

# Оглавление

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 5  |
| 1. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ .....  | 7  |
| 1.1. Классификация помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности .....   | 7  |
| 1.2. Определение категорий А и Б помещений и зданий по взрывопожарной опасности .....  | 8  |
| 1.2.1. Проведение практического расчета по определению избыточного давления в технологическом процессе, в котором обращаются, перерабатываются или хранятся горючие газы, легковоспламеняющиеся или горючие жидкости.....                                      | 9  |
| 1.2.2. Расчет избыточного давления для пылей .....   | 17 |
| 1.3. Расчет определения категорий пожарной опасности В1–В4 .....   | 23 |
| 1.4. Классификация наружных установок по пожарной опасности .....  | 25 |
| 1.5. Расчет критериев пожарной опасности наружных установок.....   | 25 |
| 2. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....  | 33 |
| 2.1. Расчет параметров волны давления при сгорании газопаровоздушных смесей в открытом пространстве .....  | 33 |
| 2.2. Расчет параметров волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом при воздействии на него очага пожара .....  | 37 |
| 2.3. Расчет параметров испарения горючих ненагретых жидкостей и сжиженных углеводородных газов .....   | 38 |
| 2.4. Расчет противопожарных паровых завес.....   | 39 |
| 2.5. Расчет водяного орошения технологического оборудования .....  | 40 |
| 2.6. Расчет температурного режима пожара в зданиях различного назначения.....  | 41 |
| 3. ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА И ОБСЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ.....  | 44 |
| 3.1. Система нормативно-правовых актов и нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов. Источники информации о технологии, технологическом оборудовании и размещении горючих веществ и материалов на производстве..... | 44 |
| 3.1.1. Методы изучения технологии пожаровзрывоопасных производств.....   | 44 |
| 3.1.2. Технологическая часть проекта.....  | 44 |
| 3.1.3. Технологический (производственный) регламент .....  | 44 |
| 3.2. Оценка соответствия технологического оборудования проектируемых пожаровзрывоопасных производств требованиям пожарной безопасности .....   | 45 |
| 3.2.1. Разработка принципиальной схемы технологического процесса .....   | 45 |
| 3.2.2. Размещение технологического оборудования .....  | 49 |
| 3.3. Изучение технологии сложного производства по типовым технологическим процессам .....  | 52 |
| 4. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ» .....   | 55 |
| 4.1. Задание на курсовое проектирование .....  | 55 |
| 4.1.1. Состав типового задания на курсовое проектирование.....   | 55 |
| 4.1.2. Содержание курсового проекта .....  | 56 |
| 4.2. Методические рекомендации к выполнению курсового проекта.....   | 57 |
| 4.2.1. Изучение технологического процесса.....   | 57 |
| 4.2.2. Пожаровзрывоопасные свойства веществ.....   | 57 |
| 4.2.3. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри аппаратов при их нормальной работе .....  | 57 |
| 4.3.4. Пожаровзрывоопасность аппаратов, при эксплуатации которых возможен выход горючих веществ наружу без повреждения их конструкции .....  | 59 |
| 4.3.5. Анализ причин повреждения аппаратов, разработка необходимых средств защиты .....  | 60 |
| 4.3.6. Анализ возможности появления характерных технологических источников зажигания.....  | 63 |
| 4.3.7. Возможные пути распространения пожара.....  | 64 |
| 4.3.8. Расчет категории по взрывопожарной и пожарной опасности .....   | 65 |
| 4.3.9. Разработка карты пожарной опасности и защиты.....   | 65 |
| Библиографический список.....  | 67 |

## ВВЕДЕНИЕ

Приведенные в данном учебно-методическом пособии теоретические и практические материалы необходимы для детального изучения свойств среды, которая при определенных условиях может нанести большой материальный ущерб объектам техносферы, например взрыв или пожар.

Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ внес незначительные изменения в подходы к нормированию в области техносферной безопасности. Один из значимых результатов подобных изменений — Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ). Терминология этого документа устанавливает определение пожарной безопасности технологических процессов. Так, технологии и оборудование должны оставаться в безопасном состоянии при их функционировании. О необходимости учета технологических процессов производства при разработке мер пожарной безопасности говорится в ст. 21 Федерального закона «О пожарной безопасности». Меры пожарной безопасности создаются и совершенствуются в соответствии с нормативно-правовыми актами Российской Федерации [1–4], нормативными документами по пожарной безопасности на производстве [5–8], а также на основе опыта борьбы с пожарами и причинами их возникновения и по итогам оценки пожарной опасности технологических процессов, веществ и материалов, изделий, зданий и сооружений.

В наиболее общем виде способы и методы обеспечения пожарной безопасности промышленных объектов приведены в Межгосударственном стандарте ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования (с изменением № 1)» от 01.07.1992, а также в Национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» от 01.01.2014. В этих стандартах на федеральном уровне изложены требования к созданию, строительству, эксплуатации и реконструкции технологических объектов всех отраслей производства, а также все требования по разработке и изменению норм технологического проектирования и других нормативных документов, регламентирующих мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на промышленных объектах, разработке проектной документации и технологических регламентов.

Категории помещений, зданий и наружных установок применяются для определения нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности данных объектов в отношении планировки и застройки, этажности и площади (габаритов), планировки помещений и расположения установок, инженерного оборудования, конструктивных решений. В СП 12.13130.2009 даны методики и способы определения категорий помещений и зданий производственного и складского назначения по взрывопожарной и пожарной опасности, а также наружных установок в зависимости от вида имеющихся в наличии на предприятиях горючих веществ и материалов, их количества и особенностей технологических процессов.

«Пожарная безопасность технологических процессов» как учебная дисциплина сложилась и развивается на стыке научных дисциплин о технологиях промышленного производства и пожаре. Поэтому пожарная опасность производственных процессов и технологического оборудования исследуется с использованием обширного математического аппарата и положений фундаментальных законов физики, химии, термодинамики, механики и других смежных научных дисциплин.

Цель дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов» — дать знания, необходимые для разработки систем предотвращения пожаров и противопожарной защиты зданий и сооружений, организационно-технических мероприятий, направленных

на обеспечение пожарной безопасности технологических процессов современных производств, изучить методики выявления и анализа пожарной опасности технологического оборудования [6], научиться применять и обосновывать расчетами технические решения по обеспечению пожарной безопасности всех производственных процессов [5; 8]. Для реализации поставленной цели необходимо первичное ознакомление с устройством и типичными особенностями эксплуатации технологического оборудования, используемого для обработки, переработки и хранения пожаровзрывоопасных веществ и материалов.

В представленном учебно-методическом пособии рассматриваются в основном вопросы, связанные с анализом пожарной опасности и защиты технологического оборудования пожаровзрывоопасных производств с определением и присвоением категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

# 1. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Требования Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ устанавливают необходимость разделения объектов на категории жилых и нежилых, производственных строительных в зависимости от их пожарной и взрывопожарной опасности.

Важность подобного разделения связана с необходимостью предотвращения поражения людей и животных воздействиями вредных и опасных факторов в случае возникновения пожара. Категорирование также направлено на снижение материальных потерь от указанных выше воздействий.

Характерные признаки разных категорий строительных объектов различных классов функциональной пожарной опасности указаны в СП 12.13130.2009. Кроме того, в этом документе приведены методы определения этих признаков и методы определения категории наружных установок.

## 1.1. Классификация помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

*Цель занятия:* изучить особенности классификации помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.

Значимость классификации зданий и сооружений по пожарной и взрывопожарной опасности определяется необходимостью предупреждения и предотвращения опасных ситуаций, связанных с возникновением пожара, а также защиты людей и имущества от пагубного воздействия пожара [5].

Определение категорий зданий, сооружений и помещений по степени пожарной и взрывопожарной опасности производится по следующим принципам:

1. Помещения, относящиеся по функциональной пожарной опасности к помещениям производственного и складского назначения (Ф.5), подразделяются следующим образом:

– категория А — помещения имеют повышенные характеристики по взрывопожароопасности;

– категория Б — помещения характеризуются взрывопожароопасностью;

– категории В1–В4 — помещения характеризуются пожароопасностью;

– категория Г — помещения характеризуются умеренной пожароопасностью;

– категория Д — помещения характеризуются пониженной пожароопасностью.

2. Здания (сооружения), состоящие из помещений с представленными выше характеристиками, разделяются по категориям следующим образом:

– категория А — здания имеют повышенные характеристики по взрывопожароопасности;

– категория Б — здания характеризуются взрывопожароопасностью;

– категория В — здания характеризуется пожароопасностью;

– категория Г — здания характеризуются умеренной пожароопасностью;

– категория Д — здания характеризуются пониженной пожароопасностью.

Строительные объекты, которые относятся к другим классам функциональной пожарной опасности, на категории не разделяются.

Категории помещений по взрывопожароопасности определяются в зависимости от пожарной нагрузки: вида и типа используемых веществ, их объема и пожароопасных характеристик. Также значимы объемно-планировочные решения и особенности технологических процессов, происходящие в помещениях.

Процесс категорирования помещений производится следующим образом: изучаемое помещение подвергается проверке соответствия категориям по уменьшению степени опасности (от категории А к категории Д).

Процесс определения категорий для наружных установок аналогичен: оценка соответствия начинается с наиболее опасных категорий и продолжается по мере уменьшения опасности (от категории АН к категории ДН).

Порядок определения категорий по взрывопожарной и пожарной опасности помещений, зданий и наружных установок изложен в документе [5].

Методы классификации зданий и помещений промышленного и складского назначения по категориям пожарной и взрывопожарной опасности изложены в документе [5].

## **1.2. Определение категорий А и Б помещений и зданий по взрывопожарной опасности**

*Цель занятия:* выработать навык и умение определять расчетным способом категории А и Б помещений и зданий по взрывопожарной опасности.

Методы определения и назначения категорий А и Б помещений изложены в прил. А [5].

При оценке взрывопожарной опасности помещения анализируются сценарии с максимальным воздействующим эффектом развития опасных ситуаций, связанным с разрушением технологического оборудования. Для подобных ситуаций характерно наличие большого количества разновидностей взрывоопасных веществ (смесей воздуха с различными типами газов, паров, пылей). Важный критерий для этих веществ — более опасные последствия их сгорания.

При разрушении технологического оборудования опасность выхода из оборудования газов, паров, пылей, образующих при смешивании с воздухом взрывоопасные вещества, поступающие в помещение:

- возникает аварийная ситуация хотя бы одного из аппаратов;
- все содержимое технологического оборудования при аварии поступает в объем помещения;
- при аварии выброс пожаровзрывоопасных веществ из технологического оборудования сопровождается утечкой из трубопроводов, питающих аппарат в течение времени, необходимого для экстренного перекрытия трубопроводов.

Для каждой отдельной ситуации расчетное время перекрытия трубопроводов оценивается отдельно в соответствии с документацией на запорные устройства и информацией о технологическом процессе и расчетной аварии. При этом расчетное время перекрытия трубопроводов должно быть минимальным и принимается равным:

— времени срабатывания систем автоматики — в случае вероятности отказа автоматических систем оборудования менее 0,000001 или если обеспечено резервирование элементов систем;

— 120 с — в случае превышения вероятности отказа автоматических систем оборудования 0,000001 (при отсутствии резервирования);

— 300 с — в случае ручного отключения;

• при разливе жидкости на поверхность пола производственного помещения происходит улетучивание паров жидкости; при отсутствии информации из справочных материалов площадь испарения жидкости определяется, исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м<sup>2</sup>, а остальных жидкостей — на 1 м<sup>2</sup> пола помещения;

• происходит также испарение жидкости из сосудов, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежескрашенными поверхностями;

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

Количество пыли, образующей взвешенную пылевоздушную смесь, вычисляется из следующих условий:

– расчетной аварии предшествовало накопление пыли в производственном помещении (цеху), произошедшее в условиях обычного режима работы (например в результате пылевыведения из негерметичного оборудования);

– в момент расчетной аварии произошла плановая (во время ремонтных или профилактических работ) или внезапная (катастрофическая) разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

Свободный объем помещения (цеха) рассчитывается как разность между геометрическим объемом помещения (цеха) и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем цеха определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80 % объема всего помещения.

### 1.2.1. Проведение практического расчета по определению избыточного давления в технологическом процессе, в котором обращаются, перерабатываются или хранятся горючие газы, легковоспламеняющиеся или горючие жидкости

Определение избыточного давления для горючих газов (далее — ГГ), паров легковоспламеняющихся жидкостей (далее — ЛВЖ) или горючих жидкостей (далее — ГЖ) проводится с применением расчетных выражений, представленных в прил. А (подраздел А.2) [5].

#### *Пример 1*

Рассмотрим логическую последовательность решения.

#### 1. Исходные данные.

1.1. На производственном предприятии требуется определить категорию по взрывопожарной (пожарной) опасности для помещения проверки состояния транспортных средств (грузовых), работающих на сжатом газе. Помещение объемом  $V_{\text{п}} = 500 \text{ м}^3$ , его свободный объем составляет  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot V_{\text{п}} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ м}^3$ . Баллон, установленный на машине, имеет объем  $V = 75 \text{ л} = 0,075 \text{ м}^3$ , давление внутри баллона составляет  $P_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ кПа}$ .

1.2. Основное содержание сжатого газа в баллоне — ГГ (метан) (около 97,5 % от объемной доли), его рассчитанная молярная масса —  $16,04 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ .

#### 2. Представление расчетного варианта.

Для проведения расчетов и получения требуемого показателя по избыточному давлению взрыва,  $\Delta P$ , необходимо учитывать условия, связанные с вероятностью разгерметизации емкости (баллона) со сжатым ГГ (метан) и поступления находящегося под давлением его содержимого в среду помещения. Температуру воздуха для проведения расчетов принимать как максимальную температуру в г. Москве ( $t_p = 37 \text{ °C}$ ) [9].

Плотность сжатого ГГ (метан) в баллоне составит

$$\rho_{\text{г}} = \frac{16,04}{22,413(1+0,00367 \cdot 37)} = 0,6301 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

3. Масса газа  $m$ , поступившего в помещение при нарушении герметичности баллона, рассчитывается согласно п. А.2.4 [5]:

$$V_a = 0,01 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,075 = 15 \text{ м}^3;$$

$$m = 15 \cdot 0,6301 = 9,452 \text{ кг}.$$

4. Величина избыточного давления взрыва на основе формулы (9) [9] составит

$$\Delta P = 2,36 \cdot 10^3 \frac{6,301}{240} = 62 \text{ кПа.}$$

5. Избыточное давление взрыва на основании представленных расчетов указывает на превышение в несколько раз допускаемой величины 5 кПа, следовательно, помещение проверки состояния транспортных средств (грузовых) относится к категории А.

### **Пример 2**

Рассмотрим последовательность решения.

#### **1. Исходные данные.**

1.1. Производственное предприятие, построенное на основе цеховой структуры, включает один из видов деятельности — наращивание кремния. Кремниевый поликристалл наращивается с помощью применения среды водорода для восстановления кремниевого тетраоксида на установках в количестве 2 ед. с показателем давления в них  $P_1 = 200$  кПа.

Подача водорода осуществляется к данным установкам от коллектора, вынесенного за пределы цеха, транспортировка водорода — по трубопроводу диаметром  $d = 0,02$  м, радиусом  $r = 0,01$  м (нержавеющая сталь) под давлением  $P_2 = 300$  кПа.

Трубопровод оснащен автоматической задвижкой с электроприводом, расстояние до ее места установки считается равным ( $L_1 = 15$  м).

Объем реактора —  $V = 0,09$  м<sup>3</sup>. Реакторные поверхности нагрева имеют поверхностную температуру  $t = 1200$  °С. Время срабатывания автоматических систем отключения (по паспортным данным) —  $T_a = 3$  с.

Газ имеет расход в трубопроводе —  $q = 0,06$  м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup>.

Цеховое производственное помещение соответствует размерам  $L \times S \times H = 15,81 \times 15,81 \times 6$  м. Общий объем цеха —  $V_n = 1500$  м<sup>3</sup>. Его свободный объем составляет  $V_{св} = 0,8 \cdot 1500 = 1200$  м<sup>3</sup>. Площадь цеха —  $F = 250$  м<sup>2</sup>.

1.2. Рассчитанная (молярная масса) для водорода составляет  $M = 2,016$  кг · кмоль<sup>-1</sup>. Нижний концентрационный предел распространения пламени (далее — НКПР) представляет собой запись в виде  $C_{НКПР}$ , что составляет для водорода 4,1 % (от объемной доли). Концентрация смеси воздуха с водородом (стехиометрическая концентрация) составляет  $C_{СТ} = 29,24$  % (от объемной доли). Максимальное давление при взрыве водорода —  $P_{max} = 730$  кПа.

Кремниевый тетрагидрид — вещество, отнесенное к классу негорючих веществ, его реагенты, образуемые в результате химической реакции, также являются негорючими.

#### **2. Представление расчетного варианта.**

Необходимо учесть разгерметизацию одного из реакторов, т.е. поступление всего его содержимого в среду помещения и поступление содержимого из питающего трубопровода.

Температуру воздуха для проведения расчетов принимать как для максимальной зарегистрированной температуры в г. Мурманске ( $t_p = 32$  °С) [9].

Принять плотность водорода для рассматриваемой температуры, равной

$$\rho_r = \frac{2,016}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 32)} = 0,0804 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

Расчетное время перекрытия трубопровода рассматривать в соответствии с паспортом оборудования —  $T_a = 120$  с.

3. При аварии масса поступившего в цех водорода  $m$  определяется в соответствии с п. А.2.4 [5]:

$$V_a = 0,01 \cdot 200 \cdot 0,09 = 0,18 \text{ м}^3;$$

$$V_{1T} = 0,06 \cdot 120 = 7,2 \text{ м}^3;$$

$$V_{2T} = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot 0,012 \cdot 15 = 0,014 \text{ м}^3;$$

$$V_T = 7,2 + 0,014 = 7,214 \text{ м}^3;$$

$$m = (0,18 + 7,214)0,0804 = 0,5945 \text{ кг.}$$

4. Принимающий участие во взрыве газа коэффициент  $Z$  будет определен с помощью расчетной формулы, взятой из прил. Д [5].

4.1. Концентрация для водорода  $C_{cp}$  в помещении цеха:

$$C_{cp} = \frac{100 \cdot 0,5782}{0,0782 \cdot 1200} = 0,62 \% \text{ (от объемной доли);}$$

$$C_{cp} = 0,62 \% \text{ (от объемной доли)} < 0,5 \cdot C_{НКПР} = 0,5 \cdot 4,1 = 2,05 \% \text{ (от объемной доли).}$$

На основе представленной информации, в соответствии с применением расчетных формул, будет определено значение коэффициента участия водорода во взрыве  $Z$ .

4.2. Предэкспоненциальный множитель ( $C_0$ ) будет рассчитываться по формуле

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \frac{0,5945}{0,0782 \cdot 1200} = 23,88 \% \text{ (от объемной доли).}$$

4.3. Расстояния  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  составят

$$X_{НКПР} = Y_{НКПР} = 1,1314 \cdot 15,81 \left( \ln \frac{1,38 \cdot 23,88}{4,1} \right)^{0,5} = 25,65 \text{ м;}$$

$$Z_{НКПР} = 0,0253 \cdot 6 \left( \ln \frac{1,38 \cdot 23,88}{4,1} \right)^{0,5} = 0,218 \text{ м.}$$

4.4. Значение коэффициента, являющегося показателем  $Z$ , связанного с участием ГГ во взрыве, будет равно

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,5782} 0,0782 \left( 23,23 + \frac{4,1}{1,38} \right) 250 \cdot 0,218 = 0,975.$$

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  согласно п. А.2.1 [5] составит

$$\Delta P = (730 - 101) \frac{0,5782 \cdot 0,97}{1200 \cdot 0,0782} \cdot \frac{100}{29,24} \cdot \frac{1}{3} = 4,29 \text{ кПа.}$$

5. Вывод: представленный расчет избыточного давления для рассматриваемой задачи составляет 4,29 кПа. Такой показатель по рассчитываемому участку наращивания кремниевого поликристалла не относится к категории А. Далее рассматриваемый участок требуется проанализировать с точки зрения наличия пожарной нагрузки и его отнесения к категориям В1 или В4.

### **Пример 3**

1. *Исходные данные.*

1.1. Выделенное и оборудованное для хранения ацетона помещение (склад). В складском помещении находятся 10 ед. бочек с содержанием ЛВЖ (ацетона) в каждой —  $V_a = 80 \text{ л} = 0,08 \text{ м}^3$ . Размеры склада  $L \times S \times H = 12 \times 6 \times 6 \text{ м}$ , его объем —  $V_n = 432 \text{ м}^3$ . Сво-



бодный объем помещения —  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 432 = 345,6 \text{ м}^3$ . Площадь складского помещения —  $F = 72 \text{ м}^2$ .

1.2. Ацетон имеет молярную массу  $M = 58,08 \text{ кг/кмоль}^{-1}$ , химическая формула  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ . Константы уравнения Антуана:  $A = 6,37551$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_a = 237,088$ . Температура вспышки ацетона —  $t_{\text{всп}} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Его плотность —  $\rho_{\text{ж}} = 790,8 \text{ кг/м}^3$ .

## 2. Представление расчетного варианта.

Необходимо учесть информацию о разгерметизации одной из емкостей, находящихся в складском помещении, и разливе горючей жидкости по полу склада при следующем соотношении складского помещения — 1 л ЛВЖ разливается на  $1 \text{ м}^2$  пола.

Температуру воздуха для проведения расчетов принимать как для максимальной зарегистрированной температуры в г. Мурманске ( $t_p = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ ) [9].

3. Последовательность определения категории по взрывопожарной опасности проводится в соответствии с документами [5; 9].

3.1. Согласно п. А.2.1 [5] определяется значение плотности паров ацетона при расчетной температуре  $t_p = 32 \text{ }^\circ\text{C}$  [8]:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{58,08}{22,413(1 + 0,0367 \cdot 32)} = 2,3190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

3.2. Далее в соответствии с источником информации [9] определяется давление насыщенных паров ЛВЖ (ацетона):

$$\lg P_{\text{н}} = 6,37551 - \frac{1281,721}{32 + 237,088} = 1,612306,$$

где  $P_{\text{н}}$  расчетное значение,  $P_{\text{н}} = 40,95 \text{ кПа}$ .

3.3. В соответствии с п. А.2.7 [5] определяется значение интенсивности улетучивания паров ЛВЖ (ацетона):

$$W = 10^{-6} \sqrt{58,08 \cdot 40,95} = 3,1208 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

4. Площадь разлива содержимого одной бочки ЛВЖ —  $F_{\text{и}} = 1,0 V_a = 1,0 \cdot 80 = 80 \text{ м}^2$ .

Рассчитанная площадь склада —  $F = 72 \text{ м}^2$ , т.е. она меньше  $F_{\text{и}} = 80 \text{ м}^2$ , в окончательном выражении будем принимать  $F_{\text{и}} = F = 72 \text{ м}^2$ .

5. Для проведения расчета массы ЛВЖ (паров), которые испарились и попали в среду помещения, используем формулу (А.12) [5]:  $m = 3,1208 \cdot 10^{-4} \cdot 72 \cdot 3600 = 80,891 \text{ кг}$ .

При таких условиях испарение будет исходить только из жидкости, находящейся на полу в результате вылива, тогда

$$m = m_p = V_a \rho_{\text{ж}} = 0,08 \cdot 790,8 = 63,264 \text{ кг}.$$

6. Величина избыточного давления взрыва будет рассчитываться по формуле и соответствовать значению

$$\Delta P = 959,3 \frac{63,264}{345,6 \cdot 2,3190} = 75,7 \text{ кПа}.$$

7. Избыточное давление взрыва на основании представленных расчетов указывает на превышение в несколько раз допускаемой величины  $5 \text{ кПа}$ , следовательно, склад хранения емкостей с ЛВЖ (ацетон) необходимо отнести к категории А.

## Пример 4

### 1. Исходные данные.

1.1. В защитном сооружении предприятия установлена дизельная электростанция, предназначенная для автономного жизнеобеспечения укрываемого персонала. В соору-

жении предусмотрено помещение для хранения запаса топлива с целью питания дизельной электростанции ГЖ (дизельное топливо) марки «3» (ГОСТ 305–82) —  $V_a = 6,3 \text{ м}^3$ . Размеры помещения по хранению запаса топлива для питания дизельной электростанции —  $L \times S \times H = 4,0 \times 4,0 \times 3,6 \text{ м}$ . Объем помещения —  $V_{\text{п}} = 57,6 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения —  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 57,6 = 46,08 \text{ м}^3$ . Площадь помещения —  $F = 16 \text{ м}^2$ . Длина питающих дизельную электростанцию трубопроводов —  $L_1 = 10 \text{ м}$ , труба диаметром  $57 \text{ мм} = 0,057 \text{ м}$  ( $r_1 = 0,0285 \text{ м}$ ), для отключения подачи на подводящем и отводящем участках трубопроводов установлены ручные задвижки. Расход ГЖ (дизельное топливо) в трубопроводах —  $q = 1,5 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} = 0,0015 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

1.2. Масса ГЖ (дизельное топливо) (молярная) —  $M = 172,3 \text{ кг/кмоль}^{-1}$ . Формула (брутто) —  $C_{12,343} \text{ H}_{23,889}$ . Плотность жидкости при температуре  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho_{\text{ж}} = 804 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

1.3. Константы уравнения Антуана:  $A = 5,07828$ ;  $B = 1255,73$ ;  $C_a = 199,523$ . Температура вспышки —  $t_{\text{всп}} > 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Теплота сгорания —  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 4,359 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,9 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . НКПР  $C_{\text{НКПР}} = 0,6 \%$  (от объемной доли).

## 2. Представление расчетного варианта.

Необходимо учесть информацию о разгерметизации топливного бака и выливе горючей жидкости на пол помещения как из объема бака, так и из питающего и отводящего трубопроводов.

Температуру воздуха для проведения расчетов принимать как для максимальной зарегистрированной температуры в г. Благовещенске ( $t_p = 41 \text{ }^\circ\text{C}$ ) [9].

Показатель плотности паров дизельного топлива  $P_{\text{п}}$  для  $t_p = 41 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$P_{\text{п}} = \frac{172,3}{22,413(1+0,00367 \cdot 41)} = 6,6820 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

Показатель расчетного времени для перекрытия трубопроводов определяется по п. А.1.2 [5], т.е. длительность испарения по п. А.1.2.е [5] будет соответствовать показателю  $T = 3600 \text{ с}$ .

3. Объем разлива ( $V_{\text{ж}}$ ), поступившего в помещение в результате аварийного разлива дизельного топлива, будет определяться в соответствии с положениями п. А.1.2 [5]:  $V_{\text{ж}} = V_a + qT_a + \pi r_1^2 L_1 = 6,3 + 0,0015 \cdot 300 + 3,14 \cdot 0,0285^2 \cdot 10 = 6,776 \text{ м}^3 = 6776 \text{ л}$ .

Площадь разлива ( $F_{\text{и}}$ ):  $F_{\text{и}} = 1,0 \cdot 6776 = 6776 \text{ м}^2$ .

Поскольку площадь помещения  $F = 16 \text{ м}^2$ , она меньше рассчитанной площади разлива ГЖ  $F_{\text{и}} = 6776 \text{ м}^2$ , необходимо принимать  $F_{\text{и}} = F = 16 \text{ м}^2$ .

4. Давление насыщенных паров для анализируемой ГЖ (дизельного топлива)  $P_{\text{н}}$  при рассматриваемой температуре  $t_p = 41 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\lg P_{\text{н}} = 5,07828 - \frac{1255,73}{199,523 + 41} = -0,142551.$$

Соответственно  $P_{\text{н}} = 0,72 \text{ кПа}$ .

5. Показатель интенсивности улетучивания паров ГЖ (дизельного топлива) будет составлять

$$W = 10^{-6} \cdot 1,0 \sqrt{172,3} \cdot 0,72 = 9,45 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

6. Масса паров ГЖ (дизельного топлива) будет определена в соответствии с формулой

$$m = 9,45 \cdot 10^{-6} \cdot 16 \cdot 3600 = 0,5443 \text{ кг}.$$

7. Далее требуется определить коэффициент участия во взрыве испарившихся газов для ГЖ (дизельного топлива), что требует подбора данных для расчетов по прил. Д [5].

7.1. Средняя концентрация паров ГЖ (дизельного топлива) в помещении составит

$$C_{\text{ср}} = \frac{100 \cdot 0,5443}{6,682 \cdot 46,08} = 0,18 \% \text{ (от объемной доли);}$$

$$C_{\text{ср}} = 0,18 \% \text{ (от объемной доли)} < 0,5C_{\text{НКПР}} = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \% \text{ (от объемной доли).}$$

Для рассматриваемых соотношений требуется дальнейшее определение показателя  $Z$ , который будет получен расчетным методом.

7.2. Значение  $C_{\text{н}}$  будет равно

$$C_{\text{н}} = 100 \frac{0,72}{101} = 0,71 \% \text{ (от объемной доли).}$$

7.3. Показатель стехиометрической концентрации паров ГЖ (дизельное топливо)  $C_{\text{ст}}$  согласно п. А.2.1 [5], с учетом его химической брутто-формулы, взятой для данного вида горючей жидкости, будет составлять

$$\beta = 12,343 + \frac{23,889}{4} = 18,32;$$

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 18,32} = 1,12 \% \text{ (от объемной доли).}$$

7.4. Параметр  $C^*$  будет выражаться в формуле

$$C^* = 1,9 \cdot 1,12 = 2,13 \% \text{ (от объемной доли).}$$

7.5. Поскольку  $C_{\text{н}} = 0,71 \% < C^* = 2,13 \% \text{ (от объемной доли)}$ , то возникает необходимость в проведении расчета параметра  $X$ :

$$X = \frac{C_{\text{н}}}{C^*} = \frac{0,71}{2,13} = 0,33.$$

7.6. При рассмотрении зависимостей рис. Д.1. прил. Д [5], взятых на основе показателя  $X = 0,33$ , требуется определить коэффициент испарения ГЖ (дизельного топлива), т.е. участия испарившегося газа во взрыве, в данном случае результат  $Z = 0$ .

8. Величина избыточного взрывного давления  $\Delta P$  будет рассчитываться в соответствии с п. А.2.1 [5] и в итоге будет составлять

$$\Delta P = (900 - 101) \frac{0,5443 \cdot 0}{46,08 \cdot 6,682} \cdot \frac{100}{1,12} \cdot \frac{1}{3} = 0 \text{ кПа.}$$

9. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа.

Вывод: помещение для хранения запаса топлива с целью питания дизельной электростанции не относится к взрывоопасным категориям А или Б.

Далее возникает необходимость провести категорирование помещения на предмет определения пожароопасной категории В1–В4.

Проведем проверку по категорированию помещения для хранения запаса топлива с целью питания дизельной электростанции на предмет определения пожароопасной категории В1–В4 (п. Б.2 и табл. Б.1) [5].

10. Определим пожарную нагрузку (п. Б.2) [5] и удельную пожарную нагрузку  $q$ :

$$g = V_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} = 6,776 \cdot 804 = 5448 \text{ кг;}$$

$$Q = gQ_H^p = 5448 \cdot 43,59 = 237\,478 \text{ МДж};$$

$$S = F = 16 \text{ м}^2;$$

$$q = \frac{g}{S} = \frac{237\,478}{16} = 14\,842 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

11. Проведенный расчет показывает величину удельной пожарной нагрузки более  $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Помещение для хранения запаса топлива с целью питания дизельной электростанции, с учетом требований [5], относится к категории В1.

### Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Требуется определить величину избыточного давления, развиваемого при сгорании паровоздушной смеси ЛВЖ (ацетона), для случая аварийного ее выброса, связанного с нарушением регламента технологического процесса на участке производственного помещения (цеха).

*Данные для расчетов.*

При функционировании технологического процесса на участке производственного помещения со свободным объемом  $V_{\text{св}} = 180 \text{ м}^3$  возможно рассмотрение сценария по разгерметизации аварийного аппарата, из которого поступит в среду помещения  $115 \text{ кг}$  паров ЛВЖ (ацетона). Молярная масса ЛВЖ (ацетона) —  $M = 58,08 \text{ кг/кмоль}$ . Температуру воздуха для проведения расчетов принимать как для максимальной зарегистрированной температуры, равной  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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

**Задача 2.** Требуется определить показатель избыточного давления при сгорании паровоздушной смеси ГГ (водорода) для случая ее аварийного выброса, связанного с нарушением регламента технологического процесса из-за аварийной разгерметизации трубопровода на участке производственного помещения (цеха).

*Данные для расчетов.*

При функционировании технологического процесса на участке производственного помещения со свободным объемом  $V_{\text{св}} = 220 \text{ м}^3$  проходит трубопровод с проходным сечением трубы из нержавеющей стали диаметром  $50 \text{ мм}$ , предназначенной для транспортирования водорода  $\text{H}_2$  (газ) максимальным расходом  $q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  (для нормальных условий) и максимальным давлением  $P_{\text{T}} = 120 \text{ кПа}$ . В технологическом процессе предусмотрен смонтированный стальной трубопровод, который обеспечивается автоматической системой закрытия при сработке сигнала на пульте управления. Время для сработки настроено в интервале  $3 \text{ с}$ . Задвижки, входящие в систему автоматического закрытия (АЗ), установлены в помещении в месте ввода непосредственно перед перегородкой, а также за перегородкой данного помещения в месте вывода стального трубопровода.

Стальной трубопровод имеет длину  $12 \text{ м}$ . Максимальное давление при сгорании стехиометрической газовой смеси водорода в замкнутом объеме —  $P_{\text{max}} = 730 \text{ кПа}$ . Температуру воздуха для проведения расчетов принимать как для максимальной зарегистрированной температуры, равной  $36 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 3.** Требуется определить величину коэффициента  $Z$  участия паров ЛВЖ (ацетона) при сгорании паровоздушной смеси для случая ее аварийного выброса, связанного с нарушением технологического процесса (разгерметизация аппарата) на участке производственного помещения (цеха).

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)