

И-3980

38053-14

МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МВД РОССИИ

Кафедра пожарной безопасности процессов, аппаратов и технологий

**Категорирование помещений и зданий  
по взрывопожарной и пожарной опасности  
(НПБ 105-95)**

Примеры решения практических задач

Санкт-Петербург  
1999 г.

Одобрено редакционно-издательским отделом СПбУ МВД России

Издается в авторской редакции

В.Р. Малинин, Е.Г. Коробейникова, В.П. Крейтор

Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности (НПБ 105-95): Примеры решения практических задач. – СПб.: С-Петербургский университет МВД РФ, 1999. – 82 с.

Учебное пособие разработано с целью разъяснения основных положений НПБ 105-95 и оказания методической помощи при категорировании помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.

Пособие предназначено для слушателей и курсантов высших и средних учебных заведений МВД. Оно будет также полезно для практических работников ГПС, инженерно-технического персонала проектных, строительных и промышленных предприятий.

© Санкт-Петербургский университет МВД России, 1999

## Введение

Рассмотрение причин аварий технологического оборудования, анализ причинно-следственной связи аварий, приводящих к пожару, позволяет принимать определенные меры пожарной профилактики. Однако, для обоснования целесообразности принимаемых решений по противопожарной защите необходимо классифицировать производственные помещения и здания по взрывопожарной и пожарной опасности.

Для классификации необходимо иметь объективный показатель опасности, который позволил бы количественно оценить опасность возникновения пожара или взрыва, а также их последствия. Без количественной обоснованной оценки и классификации невозможно решение вопросов создания надежной системы пожаровзрывозащиты.

Классификация производственных помещений и зданий позволяет объективно установить условный уровень пожаровзрывоопасности производственного объекта и обоснованно определить конкретные технические и организационные решения, позволяющие эксплуатировать объект в области допустимого риска от пожара.

В основе обоснования требований пожарной безопасности и классификации лежат два метода - *детерминированный и вероятностный*.

Вероятностный метод учитывает случайный характер пожароопасных событий и позволяет оценивать фактический уровень пожарной опасности. Однако, в своем большинстве он разработан для частных случаев и в общем виде, что не позволяет использовать его более широко.

Детерминированный метод применяется более широко. Он используется для определения категорий складов нефти и нефтепродуктов, классов зон по ПУЭ и категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.

Все детерминированные методы основаны на количественной оценке потенциально возможного выделения энергии при аварийной разгерметизации.

У нас в стране наиболее часто применяется принцип классификации, основанный на категорировании производственных помещений и зданий. Необходимо учитывать, что категория условно и одно-сторонне характеризует опасность возникновения пожара (взрыва), так как не учитывает возможность появления источника зажигания и его параметры, а также размеры последствий пожара.

Основными признаками, характеризующими ту или иную категорию, являются:

- природа и свойства обращающихся веществ и материалов;
- количество пожароопасного вещества, выраженное в избыточном давлении взрыва ( $\Delta P$ ), превышающем 5 кПа;
- особенность технологии (хранения, сжигания).

Основные принципы и методика категорирования помещений и зданий узаконены и изложены в нормативном документе Государственной противопожарной службы МВД России "Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. НПБ 105-95". Нормы введены в действие с 1 января 1996 года.

Практика показывает, что правильное определение категорий помещений и зданий вызывает определенные трудности у исполнителей. Это в основном связано с неоднозначной трактовкой и пониманием некоторых положений НПБ 105-95.

Целью настоящего методического пособия является помощь в усвоении одного из наиболее важных разделов курса "Пожарная безопасность технологических процессов" путем более подробного разъяснения основных положений НПБ 105-95, внедрения новых методических и дидактических приемов изложения материала с привлечением большого числа практических задач.

Пособие предназначено для слушателей и курсантов средних и высших учебных заведений МВД. Оно будет полезно для практических работников ГПС и производственных организаций, специализирующихся в области противопожарного нормирования и пожарной безопасности.

## 1. Основные принципы и положения системы категорирования по взрывопожарной и пожарной опасности

Согласно НПБ 105-95 все помещения и здания по взрывопожарной и пожарной опасности классифицируются на *взрывопожароопасные*, которые подразделяются на категории А и Б; *пожароопасные*, в которые входят категории В1 - В4; не пожароопасные категории Г и Д.

При определении принадлежности помещений и зданий к той или иной категории исходят из следующих основных допущений и принципов, а именно:

- признание вероятности возникновения пожара или взрыва в помещении и здании;
- количественной мерой взрывоопасных пыле- и паровоздушных смесей принимается избыточное давление взрыва, составляющее 5 кПа. Именно эта величина избыточного давления взрыва не представляет опасности для жизни обслуживающего персонала и является условной границей, разделяющей взрывоопасные и пожароопасные категории. Превышение избыточного давления взрыва значения 5 кПа определяет условия перехода помещений и зданий в более опасную категорию, т.е. из В в А или Б. Для пожароопасных категорий В1 - В4 количественной мерой пожарной опасности является энергетический параметр, выраженный в удельной пожарной нагрузке.
- принцип ориентации на наиболее опасные свойства и количества обращающихся веществ и материалов и наиболее неблагоприятный возможный вариант аварии.

Для реализации приведенных принципов и единообразия при определении категорий нормативный документ предусматривает (оговаривает) условия выбора и обоснования расчетного варианта. Правильный выбор и обоснование, как правило, вызывает трудности и требует определенного навыка, умения и опыта.

С чего необходимо начинать при категорировании помещения, цеха, здания? НПБ 105-95 не дает прямого ответа на это вопрос.

Необходимо иметь в виду, что необходимость категорирования возникает на различных этапах производственной деятельности. Главным образом, категорирование проводят на этапе проектирования производства. В этом случае проектанты обязаны определить категорию всех помещений и зданий. ГПС на данном этапе осуществляя -

ет роль надзорного органа и обязана согласовать проект. Совершенно очевидно, что если представители пожарной охраны не владеют методикой категорирования, то уже на этом этапе в проект могут вкрасться ошибки с прогнозируемыми последствиями.

Не менее часто необходимость категорирования возникает при реконструкции производства помещений и зданий, изменении технологий, оборудования, объема производства и т.д.

Итак, начинать, по-видимому, необходимо с ознакомления с производством и изучения технологий в объеме, достаточном для понимания его пожарной опасности и сбора необходимых данных. Прежде всего необходимо следующие данные:

1. Характеристики помещения (длина, ширина, высота).
2. Схема расположения оборудования в помещении (рабочие чертежи).
3. Технологический регламент.
4. Схема и параметры вентиляционной системы.
5. Схема автоматического контроля параметров производства.
6. Схема автоматической системы пожаротушения.

Если категорирование проводится на стадии проектирования, то все данные можно получить только из технологической документации.

В таблицах 1 и 2 приведены характеристики веществ и материалов, определяющие принадлежность по категориям, а также некоторые критерии и условия категорирования.

В соответствии с НПБ 105-95 (п. 2.2.) определение категории следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в таблице 1 от высшей (А) к низшей (Д).

Таблица 1.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категории помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
<p><b>А</b></p> <p><b>Взрыво-Пожаро-опасная</b></p>	<p><i>Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28<sup>0</sup>С</i></p> <p>в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.</p> <p><i>Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом</i></p> <p>в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.</p>
<p><b>Б</b></p> <p><b>взрыво-пожаро-опасная</b></p>	<p><i>Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28<sup>0</sup>С, горючие жидкости</i></p> <p>в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.</p>
<p><b>В1 - В4</b></p> <p><b>Пожаро-опасные</b></p>	<p><i>Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии и обращаются, не относятся к категориям А или Б.</i></p>
<p><b>Г</b></p>	<p><i>Негорючие вещества и материалы в горячем, расплавленном или разплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.</i></p>
<p><b>Д</b></p>	<p><i>Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии</i></p>

Таблица 2.

№	Характеристика веществ и материалов	Категории, критерии и условия категорирования				
		Взрывопожароопасные		Пожароопасные	Непожароопасные	
		А	Б	В1-В4	Г	Д
1	Горючие газы	$\Delta P \geq 5$ кПа		Не А и Б	Используются как топливо	
2	ЛВЖ $t_{всп} \leq 28^\circ\text{C}$			$\Delta P < 5$ кПа		
3	ЛВЖ $t_{всп} > 28^\circ\text{C}$					
4	Горючие пыли и волокна		$\Delta P \geq 5$ кПа		Используются как топливо	
5	Горючие жидкости					
6	<b>Трудногорючие</b> жидкости					
7	Твердые горючие и трудногорючие вещества					
8	Вещества, взаимодействующие с $\text{O}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$ и другим	Взрываются и горят $\Delta P \geq 5$ кПа		Только горят		
9	Негорючие вещества				В горячем, раскаленном, расплавленном состоянии.	В холодном состоянии
	Справочные данные, регламент	Расчет $\Delta P$ , справочные и нормативные данные				

## 2. Расчет критериев взрывопожарной опасности помещений

Определение категории помещения включает в себя несколько основных этапов.

### 1. Изучение:

- 1.1. Характеристики помещения.
- 1.2. Технологического процесса, его параметров и характеристики оборудования.
- 1.3. Запроектированных технических средств противопожарной защиты.

### 2. Выбор расчетного варианта аварийной ситуации.

В соответствии с п. 3.1. НПБ 105-95 в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором во взрыве участвует наибольшее количество веществ и материалов, наиболее опасных в отношении последствий взрыва.

### 3. Сбор и подготовка исходных данных для расчета.

Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящегося в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов (п. 1.3. НПБ 105-95).

Согласно п. 1.4. НПБ 105-95 определение пожароопасных свойств веществ и материалов производится на основании результатов испытаний или расчетов по стандартным методикам с учетом параметров состояния (давления, температуры и т.д.).

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

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

### 4. Расчет количественных параметров взрывопожарной опасности помещений.

4.1. В соответствии с п. 3.2. НПБ 105-95 количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать газовоздушные смеси определяют, исходя из следующих предположений:

- а) происходит расчетная авария одного из аппаратов (см. пункт 2);
- б) все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) одновременно происходит утечка газа из трубопроводов, как подводящих, так и отводящих в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

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

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

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

Под “временем срабатывания” и “временем отключения” следует понимать промежуток времени от начала возможного поступления горючего вещества из трубопровода до полного прекращения поступления горючего вещества в помещение.

*Алгоритм и пример расчета массы газа, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации приведен в задаче № 1 данного пособия.*

**4.2. Количество поступивших в помещение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, которые могут образовать паровоздушные смеси определяют, исходя из следующих предпосылок ( п. 3.2. НПБ 105-95):**

- а) происходит расчетная авария одного из аппаратов (см. пункт 2);
- б) все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) одновременно происходит утечка жидкости из трубопроводов, как подводящих, так и отводящих в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов. Расчетное время отключения трубопроводов определяется аналогично изложенному в пункте 4.1.
- г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости;
- д) происходит также испарение жидкости из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежеекрашенных поверхностей.

Алгоритм расчета массы паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, поступивших в помещение в результате аварийной ситуации, приведен в задаче № 2 данного пособия.

Алгоритм расчета массы паров, образовавшихся при разгерметизации оборудования со сжиженными газами и перегретыми жидкостями, приведен в задаче № 3 данного пособия.

**4.3. Количество пыли, которое может образовать взрывоопасную смесь, определяется из следующих предпосылок (п. 3.3. НПБ 105-95):**

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

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

Алгоритм расчета массы взвешенной в объеме помещения пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации приведен в задаче № 4 данного пособия.

#### **4.4. Определение избыточного давления взрыва.**

а) Расчет избыточного давления взрыва для индивидуальных горючих веществ производится в соответствии с п. 3.5. НПБ 105-95.

Для индивидуальных горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей алгоритм расчета приведен в задаче № 5 данного пособия.

б) Для пылей и смесей расчет избыточного давления взрыва производится согласно п. 3.6. НПБ 105-95.

Для пылей и смесей веществ алгоритм расчета приведен в задаче № 6 данного пособия.

#### **5. Проверка принадлежности помещения от высшей категории к низшей.**

Примеры расчетов категорий помещений приведены в задачах № 7, № 8, № 9, № 10, № 11, № 12 данного пособия.

## 3. Примеры расчетных задач

## Задача № 1.

Расчет массы газов, поступивших в помещение при полном разрушении аппарата (или трубопровода)

Расчет выполняется в соответствии с п. 3.8. НПБ 105-95.  
Алгоритм расчета.

Общей формулой для вычисления массы газа, поступившей в помещение при полном разрушении аппарата является:

$$m_{\text{БЛ}} = m_{\text{АП}} + m_{\text{ПОДВ. ТРУБ.}} + m_{\text{ОТВ. ТРУБ.}} + m_{\text{ДО ОТКЛ.}}$$

где

$m_{\text{БЛ}}$  - суммарная масса газа, которая может поступить в помещение из технологического блока, кг;

$m_{\text{АП}}$  - масса газа в аппарате, кг;

$m_{\text{ПОДВ. ТРУБ.}}$  - масса газа в подводящих трубопроводах, кг;

$m_{\text{ОТВ. ТРУБ.}}$  - масса газа в отводящих трубопроводах, кг;

$m_{\text{ДО ОТКЛ.}}$  - масса газа, которая может дополнительно поступить в помещение за счет подачи компрессора до полного отключения задвижек, кг.

1. Определение массы газа в аппарате  $m_{\text{АП}}$ .

В технологическом аппарате газ находится при температуре  $T_{\text{АП}}$  и давлении  $P_{\text{АП}}$ , при этом газ занимает весь объем аппарата  $V$ .

При выходе из аппарата в случае аварии газ займет больший объем  $V_{\text{АП}}$ .

(Примечание. Если в условии задано избыточное давление в аппарате, то

$$P_{\text{РАБ}} = P_0 + P_{\text{ИЗБЫТ}}, \text{ где}$$

$P_0$  - внешнее (как правило, атмосферное) давление).

1 способ

Массу газа в аппарате рассчитываем из соотношения

$$\begin{aligned} V_{\text{АП}}, \text{ м}^3 / \text{кмоль} & - M_{\text{ГАЗ}}, \text{ кг} / \text{кмоль} \\ V_{\text{АП}}, \text{ м}^3 & - x = m_{\text{АП}}, \text{ кг} \end{aligned}$$

$$m_{АП} = \frac{V_{АП} \cdot M_{ГАЗ}}{V_M}, \text{ кг,} \quad \text{где}$$

$V_M$  - молярный объем газа при данных условиях, м<sup>3</sup>/кмоль;

$M_{ГАЗ}$  - молярная масса газа, кг/кмоль.

Молярный объем любого газа или пара при заданных условиях будет равен

$$V_M = \frac{P_0 \cdot V_0 \cdot T}{T_0 \cdot P}, \quad \text{где}$$

$P_0, V_0, T_0$  - величины давления, объема и температуры при нормальных условиях;

$P$  и  $T$  - заданные давление и температура.

Нормальными условиями считаются:

$t_0 = 0^\circ\text{C}; T_0 = 273 \text{ К}$

$P_0 = 760 \text{ мм рт.ст.} = 101,3 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа} = 10^5 \text{ Па} = 1 \text{ атм}$

$V_0 = 22,4 \text{ м}^3 (\text{л})$

## 2 способ

$$m_{АП} = \rho_{ГАЗ} \cdot V_{АП}, \text{ кг}$$

где

$$\rho_{ГАЗ} = \frac{M_{ГАЗ}}{V_M}, \text{ кг/м}^3.$$

Оба способа абсолютно идентичны.

## 2. Расчет массы газа в трубопроводах.

Для расчета массы газа в подводящем и отводящем трубопроводах необходимы следующие данные:

$l_{ОТВ ТРУБ}$  - длина отводящего трубопровода, м;

$l_{ПОДВ ТРУБ}$  - длина подводящего трубопровода, м;

$S_{ОТВ ТРУБ}$  - площадь поперечного сечения отводящего трубопровода, м<sup>2</sup>;

$S_{ПОДВ ТРУБ}$  - площадь поперечного сечения подводящего трубопровода, м<sup>2</sup>.

Площадь поперечного сечения трубопроводов

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2, \quad \text{где}$$

$d$  - диаметр подводящего или отводящего трубопроводов, м.

Массу газа в трубопроводах вычисляют следующим образом:

$$m_{\text{ОВ-ТР УБ}} = \rho_{\text{ГАЗ}} \cdot l_{\text{ОВ-ТР УБ}} \cdot S_{\text{ОВ-ТР УБ}} = \rho_{\text{ГАЗ}} \cdot l_{\text{ОВ-ТР УБ}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ОВ-ТР УБ}}^2}{4},$$

, кг.

Аналогично определяют массу газа в подводящем трубопроводе.

Плотность газа  $\rho_{\text{ГАЗ}} = M_{\text{ГАЗ}} / V_M$  вычисляют аналогично п. 1 данной задачи.

В общем виде выражение для определения массы газа в трубопроводах можно записать следующим образом:

$$m_{\text{ТР УБ}} = \rho_{\text{ГАЗ}} \left( l_{\text{ИД-ТР УБ}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ИД-ТР УБ}}^2}{4} + l_{\text{ОВ-ТР УБ}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ОВ-ТР УБ}}^2}{4} \right)$$

, кг

3. Расчет массы газа, поступившей в помещение за счет подачи компрессора до полного отключения задвижек  $m_{\text{ДО ОТКЛ}}$ .

Расчет ведут по формуле:

$$m_{\text{ДО ОТКЛ}} = \rho_{\text{ГАЗ}}^0 \cdot q \cdot \tau_{\text{ОТКЛ}}, \text{ кг, где}$$

$\rho_{\text{ГАЗ}}^0$  - плотность газа при нормальных условиях ( т.к. в паспорте на компрессор указана его производительность, приведенная к нормальным условиям )

$$\rho_{\text{газ}}^0 = \frac{M_{\text{газ}}}{V_M^0} = \frac{M_{\text{газ}}}{22,4}, \text{ кг/м}^3, \quad \text{где}$$

$M_{\text{газ}}$  - молярная масса газа, кг/кмоль;

$q$  - производительность компрессора, м<sup>3</sup>/с (паспортные данные);  
 $\tau_{\text{откл}}$  - продолжительность отключения задвижек, с  
 (принимают равным 120 с, 300 с или паспортные данные с нормативной вероятностью отключения).

4. Расчет массы газа, аккумулированной в объеме помещения при полном разрушении технологического блока с газом  $m_{\text{БЛ}}$ .

Суммарную массу газа  $m_{\text{БЛ}}$  получают, суммируя величины, полученные в п.п. 1 - 3:

$$m_{\text{БЛ}} = m_{\text{АП}} + m_{\text{ТРУБ}} + m_{\text{ДО ОТКЛ}}, \text{ кг.}$$

5. Расчет массы газа, которая останется в помещении в случае работы аварийной вентиляции.

Согласно п. 3.7. НПБ 105-95 в случае обращения в помещении горючих газов, ЛВЖ или ГЖ при определении значения  $m$  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.

Если в помещении работает аварийная вентиляция, то масса газа, которая останется в помещении в случае полного разрушения аппарата, будет меньше расчетного значения  $m_{\text{БЛ}}$ . Рассчитать значение  $m_{\text{ост}}$  можно по формуле

$$m_{\text{ост}} = \frac{m_{\text{БЛ}}}{\left( 1 + \frac{n_{\text{ВОЗД}} \cdot \tau_{\text{ОТКЛ}}}{3600} \right)}, \text{ кг, где}$$

$n_{\text{возд}}$  - кратность воздухообмена в помещении, 1/час.

### Пример расчета.

Определить массу газа пропилена, которая будет аккумулирована в объеме помещения в результате разгерметизации технологического блока.

#### Исходные данные:

Характеристика помещения

Отделение сжатия пропилена  $C_3H_6$ .

Температура воздуха в помещении  $20^{\circ}C$ .

Кратность воздухообмена  $n_{ВСВД} = 4 \text{ час}^{-1}$ .

Характеристика технологического блока

Объем аппарата  $V_{АП} = 10 \text{ м}^3$ ;

Избыточное давление в аппарате  $P_{ИЗБ} = 3 \text{ кг/см}^2 = 3 \text{ ат}$ ;

Рабочая температура в аппарате  $t_p = 150^{\circ}C$ ;

Подача (производительность) компрессора  $q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;

Подводящий трубопровод : длина  $l_{ПОДВ} = 0,5 \text{ м}$ ,  
диаметр  $d_{ПОДВ} = 90 \text{ мм}$ ;

Отводящий трубопровод: длина  $l_{ОТВ} = 4,5 \text{ м}$ ,  
диаметр  $d_{ОТВ} = 90 \text{ мм}$ ;

Продолжительность ручного отключения задвижек  $\tau_{ОКЛ} = 300 \text{ с}$ .

Решение:

1) Определим плотность газа пропилена в аппарате.

$M(C_3H_6) = 42 \text{ кг/кмоль}$ ;

$$V_M = \frac{1 \cdot 22,4 \cdot (273 + 150)}{273 \cdot (1 + 3)} = 8,7 \text{ м}^3/\text{кмоль}.$$

$$\rho_{Г} = 42 / 8,7 = 4,8 \text{ кг/м}^3$$

2) Определим массу газа, содержащуюся в аппарате и трубопроводах.

$$m_{\text{АП}} = 4,8 \left( 10 + 0,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 90^2}{4} \cdot 10^{-6} + 4,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 90^2}{4} \cdot 10^{-6} \right) = 48,2$$

кг.

3) Определим массу газа, которая может поступить в помещение за счет работы компрессора до отключения задвижек.

$$\rho_{\text{Г}}^0 = \frac{42}{22,4} = 1,9 \text{ кг/м}^3$$

$$m_{\text{Д.АКЛ}} = 1,9 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 2,9 \text{ кг}$$

4) Определим массу газа в технологическом блоке.

$$m_{\text{БЛ}} = 48,2 + 2,9 = 51,1 \text{ кг}$$

5) Определим массу газа, которая будет аккумулирована в объеме помещения к моменту взрыва (с учетом аварийной вентиляции).

$$m_{\text{ВЛ}}^* = \frac{51,1}{1 + \frac{4 \cdot 300}{3600}} = 38,4 \text{ кг.}$$

Таким образом, в помещении будет находиться 38,4 кг горючего газа пропилена.

### Задача № 2.

**Расчет массы паров жидкости, поступившей в помещение при аварийном разливе жидкостей**

Алгоритм расчета.

Определение массы паров жидкости, поступившей в помещение при аварийном разливе включает в себя три этапа:

1. Расчет массы жидкости, поступившей в помещение в случае разрушения аппаратов и трубопроводов.
2. Расчет массы испарившейся жидкости (масса образовавшихся паров).
3. Расчет массы паров, которая останется в помещении в случае работы аварийной вентиляции.

## 1 этап.

Расчет массы жидкости, поступившей в помещение в случае разрушения аппарата и трубопроводов аналогичен расчету для газов, приведенному в задаче № 1.

1.1. Определяем массу жидкости, которая поступит из аппарата и трубопроводов.

$$m_{\text{АП}} = \rho_{\text{ж}} (V_{\text{АП}} \cdot \varepsilon + l_{\text{ПОДВ ТРУБ}} S_{\text{ПОДВ ТРУБ}} + l_{\text{ОТВ ТРУБ}} S_{\text{ОТВ ТРУБ}}), \text{ где}$$

$\rho_{\text{ж}}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup> (по справочным данным);

$V_{\text{АП}}$  - объем аппарата с жидкостью, м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  - степень заполнения аппарата. Степень заполнения аппарата - это отношение объема, занимаемого жидкостью в аппарате к общему объему аппарата.

$l_{\text{ПОДВ ТРУБ}}$  и  $l_{\text{ОТВ ТРУБ}}$  - длина подводящего и отводящего трубопроводов, м;

$S_{\text{ПОДВ ТРУБ}}$  и  $S_{\text{ОТВ ТРУБ}}$  - площадь поперечного сечения подводящего и отводящего трубопроводов, м<sup>2</sup>.

1.2. Определяем массу жидкости, которая дополнительно поступит в помещение за счет работы насоса до полного отключения задвижек.

$$m_{\text{ДО ОТКЛ}} = \rho_{\text{ж}} \cdot q \cdot \tau_{\text{ОТКЛ}}, \text{ где}$$

$q$  - производительность насоса, м<sup>3</sup>/с;

$\tau_{\text{ОТКЛ}}$  - продолжительность отключения задвижек, с.

1.3. Определяем общую массу жидкости, которая поступит в помещение из технологического блока.

$$m_{\text{БЛ}} = m_{\text{АП}} + m_{\text{ДО ОТКЛ}}$$

## 2 этап.

Расчет массы испарившейся жидкости.

Согласно п. 3.9. НПБ 105-95 масса паров жидкости  $m_{\text{ИСП}}$ , поступивших в помещение при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, поверхность со свеженанесенным составом, открытые емкости, возможное поступление жидкости в распыленном состоянии и т.п.) определяется из выражения

$m_{\text{исп}} = m_{\text{исп откр пов}} + m_{\text{исп свеж откр пов}} + m_{\text{исп разл}} + m_{\text{распылен}}$ , где

$m_{\text{исп откр пов}}$  - масса паров жидкости, испарившейся с открытых по-верхностей емкостей, кг;

$m_{\text{исп свеж откр пов}}$  - масса паров жидкости, испарившейся с по-верхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг;

$m_{\text{исп разл}}$  - масса паров жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;

$m_{\text{распылен}}$  - масса поступившей жидкости из распыляющих уст-ройств, кг.

При этом для *каждого* *слагаемого* расчет проводится по следую-щей общей формуле:

$$m_{\text{испар жидк}} = S_{\text{исп}} \cdot W_{\text{исп}} \cdot \tau_{\text{исп}}, \quad \text{где}$$

$S_{\text{исп}}$  - площадь испарения жидкости,  $\text{м}^2$ ;

$\tau_{\text{исп}}$  - время испарения, с;

$W_{\text{исп}}$  - интенсивность испарения,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ .

## 2.1. Определяем площадь испарения жидкости.

### 2.1.1. Определяем максимальную площадь разлива жидкости.

$$F_{\text{разлива}} = f \cdot m_{\text{жл}} / \rho_{\text{ж}}, \quad \text{где}$$

$f$  - коэффициент растекаемости,  $\text{м}^2/\text{м}^3$  или  $\text{м}^2/\text{л}$ . При отсутствии спра-вочных данных коэффициент растекаемости  $f$  определяется исходя из следующего расчета:

1 литр смесей и растворов,  
содержащих 70 % и менее  
(по массе) растворителей разливается на площади  $0,5 \text{ м}^2$ ,  
соответственно  $1 \text{ м}^3$  разливается на площади  $500 \text{ м}^2$  ( $f = 500$ ).

1 литр остальных жидкостей разливается на площади  $1,0 \text{ м}^2$ ,  
соответственно  $1 \text{ м}^3$  разливается на площади  $1000 \text{ м}^2$  ( $f = 1000$ ).

### 2.1.2. Определяем площадь испарения из следующего условия:

$$\begin{aligned} S_{\text{испар}} &= F_{\text{разлива}}, & \text{если} & & F_{\text{разлива}} < S_{\text{помещения}} & \text{или} \\ S_{\text{испар}} &= S_{\text{помещения}}, & \text{если} & & F_{\text{разлива}} \geq S_{\text{помещения}}. \end{aligned}$$

Площадь помещения определяем по формуле

$S_{\text{помещения}} = l \cdot b, \text{ м}^2$ , где  
 $l$  - длина помещения, м;  
 $b$  - ширина помещения, м.

2.2. Определяем интенсивность испарения  $W_{\text{исп}}$  по справочнику или расчетным путем по следующей формуле (п. 3.11 НПБ 105-95):

$$W_{\text{исп}} = 10^6 \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_S, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \text{ где}$$

$M$  - молярная масса, кг/кмоль;

$P_S$  - давление насыщенного пара жидкости при рабочей температуре  $t_{\text{раб}}$ , определяемое по номограмме или расчетным способом по уравнению Антуана [3], кПа;

Приведенную формулу допускается использовать для не нагретых выше температуры окружающей среды ЛВЖ при отсутствии справочных и экспериментальных данных.

Давление насыщенных паров нефтепродуктов на участке температуры 0 - 100° С может быть определено по формуле, выведенной В.П.Сучковым [2]

$$P_S = (970 - 4,73 t_{\text{н}}) \cdot 10^{0,0188 (t_{\text{ж}} - t_{\text{н}}) - 3}, \text{ где}$$

$t_{\text{ж}}$  - расчетная температура жидкости, равная среднеарифметической температуре жидкости и температуре воздуха в помещении, °С;

$t_{\text{вп}}$  - температура вспышки жидкости, °С.

$\eta$  - коэффициент, принимаемый по таблице 3, приведенной ниже, а также таблице 1 приложения в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения.

Таблица 3.

Скорость воздушного потока в помещении $\omega_{\text{возд}}$	Значение коэффициента $\eta$ при температуре $t$ °С воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
м/с					
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

В свою очередь скорость воздушного потока в помещении можно рассчитать по формуле

$$\omega_{\text{возд}} = n_{\text{возд}} \cdot l / 3600, \text{ м/с, где}$$

$n_{\text{возд}}$  - кратность воздухообмена в помещении, 1/час;  
 $l$  - длина помещения, м.

2.3. Определяем время полного испарения разлившейся жидкости.

$$\tau_{\text{исп}} = m_{\text{жл}} / W_{\text{исп}} \cdot S_{\text{исп}}, \text{ с.}$$

2.3.1. Для вычисления массы испарившейся жидкости больший интерес представляет расчетное время испарения  $\tau_{\text{расч}}$ . Принимают расчетное время испарения не больше 1 часа (3600 с).

2.3.2. При выборе расчетного времени руководствуются следующим:

Если  $\tau_{\text{исп}} < 3600 \text{ с}$ , то  $\tau_{\text{расч}} = \tau_{\text{исп}}$ .  
 Если  $\tau_{\text{исп}} \geq 3600 \text{ с}$ , то  $\tau_{\text{расч}} = 3600 \text{ с}$ .

Именно расчетное время испарения используют при определении массы испарившейся жидкости в п.п. 2.4., 2.5., 2.6.

2.4. Определяем массу жидкости, испарившейся с открытых поверхностей.

$$m_{\text{исп отр пов}} = W_{\text{исп}} \cdot \tau_{\text{расч}} \cdot S_{\text{откр пов}}$$

2.5. Определяем массу жидкости, испарившейся со свежоокрашенных поверхностей.

$$m_{\text{исп свеж окр пов}} = W_{\text{исп}} \cdot \tau_{\text{расч}} \cdot S_{\text{свеж окр пов}}$$

2.6. Определяем массу жидкости, испарившейся с поверхности разлива ( в нашем расчете  $S_{\text{исп}}$ ).

$$m_{\text{исп разл}} = W_{\text{исп}} \cdot \tau_{\text{расч}} \cdot S_{\text{исп}}$$

2.7. Определяем общую массу испарившейся жидкости.

$$m_{\text{исп}} = m_{\text{исп отр пов}} + m_{\text{исп свеж окр пов}} + m_{\text{исп разл}}$$

3 этап.

Определяем массу паров жидкости, которая останется в объеме помещения с учетом работы аварийной вентиляции.

$$m_{\text{исп}}^* = \frac{m_{\text{исп}}}{1 + \frac{n_{\text{ввд}} \cdot \tau_{\text{окл}}}{3600}}, \text{ кг.}$$

**Задача № 3.**

**Расчет массы паров, образовавшихся при разгерметизации оборудования со сжиженными газами или перегретыми жидкостями**

К сжиженным газам и перегретым жидкостям относят вещества, у которых рабочая температура превышает температуру кипения. Одной из характеристик подобных веществ является теплота перегрева жидкости  $Q_{\text{перегрева}}$ . В случае разгерметизации оборудования теплота перегрева способствует мгновенному испарению всего или части содержимого аппарата, что может привести к образованию взрывоопасных концентраций.

### Алгоритм расчета.

#### 1. Определяем массу вещества в аппарате и трубопроводах.

$$m_{\text{АП}} = \rho_{\text{ж}} (V_{\text{АП}} \cdot \varepsilon + l_{\text{ПОДВ ТРУБ}} \cdot S_{\text{ПОДВ ТРУБ}} + l_{\text{ОТВ ТРУБ}} \cdot S_{\text{ОТВ ТРУБ}}), \text{ где}$$

$m_{\text{АП}}$  - масса вещества в аппарате и трубопроводах, кг;

$\rho_{\text{ж}}$  - плотность жидкости или сжиженного газа, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{АП}}$  - объем аппарата, м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  - степень заполнения аппарата;

$l_{\text{ПОДВ ТРУБ}}$  и  $l_{\text{ОТВ ТРУБ}}$  - длина подводящего и отводящего трубопроводов, м;

$S_{\text{ПОДВ ТРУБ}}$  и  $S_{\text{ОТВ ТРУБ}}$  - площадь поперечного сечения подводящего и отводящего трубопроводов, м<sup>2</sup>.

2. Определяем массу вещества, которая может дополнительно поступить в помещение за счет работы насоса до полного отключения задвижек.

$$m_{\text{ДО ОТКЛ}} = \rho_{\text{ж}} \cdot q \cdot \tau_{\text{ОТКЛ}}, \text{ где}$$

$q$  - производительность насоса, м<sup>3</sup>/с;

$\tau_{\text{ОТКЛ}}$  - время до отключения задвижек, с.

3. Определяем общую массу вещества, которая может поступить в помещение за счет разгерметизации технологического блока.

$$m_{\text{БЛ}} = m_{\text{АП}} + m_{\text{ДО ОТКЛ}}, \text{ кг.}$$

4. Определим теплоту перегрева жидкости.

$$Q_{\text{ПЕРЕГРЕВА}} = m_{\text{БЛ}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (t_{\text{РАБ}} - t_{\text{КИП}}), \text{ кДж, где}$$

$C_{\text{р}}$  - теплоемкость жидкости или газа, кДж/кг·К;

$t_{\text{РАБ}}$  - рабочая температура вещества;

$t_{\text{КИП}}$  - температура кипения вещества.

5. Определяем массу паров, которая может образоваться за счет теплоты перегрева жидкости.

$$m_{\text{ПЕРЕГРЕВА}} = Q_{\text{ПЕРЕГРЕВА}} / Q_{\text{ИСПАРЕНИЯ}}, \text{ кг, где}$$

$Q_{\text{ИСПАРЕНИЯ}}$  - теплота испарения (теплота парообразования), кДж/кг, справочная величина.

6. Определим массу испарившейся жидкости, т.е. массу паров, образовавшихся в результате испарения. При этом руководствуются следующими условиями:

$$m_{\text{исп жидк}} = m_{\text{перегрева}} \quad \text{если } t_{\text{перегрева}} \leq t_{\text{кл}} \quad \text{или} \\ m_{\text{исп жидк}} = m_{\text{кл}} \quad \text{если } t_{\text{перегрева}} > t_{\text{кл}}$$

7. Определяем массу паров в свободном объеме аппарата.

$$m_{\text{пар}} = V_{\text{лп}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_{\text{г}}, \text{ кг, где}$$

$\rho_{\text{г}}$  - плотность газов и паров при рабочих условиях,  $\text{кг/м}^3$ .

Плотность газов и паров, в свою очередь определяется по формуле:

$$\rho_{\text{г}} = M / V_{\text{м}}, \text{ где}$$

$M$  - молярная масса вещества,  $\text{кг/кмоль}$ ;

$V_{\text{м}}$  - молярный объем газа или пара при рабочих условиях,  $\text{м}^3/\text{кмоль}$ .

8. Определим общую массу паров.

$$m = m_{\text{исп жидк}} + m_{\text{пар}}, \text{ кг.}$$

9. Определим массу паров, которая останется в помещении в случае работы аварийной вентиляции.

$$m^* = \frac{m}{1 + \frac{n_{\text{вжл}} \cdot \tau_{\text{окл}}}{3600}}, \text{ кг.}$$

#### Задача № 4.

Расчет массы взвешенной в объеме помещения пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации

При нормальной работе производственного оборудования происходит непрерывное выделение пыли через неплотности, отверстия и щели в оборудовании. Постепенно оседая, пыль накапливается на поверхности конструкций и оборудования.

Максимальное количество пыли, отложившейся на поверхности, будет зависеть от

- количества пыли, выделяемой единицей оборудования;
- возможного числа работающих единиц оборудования;
- средней продолжительности работы оборудования между циклами;
- эффективности пылеуборки.

В основу расчета положена предпосылка, что при максимально возможном количестве осевшей пыли происходит аварийный выброс ее во взвешенное состояние из оборудования. трубопроводов или путем разрыва тары.

#### Алгоритм расчета.

Расчетная масса взвешенной в объеме помещения пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяем по формуле (п. 3.13 НПБ 105-95):

$$m_{\text{взвеш}} = m_{\text{взвихр}} + m_{\text{бл}}, \text{ кг, где}$$

$m_{\text{взвеш}}$  - суммарная масса взвешенной в объеме помещения пыли, кг;

$m_{\text{взвихр}}$  - масса взвихрившейся пыли, кг (это масса пыли до аварии находившейся в осевшем состоянии и в результате аварийной ситуации взвихрившейся в объем помещения);

$m_{\text{бл}}$  - масса пыли, поступившей в помещение при аварии технологического блока (аппарата), кг.

#### 1. Определяем массу взвихрившейся пыли $m_{\text{взвихр}}$

Для расчета необходимы следующие данные.

При нормальной работе оборудования выделяется пыль, которая оседает

на доступных  
поверхностях

на труднодоступных  
поверхностях

площадью

$S_{\text{д.п.}}, \text{ м}^2$

$S_{\text{т.д.п.}}, \text{ м}^2$

с интенсивно-  
стью пылеот-  
ложения

$I_{\text{пыл.д.п.}}, \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$

$I_{\text{пылт.д.п.}}, \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$

в количестве циклов работы оборудования между текущими уборками  $n_{д.п.}$

$n_{г.п.}$

с коэффициентами эффективности уборки  $K_{уб.д.п.}$

$K_{уб.г.п.}$

Коэффициент эффективности пылеуборки  $K_{уб}$  принимается:

- при ручной уборке

сухой - 0,6;

влажной - 0,7.

- при механизированной вакуумной уборке

пол ровный - 0,9;

пол с выбоинами (до 5 % площади) - 0,7.

Кроме этого необходимо знать:

$\tau_{цикла}$  - продолжительность одного цикла пылевыведения, с.

Обычно время  $\tau_{цикла}$  (как правило, это смена) задано в часах, поэтому при расчете необходим перевод часов в секунды.

$\alpha$  - доля выделяющейся в объем помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами. В отсутствие экспериментальных сведений о величине  $\alpha$  полагают  $\alpha = 0$ .

$K_{г.п.}$  - доля горючей пыли в общей массе пыли. При отсутствии данных  $K_{г.п.}$  можно принимать равным 0,9.

Массу осевшей пыли  $m_{пыли осевш}$  рассчитываем по следующей формуле (п.п. 3.16, 3.17, 3.18 НПБ 105-95):

$$m_{пыли осевш} = \left( I_{пыл-д.п.} \cdot \frac{S_{д.п.} \cdot n_{д.п.}}{K_{уб.д.п.}} + I_{пыл-г.п.} \cdot \frac{S_{г.п.} \cdot n_{г.п.}}{K_{уб.г.п.}} \right) \cdot \tau_{цикл} \cdot K_{г.п.} \cdot (1 - \alpha)$$

Осевшая пыль при аварийной ситуации перейдет во взвешенное (взвихрившееся) состояние. Массу взвихрившейся пыли определяем по формуле (п. 3.14. НПБ 105-95):

$$m_{взвихр} = m_{пыли осевш} \cdot K_{взвеш}, \text{ где}$$

$K_{взвеш}$  - доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. В отсутствие экспериментальных сведений о величине  $K_{взвеш}$  допускается полагать  $K_{взвеш} = 0,9$ .

2. Определяем массу пыли, поступившей при аварии из технологического блока  $m_{пл}$  (п. 3.15. НПБ 105-95).

$$m_{пл} = (m_{ап} + q \cdot \tau_{откл}) \cdot K_{пыления}, \text{ где}$$

$m_{ап}$  - масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата, кг;

$q$  - производительность, с которой продолжается поступление пыли в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения, кг/с;

$\tau_{откл}$  - время отключения задвижек, с;

$K_{пыления}$  - коэффициент пыления, представляющий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей в помещение из аппарата. Коэффициент пыления зависит от дисперсности пыли. В отсутствие экспериментальных сведений о величине  $K_{пыления}$  допускается полагать:

для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм -  $K_{пыления} = 0,5$ ;

для пылей с дисперсностью менее 350 мкм -  $K_{пыления} = 1,0$ .

3. Определяем массу взвешенной в объеме помещения пыли.

$$m_{взвеш} = m_{взвихр} + m_{пл}, \text{ кг.}$$

#### Задача № 5.

Расчет избыточного давления взрыва для индивидуальных горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

Основным критерием, разделяющим взрывоопасные категории помещений от пожароопасных, как уже указывалось, является избыточное давление взрыва. Избыточное давление взрыва, его мощность главным образом зависит от массы вещества, которое поступает в аварийное помещение, и доли ее, принимающей участие во взрыве.

Определение поступающей в помещение массы вещества является одной из предварительных задач, которую необходимо решить перед тем, как определять массу вещества, принимающего участие во взрыве. Алгоритм расчета при этом зависит от агрегатного состояния

горючих веществ, их свойств и технологических параметров. Примеры таких задач рассмотрены выше.

Избыточное давление взрыва в замкнутом помещении - это разность между максимальным возможным и начальным давлением, при котором он происходит.

$$\Delta P = P_{MAX} - P_0$$

Максимальное давление достигается, если

- вся масса горючего, поступившего в помещение, примет участие в образовании горючей среды и полностью взорвется;
- помещение полностью герметично и в нем отсутствует теплоотвод через ограничивающие поверхности (неадиабатический процесс);
- горючее и окислитель в горючей среде находятся в стехиометрическом соотношении.

В реальных условиях максимальное давление взрыва не достигается, так как имеются существенные отклонения. При расчете это необходимо учитывать, поэтому в НПБ 105-95 формулы для расчета  $\Delta P$  индивидуальных веществ и смесей имеют более сложный вид.

Расчет избыточного давления взрыва для индивидуальных веществ производится согласно п. 3.5. НПБ 105-95.

#### Алгоритм расчета.

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для индивидуальных горючих веществ (газов и паров ЛВЖ и ГЖ), состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{MAX} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{СВ} \cdot \rho_{Г}} \cdot \frac{100}{C_{СТЕХ}} \cdot \frac{1}{K_H}, \text{ кПа, где}$$

$P_{MAX}$  - максимальное давление взрыва стехиометрической газовоздушной и паровоздушной смесей замкнутом объеме. Определяется экспериментально или по справочным данным. При отсутствии данных допускается принимать  $P_{MAX} = 900$  кПа.

$P_0$  - начальное давление, кПа. Допускается принимать равным 101 кПа.

$m$  - масса горючего газа или паров ЛВЖ и ГЖ, вышедших в результате аварии в помещение. Данная величина составляет:

для горючих газов -  $m_{КВ}$  (если аварийная вентиляция отсутствует) или  $m_{КВТ}$  (в случае работы аварийной вентиляции).

Алгоритм расчета этих величин для горючих газов приведен в задаче № 1 данного пособия.

для паров ЛВЖ и ГЖ -  $m_{исп}$  (при отсутствии аварийной вентиляции)

или  $m_{исп}^*$  (в случае работы аварийной вентиляции).

Алгоритм расчета этих величин для паров ЛВЖ и ГЖ приведен в задаче № 2 данного пособия.

для сжиженных газов и перегретых жидкостей -

$m$  (при отсутствии аварийной вентиляции) или

$m^*$  (в случае работы аварийной вентиляции).

Алгоритм расчета этих величин для паров сжиженных газов и перегретых жидкостей приведен в задаче № 3 данного пособия.

$Z$  - коэффициент участия горючего во взрыве. Допускается принимать значение  $Z$  по таблице 4, приведенной ниже, или таблице 2 приложения.

$V_{св}$  - свободный объем помещения, м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием (п. 3.4. НПБ 105-95). Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать равным 80 % геометрического объема помещения.  $V_{св} = 0,8V_{помещ}$ .

Таблица 4.

Значение коэффициента $Z$ для различных видов горючего	Значение
Вид горючего	Значение
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода), пыли	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

$\rho_r$  - плотность газа или пара при расчетной температуре  $t_{PAC}$ , кг/м<sup>3</sup>, где

$$\rho_r = \frac{M_{ГАЗ}}{V_M}, \text{ кг/м}^3, \text{ а } V_M = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} \cdot \frac{T_{PAC}}{P_{ПОМ}}, \text{ м}^3/\text{кмоль}.$$

Если принять, что давление в помещении равно нормальному атмосферному давлению (101,3 кПа) то плотность газа или пара можно рассчитать по следующей формуле:

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,0037 \cdot t_{PAC})}, \text{ кг/м}^3, \text{ где}$$

$M$  - молярная масса газа или пара, кг/кмоль;

$V_0$  - молярный объем при нормальных условиях, равный 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль.

$t_{PAC}$  - 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  $t_{PAC}$  по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61 °С.

$C_{СТЕХ}$  - стехиометрическая концентрация горючих газов или паров ЛВЖ и ГЖ, % (объемных). Стехиометрическая концентрация вычисляется по формуле

$$C_{СТЕХ} = \frac{100}{1 + 4,76 \cdot \beta}, \text{ \%}, \text{ где}$$

$\beta$  - стехиометрический коэффициент кислорода в уравнении реакции горения. Коэффициент  $\beta$  также может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}, \text{ где}$$

$n_C, n_H, n_X, n_O$  - число атомов С, Н, О, галогенов в молекуле горючего вещества.

$K_H$  - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_H = 3$ .

## Задача № 6.

## Расчет избыточного давления взрыва для пылей и смесей

Расчет  $\Delta P$  для пылей и смесей производится по формуле

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_B \cdot C_P \cdot T_H} \cdot \frac{1}{K_H}, \text{ кПа, где}$$

$m$  - масса пылей или смесей, вышедших в результате аварии в помещение. Данная величина составляет:

для пылей -  $m_{взвеш}$ . Алгоритм расчета этой величины приведен в задаче № 4 данного пособия.

для горючих газов -  $m_{БН}$  (если аварийная вентиляция отсутствует) или  $m_{ОХТ}$  (в случае работы аварийной вентиляции).

Алгоритм расчета этих величин для горючих газов приведен в задаче № 1 данного пособия.

для паров ЛВЖ и ГЖ -  $m_{ИСП}$  (при отсутствии аварийной вентиляции) или  $m_{ИСП}^*$  (в случае работы аварийной вентиляции).

Алгоритм расчета этих величин для паров ЛВЖ и ГЖ приведен в задаче № 2 данного пособия.

$P_0$  - начальное давление, кПа. Допускается принимать равным 101 кПа.

$H_T$  - теплота сгорания веществ, Дж/кг. Эти данные приведены в справочниках. Для ряда веществ значение теплоты сгорания приведены в приложении 5 данного пособия.

Для нефтепродуктов теплота сгорания может быть рассчитана по формуле Басса

$$Q_T = 50460 - 8,545 \cdot \rho_{ж}, \text{ кДж/кг, где}$$

$\rho_{ж}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

$Z$  - коэффициент участия горючего во взрыве. Допускается принимать значение  $Z$  по таблице 4, приведенной выше, или таблице 2 приложения .

$V_{св}$  - свободный объем помещения, м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать равным 80 % геометрического объема помещения.  $V_{св} = 0,8V_{помещ}$ .

$\rho_B$  - плотность воздуха до взрыва при начальной температуре  $T_H$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_B = \frac{M_B}{V_M} = \frac{29}{V_M}, \text{ кг/м}^3, \text{ а } V_M = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} \cdot \frac{T_H}{P_{пом}}$$

м<sup>3</sup>/кмоль.

$M_H$  - средняя молярная масса воздуха.  $M_B = 29$  кг/кмоль.

Если принять, что давление в помещении равно нормальному атмосферному давлению (101,3 кПа) то плотность воздуха можно рассчитать по следующей формуле:

$$\rho_B = \frac{29}{V_0 \cdot (1 + 0,0037 \cdot t_H)}, \text{ кг/м}^3, \text{ где}$$

$V_0$  - молярный объем при нормальных условиях, равный 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль

$C_p$  - теплоемкость воздуха, Дж/кг·К. Допускается принимать

$$C_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг·К.}$$

$T_H$  - начальная температура воздуха, К.

$K_H$  - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_H = 3$ .

#### Задача № 7.

Расчет категории помещения технологического процесса с использованием легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

Определить категорию помещения в случае аварийной ситуации в технологическом процессе с использованием толуола.

## 1. Характеристика горючего вещества.

Толуол  $C_6H_5CH_3$  - метилбензол. Температура вспышки

$$t_{всп} = -5^{\circ}C.$$

Нижний концентрационный предел распространения пламени

$$НКПР = 1,21\%$$

Константы уравнения Антуана

$$A = 6,0507; B = 1328,17; C = 217,713.$$

Плотность жидкости  $\rho_{ж} = 867 \text{ кг/м}^3$ .

Максимальное давление взрыва паров толуола  $P_{МАХ} = 634 \text{ кПа}$ .

## 2. Характеристика помещения.

Длина  $l = 18 \text{ м}$ ,

ширина  $b = 12 \text{ м}$ ,

высота  $h = 6 \text{ м}$ .

Температура воздуха в помещении  $25^{\circ}C$ .

Кратность воздухообмена аварийной вентиляции  $n_{возд} = 6 \text{ час}^{-1}$ .

Наличие АУП - нет.

## 3. Характеристика оборудования и параметры технологического процесса.

Объем аппарата  $V_{АП} = 0,2 \text{ м}^3$ .

Степень заполнения аппарата жидкостью  $\varepsilon = 0,85$ .

Температура жидкости в аппарате  $t_{ж} = 40^{\circ}C$ .

Производительность насоса  $q = 0,007 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Время отключения задвижек  $\tau_{откл} = 120 \text{ с}$ .

Подводящий трубопровод : длина  $l_{подв} = 15 \text{ м}$ ,

диаметр  $d_{подв} = 0,04 \text{ м}$ ;

Отводящий трубопровод: длина  $l_{отв} = 10 \text{ м}$ ,

диаметр  $d_{отв} = 0,04 \text{ м}$ .

## Решение:

1. Определяем массу жидкости, которая поступит в помещение из аппарата и трубопроводов  $m_{АП}$ .

$$m_{АП} = 867 \left( 0,2 \cdot 0,85 + 15 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} + 10 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} \right) = 173,4 \text{ кг}.$$

2. Определяем массу жидкости, которая дополнительно поступит в помещение за счет работы насоса до полного отключения задвижек.

$$m_{\text{дооткл}} = 867 \cdot 0,007 \cdot 120 = 728,3 \text{ кг.}$$

3. Определяем общую массу жидкости, которая поступит в помещение из технологического блока.

$$m_{\text{бл}} = 173,4 + 728,3 = 901,7 \text{ кг.}$$

4. Определяем площадь разлива жидкости  $F_{\text{РАЗЛИВА}}$ . Коэффициент растекаемости для толуола  $f = 1000$  (чистый растворитель)

$$F_{\text{РАЗЛИВА}} = 1000 \cdot 901,7 / 867 = 1040 \text{ м}^2.$$

5. Определяем площадь испарения жидкости.

Площадь помещения

$$S_{\text{ПОМЕЩ}} = 18 \cdot 12 = 216 \text{ м}^2$$

$F_{\text{РАЗЛИВА}} > S_{\text{ПОМЕЩ}}$ , следовательно принимаем площадь испарения

$$S_{\text{ИСПАР}} = S_{\text{ПОМЕЩ}} = 216 \text{ м}^2.$$

6. Определяем интенсивность испарения  $W_{\text{исп.}}$ .

Для определения коэффициента  $\eta$  необходимо определить скорость воздушного потока в помещении.

$$\omega_{\text{возд}} = n_{\text{возд}} \cdot l / 3600 = 6 \cdot 18 / 3600 = 0,03 \text{ м/с.}$$

По таблице 1 приложения определяем коэффициент  $\eta$  при 25 °С. Значение  $\omega_{\text{возд}}$  принимаем равным 0,1 м/с, значение коэффициента  $\eta$  - среднее между значениями для 20 и 30 °С.

$$\eta = 2,1.$$

Молярная масса толуола  $C_6H_5CH_3$   $M = 92 \text{ кг/кмоль}$ .

Давление насыщенного пара толуола определяем по уравнению Антуана. В качестве температуры жидкости  $t_{\text{ж}}$  принимаем среднюю температуру между температурой воздуха в помещении и температурой жидкости в аппарате.

$$t_{ж} = (25 + 40) / 2 = 32,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$P_s = 10 \left( 6,0507 \cdot \frac{1328,17}{217,713 + 32,5} \right) = 5,53 \text{ кПа}.$$

Тогда интенсивность испарения будет равна

$$W_{исп} = 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot \sqrt{92} \cdot 5,53 = 111,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}.$$

7. Определяем расчетное время испарения  $\tau_{расч}$ .

Полное время испарения будет равно

$$\tau_{исп} = 176,7 / 216 \cdot 111,4 \cdot 10^{-6} = 7783 \text{ с, следовательно}$$

расчетное время испарения принимаем

$$\tau_{расч} = 3600 \text{ с}.$$

8. Определяем массу жидкости, испарившейся с поверхности разлива  $m_{исп\ разл}$ .

$$m_{исп\ разл} = 111,4 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 216 = 86,6 \text{ кг}.$$

По условию задачи отсутствуют емкости с открытой поверхностью испарения и свежеокрашенные поверхности, следовательно

$$m_{исп} = m_{исп\ разл}.$$

9. Определяем массу паров толуола, которая останется в объеме помещения с учетом работы аварийной вентиляции.

$$m_{с.п} = \frac{86,6}{1 + \frac{6 \cdot 120}{3600}} = 70,1 \text{ кг}.$$

10. Избыточное давление при взрыве паров толуола определяем по формуле

$$\Delta P = (P_{МАХ} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{СВ} \cdot \rho_{Г}} \cdot \frac{100}{C_{СТЕХ}} \cdot \frac{1}{K_H}, \text{ кПа}.$$

Для расчета нам известны следующие величины:

$$P_{МАХ} = 634 \text{ кПа}; \quad P_0 = 101 \text{ кПа}; \quad m = m_{ИЖИ} = 70,1 \text{ кг};$$

$Z = 0,3$  (по таблице 2 приложения; по условию нашей задачи толуол - ЛВЖ, нагретая выше температуры вспышки);  $K_H = 3$ .

Остальные величины  $V_{св}$ ,  $\rho_{г}$ ,  $C_{стех}$  необходимо рассчитать.

11. Определим свободный объем помещения  $V_{св}$ .

$$V_{св} = 18 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 0,8 = 1036,8 \text{ м}^3.$$

12. Определим плотность паров толуола в помещении  $\rho_{г}$ .

Температура воздуха в помещении  $t_{рас} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

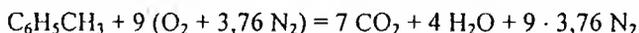
Поскольку атмосферное давление в помещении принимаем равным нормальному атмосферному давлению  $P_0$ , плотность паров можно рассчитать по формуле

$$\rho_{г} = \frac{92}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 25)} = 3,76 \text{ кг/м}^3.$$

13. Определим стехиометрическую концентрацию паров толуола  $C_{стех}$ .

$$C_{стех} = \frac{100}{1 + 4,76 \cdot \beta}, \%$$

Уравнение реакции горения толуола



$\beta = 9$  Коэффициент  $\beta$  можно рассчитать и по формуле:  
 $\beta = 7 + 8 / 4 = 9$

Тогда  $C_{стех} = 100 / (1 + 4,76 \cdot 9) = 1,86 \%$ .

14. Определяем избыточное давление взрыва паров толуола, используя величины, полученные в п.п. 10 - 13.

$$\Delta p = (634 - 101) \cdot \frac{70,1 \cdot 0,3}{1036,8 \cdot 3,76} \cdot \frac{100}{1,86} \cdot \frac{1}{3} = 52,1 \text{ кПа.}$$

Вывод: В соответствии с НПБ 105-95 данное помещение относится к категории "А - пожаровзрывоопасная", т.к. в технологическом процессе обращается легковоспламеняющаяся жидкость толуол с температурой вспышки менее  $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и при аварийной ситуации может создаться избыточное давление, превышающее 5 кПа.

**Задача № 8.**

**Расчет категории помещения цеха, в котором обрабатывается горючая пыль**

Определить категорию помещения в случае аварийной ситуации в технологическом процессе с использованием горючей пыли торфа.

**1. Характеристика горючего вещества.**

Пыль торфа, дисперсностью 450 мкм.

Теплота сгорания  $H_T = 10439$  кДж/кг [3]

**2. Характеристика помещения.**

Длина  $l = 14$  м,

ширина  $b = 12$  м,

высота  $h = 6$  м.

Температура воздуха в помещении  $t_H = 20^\circ\text{C}$ .  $T_H = 293$  К.

**3. Характеристика оборудования и параметры технологического процесса.**

Масса пыли в аппарате  $m_{АП} = 22$  кг.

Подача пыли в аппарат (производительность)  $q = 0,07$  кг/с.

Время отключения задвижек  $\tau_{откл} = 300$  с.

**4. Характеристика поступления пыли в помещение.**

Площадь

доступных поверхностей  $S_{ДП} = 180$  м<sup>2</sup>,

труднодоступных поверхностей  $S_{ТДП} = 20$  м<sup>2</sup>.

Интенсивность пылеотложения

на доступных поверхностях  $I_{ДП} = 2,1 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>2</sup>·с,

на труднодоступных поверхностях

$$I_{ТДП} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2\cdot\text{с.}$$

Продолжительность одного цикла пылевыделения  $\tau_{цикла} = 8$  часов.

Количество циклов работы оборудования между уборками

на доступных поверхностях  $n_{ДП} = 3$

на труднодоступных поверхностях  $n_{ТДП} = 21$ .

Коэффициент эффективности пылеуборки  $K_{уб} = 0,8$  (для доступных и труднодоступных поверхностей).

**Решение:**

1. Определяем массу осевшей пыли осевшей  $m_{\text{пыли осевш.}}$ .  
В отсутствие экспериментальных данных принимаем

$$K_{\text{г.п.}} = 0,9; \alpha = 0.$$

$$m_{\text{пыли осевш.}} = \left( 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{180 \cdot 3}{0,8} + 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{20 \cdot 21}{0,8} \right) \cdot 8 \cdot 3600 \cdot 0,9 = 50,3$$

кг.

2. Определим массу взвихрившейся пыли  $m_{\text{взвихр.}}$ .

В отсутствие экспериментальных данных принимаем

$$K_{\text{взвеш}} = 0,9.$$

$$m_{\text{взвихр.}} = 50,3 \cdot 0,9 = 45,3 \text{ кг.}$$

3. Определим массу пыли, постукившей из технологического блока.

Дисперсность пыли составляет больше 350 мкм, следовательно

$$K_{\text{пыления}} = 0,5.$$

$$m_{\text{бл}} = (22 + 0,07 \cdot 300) \cdot 0,5 = 21,5 \text{ кг.}$$

4. Определяем общую массу взвешенной в объеме помещения пыли  $m_{\text{взвеш.}}$ .

$$m_{\text{взвеш.}} = 45,3 + 21,5 = 66,8 \text{ кг.}$$

5. Определяем избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для пылей по формуле:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_B \cdot C_P \cdot T_H} \cdot \frac{1}{K_H}, \text{ кПа}$$

Для расчета нам известны следующие величины:

$$m = m_{\text{взвеш.}} = 66,8 \text{ кг;}$$

$$H_T = 10439 \text{ кДж/кг;}$$

$$P_0 \text{ принимаем равным } 101 \text{ кПа;}$$

$$Z = 0,5 \text{ (по таблице 2 приложения для пылей);}$$

$$\text{Теплоемкость воздуха } C_P \text{ принимаем равной } 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К} =$$

$$= 1,01 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К.}$$

$$T_H = 293 \text{ К;}$$

Коэффициент, учитывающий негерметичность и неадиабатичность процесса горения  $K_H$  принимаем равным  $K_H = 3$ .

Остальные величины  $V_{св}$  и  $\rho_B$  необходимо рассчитать.

6. Определяем свободный объем помещения  $V_{св}$ .

$$V_{св} = V_{помещ} \cdot 0,8 = 14 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 0,8 = 806,4 \text{ м}^3.$$

7. Определяем плотность воздуха при данных условиях  $\rho_{возд}$ .

$$V_M = \frac{101 \cdot 22,4 \cdot 293}{273 \cdot 101} = 24 \text{ м}^3 / \text{кмоль}. \text{ Тогда}$$

$$\rho_B = 29 / 24 = 1,21 \text{ кг/м}^3.$$

(Этот же расчет можно провести по формуле

$$\rho_B = \frac{29}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,21 \text{ кг/м}^3.)$$

8. Определяем избыточное давление взрыва пыли торфа в данном помещении, используя величины, полученные в п.п. 5 - 7.

$$\Delta P = \frac{66,8 \cdot 10439 \cdot 10^3 \cdot 101 \cdot 0,5}{806,4 \cdot 1,21 \cdot 1,01 \cdot 10^3 \cdot 293} \cdot \frac{1}{3} = 40 \text{ кПа}.$$

Вывод: В соответствии с НПБ 105-95 данное помещение относится к категории "Б - пожаровзрывоопасная", т.к. при воспламенении горючей пыли торфа расчетное избыточное давление превышает 5 кПа.

#### Задача № 9.

#### Определение категорий помещений В1 - В4

Помещения категории В1 - В4 относятся в соответствии с НПБ 105-95 к "пожароопасным".

Алгоритм расчета.

1. Определение пожароопасной категории помещения (п.3.19. НПБ 105-95)

Определение пожароопасной категории помещения осуществляется путем сравнения *максимального значения удельной временной пожарной нагрузки* на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в таблице 5.

Удельную временную пожарную нагрузку (далее удельную пожарную нагрузку) определяем из следующего соотношения:

$$g = Q / S_{пн}, \text{ МДж/м}^2, \text{ где}$$

$g$  - удельная временная пожарная нагрузка, МДж/м<sup>2</sup>;

$Q$  - пожарная нагрузка, МДж;

$S_{пн}$  - площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup>. При расчете площадь размещения пожарной нагрузки не может приниматься менее 10 м<sup>2</sup>.

Таблица 5.

Категории	Удельная пожарная нагрузка $g$ на участке МДж/м <sup>2</sup>	Способ размещения
B1	более 2200	не нормируется
B2	1401 - 2200	не нормируется (для подтверждения категории необходим дополнительный расчет в соответствии с п. 1.3)
B3	181 - 1400	не нормируется (для подтверждения категории необходим дополнительный расчет в соответствии с п. 1.3)
B4	1 - 180	на любом участке пола помещения площадью 10 м <sup>2</sup> . Способ размещения определяется в соответствии с п. 2.0

### 1.1. Определение величины пожарной нагрузки.

Пожарная нагрузка  $Q$  определяется из соотношения (п. 3.20. НПБ 105-95)

$$Q = G \cdot Q_n, \text{ МДж, где}$$

$G$  - количество материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_n$  - низшая теплота сгорания материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Значения низшей теплоты сгорания материалов пожарной нагрузки приведены в справочниках, а также могут быть рассчитаны по формуле Д.И. Менделеева

$$Q_H = 339,4 [C] + 1257 [H] - 108,9 \{ ([O] + [N]) - [S] \} - 25,1 (9 [H] + [W]), \text{ кДж/кг, где}$$

[C], [H], [O], [N], [S], [W] - содержание (в процентах) углерода, водорода, кислорода, азота, серы и влаги в горючем веществе.

Если пожарная нагрузка включает в себя различные сочетания (смесь) горючих, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, то пожарная нагрузка определяется по формуле:

$$Q = G_1 \cdot Q_{H1} + G_2 \cdot Q_{H2} + G_3 \cdot Q_{H3} + \dots + G_n \cdot Q_{Hn}, \text{ МДж, где}$$

$G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$  - количество 1-го, 2-го, 3-го, ... n-го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_{H1}, Q_{H2}, Q_{H3}, \dots, Q_{Hn}$  - низшая теплота сгорания 1-го, 2-го, 3-го, ... n-го материалов пожарной нагрузки, МДж/кг.

1.2. Расчет удельной пожарной нагрузки и определение категории помещения.

Удельную пожарную нагрузку на каждом из участков размещения пожарной нагрузки определяем из соотношения

$$g = Q / S_{п.н.}, \text{ МДж/м}^2.$$

Далее по таблице 5 определяем категорию помещения, ориентируясь на величину максимального значения  $g$ , рассчитанной для любого из участков.

1.3. Проверка принадлежности помещений к категориям В2 и В3.

Если расчет удельной пожарной нагрузки  $g$  показал, что помещение относится к категории В2 или В3, то необходим следующий дополнительный расчет для подтверждения принадлежности к этим категориям или перевода в более высокую, соответственно В1 или В2 категории.

Величину пожарной нагрузки  $Q$  ( МДж), определенную по пункту 1.1, сравнивают с величиной

$$0,64 gH^2 \text{ (МДж),}$$

где  $g$  - удельная пожарная нагрузка, МДж/м<sup>2</sup>, определенная по п.1.2.;

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

Если при определении категорий В2 и В3 расчет покажет, что

$$Q \geq 0,64 gH^2,$$

то помещения будут относиться к более высоким категориям, В1 и В2 соответственно.

При  $Q < 0,64 gH^2$  помещения будут относиться к рассчитанным по п.1.3. категориям В2 и В3.

2. Определение предельных расстояний между пожароопасными участками.

В помещениях В1 - В4 допускается наличие нескольких участков с пожарной нагрузкой, не превышающей значений, приведенных в таблице 5.

Для помещений категории В4 необходимо рассчитывать расстояние между пожароопасными участками, которые должны быть более предельных  $l_{пр}$ .

2.1. Предельные расстояния  $l_{пр}$  определяются в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$  (кВт/м<sup>2</sup>).

Чем меньше значение  $q_{кр}$ , тем опаснее материал.

Таблица 6.

Рекомендуемые значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$

$q_{кр},$ кВт/м <sup>2</sup>	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{пр},$ м	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

2.1.1. Пожарная нагрузка состоит из твердых горючих и трудногорючих материалов.

При  $H \geq 11$  м предельное расстояние  $l_{пр}$  определяют в соответствии с таблицей 6 или таблицей 3 приложения.

При  $H < 11$  м предельное расстояние  $l_{пр}^*$  определяют как

$$l_{пр}^* = l_{пр} + (11 - H), \text{ м, где}$$

$l_{пр}$  - предельное расстояние, м, определенное по таблице 6;

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

Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки приведены в таблице 4 приложения.

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

2.1.3. Если значение  $q_{кр}$  для материала неизвестно, то принимается

$$l_{пр} \geq 12 \text{ м.}$$

2.2. Пожарная нагрузка состоит из ЛВЖ и ГЖ.

В этом случае рекомендуемое расстояние между соседними участками размещения (разлива) пожарной нагрузки определяется следующим образом:

При  $H \geq 11$  м принимают  $l_{пр} \geq 15$  м.

При  $H < 11$  м принимают  $l_{пр} > (26 - H)$  м.

**Задача № 10.****Определение категории помещения склада пиломатериалов**

Определять категорию помещения склада хранения пиломатериалов.

Склад располагается в помещении площадью  $574 \text{ м}^2$  и высотой  $10 \text{ м}$ . На складе хранятся пиломатериалы на трех аналогичных участках размером  $12 \times 4,5 \text{ м}$ . При этом пожарная нагрузка из древесины составляет  $5 \text{ тонны}$  на каждом участке и складировается на высоту  $3 \text{ м}$ .

**Решение.**

1. Определяем величину пожарной нагрузки на каждом из участков  $Q$ .

Низшая теплота сгорания древесины  $Q_H = 14400 \text{ кДж/кг}$ .

$$Q = 14400 \cdot 5000 = 72000000 \text{ кДж} = 72000 \text{ МДж}$$

2. Определяем максимальное значение удельной временной пожарной нагрузки на каждом из участков.

$$g = 72000 / 12 \cdot 4,5 = 1333,3 \text{ МДж/м}^2$$

По таблице 5 определяем, что помещение склада относится к категории В3.

3. Проверим принадлежность данного помещения к категории В3. Для этого сравним величину пожарной нагрузки  $Q$  с

$$0,64 gH^2 = 0,64 \cdot 1333,3 \cdot 49 = 41812,3$$

$72000 > 41812,3$ , следовательно, помещение склада следует отнести к более высокой категории В2.

**Задача № 11.**

**Определение предельно допустимых расстояний между участками в помещении категории В4**

Определить категорию помещения склада, имеющего два участка для размещения материалов. Склад располагается в помещении размером  $35 \times 15 \times 8 \text{ м}$ . На первом участке на площади  $5 \text{ м}^2$  хранится оборудование в сгораемой деревянной и бумажной упаковке. Масса древесины на этом участке  $100 \text{ кг}$ , а бумаги -  $20 \text{ кг}$ . На втором участке площадью  $8 \text{ м}^2$  хранится  $120 \text{ кг}$  хлопчатобумажной одежды. Максимальная высота складирования  $1 \text{ м}$ .

**Решение.**

1. Определим пожарную нагрузку на каждом из участков. Низшая теплота сгорания составляет для древесины 14400 кДж/кг, для бумаги 13500 кДж/кг, для хлопчатобумажной ткани 13408 кДж/кг.

$$Q_1 = 14400 \cdot 100 + 13500 \cdot 20 = 1708 \text{ МДж}$$

$$Q_2 = 13408 \cdot 120 = 1609 \text{ МДж}$$

2. Определяем удельную пожарную нагрузку на каждом из участков.

Обратите внимание, что площадь размещения пожарной нагрузки на обоих участках принимается равной  $10 \text{ м}^2$  (п. 3.20. НПБ 105-95).

$$g_1 = 1708/10 = 170,8 \text{ МДж/м}^2$$

$$g_2 = 1609/10 = 160,9 \text{ МДж/м}^2$$

По таблице 5 определяем, что оба участка относятся к категории В4.

3. Для помещений категории В4 необходимо определить предельно допустимые расстояния между участками.

Для нашей задачи  $H = 8 - 1 = 7 \text{ м}$ .

В этом случае предельные расстояния вычисляются по формуле

$$l_{пр}^* = l_{пр} + (11 - H), \text{ м.}$$

Для определения величины  $l_{пр}$  по таблице 4 приложения находим значения критической плотности падающих лучистых потоков для материалов, находящихся на складе. Минимальное значение  $q_{кр}$  будет для хлопчатобумажной ткани

$$q_{кр} = 7,5 \text{ кВт/м}^2.$$

По таблице 6 или таблице 3 приложения находим, что для такого значения  $q_{кр}$  предельное расстояние  $l_{пр} = 10 \text{ м}$ .

$$\text{Тогда } l_{пр}^* = 10 + (11 - 7) = 14 \text{ м}$$

Таким образом, расстояние между участками должно быть не менее 14 метров.

**Задача № 12.**

**Определение категории помещения окрасочного цеха.  
Расчет размеров зон взрывоопасных концентраций.**

При согласовании в ГПН УГПС Санкт-Петербурга про-екта за-вода металлоизделий в поселке Вырица Ленинградской области у инспектора появилось сомнение в правильности определения катего-рии окрасочного помещения. Сомнения были вызваны тем, что в по-яснительной записке значения расчетного избыточного давления взрыва были меньше, но очень близки к значению 5 кПа, которое, как известно, разделяет взрывоопасные и пожароопасные помещения. Кроме того, выбор аварийной ситуации при расчете вызвал вопросы.

В данном случае требовалась и была проведена экспертиза на соответствие противопожарным требованиям данной части проекта.

Приведем основные расчеты и обоснования выбора аварийной ситуации. Пример интересен тем, что в нем проведен расчет избы-точного давления взрыва паров растворителя, представляющего со-бой смесь различных легковоспламеняющихся жидкостей. Расчет выполнен двумя способами.

### *1. Обоснование выбора варианта аварийной ситуации*

Окрасочный цех представляет собой производственное здание из железобетонных конструкций размером 18 × 12 × 7 м.

Окраска металлических изделий осуществляется вручную способом пульверизации из двух окрасочных установок УБРХ-1М.

Секции окрашиваемых металлоконструкций устанавливаются на спе-циальные опоры, расположенные вдоль помещения на всю длину. Над линией окрашивания расположена вытяжная вентиляция, обеспе-чивающая необходимую кратность воздухообмена.

Производительность окрашивания составляет 100 м<sup>2</sup> в час. Краска доставляется в цех в металлической бочке объемом 200 литров. Сушка окрашенных поверхностей осуществляется в есте-ственных условиях цеха при температуре 20<sup>0</sup> С. По окончании смены готовая продукция из цеха вывозится на склад.

Установка УБРХ-1М передвижная, компактная (габариты 100 × 48 × 50 см) и обслуживается одним человеком. Одновременно экс-плуатируются две установки.

Основной частью самой установки является плунжерный гидронасос, подающий 10 кг/час краски к пистолету - распылителю под давлением 170-200 атмосфер по шлангу высокого давления. Потери краски при распылении составляют 7 % от общего расхода. Количество растворителя в бочке составляет 20 % от общего объема, а негорючего пигмента - 10 %.

Взрывоопасными будут все ситуации, связанные с распылением краски или образованием свободной поверхности испарения в результате разлива краски. В условиях анализируемого технологического процесса к таким ситуациям относятся:

- испарение растворителя с окрашенных поверхностей в режиме безаварийной работы двух установок;
- опрокидывание бочки с краской на одной из установок и испарение растворителя с поверхности разлива;
- разрыв шланга высокого давления на одной из установок, при этом жидкость распыляется в виде аэрозоля.

Согласно п. 3.9. НПБ 105-95 для расчетного варианта аварии масса паров жидкости  $m_{исп}$ , поступившей в помещение при наличии нескольких источников испарения, определяется из выражения

$m_{исп} = m_{исп\ отк\ пов} + m_{исп\ свеж\ окр\ пов} + m_{исп\ разл} + m_{распылен}$ , где  $m_{исп\ отк\ пов}$  - масса жидкости, испарившейся с открытых поверхностей емкостей, кг;

$m_{исп\ свеж\ окр\ пов}$  - масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг;

$m_{исп\ разл}$  - масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;

$m_{распылен}$  - масса поступившей жидкости из распыляющих устройств, кг.

Открытых емкостей в помещении окрасочной нет, поэтому  $m_{исп\ отк\ пов} = 0$ .

Определение массы жидкости, испарившейся со свежеокрашенных поверхностей, связано с определенными трудностями, т.к. НПБ 105-95 не дают четких указаний по определению величины площади свежеокрашенной поверхности на момент возникновения аварийной ситуации.

В нашем случае окрашивание механического оборудования осуществлялось красками ХС-010 и лака ХСЛ, которые высыхают за 1 час. Это означает, что к моменту аварии часть уже окрашенных поверхностей успеет высохнуть, и площадь свежеокрашенных будет гораздо меньше, чем принимаемая для расчета  $S_{свеж\ окр\ пов} = 100 \text{ м}^2$ .

Что касается разлива краски, то это возможно только при опрокидывании бочки, при этом из-за небольшого диаметра отверстия в днище и плохой текучести краски содержимое бочки будет выливаться не полностью. Процесс испарения разлитой краски будет зависеть от способности ее к высыханию и образованию на ее поверхности трудно проницаемой для растворителя пленки. По этой причине при разливе краски растворитель испарится не весь, что необходимо учитывать при расчете.

Разрыв шланга высокого давления также не приведет к серьезным последствиям, т.к. максимальная производительность гидронасоса равна всего 1,7 л/мин. Обслуживающему персоналу не потребуется много времени для выключения установки. Общий объем краски, выброшенной в помещение из шланга в худшем случае не будет превышать 2-3 литров. Другие трубопроводы, в том числе и стационарные, в помещении отсутствуют.

Исходя из приведенных соображений, за расчетный вариант выбрана ситуация, связанная с аварийной остановкой вентиляции. Длительность аварии принята по НПБ 105-95 равной 1 часу. Условия парообразования взяты наиболее жесткие:

- площадь испарения принята максимально возможной, равной часовой производительности окраски двух установок;
- с целью ужесточения аварийной ситуации за расчетную площадь выбрана вся поверхность испарения окрашенных изделий;
- скорость испарения намеренно завышена и принята равной скорости испарения чистого растворителя, причем растворитель испаряется полностью.

- кроме того, учтено также и количество краски, поступающей в помещение за счет частичного распыления из пистолетов-распылителей (7 % от общего расхода - исходные данные), причем эта часть с целью ужесточения принята за чистый растворитель, в то время как краска содержит всего 20 % растворителя.

## ***2. Расчет количественных параметров взрывопожарной опасности помещения***

Особенностью решения данного примера является то, что в качестве растворителей для краски используются растворители Р-5 и Р-40, представляющие собой смеси легковоспламеняющихся жидкостей. В таблице 7 представлены некоторые физико-химические свойства самих растворителей и составляющих их компонентов, необходимые для дальнейших расчетов.

Таблица 7.

Некоторые физико-химические свойства растворителей Р-5 и Р-40 и составляющих их компонентов

Наименование растворителя и его компонентов	Брутто формула	Молярная масса кг/кмоль	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Температура вспышки °С	Область воспл., %	
					НКПР	ВКПР
Растворители Р-5				-1	1,83	
Р-40				-7	1,54	
Составляющие компоненты						
Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58	0,791	-18	2,2	13,0
Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106	0,864	29	1,2	6,2
Бутилацетат	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116	0,881	29	2,2	14,7
Этилцеллозольв	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	90	0,931	40	1,8	15,7
Толуол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92	0,867	4	1,3	6,7

Состав растворителей Р-5 и Р-40 (в % массовых и)

Растворитель Р-5

Ацетон - 30 %  
Ксилол - 40 %  
Бутилацетат - 30 %

Растворитель Р-40

Ацетон - 20 %  
Этилцеллозольв - 30 %  
Толуол - 50 %

Для растворителей Р-5 и Р-40 известны только массовые доли (% состав) компонентов. Для того чтобы рассчитать массу испарившейся жидкости, которая будет участвовать в образовании взрывоопасной паровоздушной смеси и определять избыточное давление взрыва, необходимо знать

- брутто-формулу растворителей (число атомов С, Н, О);
- среднюю молекулярную массу паров растворителя;
- давление насыщенного пара смеси.

Расчет этих параметров проводится с использованием правила аддитивности, исходя из свойств и количественного состава компонентов.

### 2.1. Расчет числа мольных долей ( $N$ ) компонентов растворителей

Определение мольных долей компонентов необходимо для дальнейшего расчета средней молекулярной массы растворителя и давления насыщенного пара смеси.

Мольная доля компонента (например, 1-го) рассчитывается по формуле

$$N_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i} \cdot 100, \% \quad \text{где}$$

$N_1$  - мольная доля 1-го компонента в смеси;

$n_1$  - число молей 1-го компонента в смеси;

$n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i$  - суммарное число молей всех компонентов смеси.

В свою очередь число молей каждого компонента смеси рассчитывается следующим образом:

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1}, \text{ моль, где}$$

$m_1$  - масса 1-го компонента в смеси, кг;

$M_1$  - молярная масса 1-го компонента в смеси, кг/кмоль.

Аналогично определяем число молей всех других компонентов смеси.

Зная число молей, можно определить мольную долю каждого компонента. При этом следует отметить, что сумма мольных долей всех компонентов смеси равна 1

$$N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_i = 1$$

В качестве примера определим мольные доли компонентов растворителя Р-5.

Известен процентный состав растворителя Р-5 ( $w$  %):

ацетон - 30 %;

ксилол - 40 %;

бутилацетат - 30 %.

Это означает, что в 100 кг растворителя содержится 30 кг ацетона, 40 кг ксилола и 30 кг бутилацетата, следовательно, нам известны массы для расчета числа молей компонентов.

Молярные массы этих веществ приведены в таблице 7.

Обозначим:

Ацетон - компонент 1;

ксилол - компонент 2;

бутилацетат - компонент 3.

Тогда число молей компонентов

$$n_1 = 30/58 = 0,517 \text{ моль};$$

$$n_2 = 40/106 = 0,377 \text{ моль}; \quad n_1 + n_2 + n_3 = 0,517 + 0,377 + 0,259 =$$

$$n_3 = 30/116 = 0,259 \text{ моль}. \quad = 1,153 \text{ моль}$$

Рассчитаем мольные доли компонентов

$$N_1 = 0,517/1,153 = 0,45$$

$$N_2 = 0,377/1,153 = 0,33$$

$$N_3 = 1 - (N_1 + N_2) = 1 - (0,45 + 0,33) = 0,22$$

## 2.2. Расчет давления насыщенного пара многокомпонентной жидкости

Давление насыщенного пара многокомпонентной жидкости можно рассчитать по закону Рауля для многокомпонентных систем

$$P_{\text{смеси}} = P_1^0 \cdot N_1 + P_2^0 \cdot N_2 + P_3^0 \cdot N_3 + \dots + P_i^0 \cdot N_i, \text{ где}$$

$P_1^0, P_2^0, P_3^0, \dots, P_i^0$  - давление насыщенного пара при данных условиях для каждого компонента смеси, кПа;

$N_1, N_2, N_3, \dots, N_i$  - мольная доля каждого компонента смеси.

Значения давления насыщенного пара для каждого индивидуального компонента  $P^0$  определяются с помощью уравнения Антуана (необходимые для расчета константы приведены в справочнике [3]) или по номограмме.

Для нашего примера значения  $P^0$  для индивидуальных компонентов растворителя Р-5 при температуре 20° С (температуре воздуха в помещении) составляют:

$$P_1^0 = 24,90 \text{ кПа};$$

$$P_2^0 = 0,87 \text{ кПа};$$

$$P_3^0 = 3,30 \text{ кПа}$$

$$P_{\text{смеси}} = 24,90 \cdot 0,45 + 0,87 \cdot 0,33 + 3,30 \cdot 0,22 = 11,50 \text{ кПа}$$

#### 2.4 Расчет элементного состава многокомпонентной смеси и вывод ее брутто-формулы

4.1. Для вычисления элементного состава и брутто-формулы многокомпонентной смеси необходимо вначале определить элементный состав, т.е. процентное содержание каждого элемента (С, Н, О для нашего случая) для каждого компонента смеси.

Общая формула для расчета элементного состава индивидуального вещества (в % массовых):

$$\mathcal{E} = \frac{n_{\mathcal{E}} \cdot A_{\mathcal{E}}}{M}, \%, \text{ где}$$

$\mathcal{E}$  - процентный состав элемента в компоненте, %;

$n_{\mathcal{E}}$  - число атомов элемента в компоненте;

$A_{\mathcal{E}}$  - атомная масса элемента, кг/кмоль;

$M$  - молярная масса компонента, кг/кмоль.

Рассчитаем элементный состав одного из компонентов растворителя Р-5 - ацетона.

Ацетон -  $C_3H_6O$ , молярная масса 58 кг/кмоль.

Атомные массы: углерода - 12, водорода - 1, кислорода - 16 кг/кмоль.

Процентный состав углерода:

$$C = \frac{3 \cdot 12}{58} \cdot 100 = 62,1 \%$$

Процентный состав водорода:

$$H = \frac{6 \cdot 1}{58} \cdot 100 = 10,3 \%$$

Процентный состав кислорода:

$$O = 100 - (62,1 + 10,3) = 27,6 \%$$

Аналогично рассчитывается элементный состав для других компонентов смеси.

Для растворителя Р-5 эти данные сведены в таблице 8 (столбцы 3, 4 и 5).

Расчет элементного состава растворителя Р-5.

Наименование компонента	М	Элементный состав компонента, % масс.			Содержание элементов в смеси		
		С	Н	О	С <sub>см</sub>	Н <sub>см</sub>	О <sub>см</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Ацетон	58	62,1	10,3	27,6			
Ксилол	106	90,6	9,4	-			
Бутилацетат	116	62,1	10,3	27,6			
Средняя молекулярная масса	86,6						
Суммарное содержание элементов в смеси в расчете на молярную массу, кг/кмоль					63,7	8,6	14,3
Содержание элементов в смеси в расчете на 100 кг смеси (растворителя), %					73,5	9,94	16,5

4.2. Элементный состав многокомпонентной смеси рассчитывается следующим образом:

$$C_{\text{СМЕСИ}} = 10^2 (\mathcal{E}_1 \cdot w_1 + \mathcal{E}_2 \cdot w_2 + \mathcal{E}_3 \cdot w_3 + \dots + \mathcal{E}_i \cdot w_i) / 10^4, \text{ где}$$

$\mathcal{E}_{\text{СМЕСИ}}$  - процентный состав данного элемента в смеси, %;

$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \dots, \mathcal{E}_i$  - процентный состав данного элемента в каждом из компонентов смеси, %;

$w_1, w_2, w_3, \dots, w_i$  - массовая доля каждого компонента в смеси, %.

Вычислим процентный состав углерода в растворителе Р-5.

$$C_{\text{СМЕСИ}} = (62,1 \cdot 30 + 90,6 \cdot 40 + 62,1 \cdot 30) / 10^2 = 73,5 \%$$

Аналогично рассчитываются  $H_{\text{СМЕСИ}}$  и  $O_{\text{СМЕСИ}}$ .

Данные расчета элементного состава для растворителя Р-5 приведены в таблице 8 (6, 7 и 8 столбцы, последняя строка). Данные величины характеризуют процентное содержание углерода, водорода и кислорода в 100 кг растворителя.

4.3. Вывод брутто-формулы растворителя.

Для вывода брутто-формулы (т.е. соотношения элементов в соединении) необходимо знать содержание углерода, водорода и кислорода в 1 кмолье растворителя, соответствующем 1 средней молярной массе смеси. Рассчитать эти величины можно следующим образом:

для углерода В 100 кг растворителя - 73,5 кг С,  
в 86,6 кг (1 кмоль) - x кг

$$x = C_{\text{СМЕСИ}}^* = 86,6 \cdot 73,5 / 100 = 63,7 \text{ кг/кмоль}$$

Аналогично для водорода и кислорода

$$H_{\text{СМЕСИ}}^* = 86,6 \cdot 9,94 / 100 = 8,6 \text{ кг/кмоль}$$

$$O_{\text{СМЕСИ}}^* = 86,6 \cdot 16,5 / 100 = 14,3 \text{ кг/кмоль}$$

Зная эти величины, можно рассчитать брутто-формулу растворителя

$$C : H : O = \frac{C_{\text{СМЕСИ}}^*}{A_C} : \frac{H_{\text{СМЕСИ}}^*}{A_H} : \frac{O_{\text{СМЕСИ}}^*}{A_O}, \text{ где}$$

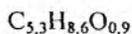
$C_{\text{СМЕСИ}}^*$ ,  $H_{\text{СМЕСИ}}^*$ ,  $O_{\text{СМЕСИ}}^*$  - содержание элементов в смеси в расчете на 1 кмоль растворителя;

$A_C$ ,  $A_H$ ,  $A_O$  - атомные массы элементов, кг/кмоль.

Для растворителя Р-5 брутто-формула выводится следующим образом:

$$C : H : O = 63,7/12 : 8,6/1 : 14,3/16 = \\ = 5,3 : 8,6 : 0,9$$

Таким образом брутто-формула растворителя Р-5:



Результаты аналогичных расчетов для растворителя Р-40 приведены в таблице 9.

Таблица 9.

Некоторые физико-химические характеристики растворителей Р-5 и Р-40

Наименование растворителя	Брутто-формула	Средняя молярная масса, кг/кмоль	Давление насыщенного пара при 20 <sup>0</sup> С, кПа
Р-5	C <sub>5,3</sub> H <sub>8,6</sub> O <sub>0,9</sub>	86,6	11,5
Р-40	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>0,8</sub>	81,9	9,1

Знание брутто-формулы растворителей (или любых других веществ), средней молярной массы и давления насыщенного пара позволяет рассчитывать категорию помещения согласно НПБ 105-95 двумя способами, что повышает надежность и достоверность результатов.

Анализ полученных данных показывает, что растворитель Р-5 имеет более высокое давление насыщенного пара, и, следовательно, более высокую скорость испарения. По этой причине все расчеты будем выполнять именно для этого растворителя.

### 2.5. Расчет категории помещения окраски по пожаровзрывоопасности (по формуле для индивидуальных веществ)

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для индивидуальных горючих веществ (газов и паров ЛВЖ и ГЖ), состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле  
(п. 3.5. НПБ 105-95)

$$\Delta P = (P_{MAX} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{СВ} \cdot \rho_{Г}} \cdot \frac{100}{C_{СТЕХ}} \cdot \frac{1}{K_H}, \text{ кПа, где}$$

Для расчета нам известны следующие величины:

$$P_{MAX} = 900 \text{ кПа};$$

$$P_0 = 101 \text{ кПа};$$

$Z = 0,3$  (по таблице 2 приложения; мы имеем дело со смесью ЛВЖ, способной образовывать аэрозоль);

$$K_H = 3.$$

Остальные величины  $m, V_{СВ}, \rho_{Г}, C_{СТЕХ}$  необходимо рассчитать.

Определим свободный объем помещения  $V_{СВ}$ .

$$V_{СВ} = 18 \cdot 12 \cdot 7 \cdot 0,8 = 1210 \text{ м}^3.$$

Определим плотность паров растворителя в помещении  $\rho_{Г}$ .  
Температура воздуха в помещении  $t_{РАС} = 20^{\circ}\text{C}$ .  
Поскольку атмосферное давление в помещении принимаем равным нормальному атмосферному давлению  $P_0$ , плотность паров можно рассчитать по формуле

$$\rho_{\Gamma} = \frac{86,6}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 3,61 \text{ кг/м}^3.$$

Определим стехиометрическую концентрацию паров толуола  $C_{\text{СТЕХ}}$ .

$$C_{\text{СТЕХ}} = \frac{100}{1 + 4,76 \cdot \beta}, \%$$

Коэффициент  $\beta$  можно рассчитать по формуле:

$$\beta = 5,3 + 8,6/4 - 0,9/2 = 7$$

Тогда  $C_{\text{СТЕХ}} = 100 / (1 + 4,76 \cdot 7) = 2,9 \%$ .

Определим массу  $m$ . В нашем случае это будет  $m_{\text{ИСП}}$  - масса испарившейся жидкости, принимающей участие во взрыве паровоздушной смеси.

$$m_{\text{ИСП}} = m_{\text{ИСП СВЕЖ ОКР ПОВ}} + m_{\text{РАСПЫЛЕН}}, \text{ где}$$

$m_{\text{ИСП СВЕЖ ОКР ПОВ}}$  - масса растворителя, испарившаяся со свежеокрашенной поверхности, кг;

$m_{\text{РАСПЫЛЕН}}$  - масса растворителя, распыленного в воздухе помещения в виде аэрозоля, кг.

Масса растворителя, испарившаяся со свежеокрашенной поверхности рассчитывается по формуле (п. 3.9. НПБ 105-95)

$$m_{\text{ИСП СВЕЖ ОКР ПОВ}} = W_{\text{ИСП}} \tau_{\text{РАСЧ}} \cdot S_{\text{СВЕЖ ОКР ПОВ}}$$

$\tau_{\text{РАСЧ}}$  принимаем равным 3600 с;

$$S_{\text{СВЕЖ ОКР ПОВ}} = 100 \text{ м}^2.$$

Определяем интенсивность испарения  $W_{\text{ИСП}}$  расчетным путем по следующим образом:

$$W_{\text{ИСП}} = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_S, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \text{ где}$$

$M_{\text{СМЕШИ}} = 86,6 \text{ кг/кмоль};$

$P_S = 11,5 \text{ кПа};$

$\eta = 1$  (вентиляция отсутствует).

$$W_{исп} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{86,6} \cdot 11,5 = 1,07 \cdot 10^{-4}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

Отсюда

$$m_{исп свеж окр пов} = 1,07 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 3600 = 38,52 \text{ кг}$$

Это значительно больше часового расхода краски ( на двух работающих установках это 20 кг), следовательно, растворитель со свежеекрасшенных поверхностей будет испаряться полностью. Учитывая, что массовая доля растворителя в краске составляет 0,2 (20 %), масса испарившейся с окрашенных поверхностей жидкости составит

$$m_{исп свеж окр пов} = 20 \cdot 0,2 = 4 \text{ кг}.$$

По условию задачи потери краски при распылении составляют 7 % (0,07 массовых долей) расхода, следовательно,

$$m_{распылен} = 20 \cdot 0,07 = 1,4 \text{ кг}$$

Тогда общая масса испарившегося растворителя

$$m_{исп} = 4 + 1,4 = 5,4 \text{ кг}$$

Определяем избыточное давление взрыва паров растворителя, используя все полученные величины.

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{5,4 \cdot 0,3}{1210 \cdot 3,61} \cdot \frac{100}{2,9} \cdot \frac{1}{3} = 3,41 \text{ кПа.}$$

Значение избыточного давления взрыва меньше 5 кПа, следовательно, помещение относится к пожароопасным категориям "В1 -В4".

### 2.6. Расчет категории помещения окраски по пожаровзрывоопасности ( по формуле для смесей)

Расчет  $\Delta P$  для смесей производится по формуле  
(п. 3.6. НПБ 105-95)

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_O \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_B \cdot C_P \cdot T_H} \cdot \frac{1}{K_H}, \text{ кПа, где}$$

Для расчета нам известны следующие величины:

$$m = m_{исп} = 5,4 \text{ кг};$$

$P_0$  принимаем равным 101 кПа;

$Z = 0,3$  (по таблице 2 приложения для ЛВЖ, способных образовывать аэрозоли);

Теплоемкость воздуха  $C_p$  принимаем равной  $1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К} = 1,01 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ .

$$T_H = 293 \text{ К};$$

$$V_{св} = 1210 \text{ м}^3;$$

$$K_H = 3.$$

Остальные величины  $H_T$  и  $\rho_B$  необходимо рассчитать.

Расчет теплоты сгорания паров растворителя проводим по формуле Д.И.Менделеева (см. Задачу № 9 настоящего пособия). Для нашего примера формула выглядит следующим образом:

$$Q_H = 339,4 [C] + 1257 [H] - 108,9 [O] - 25,1 \cdot 9 [H], \text{ кДж/кг},$$

где

[C], [H], [O] - содержание (в процентах) углерода, водорода, кислорода в исходной смеси в расчете на 100 кг растворителя Р-5.

$$Q_H = 339,4 \cdot 73,5 + 1257 \cdot 9,94 - 108,9 \cdot 16,5 - 25,1 \cdot 9 \cdot 9,94 = 33998 \text{ кДж/кг}$$

Определяем плотность воздуха при данных условиях  $\rho_B$ .

$$V_M = \frac{101 \cdot 22,4}{273} \cdot \frac{293}{101} = 24 \text{ м}^3/\text{кмоль}. \text{ Тогда}$$

$$\rho_B = 29 / 24 = 1,21 \text{ кг/м}^3.$$

(Этот же расчет можно провести по формуле :

$$\rho_B = \frac{29}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,21 \text{ кг/м}^3.)$$

Определяем избыточное давление взрыва паров растворителя в данном помещении, используя полученные величины.

$$\Delta P = \frac{5,4 \cdot 33998 \cdot 10^3 \cdot 101 \cdot 0,3}{1210 \cdot 1,21 \cdot 1,01 \cdot 10^3 \cdot 293} \cdot \frac{1}{3} = 4,27 \text{ кПа.}$$

Таким образом, расчеты показывают, что избыточное давление взрыва в помещении окрасочного цеха, вычисленное двумя способами, меньше 5 кПа. Согласно НПБ 105-95 данное помещение относится к пожароопасной категории В1-В4.

### 2.7. Определение пожароопасной категории помещения

Согласно НПБ 105-95 (п.п. 3.19 и 3.20.) определение пожароопасной категории помещения осуществляется путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки.

В цехе окраски основная пожарная нагрузка приходится на лакокрасочный материал, нанесенный на поверхность металлических изделий. Общая поверхность окрашенного материала составляет 100 м<sup>2</sup>, а количество краски на этой поверхности, исходя из производительности краскоагрегатов.

Необходимо отметить, что нанесенный на поверхность металла слой краски толщиной 0,03 мм, представляет собой слой горючего материала с незначительной интенсивностью горения. Энергетические особенности горения тонких слоев краски на поверхности металла при расчете учитывать не будут, что определяет более жесткие условия расчета.

Предполагаемый сценарий развития пожара в цехе окраски не исключает попадания бочки с краской в зону горения. Принимая во внимание недостаточную прочность бочки в условиях теплового воздействия, горение краски в ней будет учитываться с площади разлива краски, а не только с по "зеркалу" жидкости. Площадь разлива 200 л краски, содержащей 20 % растворителя в соответствии с п. 3.2. г) НПБ 105-95 составляет 100 м<sup>2</sup>.

Общее количество пожарной нагрузки в цехе будет определяться исключительно количеством ЛВЖ в 200-литровой бочке.

#### 1. Определим величину пожарной нагрузки в цехе.

Для определения величины пожарной нагрузки  $Q$  необходимо знать массу краски и низшую теплоту сгорания ее основных горючих компонентов.

1.1. Масса краски определяется по формуле

$$m = \rho \cdot V, \text{ кг, где}$$

$\rho$  - плотность краски, кг/м<sup>3</sup> или кг/л;

$V$  - объем краски, м<sup>3</sup> или л.

В нашем случае  $\rho = 1,2 \text{ кг/л}; V = 200 \text{ л.}$

$$m = 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ кг}$$

Из этого количества краски 10 % - негорючий компонент (24 кг), а растворитель - 20 % (48 кг). Тогда масса горючей полимерной основы краски составит

$$240 - 24 - 48 = 168 \text{ кг}$$

Поскольку растворитель и полимерная основа краски имеют различные теплоты сгорания, суммарную пожарную нагрузку вычислим как сумму двух компонентов.

Низшая теплота сгорания ксилола (как наиболее опасного по теплоте сгорания растворителя) составляет 42592 кДж/кг, а полимерной основы краски (пентафталевый полимер) - 39500 кДж/кг.

$$Q = G_1 \cdot Q_{H1} + G_2 \cdot Q_{H2} = 48 \cdot 42592 + 168 \cdot 39500 = 9780 \text{ МДж}$$

2. Вычислим удельную пожарную нагрузку на участке.

В качестве площади размещения пожарной нагрузки примем всю площадь помещения, т.к. секции окрашиваемых изделий размещены вдоль помещения на всю длину.

$$g = Q / S_{п.н} = 9780 / 18 \cdot 12 = 45 \text{ МДж/м}^2.$$

В соответствии с таблицей 5 помещение окраски относится к пожароопасной категории В4. Однако в помещениях категории В4 оговорен способ размещения пожарной нагрузки, а именно "на любом участке пола площадью 10 м<sup>2</sup>". В нашем случае это условие не выполняется, следовательно, помещение будет отнесено к более высокой категории В3.

## 2.8. Определение размера взрывоопасной зоны

Согласно приложения НПБ 105-95 для пожароопасных помещений в форме прямоугольного параллелепипеда с отношением длины к ширине не более 5 должно быть проверено условие

$$\frac{100m}{\rho_{г.п} \cdot V_{св}} < 0,5C_{НКПР}, \text{ где}$$

$C_{НКПР}$  - нижний концентрационный предел распространения пламени газа или пара, %.

Для нашего случая

$$\frac{100 \cdot 5,4}{3,61 \cdot 1210} < \frac{1,83}{2} \quad 0,12 < 0,92$$

оно выполняется, поэтому необходимо определить *размеры взрывоопасной зоны*.

Так как секции окрашиваемых металлоконструкций устанавливаются на специальные опоры вдоль всего помещения и на всю высоту, то длина и высота взрывоопасной зоны ( направления  $x$  и  $z$ ) будут равны длине и высоте помещения.

Ширину взрывоопасной зоны ( направление  $y$ ) необходимо рассчитать. Формула для расчета

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

В нашем примере

$K_1 = 1,958$  (для ЛВЖ);

$S$  - ширина помещения, м;

$K_2 = \tau_{исп}/3600$ , где  $\tau_{исп}$  - время испарения для растворителя Р-5.

$$\tau_{исп} = \frac{m_{исп}}{W_{исп} \cdot S_{исп}} = \frac{5,4}{1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 100} = 505 \text{ с}$$

$\delta = 1,25$  - допустимое отклонение концентраций при уровне значимости  $Q = 0,05$  (согласно приложению НПБ 105-95).

$C_0$  - предэкспоненциальный множитель, % объемных. Для паров легковоспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_H \cdot V_{CB}} \right)^{0,41} = \frac{100 \cdot P_H}{P_0} \cdot \left( \frac{m \cdot 100 \cdot P_0}{100 \cdot P_H \cdot \rho_H \cdot V_{CB}} \right)^{0,41} =$$

$$= \frac{100 \cdot 11,5}{101} \cdot \left( \frac{5,4 \cdot 101}{11,5 \cdot 3,61 \cdot 1210} \right)^{0,41} = 1,772 \%$$

$C_{НКПР} = 1,83 \%$  - низший концентрационный предел распространения пламени для растворителя Р-5.

Ширина ( в одну сторону) взрывоопасной зоны (направление у) составит

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

$$1,958 \cdot 12 \cdot \left( \frac{505}{3600} \ln \frac{1,25 \cdot 1,772}{1,83} \right)^{0,5} = 2,4 \text{ м}$$

2,4 м - расстояние по оси у в одну сторону от окрашиваемых металлоконструкций, следовательно, ширина взрывоопасной зоны составляет 4,8 м.

Таким образом, взрывоопасная зона представляет собой параллелепипед длиной 18 м, шириной 4,8 м и высотой 7 м.

#### Выводы.

Помещение окрасочного цеха относится к пожароопасной категории В3. При выборе электрооборудования для данного помещения необходимо учитывать взрывоопасную зону. Помещение должно быть оборудовано АУПТ (см. приложение 6).

Категория помещения окраски может измениться на пожаровзрывоопасную категорию А при превышении расчетных расходов пожаровзрывоопасных лакокрасочных материалов, при увеличении производительности, изменении технологии окрашивания, при использовании составов, не предусмотренных регламентом, и осуществлении не предусмотренных настоящим расчетом пожаровзрывоопасных технологических операций.

### Задача № 13.

Определение максимально допустимой массы аккумулярированных паров в помещении, при взрыве которой избыточное давление не превысит заданное значение

Расчет максимально допустимой массы паров жидкости, аккумулярированных в помещении, необходим для разработки технических решений, позволяющих снизить уровень пожаро-взрывоопасности производственного помещения. Наибольший эффект снижения опасности можно получить для аварийной ситуации, связанной с разливом жидкостей, путем применения аварийной вентиляции, а также ограничением площади разлива.

При определении максимально допустимой массы паров жидкости ( $m_{МД}$ ) в помещении используют формулы для расчета избыточного давления взрыва (п.п. 3.5 и 3.6 НИБ 105-95).

Для индивидуальных горючих газов и паров ЛВЖ и ГЖ

$$m_{МД}^* = \frac{\Delta P_{МД} \cdot V_{СВ} \cdot \rho_{Г} \cdot C_{СТЕХ} \cdot K_{И}}{(P_{МАХ} - P_0) \cdot Z \cdot 100}, \text{ где}$$

$m_{МД}^*$  - максимально допустимая масса аккумулярированных паров жидкости в помещении, кг;

$P_{МАХ}$  - максимальное давление взрыва стехиометрической газозоудушной и парозоудушной смеси в замкнутом объеме. Определяется экспериментально или по справочным данным. При отсутствии данных допускается принимать

$$P_{МАХ} = 900 \text{ кПа.}$$

$P_0$  - начальное давление, кПа. Допускается принимать равным 101 кПа.

$Z$  - коэффициент участия горючего во взрыве. Допускается принимать значение  $Z$  по таблице ....

$V_{СВ}$  - свободный объем помещения, м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать равным 80 % геометрического объема помещения.

$$V_{СВ} = 0,8 V_{ПОМЕЩ.}$$

$\rho_{Г}$  - плотность газа или пара при расчетной температуре  $t_{РАС}$ , кг/м<sup>3</sup>, где

$$\rho_{\Gamma} = \frac{M_{\Gamma}}{V_M}, \text{ кг/м}^3, \text{ а } V_M = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} \cdot \frac{T_{\text{РАС}}}{P_{\text{ПОМ}}}, \text{ м}^3/\text{кмоль}.$$

Если принять, что давление в помещении равно нормальному атмосферному давлению (101,3 кПа) то плотность газа или пара можно рассчитать по следующей формуле:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,0037 \cdot t_{\text{РАС}})}, \text{ кг/м}^3, \text{ где}$$

$M$  - молярная масса газа или пара, кг/кмоль;

$V_0$  - молярный объем при нормальных условиях, равный 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль.

$t_{\text{РАС}}$  - 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  $t_{\text{РАС}}$  по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61 °С.

$C_{\text{СТЕХ}}$  - стехиометрическая концентрация горючих газов или паров ЛВЖ и ГЖ, % (объемных). Стехиометрическая концентрация вычисляется по формуле

$$C_{\text{СТЕХ}} = \frac{100}{1 + 4,76 \cdot \beta}, \text{ \%}, \text{ где}$$

$\beta$  - стехиометрический коэффициент кислорода в уравнении реакции горения. Коэффициент  $\beta$  также может быть рассчитан по следующей формуле:

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

$n_{\text{C}}$ ,  $n_{\text{H}}$ ,  $n_{\text{X}}$ ,  $n_{\text{O}}$  - число атомов С, Н, О, галогенов в молекуле горючего вещества.

$K_{\text{H}}$  - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_{\text{H}} = 3$ .

Для и смесей ЛВЖ и ГЖ расчет массы  $m_{МД}$  выполняется по формуле

$$m_{МД} = \frac{\Delta P_{МД} \cdot V_{СВ} \cdot \rho_{В} \cdot C_{P} \cdot T_{0} \cdot K_{Н}}{H_{T} \cdot Z \cdot P_{0}}, \text{ где}$$

$P_{0}$  - начальное давление, кПа. Допускается принимать равным 101 кПа.

$H_{T}$  - теплота сгорания веществ, Дж/кг. Эти данные приведены в справочниках. Для ряда веществ значение теплоты сгорания приведены в приложении 5 данного пособия.

$Z$  - коэффициент участия горючего во взрыве. Допускается принимать значение  $Z$  по таблице 2 приложения.

$V_{СВ}$  - свободный объем помещения, м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать равным 80 % геометрического объема помещения.  $V_{СВ} = 0,8 V_{Помещ}$ .

$\rho_{В}$  - плотность воздуха до взрыва при начальной температуре  $T_{Н}$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_{В} = \frac{M_{В}}{V_{М}} = \frac{29}{V_{М}}, \text{ кг/м}^3, \text{ а } V_{М} = \frac{P_{0} \cdot V_{0}}{T_{0}} \cdot \frac{T_{Н}}{P_{Пом}}, \text{ м}^3/\text{кмоль.}$$

$M_{В}$  - средняя молярная масса воздуха.

$M_{В} = 29$  кг/кмоль.

Если принять, что давление в помещении равно нормальному атмосферному давлению (101,3 кПа) то плотность воздуха можно рассчитать по следующей формуле:

$$\rho_{В} = \frac{29}{V_{0} \cdot (1 + 0,0037 \cdot t_{Н})}, \text{ кг/м}^3, \text{ где}$$

$V_{0}$  - молярный объем при нормальных условиях, равный 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль.

$C_{P}$  - теплоемкость воздуха, Дж/кг·К. Допускается принимать

$C_{P} = 1,01 \cdot 10^3$  Дж/кг·К.

$T_{Н}$  - начальная температура воздуха, К.

$K_{Н}$  - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_{Н} = 3$ .

#### 4. Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

Согласно классификации НПБ 105-95 (п.п. 4.1 - 4.5) производственные здания, также как и помещения, подразделяются на пять категорий.

1. Здание относится к категории А, если суммарная площадь помещений категории А превышает 5 % площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

2. Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены два условия:

а) здание не относится к категории А;

б) суммарная площадь помещений категории А и Б превышает 5 % суммарной площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категории А и Б в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

3. Здание относится к категории В, если одновременно выполнены два условия:

а) здание не относится к категориям А или Б;

б) суммарная площадь помещений категории А, Б и В превышает 5 % ( 10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категории А, Б и В в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

4. Здание относится к категории Г, если одновременно выполнены два условия:

а) здание не относится к категориям А, Б или В;

б) суммарная площадь помещений категории А, Б, В и Г превышает 5 % суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категории А, Б, В и Г в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м<sup>2</sup>), и помещения категорий А, Б и В оборудуются установками пожаротушения.

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

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1.

Таблица 1.

Скорость воздушного потока в помещении $\omega_{\text{возд}}$	Значение коэффициента $\eta$ при температуре $t$ °С воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

### Приложение 2.

Таблица 2.

Значение коэффициента  $Z$  для различных видов горючего.

Вид горючего	Значение
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода), пыли	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше.	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температу- ры вспышки, при наличии возмож- ности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температу- ры вспышки, при отсутствии возмож- ности образования аэрозоля	0

## Приложение 3.

Таблица 3.

Рекомендуемые значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков

$q_{кр}$

$q_{кр},$ кВт/м <sup>2</sup>	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{пр},$ м	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

## Приложение 5.

Таблица 5.

Нишная теплота сгорания некоторых сложных веществ

Вещество	$Q_H,$ кДж/кг	Вещество	$Q_H,$ кДж/кг
Антрацит	31425	Киноплёнка	
Бензин	46928	триацетатная	18779
Бумага	13408	целлюлоидная	16760
Бурый уголь	8380 - 25140	Кокс	29330 - 33520
Винипласт	18105	Крахмал	17510
Волокно		Мазут	38129 - 41900
вискозное	15512	Масло	
капроновое	31132	соляровое	43069
лавсан	22584	Нефть сырая	43576 - 46090
нитрон	30755	Пенополиуретан	24320
Древесина		Полипропилен	45671
свежая $W=50\%$	7150	Полистирол	38967
воздушносухая	14665	Полиэтилен	47138
Ископаемый		Резина	33520
уголь	25140 - 35615	Сланцы	5782 - 11564
Карболит	25978	Оргстекло	27737
Каучук		Топливо Т-1	42948
натуральный	42319	Топливо Т-2	43157
синтетический	37710	Торф сухой	27654
Капролактан	29749	Торф $W=10\%$	10439
Керосин	41481 - 46090	Целлюлоза	17300

## Приложение 4.

Таблица 4.

Критические плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$ 

Материалы	$q_{кр}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Материалы	$q_{кр}$ , кВт/м <sup>2</sup>
Древесина сосна W = 12 %	13,9	Упругий пено- полиуретан	16,0
Древесно-стру- жечные плиты плотн. 417 кг/м <sup>3</sup>	8,3	Пергамин	17,4
Торф брикетный	13,2	Резина	14,8
кусковой	9,8	Уголь	35,0
Хлопок	7,5	Рулонная кровля	17,4
Стеклопластик	15,3	Сено, сенокоса W = 8 %	7,0
Слоистый пластик	15,4		

## Приложение 6.

После проверки и определения в соответствии с НПБ 105-95 категории помещения или здания по взрывопожарной и пожарной опасности формулируются требования противопожарной защиты. Основные требования по защите автоматическими установками тушения и обнаружения пожара зданий, сооружений, помещений и оборудования изложены в Нормах государственной противопожарной службы МВД России

"Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками тушения и обнаружения пожара. НПБ 110-99".

В соответствии с этим документом (п. 1.) НПБ 110-99 устанавливают требования по защите автоматическими установками тушения (АУПТ) и обнаружения пожара (АУОП) зданий, сооружений, помещений и оборудования и являются обязательными для исполнения предприятиями, учреждениями и организациями независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности, а также гражданами.

Согласно п. 2. НПБ 110-99 под помещениями понимается часть здания или сооружения, выделенная ограждающими конструкциями, отнесенными к противопожарным преградам, с пределом огнестойкости не менее 0,75 часа.

Тип автоматической установки тушения пожара (спринклерная, дренчерная), способ тушения (по объему, по площади, локальный и др.), вид огнетушащих средств (вода, пена, аэрозоль, порошок, газ или др.), тип оборудования установок (приемной станции, извещателя и т.п.) определяется (п. 3. НПБ 110-99) в зависимости от технологических особенностей защищаемых зданий и помещений, с учетом принятой проектом схемой противопожарной защиты и требований действующих нормативно-технических документов.

В зданиях и сооружениях, указанных в разделе I приведенной ниже таблицы, следует защищать (п. 4. НПБ 110-99) соответствующими автоматическими установками все помещения независимо от площади, кроме помещений с мокрыми процессами (душевые, санузлы, помещения мойки и т.п.), венткамер, насосных водоснабжения, бойлерных и др. помещений для инженерного оборудования здания, в которых отсутствуют горючие материалы, а также помещений категории В4 и Д по пожарной опасности.

В соответствии с п. 5. НПБ 110-99 здания, сооружения и помещения, подлежащие оборудованию установками охранной и пожарной сигнализации, следует защищать охранно-пожарной сигнализацией.

Если площадь помещений, подлежащих оборудованию системами автоматического пожаротушения, составляет 40 % и более от общей площади этажей здания, сооружения следует предусматривать оборудование здания, сооружения в целом системами автоматического пожаротушения (п. 6. НПБ 110-99).

Согласно п. 7 НПБ 110-99 АУПТ и АУОП должны проектироваться в соответствии с СНиП 2.04.09-84 "Пожарная автоматика зданий и сооружений" и другими нормативными документами, утвержденными в установленном порядке.

В соответствии с п. 8. НПБ 110-99 категория зданий и помещений определяется в соответствии с НПБ 105-95. При этом для зданий категории В1 площадь следует уменьшать на 20 %, а площадь зданий категории В3 допускается увеличивать на 20 %.

В таблице 6 приведен выборочный перечень производственных помещений согласно НПБ 110-99 с сохранением нумерации документа.

Таблица 6.

Разделы	АУПТ	АУОП
<p><b>Раздел 1</b> <b>ПОМЕЩЕНИЯ</b></p> <p>1.1. Здания складов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, горючих материалов, отнесенные к категории А и Б по взрывопожарной опасности, баллонов с сжиженными горючими газами</p> <p>1.2. Здания складов каучука, целлулоида и изделий из него, спичек, щелочных металлов</p> <p>1.3. Здания складов шерсти, меха, драгоценных металлов и камней</p> <p>1.4. Здания складов фото, кино, аудио пленки на ацетатной основе при хранении 200 кг и более, а на горючей основе независимо от количества</p> <p>1.5. Здания складов полупроводниковых материалов, микросхем и других радиокомплектующих</p>	<p>Нормативный показатель</p> <p>2</p> <p>Независимо от площади и этажности</p>	<p>3</p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p>1</p>
<p>1.6. Здания складов расходного запаса двигателей и агрегатов машин с наличием в них топлива и масел</p>	<p>Независимо от площади и этажности</p>	<p></p>

1.7. Здания складов резины и резинотехнических изделий		
1.7.1. Одноэтажные	750 м <sup>2</sup> и более	менее 750 м <sup>2</sup>
1.7.2. Два этажа и более	Независимо от площади	
1.8. Здания складов категории В1-В3 по пожарной опасности с хранением на стеллажах высотой 5,5 м и более	Независимо от площади и этажности	
1.9. Здания складов категории В1-В3 по пожарной опасности (кроме указанных в пунктах 1.1.-1.8):		
1.9.1. Подземные одноэтажные	300 м <sup>2</sup> и более	менее 300 м <sup>2</sup>
1.9.2. Одноэтажные	1000 м <sup>2</sup> и более	менее 1000 м <sup>2</sup>
1.9.3. В два этажа и более	независимо от площади	
1.10. Здания архивов уникальных изданий, отчетов, рукописей и другой документации особой ценности	независимо от площади и этажности	
.....		
1.11. 1. Подземные	независимо от площади	
1.11. 2. Одноэтажные	1000 м <sup>2</sup> и более	менее 1000 м <sup>2</sup>
1.11. 3. Два этажа и более	независимо от площади	
1.12. Здания для автомобильного транспорта (гаражи-стоянки)		
1.12. 1. Подземные	независимо от площади	
1.12. 2. Одноэтажные (кроме гаражей-стоянок, имеющих выезд из боксов непосредственно наружу)	1200 м <sup>2</sup> и более	менее 1200 м <sup>2</sup>

1	2	3
<p>1.12. 3. Два этажа и более (кроме гаражей-стоянок, имеющих выезд из боксов непосредственно наружу и гаражей-стоянок без наружных и внутренних ограждающих конструкций)</p>	<p>независимо от площади</p>	
<p>1.12. 4. Здания для автотранспорта по перевозке легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и газов</p>	<p>независимо от площади и этажности</p>	
<p>1.13. производственные здания, где применяются легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, твердые материалы и сжиженные горючие газы, отнесенные к категории А и Б по взрывопожарной опасности</p>	<p>независимо от площади и этажности</p>	
<p>1.14. Производственные здания категории В1-В3 по пожарной опасности (за исключением указанных в п.п. 1.12-1.15.)</p>		
<p>1.14.1. Подземные</p>	<p>500 м<sup>2</sup> и более</p>	<p>менее 500 м<sup>2</sup></p>
<p>1.14.2. Одноэтажные</p>	<p>1000 м<sup>2</sup> и более</p>	<p>менее 1000 м<sup>2</sup></p>
<p>1.14.3. Два этажа и более</p>	<p>при площади этажа 500 м<sup>2</sup> и более</p>	<p>при площади этажа менее 500 м<sup>2</sup></p>
<p>....</p>		
<p>1.19. Здания элеваторов</p>		
<p>1.19.1. 1,2 степеней огнестойкости</p>		<p>независимо от площади и этажности</p>
<p>1.19.2. 3-5 степеней огнестойкости</p> <p>.....</p>	<p>независимо от площади и этажности</p>	

1	2	3
<p>1.21. Здания предприятий торговли ..... 1.21.5. Автозаправочные станции (в том числе контейнерного типа) 1.21.6. Отдельно стоящие киоски (павильон при АЗС (КАЗС) по продаже сопутствующих товаров в мелко расфасованной таре 1.21.7. Здания специализированных предприятий торговли по продаже легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (за исключением п.п. 1.21.5. и 1.21.6)</p>	<p>20 м<sup>2</sup> и более</p>	<p>независимо от площади менее 20 м<sup>2</sup></p>
<p><i>Раздел 2</i> <b>СООРУЖЕНИЯ</b></p>		
2.1. Кабельные сооружения электростанций	независимо от площади	
2.2. Кабельные сооружения при прокладке в них 12 и более кабелей	независимо от площади	
2.3. Кабельные сооружения при прокладке в них менее 12 кабелей или при прокладке в них маслонаполненных кабелей в металлических трубах (за исключением указанных в пунктах 1,4)		независимо от площади
2.4. Кабельные сооружения (кроме указанных в п.2.1.) объемом:	100 м <sup>3</sup> и более	менее 100 м <sup>3</sup>
2.5. Емкостные сооружения (резервуары) для хранения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей	5000 м <sup>3</sup> и более	
2.6. Закрытые галереи для транспортирования горючих веществ и материалов	100 м <sup>3</sup> и более	менее 100 м <sup>3</sup>

1	2	3
<p><b>Раздел 3</b></p> <p><b>ПОМЕЩЕНИЯ</b></p> <p><b>ПОМЕЩЕНИЯ СКЛАДСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b></p> <p>3.1. Для хранения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных газов, отнесенных к категории А и Б по взрывопожарной опасности</p> <p>3.2. Для хранения каучука, целлулоида и изделий из него, спичек, щелочных металлов, пиротехнических материалов и изделий, драгоценных металлов и камней; изделий радиоэлектронной техники и их комплектующие</p> <p>3.3. Для хранения шерсти, меха и изделий из него; фото, кино, аудио пленки на горючей основе</p> <p>3.4. Категории В1 по пожарной опасности (кроме указанных в п.п. 3.2., 3.3.) при их размещении</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- в цокольном и подвальном этажах</li> <li>- в надземных этажах</li> </ul> <p>3.5. Категории В2-В3 по пожарной опасности (кроме указанных в п.п. 3.2., 3.3.) при их размещении:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- в цокольном и подвальном этажах</li> <li>- в надземных этажах</li> </ul>	<p>независимо от площади</p> <p>независимо от площади</p> <p>независимо от площади</p> <p>независимо от площади</p> <p>300 м<sup>2</sup> и более</p> <p>300 м<sup>2</sup> и более</p> <p>1000 м<sup>2</sup> и более</p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p>менее 300 м<sup>2</sup></p> <p></p> <p>менее 300 м<sup>2</sup></p> <p>менее 1000 м<sup>2</sup></p>

1	2	3
3.9. Категорий В2-В3 по пожарной опасности (кроме указанных в п.п. 3.10.- 3.19. при размещении - в цокольном и подвальном этажах - в надземных этажах	300 м <sup>2</sup> и более  500 м <sup>2</sup> и более	менее 300 м <sup>2</sup>  менее 500 м <sup>2</sup>
3.10. Маслоподвалы	независимо от площади	
3.11. Помещения приготовления суспензии из алюминиевой пудры, резиновых клеев, полимеризации синтетического каучука, компрессорных с газотурбинными двигателями, огневых подогревателей нефти	независимо от площади	
3.12. Помещения высоковольтных испытательных залов, помещения, экранированные сгораемыми материалами	независимо от площади	
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОМЕЩЕНИЯ</b>		
3.13. Помещения подстанций с трансформаторами и реакторами напряжением: - 500 кВ и выше  - менее 500 кВ	независимо от площади	независимо от площади
3.14. С трансформаторами напряжением 220-230 кВ с единичной мощностью: - 100 МВА и более  - менее 100 МВА	независимо от площади	независимо от площади
3.15. Помещения с трансформаторами, установленными в камерах закрытых подстанций и распределительных установок мощностью: - 63 МВА и более	независимо от площади	

1	2	3
<p>- менее 63 МВА</p> <p>То же, напряжением - 110 кВ и выше - менее 110 кВ</p>	<p>независимо от площади</p>	<p>независимо от площади</p>
<b>ПОМЕЩЕНИЯ СВЯЗИ</b>		
<p>3.16. Вентиляционные, дизельные, трансформаторные помещения, помещения разделительных устройств передающих радиостанций мощностью передатчиков 150 кВт и выше, приемных радиостанций с числом приемников от 20, стационарных станций космической связи с мощностью передающего устройства более 1 кВт, ретрансляционных телевизионных станций мощностью передатчиков 25-50 кВт, сетевых узлов, междугородных и городских телефонных станций, телеграфных станций, оконечных усилительных пунктов и районных узлов связи</p>		<p>независимо от площади</p>
<p>3.17. Необслуживаемые и обслуживаемые без вечерних и ночных смен: технические цехи оконечных усилительных пунктов, промежуточных радиорелейных станций, передающих и приемных радиоцентров, автоматных задов городских телефонных станций и подстанций</p>	<p>независимо от площади</p>	
<p>3.18. Помещения главных касс, помещения бюро контроля переводов и зональных вычислительных центров и почтамтов общим объемом зданий 40 тыс. м<sup>3</sup> и более</p>	<p>независимо от площади</p>	
<p>3.19. Автозалы АТС емкостью 10 тыс. номеров и более, где устанавливается коммутационное оборудование квазиэлектронного и электронного типов совместно с ЭВМ,</p>	<p>независимо от площади</p>	

1	2	3
используемой в качестве управляющего комплекса и устройствами ввода-вывода, помещения электронных коммутационных станций, узлов, центров документальной электросвязи емкостью 10 тыс. и более номеров, каналов и точек подключения	независимо от площади	
3.20. Выделенные помещения управляющих устройств на основе ЭВМ автоматических междугородних телефонных станций при емкости станций 10 тыс. междугородних каналов и более	24 м <sup>2</sup> и более	менее 24 м <sup>2</sup>
3.21. Помещения обработки, сортировки, хранения и доставки посылок, письменной и переходящей корреспонденции, страховой почты	500 м <sup>2</sup> и более	менее 500 м <sup>2</sup>
<b>ПОМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТА</b>		
3.22. Электромашинные, аппаратные, ремонтные, тележечные и колесные, разборки и сборки вагонов, ремонтнокомплектовочные, электровагонные, подготовки вагонов, дизельные, технического обслуживания подвижного состава, контейнерных депо, производства стрелочной продукции, горячей обработки цистерн, тепловой камеры обработки вагонов для нефтебитума, шпалопропиточные, цилиндрические, отстоя пропитанной древесины	независимо от площади	
3.23. Служебно-технические помещения станции метрополитена		независимо от площади
3.24. Помещения контрольно-диспетчерского пункта с автоматической системой, центра коммутации сообщений, дальних и ближних приводных радиостанций с радиомаркерами	независимо от площади	

1	2	3
3.25. Помещения демонтажа и монтажа авиадвигателей воздушных винтов, шасси и колес самолетов и вертолетов	независимо от площади	
3.26. Помещения самолетного и двигателе-ремонтного производства	независимо от площади	
3.27. Помещения для хранения, технического обслуживания и ремонта транспортных средств, размещаемых в цокольных и подземных этажах (в том числе под мостами), а также в зданиях иного назначения	независимо от площади	
3.28. Пути отстоя подвижного состава метрополитенов с техническим обслуживанием	4500 м <sup>2</sup> и более	менее 4500 м <sup>2</sup>
<p><b>Раздел 4</b> <b>ОБОРУДОВАНИЕ</b></p>		
4.1. Окрасочные камеры с применением ЛВЖ и ГЖ	независимо от типа	
4.2. Сушильные камеры	независимо от типа	
4.3. Циклоны (бункеры) для сбора горючих отходов, пневмотранспорт для транспортирования горючих материалов (за исключением пневмопочты)	независимо от типа	
4.4. Сейфы для хранения ценностей в ломбардах и банковских учреждениях	независимо от типа	
4.5. Трансформаторы с масляной системой охлаждения напряжением:	независимо от мощности мощностью 200 МВА	
4.5.1. 500 кВ		
4.5.2. 220-330 кВ		

1	2	3
4.6. Открытые технологические установки с обращением взрывопожароопасных веществ и материалов	независимо от площади	
4.7. Испытательные станции передвижных электростанций и агрегатов с дизель- и бензоэлектрическими агрегатами, смонтированными на автомашинах и прицепах	независимо от площади	
4.8. Стеллажи высотой более 5,5 м для хранения горючих материалов и негорючих материалов в горючей упаковке	независимо от площади	
4.9. Двигательный отсек автобусов при его расположении в салоне	независимо от типа	
4.10. Масляные емкости для закаливания	3 м <sup>3</sup> и более	

### ЛИТЕРАТУРА

1. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. НПБ 105-95.
2. Сучков В.П. Методические указания к изучению темы "Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности" курса "Пожарная профилактика технологических процессов производств". - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1988.
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник под редакцией Баратова А.Н. и Корольченко А.Я. - М.: Химия, 1990.
4. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками тушения и обнаружения пожара. НПБ 110-96.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Основные принципы и положения системы категорирования по взрывопожарной и пожарной опасности .....	5
2. Расчет критериев взрывопожарной опасности помещений .....	9
3. Примеры расчетных задач .....	12
Задача № 1.	
Расчет массы газов, поступивших в помещение при полном разрушении аппарата (или трубопровода) .....	12
Задача № 2.	
Расчет массы паров жидкости, поступившей в помещение при аварийном разливе жидкостей .....	17
Задача № 3.	
Расчет массы паров, образовавшихся при разгерметизации оборудования со сжиженными газами или перегретыми жидкостями .....	21
Задача № 4.	
Расчет массы взвешенной в объеме помещения пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации .....	24
Задача № 5.	
Расчет избыточного давления взрыва для индивидуальных горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей .....	27
Задача № 6.	
Расчет избыточного давления взрыва для пылей и смесей .....	30
Задача № 7.	
Расчет категории помещения технологического процесса с использованием легковоспламеняющихся и горючих жидкостей .....	32
Задача № 8.	
Расчет категории помещения цеха, в котором обращается горючая пыль .....	36
Задача № 9.	
Определение категорий помещений В1 - В4 .....	39
Задача № 10.	
Определение категории помещения склада пиломатериалов .....	43
Задача № 11.	
Определение предельно допустимых расстояний между участками в помещении категории В4 .....	44

Задача № 12.	
Определение категории помещения окрасочного цеха.	
Расчет размеров зоны взрывоопасных концентраций .....	45
Задача № 13.	
Определение максимально допустимой массы аккумулярированных паров в помещении, при взрыве которой избыточное давление не превысит заданное значение .....	61
4. Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности .....	64
Приложения .....	66
Литература .....	76

Лаборатория проблематики  
и динамики пожара  
<http://firecategory.ru>  
Лаборатория горения

**МАЛИНИН ВЛАДИМИР РОМАНОВИЧ,**  
кандидат химических наук, профессор;  
**КОРОБЕЙНИКОВА ЕЛЕНА GERMAHOVHA,**  
кандидат химических наук, доцент;  
**КРЕЙТОР ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ,**  
кандидат технических наук

## **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности (НПБ 105-95)**

**Примеры решения практических задач**

Ответственный за выпуск В.Р. Малинин

Пописано к печати  
Формат 60 x 84/16  
Уч-изд.л.

Тираж  
Печать офсетная  
Заказ №

196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149