тушения нескольких классов пожара.

По виду применяемого огнетушащего вещества:

- водные (ОВ);
- пенные:
 - а) воздушно-пенные (ОВП);
 - б) химически-пенные (ОХП);
- газовые:
 - а) углекислотные (ОУ);
 - б) хладоновые (ОХ);
- комбинированные.

Огнетушители делятся на **переносные** (массой до 20 кг) и **передвижные** (массой не менее 20, но не более 400 кг).

Передвижные огнетушители могут иметь одну или несколько емкостей для зарядки ОТВ, смонтированных на тележке. Выбор типа огнетушителя (передвижной или ручной) обусловлен размерами возможных очагов пожара. При их значительных размерах необходимо использовать передвижные огнетушители.

Если возможны комбинированные очаги пожара, то предпочтение при выборе огнетушителя отдается более универсальному по области применения.

В зависимости от заряда **порошковые огнетушители** (рис. 5.2) применяют для тушения пожаров классов АВСЕ, ВСЕ или класса D. Огнетушители для тушения пожаров классов АВСЕ и ВСЕ содержат порошки общего назначения. Активным компонентом порошка для тушения пожара класса АВСЕ

являются фосфорно-аммонийные соли. Основным компонентом порошков для тушения пожара класса ВСЕ может быть бикарбонат натрия, сульфат калия, хлорид калия.



Рис. 5.2. Устройство порошкового огнетушителя

Для тушения пожаров класса D огнетушители должны быть заряжены специальным порошком, основной компонент которого представлен хлоридом калия, графитом и т. д., и оснащены специальным успокоителем для снижения скорости и кинетической энергии порошковой струи.

Параметры и количество порошковых огнетушителей определяют исходя из специфики обрабатываемых пожароопасных материалов, дисперсности частиц и возможной площади пожара.

При тушении пожара порошковыми огнетушителями необходимо применять дополнительные меры по охлаждению нагретых элементов оборудования или строительных конструкций.

Не следует использовать порошковые огнетушители для защиты оборудования, которое может выйти из строя при попадании порошка (электронно-вычислительные машины, электронное оборудование).

Необходимо строго соблюдать рекомендованный режим хранения и периодически проверять эксплуатационные параметры порошкового заряда (влажность, текучесть, дисперсность).

Углекислотные огнетушители (рис. 5.3) с диффузором, создающим струю огнетушащего вещества в виде снежных хлопьев, как правило, применяют для тушения пожаров класса А.



Рис. 5.3. Схема устройства углекислотного огнетушителя

Углекислотные огнетушители с диффузором, создающим поток огнетушащего вещества в виде газовой струи, следует применять для тушения пожаров класса Е.

При эксплуатации углекислотных огнетушителей возможно накопление зарядов статического электричества на диффузоре огнетушителя (особенно если диффузор изготовлен из полимерных материалов).

При отрицательной температуре окружающей среды происходит снижение эффективности огнетушителей.

На организм человека пары углекислоты оказывают токсическое воздействие, кроме того, существует опасность снижения содержания кислорода в воздухе помещения в результате применения углекислотных огнетушителей, а также опасность обморожения ввиду резкого снижения температуры узлов огнетушителя.

Воздушно-пенные огнетушители (рис. 5.4) по параметрам формируемого ими пенного потока подразделяют на:

- низкой кратности, кратность пены от 5 до 20 включительно – ОВП(Н);
- средней кратности, кратность пены свыше 20 до 200 включительно – ОВП(С).

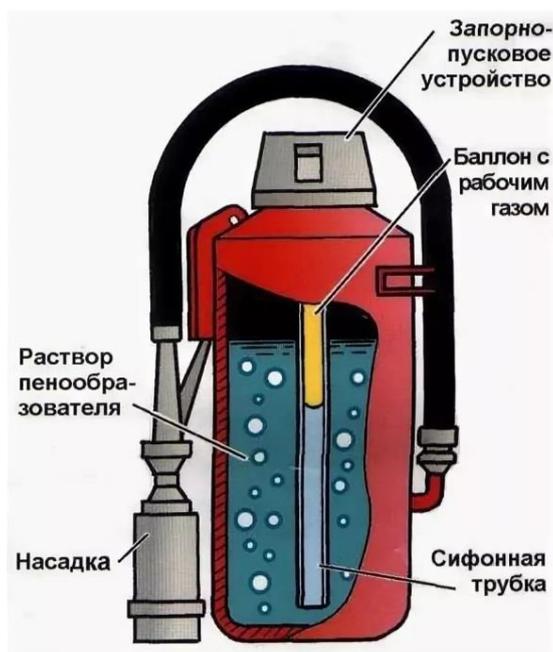


Рис. 5.4. Схема устройства воздушно-пенного огнетушителя

Воздушно-пенные огнетушители применяют для тушения пожаров класса А (как правило, со стволом пены низкой кратности) и пожаров класса В.

Воздушно-пенные огнетушители не должны применяться для тушения пожаров оборудования, находящегося под электрическим напряжением, для тушения сильно нагретых или расплавленных веществ, а также веществ, вступающих с водой в химическую реакцию, которая сопровождается интенсивным выделением тепла и разбрызгиванием горючего.

При отрицательных температурах возможно замерзание рабочего раствора углекислотных огнетушителей.

Заряд огнетушителя имеет высокую коррозионную активность, поэтому необходима ежегодная перезарядка огнетушителя с корпусом из углеродистой стали.

При тушении загорания возможно загрязнение окружающей среды компонентами, входящими в заряд огнетушителей.

Водные огнетушители (рис. 5.5) следует применять для тушения пожаров класса А. Запрещается применять водные огнетушители для ликвидации пожаров оборудования, находящегося под электрическим напряжением, для тушения сильно нагретых или расплавленных веществ, а также веществ, вступающих с водой в химическую реакцию, которая сопровождается интенсивным выделением тепла и разбрызгиванием горючего.

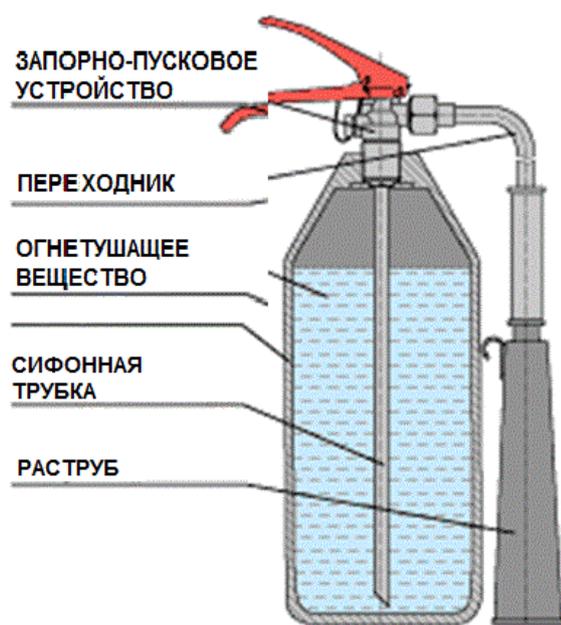


Рис. 5.5. Схема устройства водного огнетушителя

Водные огнетушители по виду выходящей струи подразделяют на огнетушители:

- с компактной струей – ОВ(К);
- с распыленной струей (средний диаметр капель менее 100 мкм) – ОВ(М).

Переносные огнетушители должны иметь следующую структуру обозначения:

XX (X)–XX (X)–XXA;XXB;C–(X) XX X
 1 (2) 3 (4) 5 (6) 7 8

В указанной маркировке 1 – тип огнетушителя по виду огнетушащего вещества; 2 – кратность пены, вид струи; 3 – вместимость корпуса, л; 4 – принцип вытеснения ОТВ; 5 – ранг очага, класс пожара; 6 – модель (01, 02 и т. д.); 7 – климатическое исполнение; 8 – обозначение нормативного документа (ГОСТ, ТУ), согласно которому изготовлен огнетушитель.

Пример условного обозначения для переносного огнетушителя:

ОВП(Н)–10(г)–2А;55В–(01)У2 ГОСТ – огнетушитель воздушно-пенный (ОВП), вместимостью 10 л, вытеснение огнетушащего вещества газогенерирующим элементом (г), для тушения загорания твердых горючих материалов (ранг очага 2А) и жидких горючих веществ (ранг очага 55В), модель 01, климатическое исполнение У2, изготовлен согласно ГОСТ.

При возможности возникновения на защищаемом объекте значительного очага пожара (предполагаемый пролив горючей жидкости может произойти на площади более 1 м²) необходимо использовать передвижные огнетушители.

Структура обозначения **передвижных** огнетушителей:

XX (X) –	XXX (X) –	ХХА;ХХХВ–Х;С	– (X)	XX	X
1 (2)	3 (4)	5	6	7	8

В указанной маркировке 1 – тип огнетушителя по виду огнетушащего вещества; 2 – вид струи ОТВ или кратность пены; 3 – вместимость корпуса огнетушителя, л; 4 – принцип вытеснения ОТВ; 5 – ранг огнетушителя; 6 – модель; 7 – климатическое исполнение; 8 – обозначение нормативного документа, согласно которому изготовлен огнетушитель.

Пример условного обозначения для передвижного огнетушителя:

ОВП(С)–100(з)–6А;233В(01)У2 ГОСТ – огнетушитель воздушно-пенный (ОВП), формирующий струю воздушно-механической пены средней кратности (С), вместимость корпуса 100 л, закачного типа (з), может применяться при тушении пожаров твердых веществ (тушит модельный очаг 6А), горючих жидкостей (тушит модельный очаг 233 В), модель 01, климатическое исполнение У2, изготовлен согласно ГОСТ.

Допускается обеспечивать огнетушителями на 50 %, исходя из их расчетного количества, помещения, оборудованные автоматическими установками пожаротушения.

Выбирая огнетушитель, необходимо учитывать соответствие его температурного диапазона применения возможным климатическим условиям безопасности на защищаемом объекте.

Общественные и промышленные здания и сооружения должны иметь на каждом этаже не менее двух переносных огнетушителей.

Не допускается использовать на защищаемом объекте огнетушители и заряды к ним, не имеющие сертификат пожарной безопасности.

Расчет необходимого количества огнетушителей следует вести по каждому помещению и объекту отдельно.

На объекте должно быть определено лицо, ответственное за приобретение, сохранность и контроль состояния огнетушителей.

На каждый огнетушитель, установленный на объекте, заводят паспорт. Огнетушителю присваивают порядковый номер, который наносят краской на огнетушитель, записывают в паспорт огнетушителя и в журнал учета проверки наличия и состояния огнетушителей.

Расстояние от возможного очага пожара до ближайшего огнетушителя не должно превышать 20 м для общественных зданий и сооружений; 30 м для помещений категорий А, Б и В; 40 м – для помещений категорий В и Г; 70 м – для помещений категории Д. Расстояние от двери до огнетушителя должно быть таким, чтобы не мешать ее полному открыванию.

Огнетушители не должны устанавливаться в таких местах, где значения температур выходят за температурный диапазон, указанный на огнетушителях.

Водные и пенные огнетушители, установленные вне помещений или в неотапливаемом помещении и не предназначенные для эксплуатации при отрицательных температурах, должны быть сняты на холодное время года (температура воздуха ниже 1 °С). В этом случае на их месте и на пожарном щите должна быть помещена информация о месте нахождения огнетушителей в течение указанного периода и о месте нахождения ближайшего огнетушителя.

При тушении пожара в помещении с помощью углекислотных передвижных огнетушителей необходимо учитывать возможность снижения содержания кислорода в воздухе помещений ниже предельного значения и использовать изолирующие средства защиты органов дыхания.

При тушении пожара порошковыми огнетушителями необходимо учитывать возможность образования высокой запыленности и снижении видимости очагов пожара (особенно в помещении небольшого объема) в результате образования порошкового облака.

При тушении электрооборудования при помощи газовых или порошковых огнетушителей необходимо соблюдать безопасное (не менее 1 м) от распыляющего сопла и корпуса огнетушителя до токоведущих частей.

При тушении пожара с помощью пенного или водного огнетушителя необходимо обесточить помещение и оборудование.

Экспериментальная часть

Задание 1.

В помещениях промышленного и учебного назначения осуществляются работы с различными веществами, материалами, оборудованием (табл. 5.1).

1. Определить категорию помещения (по СП 12.13130.2009) и выбрать вид и тип огнетушителя для заданного помещения (табл. 5.2, 5.3).

2. Описать особенности тушения загорания с помощью данного огнетушителя.

Таблица 5.1

Варианты производственных помещений

№	Площадь помещения, м ²	Назначение помещения. Основные вещества, материалы и оборудование в помещении	Наличие установки пожаротушения
1	500	<i>Цех покраски автомобильных кузовов</i> Краска, растворители (ЛВЖ, $t_{всп} \leq 28$ °С) в количестве, создающем при взрыве избыточное давление, превышающее 5 кПа	Есть
2	200	<i>Компьютерный зал</i> Компьютеры и оргтехника, потолок из полимерного материала, офисная мебель, бумага	Отсутствует
3	130	<i>Учебная лаборатория</i> ЛВЖ в количестве, не превышающем суточную потребность, химические реактивы. Вытяжные шкафы, лабораторные столы, химическая посуда и оборудование	Отсутствует
4	300	<i>Цех компримирования аммиака</i> Воздушные компрессоры, емкости для хранения аммиака объемом 100 м ³ , аммиак в количестве 85 м ³ (в жидкой фазе)	Есть
5	200	<i>Помещение для расфасовки и затаривания анилиновых красителей</i> Оборудование для транспортирования, анилиновые красители в количестве, достаточном для создания при взрыве избыточного давления, превышающее 5 кПа	Есть
6	100	<i>Научно-исследовательская лаборатория</i> ЛВЖ в количестве, не превышающем максимально допустимое, химические реактивы. Вытяжные шкафы, лабораторные столы, химическая посуда и оборудование	Отсутствует

Окончание табл. 5.1

7	200	<i>Сушильное отделение</i> Сушилка кипящего слоя для высушивания твердых горючих порошкообразных органических соединений с размером частиц 20–60 мкм. В помещении возможно накопление пыли в количестве, достаточном для создания при взрыве избыточного давления, превышающее 5 кПа.	Отсутствует
8	400	<i>Цех по производству фармацевтических препаратов</i> Лекарственные препараты – горючие составы, выпускающиеся в виде таблеток. Растворители (ЛВЖ, $t_{всп} \geq 28 \text{ }^\circ\text{C}$) в количестве, создающем при взрыве избыточное давление, превышающее 5 кПа	Отсутствует
9	600	<i>Склад хранения готовой продукции</i> Аммиачная селитра в количестве, создающем при взрыве избыточное давление, превышающее 5 кПа	Есть
10	1000	<i>Гараж для производственного транспорта</i> Грузовые автомобили с емкостью топливного бака до 1500 л, работающие на дизельном топливе ($t_{всп} \geq 28 \text{ }^\circ\text{C}$)	Есть

Таблица 5.2

Нормы оснащения помещений ручными огнетушителями

Категория помещения	Предельная площадь помещения	Класс пожара	Количество пенных и водных огнетушителей вместимостью 10 л	Количество порошковых огнетушителей, л / масса огнетушащего вещества, кг			Количество углекислотных огнетушителей, л	
				2/2	5/4	10/9	2/2	5(8)/3(5)
А, Б, В (горючие газы и жидкости)	200	А	2++	–	2+	1+	–	–
		В	4+	–	2+	1+	–	–
		С	–	–	2+	1+	–	–
		Д	–	–	2+	1+	–	–
		(Е)	–	–	2+	1+	–	2+
В	400	А	2++	4+	2++	1+	–	2+
		(Д)	–	–	2+	1++	–	–
		Е	–	–	2++	1+	4+	2++
Г	800	В	2+	–	2++	1+	–	–
		С	–	4+	2++	1+	–	–

Окончание табл. 5.2

Г, Д	1800	A	2++	4+	2++	1+	–	–
		D	–	–	2+	1++	–	–
		(E)	–	2+	2++	1+	4+	2++
Общественные здания	800	A	4++	8+	4++	2+	–	4+
		(E)	–	–	4++	2+	4+	2++

Примечания:

1. Для тушения пожаров различных классов порошковые огнетушители должны иметь соответствующие заряды: для класса А – порошок ABC (E); для классов В, С и (E) – BC (E) или ABC(E) и класса D – D.
2. Знаком «++» обозначены рекомендуемые к оснащению объектов огнетушители, знаком «+» – огнетушители, применение которых допускается при отсутствии рекомендуемых и при соответствующем обосновании, знаком «–» – огнетушители, которые не допускаются для оснащения данных объектов.
3. В замкнутых помещениях объемом не более 50 м³ для тушения пожаров вместо переносных огнетушителей, или дополнительно к ним, могут быть использованы огнетушители самосрабатывающие порошковые.

Таблица 5.3

Нормы оснащения помещений передвижными огнетушителями

Категория помещения	Предельно защищаемая площадь, м ²	Класс пожара	Количество воздушно-пенных огнетушителей вместимостью 100 л	Количество комбинированных огнетушителей (пена, порошок) вместимостью 100 л	Количество порошковых огнетушителей вместимостью 100 л	Количество углекислотных огнетушителей, л	
						25	80
А, Б, В (горючие газы и жидкости)	500	A	1++	1++	1++	–	3+
		B	2+	1++	1++	–	3+
		C	–	1+	1++	–	3+
		D	–	–	1++	–	–
		(E)	–	–	1+	2+	1++
В (кроме горючих газов и жидкостей), Г	800	A	1++	1++	1++	4+	2+
		B	2+	1++	1++	–	3+
		C	–	1+	1++	–	3+
		D	–	–	1++	–	–
		(E)	–	–	1+	1++	1+

Примечания: см. примечания 1 и 2 к табл. 5.2

Задание 2.

В помещениях химических лабораторий происходят работы с использованием различных ЛВЖ. Варианты производственных ситуаций даны в табл. 5.4. Для полученного от преподавателя варианта задания рассчитать максимально допустимое количество ЛВЖ (л), которое можно хранить или использовать в химической лаборатории в рабочее время; перечислить основные меры пожарной безопасности при работе с ЛВЖ в химической лаборатории. Рассчитать максимально допустимый объем ЛВЖ для данных лабораторных помещений.

Таблица 5.4

Варианты производственных ситуаций

Вариант	Название ЛВЖ, используемой в химической лаборатории	Брутто-формула и молярная масса ЛВЖ	Плотность ЛВЖ, кг/м ³	НКПР, об. %	Размеры лабораторного помещения, м
1	Гексан	C_6H_{14} ,	654,8	1,24	10×510×3,5
2	Гексан	86,18			20×8×3,5
3	Толуол	C_7H_8	866,9	1,27	20×5×3,5
4	Толуол	92,14			30×10×5
5	Этиловый спирт	C_2H_6O	785,0	3,6	8×5×3
6	Этиловый спирт	46,07			15×10×3,5
7	Метиловый спирт	CH_4O	786,9	6,98	6×4×3
8	Метиловый спирт	34,04			25×12×4
9	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	1049,0	4,0	8×4×3
10	Уксусная кислота	50,05			40×10×5

Расчет максимального количества горючей жидкости для лабораторных помещений проводится, исходя из значения показателя взрывоопасности – нижнего концентрационного предела распространения пламени.

Согласно ПУЭ, по содержанию горючих газов и паров легковоспламеняющихся жидкостей зоны лабораторных помещений относятся к зонам класса В-Іб, т. е. таким зонам, в которых количество присутствующих горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей недостаточно для создания

взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, и где работа с этими веществами не сопровождается применением открытого пламени.

Таким образом, для обеспечения безопасных условий в помещениях лабораторий зоны В-Іб, требуется не превышать максимально допустимое для данного помещения содержание легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов (НКПР).

Для определения максимально допустимого количества ЛВЖ и горючего газа необходимо:

1. Вычислить объем помещения, составляющий 5 % от свободного объема помещения. Принимаем, что свободный объем помещения в производственных помещениях составляет 80 % от общего объема.

2. Поскольку 1 кмоль идеального газа при нормальных условиях занимает $22,4 \text{ м}^3$, объем образовавшейся при аварийной ситуации газо- или паровоздушной смеси должен составить:

$$V = 22,4 \cdot k \cdot Q \cdot 100 / (m_k \cdot C),$$

где k – коэффициент, учитывающий долю активного газа (долю продукта, участвующего во взрыве; для легковоспламеняющихся жидкостей $k = 0,3$); Q – количество сжиженных углеводородных газов или ЛВЖ до взрыва, кг; C – концентрация газа или паров ЛВЖ, соответствующая НКПР, об. %; m_k – молярная масса газа или жидкости, г/моль.

Таким образом, можно вычислить Q – количество вещества в жидкой фазе, кг:

$$Q = V \cdot m_k \cdot C / (22,4 \cdot k \cdot 100)$$

3. Зная массу вещества в жидкой фазе и его плотность, вычисляем максимальный допустимый объем ЛВЖ для данного помещения:

$$V_{\max} = Q / \rho,$$

где ρ – плотность ЛВЖ или ГЖ, кг/м^3 в жидком состоянии.

Пример решения типовой задачи

Рассчитаем максимальное количество ацетона в помещении лаборатории объемом 30 м^3 (брутто-формула $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, $m_k = 58 \text{ кг}\cdot\text{кмоль}^{-3}$, $\rho = 790,8 \text{ кг/м}^3$).

1. Свободный объем помещения, не занятый оборудованием, составляет приблизительно 80 % от общего. Таким образом, 5 % объема настоящего помещения составляет:

$$V = 0,8 \cdot 30 \cdot 0,05 = 1,2 \text{ м}^3$$

2. Концентрация паров ацетона, соответствующая его НКПР составляет 1,7 (об. %).

3. Количество вещества в объеме 1,2 м³:

$$Q = 1,2 \cdot 58 \cdot 1,7 / (100 \cdot 0,3 \cdot 22,4) = 0,177 \text{ кг.}$$

4. Объем ацетона в жидком состоянии составляет:

$$V_{\text{ж}} = 0,341 : 0,791 = 0,223 \text{ л}$$

Таким образом, максимальный объем ацетона для данного помещения составляет 0,223 л.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные меры пожарной безопасности при работе в образовательных и научных учреждениях.
2. Как может осуществляться оповещение и управление эвакуацией людей при пожаре с использованием СОУЭ?
3. Из каких частей состоит план эвакуации? Перечислите основные правила его составления.
4. Виды классификации огнетушителей.
5. Основные виды и область применения порошковых огнетушителей.
6. Область применения и особенности пожаротушения с помощью углекислотных огнетушителей.
7. Область применения и особенности пожаротушения с помощью пенных огнетушителей.
8. Принципы выбора и правила эксплуатации огнетушителей на защищаемом объекте.
9. Область применения переносных и передвижных огнетушителей.
10. Что входит в маркировку переносных и передвижных огнетушителей?
11. Какие исходные данные необходимы для определения максимально допустимого количества ЛВЖ в химической лаборатории?

Работа 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕГО КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ПРЕДЕЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Введение

Многие процессы в химической промышленности связаны с повышенным пылеобразованием. Пыли веществ и материалов во взвешенном состоянии (в особенности пыли органических веществ), могут проявлять пожаро-взрывоопасные свойства, поэтому очень важно определять для них значение нижнего концентрационного предела распространения пламени – т. е. той концентрационной границы, начиная с которой для взвеси пыли возможно воспламенение.

Параметр, полученный расчетным или экспериментальным методом, применяется при категорировании помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, для анализа риска аварии и оценки возможного ущерба, а также при разработке мер по предотвращению пожаров и взрывов в технологическом оборудовании.

Цель работы: определение нижнего концентрационного предела пылевоздушных смесей органических веществ расчетными и экспериментальными методами. Классификация пылей по степени пожаровзрывоопасности.

Общие сведения

В химической промышленности и смежных промышленных отраслях производственный процесс зачастую связан с повышенным пылеобразованием. Производственной пылью называются находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе рабочей зоны твердые частицы размером от нескольких десятков до долей микрометра. Пыль принято также называть аэрозолем (или аэровзвесью), имея в виду, что воздух – дисперсная среда, а твердые частицы – дисперсная фаза.

Горючая пыль – это дисперсная система, состоящая из твердых частиц размером менее 850 мкм, находящихся во взвешенном или осевшем

состоянии в газовой среде, способная к самостоятельному горению в воздухе нормального состава.

По горючести пыли подразделяются на три группы – негорючие, трудногорючие и горючие.

Горючие пыли, находящиеся во взвешенном состоянии, характеризуются следующими показателями пожаро- и взрывоопасности: нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР), минимальной энергией зажигания (W_{\min}), максимальным давлением взрыва (P_{\max}), скоростью нарастания давления при взрыве (dP/dt), минимальным взрывоопасным содержанием кислорода (МВСК).

НКПР является одной из важнейших характеристик взрывоопасности органических пылей.

Значения НКПР для пылей применяют при расчете взрывобезопасных концентраций пыли внутри технологического оборудования, трубопроводов, при проектировании вентиляционных систем, для сравнительной оценки взрывоопасности промышленных пылей, а также для классификации взрывоопасных зон.

Промышленные пыли по степени пожаро- и взрывоопасности классифицируются с учетом их свойств в осевшем и взвешенном состоянии. В соответствии с этим все промышленные пыли подразделены на четыре класса.

I класс – наиболее взрывоопасные пыли с нижним концентрационным пределом распространения пламени (воспламенения) 15 г/м^3 и ниже.

II класс – взрывоопасные пыли с нижним концентрационным пределом распространения пламени (воспламенения) от 16 до 65 г/м^3 .

III класс – наиболее пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения в осевшем состоянии не выше $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

IV класс – пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения в осевшем состоянии выше $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Пыли с нижним концентрационным пределом распространения пламени (воспламенения) выше 65 г/м^3 относятся к III и IV классам.

На НКПР пылей оказывает влияние размер частиц, их форма и состояние поверхности, дисперсность, влажность, электризуемость и другие факторы.

Дисперсный состав сложным образом влияет на НКПР пылей. Наименьшее значение НКПР пыли имеют при дисперсности 70–100 мкм; изменение дисперсности в большую или меньшую сторону за пределы этого диапазона ведет к увеличению НКПР.

На НКПР влияет влагосодержание частиц. До 15 мас. % зависимость НКПР от влагосодержания практически подчиняется линейному закону; дальнейшее повышение влагосодержания резко увеличивает НКПР и при 20–25 мас. % аэрозоли становятся невзрывоопасными.

Давление также влияет на НКПР. Понижение начального давления вызывает снижение НКПР, однако при давлении в 1,5–2,0 кПа данное снижение прекращается. При давлении в 1,0–1,2 кПа горения пылевоздушных смесей не наблюдается.

Влияние химического строения органических веществ на взрывоопасность их аэрозвесей

Известные расчетные методы определения НКПР предназначены для органических соединений с общей эмпирической формулой $C_aH_bO_cN_d$. Однако на практике в химической и смежных отраслях промышленности используется большое количество твердых органических соединений с такими функциональными заместителями, как Cl, Br, группами $-SO_3Na$, $-SO_3H$, NCI и другими, способными оказывать ингибирующее или флегматизирующее действие на процесс горения вещества.

Различные функциональные группы молекул вещества влияют на величину НКПР органических пылей и при определенной предельной концентрации заместителя в структуре вещества его аэрозвесь становится пожаровзрывобезопасной (ПВБ).

Участие функциональных групп вещества в процессе ингибирования неоднократно изучалось и подтверждалось. В частности, с целью изучения групп $-SO_3Na$ в процессе ингибирования, а также нахождения предела ингибирования процессов горения, в РХТУ им. Д.И. Менделеева на кафедре техносферной безопасности были исследованы образцы органических красителей, содержащие в своей структуре сульфогруппы. В ходе работы рассматривались также кислотные антрахиноновые красители

и цветообразующие компоненты. Результаты испытаний аэровзвесей этих веществ на взрывоопасность показали, что предел ингибирования групп $-\text{SO}_3\text{Na}$, находящихся в структуре вещества с общей формулой $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d\text{S}_n\text{Na}_k$ составляет около 20 % от молекулярной массы вещества.

Анализ литературных источников по воспламеняемости аэровзвесей ароматических сульфокислот показывает, что группа $-\text{SO}_3\text{H}$ оказывает значительно меньшее воздействие на горение сложных органических веществ, чем группа $-\text{SO}_3\text{Na}$. Для того, чтобы аэровзвесь вещества стала негорючей, требуется присутствие в структуре вещества около 40 % групп $-\text{SO}_3\text{H}$, т. е. фактически данное значение в два раза больше, чем в случае с группами $-\text{SO}_3\text{Na}$.

Для выяснения механизма ингибирующего действия групп $-\text{SO}_3\text{Na}$, непосредственно связанных с органической частью молекулы, было всесторонне изучено поведение ряда веществ, содержащих в своем составе группы $-\text{SO}_3\text{Na}$ при их термической обработке в течение 5 мин в интервале температур 500–800 °С. ИК-спектры продуктов термообработки указывают на разрыв связей $\text{Ar}-\text{SO}_3\text{Na}$ при температуре 500 °С и выше. Идентификация продуктов термообработки при 600, 700 и 800 °С проводилась при помощи рентгенофазового анализа. Рентгенометрические данные указывают на присутствие в твердых продуктах термообработки при 600 и 700 °С сульфата натрия, а при 800 °С – сульфата натрия и оксида натрия. Опираясь на данные, приведенные в литературе, можно сделать предположение о том, что самоингибирование веществ вида $\text{Ar}-\text{SO}_3\text{Na}$ в процессе их горения проходит как на поверхности связанного натрия, так и при действии оксида натрия, образующегося в процессе горения. Аэровзвеси натриевых солей ароматических сульфокислот являются пожаровзрывобезопасными при содержании групп $-\text{SO}_3\text{Na}$ более 20 %, а собственно аэрогели этих веществ становятся трудногорючими при содержании групп $-\text{SO}_3\text{Na}$ более 40 мас. %.

К настоящему времени определено также влияние галогенов в структуре вещества (Cl, Br) и групп HCl на взрывоопасность аэровзвесей. Для установления влияния хлора были отобраны вещества с эмпирической формулой $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d\text{Cl}_n$ с содержанием основного вещества 95–99 %. Многие

из этих веществ являются ароматическими соединениями. Наблюдается общая тенденция увеличения значений НКПР при увеличении содержания хлора в структуре вещества. Следует отметить, что максимальное содержание хлора у веществ, которые дают воспламенение, составляет 28,5 мас. %. При содержании хлора в структуре вещества более 30 мас. %, аэровзвесь становится ПВБ.

Группа HCl входит в состав многих лекарственных препаратов, данная группа улучшает их растворимость в воде. При термическом разложении таких веществ в первую очередь происходит отрыв HCl с образованием хлористого водорода, который является достаточно прочной молекулой и обладает свойствами теплового флегматизатора. Поэтому вещества с группой HCl должны быть наименее эффективны с точки зрения замедления реакций горения, чем с Cl, что в конечном итоге подтверждается экспериментально. Обнаружены вещества, которые воспламеняются при содержании групп HCl более 40 мас. %. Результаты исследования влияния брома на значение НКПР показывают, что огнетушащее содержание брома в составе вещества составляет 25 мас. %.

Выполненные исследования показали, что группа $-\text{SO}_3\text{Na}$ в структуре вещества обладает наиболее сильным ингибирующим действием на процесс горения аэровзвесей.

Таким образом, ингибирующая эффективность изученных функциональных заместителей и групп на процесс горения пылей повышается в следующей последовательности:



Метод расчета нижнего концентрационного предела распространения пламени

Действие расчетного метода распространяется только на органические вещества, в состав которых входят атомы C, H, O, N, доля примесей других атомов в горючем веществе не должна превышать 6 мас. %, при этом в расчетах используется информация только о об атомах C, H, O, N, входящих в состав вещества.

Величина нижнего концентрационного предела распространения пламени по взвешиванию вычисляется по формуле:

$$\text{НКПР} = 8 \cdot 10^5 / (-\Delta H_{\text{сг}}^0), \quad (6.1)$$

где $\Delta H_{\text{сг}}^0$ – теплота сгорания вещества, кДж/кг.

Относительная средняя квадратическая погрешность расчета по формуле (6.1) составляет 19 %.

Пример расчета. Вычислить НКПР для шрота подсолнечного (ГОСТ 11246-96) и полистирола, теплота сгорания которых составляет соответственно $18,4 \cdot 10^3$ и $42 \cdot 10^3$ кДж/кг. Экспериментальная величина НКПР равна соответственно 40 г/м^3 и 20 г/м^3 .

Используя формулу (6.1), получаем:

- для подсолнечного шрота $\text{НКПР} = 8 \cdot 10^5 / (18,4 \cdot 10^3) = 43,7 \text{ г/м}^3$;
- для полистирола $\text{НКПР} = 8 \cdot 10^5 / (4,2 \cdot 10^4) = 19 \text{ г/м}^3$.

Относительная погрешность расчета для выбранных материалов составляет соответственно 9,2 и 5 %.

При невозможности использовать для оценки величины НКПР формулу (6.1), НКПР принимается равным 40 г/м^3 для зерновых и комбикормовых пылей и 15 г/м^3 для органических химических и биохимических реактивов.

Метод расчета избыточного давления взрыва для горючих пылей

Пылевоздушные смеси, подобно газо- и паровоздушным смесям, при появлении источника зажигания способны осуществлять взрыв (взрывное горение). Взрыв приводит к возникновению интенсивного роста давления, в окружающей среде при этом возникает и начинает распространяться ударная волна, причиняющая ущерб работающим на производстве, производственному оборудованию и могущая вызывать разрушение конструкций промышленного здания.

Согласно ГОСТ Р 12.3.047-2012 предельно допустимые значения избыточного давления при взрывах приводят к следующим последствиям:

- 100 кПа – полное разрушение зданий;
- 53 кПа – 50 %-ное разрушение зданий;
- 28 кПа – средние повреждения зданий;

– 12 кПа – умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т. п.);

– 3 кПа – малые повреждения (разбита часть остекления).

Порог повреждения человека волной давления составляет 5 кПа.

Расчетное избыточное давление взрыва ΔP пылевоздушной смеси может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\Delta P = \frac{m_{\text{п}} N_{\text{T}} P_0 Z}{V_{\text{св}} \rho_{\text{в}} C_p T_0 K_{\text{Н}}} \frac{1}{K_{\text{Н}}}, \quad (6.2)$$

где $m_{\text{п}}$ – масса пыли, участвующей в инциденте, кг; N_{T} – теплота сгорания, Дж/кг; P_0 – начальное давление, кПа; Z – коэффициент участия взвешенной пыли в горении; $V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, м³; C_p – теплоемкость воздуха в помещении Дж·кг⁻¹·К⁻¹, T_0 – начальная температура воздуха, К; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре воздуха T_0 , кг·м⁻³; $K_{\text{Н}}$ – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

Свободный объем помещения вычисляется по формуле

$$V_{\text{св}} = 0,8V, \quad (6.3)$$

где V – общий объем цеха.

Плотность воздуха до взрыва при конкретной начальной температуре возможно рассчитать по формуле

$$\rho_{\text{в}} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_p)}, \quad (6.4)$$

где M – молярная масса воздуха, м³·кмоль⁻¹, V_0 – мольный объем, м³·кмоль⁻¹, t_p – начальная температура, °С.

Начальное давление согласно СП 12.13130.2009 допускается принимать равным 101 кПа. Теплоемкость воздуха в помещении согласно СП 12.13130.2009 допускается принимать равной 1010 Дж·кг⁻¹·К⁻¹. Коэффициент, учитывающий негерметичность помещения, равно как и неадиабатичность процесса горения, согласно СП 12.13130.2009 равен 3. Значение коэффициента участия взвешенной пыли в горении Z по формуле (А.16), приведенной в СП 12.13130.2009, допускается принять равным 0,5.

Пример решения типовой задачи

В производственном помещении объемом 17280 м³ действует строгально-калевочный станок. Температура воздуха в помещении равна 34 °С. В результате разгерметизации приемного бункера в объем производственного помещения поступает 49,5 кг древесной пыли. Ротор станка искрит и поэтому пылевоздушная смесь воспламеняется. Рассчитать избыточное давление взрыва указанной пылевоздушной смеси, сделать заключение о потенциальном ущербе.

Решение:

1. По формуле (6.3) найдем свободный объем помещения:

$$V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 17280 \text{ м}^3 = 13824 \text{ м}^3$$

2. По формуле (6.4) найдем плотность воздуха при температуре 34 °С:

$$\rho_{\text{в}} = \frac{29}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 34)} = 1,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$$

3. Подставим полученные значения в формулу (6.2):

$$\Delta P = \frac{49,5 \cdot 20934 \cdot 10^3 \cdot 101 \cdot 0,5}{13824 \cdot 1,15 \cdot 1010 \cdot 307,15 \cdot 3} = 3,8 \text{ кПа}$$

Можно сделать заключение о том, что при данных условиях вероятны малые повреждения строительных конструкций, люди с высокой долей вероятности напрямую от воздействия избыточного давления не пострадают.

Экспериментальная часть

Сущность метода измерения нижнего концентрационного предела распространения пламени в стеклянном взрывном цилиндре заключается в зажигании пылевоздушной смеси заданной концентрации в объеме реакционного сосуда и оценке результатов зажигания.

На рис. 6.1 представлена схема стеклянного взрывного цилиндра. Установка состоит из стеклянного цилиндра объемом 4 литра, воздушного ресивера, обеспечивающего импульс распыления 200–250 кПа, источника воспламенения и распылителя.

Взрывной цилиндр представляет собой стеклянную трубу диаметром 105 мм, толщиной стенки 8 мм и высотой 450 мм. Объем цилиндра составляет

4 л. Труба закреплена вертикально между двумя фланцами и имеет контрольную отметку на высоте 300 мм (что составляет 2/3 высоты цилиндра).

В качестве источника зажигания используется накаливаемая до 1000 °С нихромовая спираль, изготовленная из проволоки диаметром 0,8 мм и длиной 900 мм. Внутренний диаметр спирали 8 мм, число витков 30, длина спирали 50 мм.

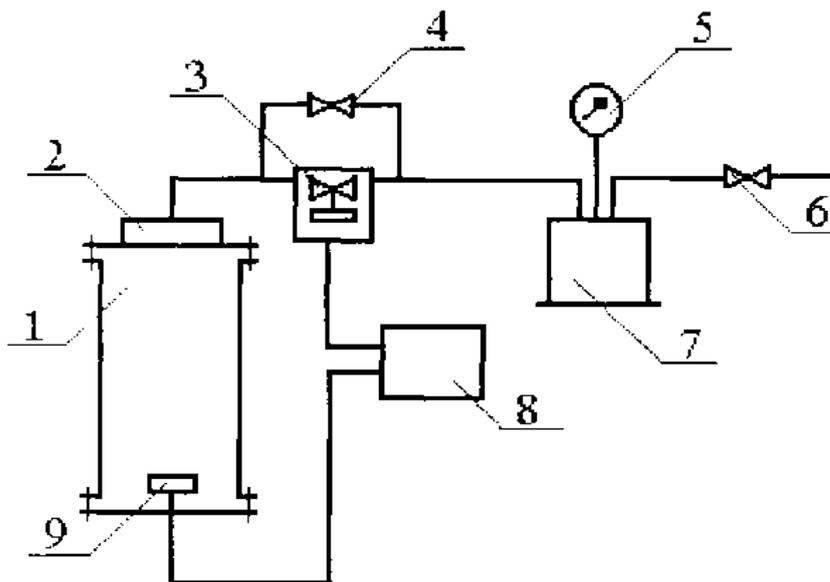


Рис. 6.1. Схема стеклянного взрывного цилиндра для определения НКПР:

1 – реакционный сосуд; 2 – распылитель; 3 – электромагнитный клапан; 4,6 – клапаны;
5 – манометр; 7 – ресивер; 8 – блок управления; 9 – источник зажигания

При определении НКПР выявляется область концентраций, в которой возможность воспламенения носит вероятностный характер (область неустойчивого воспламенения).

Дисперсность исследуемых веществ не должна превышать 100 мкм. В первом опыте используются навески массой 0,2 г. Затем, изменяя первоначальную массу навески на 10 %, находится ее минимальное значение, при котором наблюдается шесть последовательных воспламенений с последующим распространением пламени по всему объему сосуда, и максимальное значение, при котором наблюдается шесть последовательных отказов – и первое из вышеуказанных значений принимается за НКПР.

На каждой промежуточной навеске проводится по шесть испытаний. Эксперимент проводится до достижения значения в 500 г/м³.

Задание 1. Определить НКПР аэровзвеси пыли органического вещества и сделать заключение о пожаровзрывоопасности данной аэровзвеси.

Ход выполнения работы:

1. Ознакомиться с устройством установки.
2. Подключить электропитание к источнику зажигания, проверить работоспособность элемента зажигания (спирали).
3. Проверить функциональность компрессора и кнопки выброса вещества.
4. Произвести взвешивание первой навески и пересчет на концентрацию.
5. Провести эксперимент.
6. Занести результаты в протокол.
7. Последовательно провести остальные опыты вплоть до нахождения НКПР.

Протокол испытаний

Наименование испытываемого вещества _____

№ опыта	Заданная концентрация, г/м ³	Наличие воспламенения (+ или –)	Визуальные наблюдения
		+	
		+	
		+	
		–	
		–	
		–	

Вывод. В выводе указать полученное значение НКПР аэровзвеси и класс пожаровзрывоопасности пыли.

Задание 2. Вычислить нижний концентрационный предел распространения пламени и относительную погрешность расчета для аэровзвесей твердых веществ, указанных в табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Значения теплот сгорания и НКПР, полученных экспериментально
(для индивидуальных веществ)**

№ вари- анта	Вещество	$\Delta H_{\text{сг}}^0$, кДж/кг	НКПР, г/м ³
1	Дрожжи кормовые, ГОСТ 20083	-19087	36
2	Овес дробленый, ГОСТ 12776	-19206	54
3	Пигмент дневной флюоресцентный желтый 1167	-23890	35
4	Поликарбонат	-31000	25
5	Полиметилкарбонат	-26680	35
6	Полиэтилен	-46588	20
7	Ванилин	-21500	40
8	Диколин	-14500	57
9	Торфяная пыль	-23300	18
10	Мучная пыль	-18000	30

Задание 3. В производственном помещении заданного объема действует производственная установка, в схеме которой присутствует бункер, аккумулирующий мелкодисперсные отходы производства. Известна температура воздуха в производственном помещении. Происходит аварийная ситуация, в результате которой происходит разгерметизация приемного бункера, и в объем производственного помещения поступает некоторая масса пылевидных отходов. Предполагается, что в производственном помещении присутствует источник зажигания, приводящий к воспламенению пылевоздушной смеси. Необходимо рассчитать избыточное давление взрыва указанной пылевоздушной смеси и сделать заключение о потенциальном ущербе. Параметры ситуации приведены в табл. 6.2.

Варианты производственной ситуации

№ варианта	Вещество	$\Delta H_{\text{сг}}^0$, кДж/кг	Масса вы- броса, кг	Объем цеха, м ³	t в цехе, °С
1	Древесная пыль	20900	70	1975	20
2	Торфяная пыль	23300	55	6543	22
3	Мучная пыль	18000	45	10500	24
4	Поликарбонат	31000	60	2561	26
5	Полиметилкарбонат	26680	70	6587	28
6	Полиэтилен	46588	50	3216	30
7	Ванилин	21500	60	6642	32
8	Диколин	14500	55	10762	34
9	Краситель М	17500	40	11222	36
10	Краситель N2	18300	60	3356	38

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются промышленные пыли?
2. Почему воздушно-пылевую смесь называют аэрозолем?
3. Что такое горючая пыль? Приведите примеры таких пылей.
4. Как определяется НКПР воздушно-пылевой смеси?
5. Как устроена установка для определения НКПР пылей?
6. Какое значение НКПР принимается для вещества, если нет возможности осуществить эксперимент или расчет?
7. Для чего используются значения НКПР воздушно-пылевых смесей?
8. Как влияет влажность на НКПР воздушно-пылевых смесей?
9. Как влияет дисперсность на НКПР воздушно-пылевых смесей?
10. Как содержащиеся в структуре вещества галогены влияют на НКПР воздушно-пылевых смесей?

Работа 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Введение

Работники различных производств чаще всего подвержены опасности поражения электрическим током. Большинство несчастных случаев со смертельным исходом на рабочих местах предприятия связано с неправильным обращением с электрооборудованием. Это может быть непосредственный контакт с линиями электропередач или прикосновение к электрическим машинам, инструментам. Причины поражения человека могут быть разные: повреждение изоляции, неправильное заземление, неблагоприятные условия внешней среды. Знание и использование технических способов и средств защиты от опасного действия электрического тока помогает снизить риск от его поражения и предотвратить смерть.

Цель работы: исследование опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и глухозаземленной нейтралью.

Общие сведения

Действие электрического тока на человека носит многообразный характер. Проходя через организм человека, электрический ток вызывает термическое, электролитическое, а также биологическое действие.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов, крови и т. п.

Электролитическое действие тока проявляется в разложении крови и других органических жидкостей организма и вызывает значительные нарушения их физико-химического состава.

Биологическое действие тока проявляется как раздражение и возбуждение живых тканей организма, что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе легких и сердца. В результате могут возникнуть различные нарушения и даже полное прекращение деятельности органов кровообращения и дыхания.

Это многообразие действий электрического тока может привести к двум видам поражения: электрическим травмам и электрическим ударам.

Электрические травмы представляют собой четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. В большинстве случаев электротравмы излечиваются, но иногда, при тяжелых ожогах, травмы могут привести к гибели человека.

Различают следующие электрические травмы:

Электрический ожог – самая распространенная электротравма. Ожоги бывают двух видов: токовый (или контактный) и дуговой.

Токовый ожог обусловлен прохождением тока через тело человека в результате контакта с токоведущей частью и является следствием преобразования электрической энергии в тепловую.

Различают четыре степени ожогов: I – покраснение кожи; II – образование пузырей; III – омертвление всей толщи кожи; IV – обугливание тканей. Тяжесть поражения организма обуславливается не степенью ожога, а площадью обожженной поверхности тела.

Токовые ожоги возникают при напряжениях не выше 1–2 кВ и являются в большинстве случаев ожогами I и II степени; иногда бывают и тяжелые ожоги.

При высоких напряжениях между токоведущей частью и телом человека образуется электрическая дуга (температура дуги выше 3500 °С и у нее весьма большая энергия), которая и причиняет **дуговой ожог**. Дуговые ожоги, как правило, тяжелые – III или IV степени.

Электрические знаки – четко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, подвергнувшейся действию тока. Знаки бывают также в виде царапин, ран, порезов или ушибов, бородавок, кровоизлияний в кожу и мозолей. В большинстве случаев электрические знаки безболезненны и лечение их заканчивается благополучно.

Металлизация кожи – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Это может произойти при коротких замыканиях, отключениях рубильников

под нагрузкой и т. п. Металлизация сопровождается ожогом кожи, вызываемым нагретым металлом.

Электроофтальмия – поражение глаз, вызванное интенсивным излучением электрической дуги, спектр которой содержит вредные для глаз ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Кроме того, возможно попадание в глаза брызг расплавленного металла. Защита от электроофтальмии достигается ношением защитных очков, которые не пропускают ультрафиолетовых лучей, и обеспечивают защиту глаз от брызг расплавленного металла.

Механические повреждения возникают в результате резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, а также вывихи суставов и даже переломы костей. К этому же виду травм следует отнести ушибы, переломы, вызванные падением человека с высоты, ударами о предметы в результате непроизвольных движений или потери сознания при воздействии тока. Механические повреждения являются, как правило, серьезными травмами, требующими длительного лечения.

Электрический удар – возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В зависимости от исхода воздействия тока на организм электрические удары условно делятся на следующие четыре степени: I – судорожное сокращение мышц; II – судорожное сокращение мышц, потеря сознания; III – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе); IV – клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Причинами смерти в результате поражения электрическим током могут быть: прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок.

При работе электрифицированного технологического оборудования, а также электроинструмента возможны случаи перехода напряжения на части установок, не находящиеся в нормальных условиях под напряжением. Это происходит вследствие снижения сопротивления изоляции проводов, по-

вреждения их изоляции, а также в результате поломок и аварий. Прикосновение человека к оборудованию или инструменту в этих случаях опасно из-за возможности поражения электрическим током.

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара, т. е. прохождения тока через человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая, как известно, током, проходящим через тело человека I_h или же напряжением прикосновения $U_{пр}$, под которым он оказывается, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь; напряжения сети; схемы самой сети; режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значения емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Таким образом, опасность поражения неоднозначна: в одних случаях включение человека в электрическую цепь сопровождается прохождением через него малых токов и окажется неопасным, в других токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

При прямом прикосновении схемы включения человека в цепь тока могут быть различными. Наиболее характерны две схемы включения: **между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей**, т. е. когда человек касается одновременно двух проводов и когда он касается лишь одного провода.

Двухфазное прикосновение (рис. 7.1), как правило, наиболее опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное, а ток, проходящий через человека, оказываясь независимым от схемы сети, режима ее нейтрали и других факторов имеет наибольшее значение:

$$I_h = \frac{U_l}{R_h} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\phi}{R_h}, \quad (7.1)$$

где U_l – линейное напряжение, В; U_ϕ – фазное напряжение, В; R_h – сопротивление тела человека, Ом.

Случаи двухфазного прикосновения очень редки. Они являются, как правило, результатом работы: под напряжением, в электроустановках до 1000 В – на щитах, сборках, воздушных линиях электропередачи; применения неисправных индивидуальных электрозащитных средств; эксплуатации электрического оборудования с не огражденными неизолированными токоведущими частями и др. Опасность прикосновения сохраняется и в том случае, если человек будет надежно изолирован от земли.

Однофазное прикосновение происходит во много раз чаще, чем двухфазное. Оно менее опасно, чем двухфазное, поскольку напряжение, под которым оказывается человек меньше линейного в 1,73 раза. Соответственно меньше оказывается и ток, проходящий через человека. Кроме того, на этот ток большое влияние оказывают режим нейтрали источника тока, сопротивление изоляции проводов сети относительно земли, сопротивление пола, на котором стоит человек, сопротивление его обуви и некоторые другие факторы.

В системе энергоснабжения используются два вида электросетей:

- трехфазная электросеть с глухозаземленной нейтралью (4-проводная);
- трехфазная электросеть с изолированной нейтралью (3-проводная).

Глухозаземленной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (2–8 Ом).

Изолированной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная через аппараты, компенсирующие емкостный ток в сети, трансформатор напряжения или другие аппараты, имеющие большое сопротивление.

В сети с **заземленной нейтралью** (рис. 7.1) цепь тока, проходящего через человека, включает в себя, кроме сопротивления тела человека, еще и сопротивление его обуви, сопротивление пола, на котором стоит человек, а также сопротивление заземления нейтрали источника тока. При этом все эти сопротивления включены последовательно.

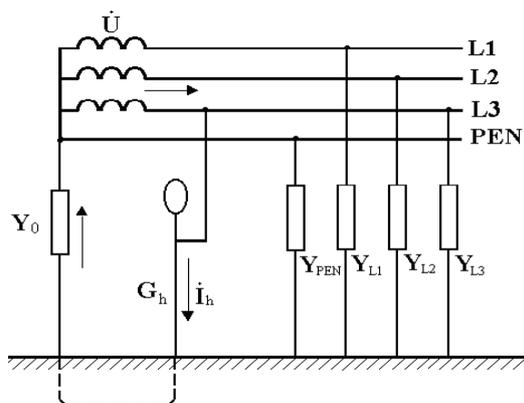


Рис. 7.1. Прикосновение человека к одной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью

Ток, проходящий через человека, определяют по формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{об} + R_{п} + R_0}, \quad (7.2)$$

где U_ϕ – фазовое напряжение сети, В; R_h – сопротивление тела человека, Ом; $R_{об}$ – сопротивление обуви, Ом; $R_{п}$ – сопротивление пола, Ом; R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока, Ом.

В наиболее неблагоприятном случае (токопроводящая обувь – сырая или подбитая металлическими гвоздями и человек стоит на сырой земле или на металлическом полу, т. е. $R_{об} = 0$; $R_{п} = 0$, а $R_0 \leq 10$ Ом) ток, проходящий через человека, будет равен 380 мА.

И хотя при однофазном включении ток, проходящий через человека, в 1,73 раза меньше, чем при двухфазном прикосновении, но при этих условиях однофазное включение весьма опасно, так как ток, идущий через человека, будет равен 220 мА, что также смертельно опасно для человека.

Если обувь не токопроводящая (резиновые галоши, $R_{об} = 45$ кОм), и человек стоит на изолирующем основании (деревянный пол, $R_{п} = 100$ кОм), то ток, проходящий через тело человека, будет равен 1,5 мА. Этот ток не опасен для человека, что показывает, какое исключительное значение имеет для безопасности работающих в электроустановках непроводящая ток обувь и, в особенности, изолирующий пол.

В сети с **изолированной нейтралью** (рис. 7.2) ток, проходящий через человека в землю, возвращается к источнику тока через изоляцию проводов сети, которая в исправном состоянии обладает большим сопротивлением.

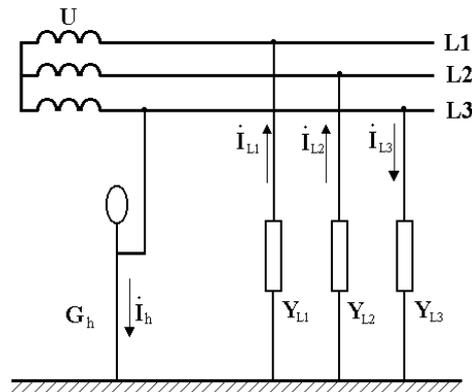


Рис. 7.2. Прикосновение человека к одной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью

В этом случае ток, проходящий через человека, определяют по формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{об} + R_\pi + R_{из}/3}, \quad (7.3)$$

где $R_{из}$ – сопротивление изоляции одной фазы сети относительно земли, Ом.

При наиболее неблагоприятном случае, когда человек имеет проводящую ток обувь и стоит на токопроводящем полу ($R_{об} = 0$ и $R_\pi = 0$):

$$I_h = \frac{U}{R_h + R/3}. \quad (7.4)$$

Если $U_\phi = 220$ В и $R_{из} = 90$ кОм, ток, проходящий через тело человека:

$$I_h = 220 / (1000 + 30\,000) = 0,007 \text{ А} = 7 \text{ мА},$$

т. е. в сети с изолированной нейтралью условия безопасности находятся в зависимости от сопротивления изоляции проводов относительно земли.

Если учесть $R_{об} = 45$ кОм и $R_\pi = 100$ кОм, то

$$I_h = 220 / (1000 + 45000 + 100000 + 30\,000) = 0,00125 \text{ А} = 1,25 \text{ мА}.$$

Таким образом, при прочих равных условиях прикосновение человека к одной фазе сети с изолированной нейтралью менее опасно, чем в сети с заземленной нейтралью.

Это справедливо для нормальных (безаварийных) условий работы сетей.

В случае же аварии, когда одна из фаз замкнута на землю, сеть с изолированной нейтралью может оказаться более опасной, так как в этом случае напряжение неповрежденной фазы относительно земли может возрасти с фазного до линейного. В то время как в сети с заземленной нейтралью повышение напряжения может быть незначительным (рис. 7.3).

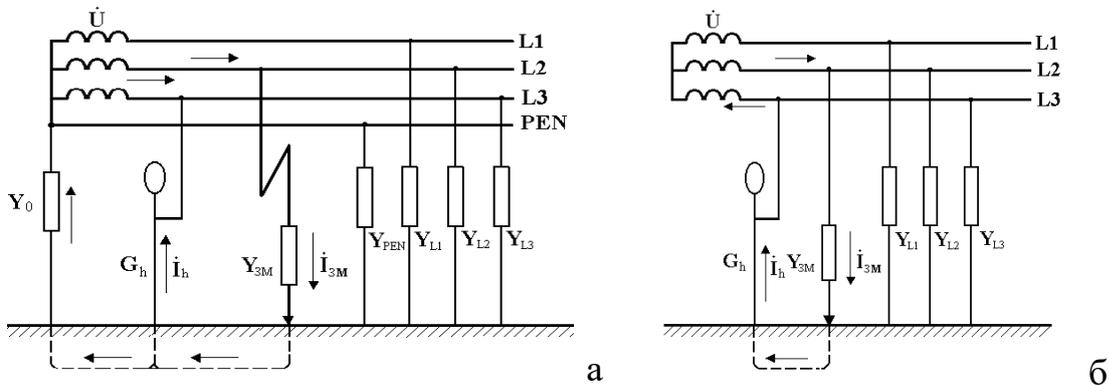


Рис. 7.3. Примеры аварийных ситуаций в сетях:
а – с заземленной нейтралью; б – с изолированной нейтралью

При аварийном режиме в сети с заземленной нейтралью (рис. 7.3. а), когда один из фазных проводов сети, например, провод L2 замкнут на землю через относительно малое активное сопротивление $R_{ЗМ}$ выражение для определения тока через тело человека имеет вид:

$$I_h = U \cdot \frac{R_{ЗМ} + R_0 \sqrt{3}}{R_{ЗМ} R_0 + R_h (R_{ЗМ} + R_0)}$$

При аварийном режиме работы сети с изолированной нейтралью (рис. 7.3.б), когда один из фазных проводов, например, провод L2, замкнулся на землю, опасность поражения током человека, прикоснувшегося к исправному фазному проводу, значительно возрастает.

$$I_h = \frac{U \sqrt{3}}{R_{ЗМ} + R_h}$$

Выбор схемы сети, а следовательно, и режима нейтрали источника тока определяется технологическими требованиями и условиями безопасности. Правилами устройства электроустановок предусмотрено применение при напряжениях до 1000 В двух схем трехфазных сетей: трехпроводной с изолированной нейтралью и четырехпроводной с заземленной нейтралью.

По технологическим требованиям предпочтение отдается четырехпроводной сети, поскольку в ней возможно использование двух рабочих напряжений – линейного и фазного. По условиям безопасности, в период нормального режима работы более безопасна, как правило, сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период – сеть с заземленной нейтралью.

Основные причины поражения человека электротоком:

1. Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям электроустановки.
2. Прикосновение к незаземленным корпусам машин и трансформаторов с поврежденной изоляцией.
3. Несоблюдение правил технической эксплуатации электроустановок.
4. Работа с неисправными ручными электроинструментами.
5. Работа без защитных изолирующих и предохранительных приспособлений.
6. Шаговое напряжение на поверхности земли в результате обрыва токонесящего провода.

Для обеспечения электробезопасности применяют отдельно или в сочетании один с другим следующие технические способы и средства: защитное заземление, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов, малое напряжение, изоляция токоведущих частей; электрическое разделение сетей; оградительные устройства; блокировка, предупредительная сигнализация, знаки безопасности; предупредительные плакаты; электрозащитные средства.

Защитное заземление, т. е. заземление, выполняемое в целях электробезопасности, это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением при замыкании на корпус и по другим причинам. Эквивалентом земли может быть вода реки или моря, каменный уголь в карьерном залегании и т. п.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя), а также выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования.

Области применения защитного заземления:

1. Сети напряжением до 1000 В переменного тока: трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью; однофазные двухпроводные, изолированные от земли, а также постоянного тока двухпроводные с изолированной средней точкой обмоток источника тока;
2. Сети напряжением выше 1000 В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтральной или средней точки обмоток источника тока.

Если корпус электрооборудования не заземлен и оказался в контакте с фазой, то прикосновение к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае ток, проходящий через человека (при малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли), может достигать опасных значений.

В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции: фермы, шахты лифтов, подъемников, стальные трубы электропроводок, открыто проложенные стационарные трубопроводы различного назначения (кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных газов, канализации и центрального отопления).

Зануление – преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением, с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока в трехфазных сетях, с глухозаземленным выводом обмотки источника тока в однофазных сетях и с глухозаземленной средней точкой обмотки источника энергии в сетях постоянного тока.

Проводник, обеспечивающий указанные соединения зануляемых частей с глухозаземленной нейтральной точкой, а также с выводом и со средней точкой обмоток источников тока, называется нулевым защитным проводником.

Назначение зануления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам. Решается эта задача быстрым отключением поврежденной электроустановки от сети.

Принцип действия зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (т. е. замыкание между фазным и нулевым проводами) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети. Такой защитой могут быть плавкие предохранители или автоматические выключатели максимального тока, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания; магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой; контакторы в сочетании с тепловыми реле, осуществляющие защиту от перегрузки; автоматические выключатели с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов короткого замыкания и перегрузки.

Таким образом, зануление осуществляет два защитных действия – быстрое автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети и снижение напряжения зануленных металлических нетоковедущих частей (открытых проводящих частей), оказавшихся под напряжением, относительно земли.

Зануление применяют в трехфазных четырехпроводных сетях с глухозаземленной нейтралью. Зануление применяется также в трехпроводных сетях постоянного тока с глухозаземленной средней точкой обмотки источника энергии, а также в однофазных двухпроводных сетях переменного тока с глухозаземленным выводом обмотки источника тока. Занулению подлежат те же металлические конструктивные нетоковедущие части электрооборудования, которые должны быть заземлены: корпуса машин, аппаратов и др. В сети с занулением корпус приемника нельзя заземлять, не присоединив его к нулевому защитному проводу. Одновременное зануление и заземление одного и того же корпуса, а точнее – заземление зануленного корпуса не только не опасно, а напротив, улучшает условия безопасности, так как создает дополнительное заземление нулевого защитного провода.

Действие электрического тока на человека может привести к двум видам поражения: электрическим травмам и электрическим ударам.

Электрические травмы представляют собой четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. В большинстве случаев электротравмы излечиваются, но иногда, при тяжелых ожогах, травмы могут привести к гибели человека.

Электрический удар – это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц.

Причинами смерти в результате поражения электрическим током могут быть: прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок.

Основной фактор, обуславливающий исход поражения электрическим током – сила тока, проходящего через тело человека. С увеличением тока сопротивление тела человека падает, так как при этом усиливается местный нагрев кожи, что приводит к расширению ее сосудов, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению потовыделения. Влияние силы тока на степень опасности поражения человека приведено в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Действие переменного (50_{Hz}) электрического тока на человека

№ п/п	Пороговые значения	Величина мА	Биологическое действие
1.	Пороговый осязаемый ток	0,6–1,5	Слабый зуд, пощипывание кожи
2.	Пороговый отпускающий ток	7–8	Сильная боль, легкие судороги, можно освободиться самостоятельно
3.	Пороговый неотпускающий ток	9	Сильные судороги мышц руки, кисть самостоятельно не разжимается

4.	Пороговый фибрилляционный ток	25–50	Судороги мышц грудной клетки и сердца, потеря сознания, клиническая смерть через 3–5 мин
5.	Пороговый смертельный ток (рука – рука, рука – ноги)	100	Смерть через 1–2 с

Пример решения типовой задачи

Сопротивление тела человека $R_h = 1,4$ кОм; напряжение $U_\phi = 220$ В; сопротивление изоляции проводов $R_{из} = 600$ кОм; сопротивление пола $R_n = 3,3$ кОм; сопротивление обуви $R_{об} = 5,2$ кОм, сопротивление заземления нейтрали источника тока $R_0 = 10$ Ом.

1. Определить силу тока, проходящего через тело человека, при однофазном его прикосновении к неизолированным токоведущим частям трехфазной электросети с глухозаземленной нейтралью с учетом и без учета сопротивлений пола и обуви.

2. Определить силу тока, проходящего через тело человека, при однофазном его прикосновении к неизолированным токоведущим частям электросети с изолированной нейтралью с учетом и без учета сопротивлений пола и обуви.

Решение.

В сети с заземленной нейтралью ток, проходящий через человека, определяют по формуле (7.2), подставляем исходные данные:

$$I_h = \frac{220}{1400 + 5200 + 3300 + 10} = \frac{220}{9910} = 0,022 \text{ А}$$

В сети с заземленной нейтралью ток, проходящий через человека без учета пола и обуви, определяем по формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_0} = \frac{220}{1400 + 10} = 0,156 \text{ А}$$

В сети с изолированной нейтралью ток, проходящий через человека, определяют по формуле (7.3), подставляем исходные данные:

$$I_h = \frac{220}{1400 + 5200 + 3300 + \frac{600000}{3}} = 0,00105 \text{ А} = 1,05 \text{ мА}$$

Ток, проходящий через тело человека, без учета пола и обуви, составит

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{R_{из}}{3}} = \frac{220}{1400 + \frac{60000}{3}} = 0,00109 \text{ А} = 1,09 \text{ мА}$$

Экспериментальная часть

Анализ опасности поражения током в электрических сетях

1. Определить по варианту (табл. 7.2) силу тока, проходящего через тело человека, при однофазном его прикосновении к неизолированным токоведущим частям трехфазной электросети с глухозаземленной нейтралью с учетом и без учета сопротивлений пола и обуви. После расчетов сделать вывод об их влиянии на степень поражения электрическим током, согласно табл. 7.1.
2. Определить по варианту (табл. 7.2) силу тока, проходящего через тело человека, при однофазном его прикосновении к неизолированным токоведущим частям электросети с изолированной нейтралью с учетом и без учета сопротивлений пола и обуви. По результатам расчетов сделать вывод о влиянии сопротивлений пола и обуви на степень опасности поражения током, а также сравнить по степени электробезопасности оба типа электросетей.

Таблица 7.2

Варианты заданий

Показатели	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сопротивление тела человека R_h , кОм	1,2	0,9	1,1	1,0	1,3	0,8	0,9	1,25	1,5	1,35
Сопротивление изоляции проводов $R_{из}$, кОм	500	700	600	550	750	800	900	1200	850	1000
Сопротивление пола $R_{п}$, кОм	1,4	1,6	2,2	2,0	1,8	1,5	2,5	2,4	3,0	3,5
Сопротивление обуви $R_{об}$, кОм	1,5	7,5	5,5	6,0	2,5	3,0	4,0	1,9	5,0	4,8

Контрольные вопросы

1. Причины поражения человека электрическим током.
2. Наиболее характерные схемы включения человека в электрическую цепь.
3. Какое прикосновение человека к сети наиболее опасно?
4. Какие два вида электросети используются в системе энергоснабжения?
5. Какой электросети отдается предпочтение?
6. Основные причины поражения электрическим током.
7. Какие технические способы и средства защиты применяют для обеспечения электробезопасности?
8. Что такое заземление? Назначение. Принцип действия.
9. Что допускается использовать в качестве заземляющих проводников?
10. Что такое зануление? Назначение. Принцип действия.
11. Виды поражения электрическим током.
12. Причины смерти в результате поражения электрическим током.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность жизнедеятельности в химической промышленности: учебник /под общ. ред. Н. И. Акинина. – СПб.: Изд-во «Лань», 2019. – 448 с.
2. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ.
3. Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479 "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями).
4. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 143 с.
5. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов: Руководство. – М.: ВНИИПО, 2002. – 77 с.
6. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
7. СП 56.13330.2021. Производственные здания. СНиП 31-03-2001 (утв. Приказом Минстроя России от 27.12.2021 № 1024/пр).
8. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
9. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
10. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.
11. Собурь С. В. Огнетушители: пособие / 9-е изд., с изм. – М.: ПожНаука, 2014. – 80 с., ил.
12. СО 153-34.20.113.2003. ПУЭ Правила устройства электроустановок. Издание 7.
13. Электробезопасность. Теория и практика / М. А. Долин, В. Т. Медведев, В. В. Корочков, А. Ф. Монахов. – М.: МЭИ, 2012. – 284 с.
14. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для ВУЗов / И. В. Бабайцев, Б. С. Мастрюков, В. Т. Медведев и др.; под ред. Б. С. Мастрюкова – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 304 с.
15. СП 9.13130.2009. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.

Учебное издание

АКИНИН Николай Иванович
ВАСИН Алексей Яковлевич
АНОСОВА Евгения Борисовна
ГАДЖИЕВ Гарун Гамзатович
ШУШПАНОВ Александр Николаевич
ЧЕРНЕЦКАЯ Мария Дмитриевна
ТРИФОНОВА Татьяна Евгеньевна

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА
И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ
В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Лабораторный практикум

Редактор: С. С. Оболонская

Подписано в печать 15.02.2023 г. Формат 60x84 1/16

Усл. печ. л. 6,5. Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 800 экз. Заказ

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

Издательский центр

Адрес университета и издательского центра:

125047 Москва, Миусская пл, д. 9