

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра безопасности производств

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 614.8 (073)

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.В. Корнев, Е.И. Кабанов, Г.И. Кориунов*. СПб, 2021. 53 с.

Изложены методические указания практическим занятиям по дисциплине «Промышленная безопасность».

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело».

Научный редактор проф.*М.Л. Рудаков*

Рецензент доктор техн. наук, профессор *М.А. Галишев* (Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, на территории Российской Федерации только в горной отрасли насчитывается 2428 опасных производственных объектов (ОПО), из которых большая часть относятся ко II и III классу – 23% и 64% соответственно. В 2019 г. произошла одна авария, унесшая жизни 40 человек. Годом ранее произошло 4 аварии, но погибло 35 человек. В сумме ущерба от аварии основную долю составляют потери от простоя производства – 123,5 млн. руб. и затраты на ее ликвидацию – 6,1 млн. руб. Прямые потери составили 0,7 млн. руб. За 2019 г. на объектах горной отрасли зафиксировано 8 групповых несчастных случаев.

В нефтегазодобывающей промышленности государственный надзор осуществляется на 7051 опасных производственных объектах, на которых в 2019 г. зафиксировано 3 групповых несчастных случая и произошло 7 аварий. Причинами большинства аварий и несчастных случаев являются низкий уровень производственного контроля, эксплуатация техники в неисправном состоянии, внесение несогласованных изменений в конструкции технических устройств и иные нарушения требований промышленной безопасности.

На сегодняшний день остается актуальным вопрос повышения компетентности и культуры безопасности работников, своевременности и качества контроля за состоянием технических устройств, сооружений, зданий.

Методические указания подготовлены для студентов, изучающих курс «Промышленная безопасность», с целью формирования у них компетенций в области оценки степени разрушения зданий, сооружений и оборудования, а также вероятности и тяжести поражения людей при взрывах и пожарах на ОПО; определения размера нанесенного ущерба; определения категории взрывопожароопасности производственных помещений; планирования эвакуационных мероприятий из зданий при авариях и чрезвычайных ситуациях; расчета безопасных параметров эксплуатации оборудования и сосудов, находящихся под избыточным давлением. Для закрепления навыков у студентов в методических указаниях предусмотрены задания для индивидуального выполнения.

Практическая работа № 1.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВАХ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Цель работы – приобретение практических навыков оценки степени повреждения зданий, сооружений и технических устройств при взрыве на опасном производственном объекте.

Теоретические сведения

Взрывы и пожары являются одними из самых распространенных и опасных видов аварий, сопровождаемых значительными материальными потерями и человеческими жертвами. Взрывы происходят на промышленных объектах по производству химической продукции, на нефтеперерабатывающих заводах, на складах взрывчатых веществ, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и сжиженных газов, на угольных шахтах, на объектах по производству ракетного топлива, пиротехнических фабриках, на элеваторах и мукомольном производстве. Не редки случаи взрыва бытового газа в многоквартирных жилых домах.

Взрыв – это неконтролируемый быстропротекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим изменением состояния вещества, приводящий к резкому динамическому повышению давления или возникновению ударной волны, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям.

С целью определения возможного ущерба в случае взрыва топливно-воздушных смесей или взрывчатых веществ на опасном производственном объекте (ОПО) и обеспечения взрывоустойчивости зданий и сооружений производится оценка степени разрушения зданий и сооружений и возможного поражения людей.

При оценке последствий воздействия опасных факторов взрыва и иных видов аварий используются детерминированные и вероятностные критерии.

Детерминированные критерии устанавливают значения поражающего фактора, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения и (или) разрушения. Определенной величине нега-

тивного воздействия поражающего фактора соответствует конкретная степень поражения людей, разрушения зданий, инженерно-технических сооружений.

Например, в качестве основного параметра поражающего фактора взрыва рассматривается величина избыточного давления на фронте падающей ударной волны ΔP_{ϕ} .

Избыточное давление на фронте ударной волны представляет собой амплитуду давления на фронте падающей ударной волны (воздушной волны сжатия) P_{ϕ} , образующейся при взрыве, относительно атмосферного давления P_0 без учета отражения от зданий и сооружений:

$$\Delta P_{\phi} = P_{\phi} - P_0 \quad (1)$$

Степени разрушения типовых промышленных зданий в зависимости от величины избыточного давления приведены в таблице 1.

Таблица 1

Критерии разрушения типовых промышленных зданий от избыточного давления

Степень поражения	Избыточное давление, ΔP_{ϕ} , кПа
Полное разрушение зданий	Более 100
Тяжелые повреждения, здание подлежит	70
Средние повреждения зданий, возможно	28
Разрушение оконных проемов, легко-	14
Частичное разрушение остекления	Менее 2

Степени разрушения административных, производственных зданий и сооружений различных типов от воздействия избыточного давления ударной волны приведены в таблице 2.

В случае использования детерминированных критериев условная вероятность поражения принимается равной 1, если значение поражающего фактора превышает предельно допустимый уровень, и равной 0, если значение предельно допустимого уровня поражения не достигается.

Вероятностные критерии показывают, какова условная вероятность того или иного уровня поражения (разрушения) при заданном значении поражающего фактора.

Таблица 2

Данные о степени разрушения производственных, административных зданий и сооружений, имеющих разную устойчивость

Тип зданий, сооружений	Разрушение при избыточном давлении на фронте ударной волны, ΔP_{ϕ} , кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Промышленные здания с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом	20 - 30	30 - 40	40 - 50	>50
Промышленные здания с легким каркасом и бескаркасной конструкции	10 - 20	25 - 35	35 - 45	>45
Складские кирпичные здания	10 - 20	20 - 30	30 - 40	>40
Одноэтажные складские помещения с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла	5 - 7	7 - 10	10 - 15	>15
Бетонные и железобетонные здания и антисейсмические конструкции	25 - 35	80 - 120	150 - 200	>200
Здания железобетонные монолитные повышенной этажности	25 - 45	45 - 105	105 - 170	170 - 215
Котельные, регуляторные станции в кирпичных зданиях	10 - 15	15 - 25	25 - 35	35 - 45
Деревянные дома	6 - 8	8 - 12	12 - 20	>20
Подземные сети, трубопроводы	400 - 600	600 - 1000	1000 - 1500	1500
Трубопроводы наземные	20	50	130	-
Кабельные подземные линии	до 800	-	-	1500
Цистерны для перевозки нефтепродуктов	30	50	70	80
Резервуары и емкости стальные наземные	35	55	80	90
Подземные резервуары	40	75	150	200

Поскольку одна и та же мера воздействия может вызвать последствия различной степени тяжести, величина вероятности поражения ($P_{\text{пор}}$) выражается функцией Гаусса (функцией ошибок) через пробит-функцию ($\text{Pr}(D)$):

$$P_{\text{пор}} = f[\text{Pr}(D)] \quad (2)$$

Значения вероятности поражения в зависимости от величины пробит-функции приведены в таблице 3.

Таблица 3

Связь вероятности поражения с пробит-функцией

p, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

В общем случае пробит-функция имеет вид:

$$Pr = a + b \cdot \ln D \quad (3)$$

где: a и b – константы, зависящие от вида и параметров негативного воздействия; D – доза негативного воздействия (для оценки барического воздействия – избыточное давление на фронте ударной волны и импульс фазы сжатия; для теплового излучения – функция плотности, интенсивности теплового излучения и времени воздействия; для токсического воздействия – концентрация токсического вещества и время воздействия).

При использовании пробит-функций в качестве зон стопроцентного поражения принимаются зоны поражения, где значение пробит-функции достигает величины, соответствующей вероятности в 90%. В качестве зон, безопасных с точки зрения воздействия поражающих факторов, принимаются зоны поражения, где значения пробит-функции достигают величин, соответствующих вероятности в 1%.

Для расчета условной вероятности разрушения объектов ударными волнами используются следующие пробит-функции:

– вероятность слабых повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \cdot \ln D_1 \quad (4)$$

$$\text{где } D_1 = \left(\frac{17500}{\Delta P_\phi} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9,3} \quad (5)$$

где: ΔP_ϕ – избыточное давление, Па; I – импульс взрыва, Па·с.

Импульс волны давления (импульс взрыва) – это величина, характеризующая динамическое воздействие взрыва, в простейшем случае численно равная произведению избыточного давления продуктов взрыва на время его действия.

– вероятность сильных разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается по соотношению:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \cdot \ln D_2 \quad (6)$$

$$\text{где: } D_2 = \left(\frac{40000}{\Delta P_\phi} \right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I} \right)^{11,3} \quad (7)$$

Расчет величины избыточного давления на фронте ударной волны на различном расстоянии от эпицентра взрыва нередко производится по формулам (8-13) М.А. Садовского. При взрыве *твердого взрывчатого вещества (ВВ)* величина P_ϕ определяется как:

$$\Delta P_\phi = 95 \cdot \frac{G_{\text{млт}}^{1/3}}{R} + 390 \cdot \frac{G_{\text{млт}}^{2/3}}{R^2} + 1300 \cdot \frac{G_{\text{млт}}}{R^3} \quad (8)$$

где: ΔP_ϕ – избыточное давление, кПа; R – расстояние от эпицентра взрыва до рассматриваемого объекта, м; $G_{\text{млт}}$ – тротильный эквивалент взорвавшегося вещества, кг, рассчитываемый по формуле:

$$G_{\text{млт}} = \frac{Q_{\text{ВВ}}}{Q_{\text{млт}}} \cdot G \quad (9)$$

где $Q_{\text{вв}}$ и $Q_{\text{тнт}}$ – энергия взрывов рассматриваемого ВВ и тротила соответственно, кДж/кг; $Q_{\text{тнт}} = 4520$ кДж/кг; G – масса взорвавшегося твердого вещества, кг.

Импульс при взрыве твердого ВВ находится по формуле:

$$I = \frac{0,4G_{\text{тнт}}^{2/3}}{\sqrt{R}} \quad (10)$$

При взрыве *парогазовоздушного облака* величину избыточного давления на фронте ударной волны можно найти по формуле:

$$\Delta P_{\phi} = 81 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{1/3}}{R} + 303 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{2/3}}{R^2} + 505 \cdot \frac{m_{\text{пр}}}{R^3} \quad (11)$$

где $m_{\text{пр}}$ – приведенная масса пара или газа, участвующего во взрыве, кг, рассчитываемая как:

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{вв}}}{Q_{\text{тнт}}} \cdot m \cdot Z \quad (12)$$

где $Q_{\text{вв}}$ и $Q_{\text{тнт}}$ – энергия взрывов рассматриваемого ВВ и тротила соответственно, кДж/кг; m – масса газообразного вещества, поступившего в окружающее пространство, кг; Z – коэффициент участия горючих газов или паров в горении.

Импульс при взрыве парогазовоздушного облака рассчитывается из соотношения:

$$I = \frac{0,123m_{\text{пр}}^{2/3}}{\sqrt{R}} \quad (13)$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные теоретические сведения к практической работе, уделяя особое внимание используемым терминам и определениям, методике расчетов.

2. Получить задание от преподавателя. Исходные данные для расчета выбираются согласно приложению 1 таблицам 1-3 для в соответствии с вариантом.

3. Выполнить задания, объяснив ход решения и полученные результаты, сделать выводы.

Задание 1.

На расстоянии 100 м от склада взрывчатых веществ расположены одноэтажные складские помещения металлопроката, в 300 м – многоэтажный каркасный цех по производству роликоопор для ленточных конвейеров, в 500 м – кирпичное здание электроподстанции. Определить вероятность сильных и слабых повреждений зданий промышленных объектов при взрыве веществ на складе.

Задание 2.

На расстоянии 200 м от наземного резервуара для хранения сжиженного углеводородного газа (СУГ) (рис. 1) расположено здание по ремонту горнотранспортной техники, используемой на карьере. Удельная теплота сгорания пропан-бутановой смеси – 46,8 МДж/кг. Коэффициент участия газа во взрыве $Z = 0,1$. Определить степень и вероятность повреждений здания ремонтного цеха в случае взрыва газа в резервуаре. *Данные по марке резервуара, его габаритам, уровню налива и типу газовой смеси принять согласно заданию преподавателя из таблиц 2-3 приложения 1.*

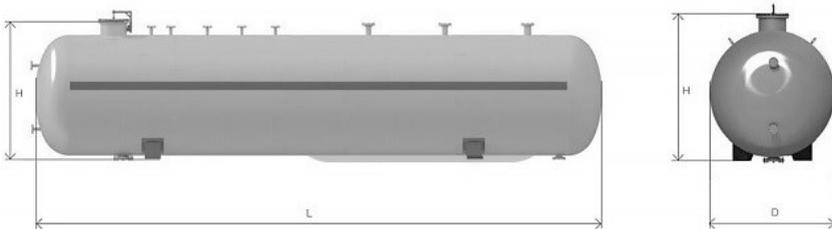


Рис. 1. Внешний вид резервуара СУГ

Контрольные вопросы

1. Что понимается под взрывом с точки зрения физической природы? Дайте определение понятиям «избыточное давление на фронте ударной волны» и «импульс взрыва».
2. Раскройте понятия «детерминированные критерии» и «вероятностные критерии». Приведите примеры. Какой общий вид имеет пробит-функция?
3. При каком значении избыточного давления на фронте ударной волны при взрыве здание будет полностью разрушено?
4. Как определить степень разрушения зданий и сооружений, используя пробит-функцию?
5. Как рассчитать величину избыточного давления на фронте ударной волны при взрыве твердого взрывчатого вещества?

Практическая работа № 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ И ТЯЖЕСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ВЗРЫВЕ И ПОЖАРЕ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Цель работы – приобретение практических навыков оценки вероятности и степени травмирования людей при взрыве и пожаре на опасном производственном объекте.

Теоретические сведения

При взрывах и пожарах на ОПО помимо разрушения зданий, сооружений и технических устройств, нередко получают травмы работники этих предприятий и люди, находящиеся рядом с ОПО. Для планирования и принятия превентивных мероприятий по предупреждению аварий, ЧС, локализации и ликвидации аварий и их последствий, важно оценить радиус зоны поражения людей, тяжести их травмирования и вероятности получения различных травм.

При прогнозировании последствий для человека воздействия поражающих факторов взрыва и пожара могут быть использованы, как и при оценке степени разрушения зданий и сооружений, детерминированные и вероятностные критерии.

При оценке степени повреждения здоровья человека при взрыве в качестве основного параметра поражающего фактора принимается величина избыточного давления на фронте падающей ударной волны ΔP_{ϕ} .

Величина избыточного давления на фронте падающей ударной волны принимается безопасной для человека $\Delta P_{\phi} = 5$ кПа. Воздействие на человека ударной волны с избыточным давлением на фронте $\Delta P_{\phi} > 120$ кПа рекомендуется принимать в качестве смертельного поражения. Для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение избыточного давления, превышающее 70 кПа.

Условная вероятность травмирования и гибели людей, находящихся в зданиях, в зависимости от степени разрушения зданий от воздействия ударной волны определяется по таблице 4.

Таблица 4

Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания

Тяжесть поражения	Степень разрушения			
	Полная	Сильная	Средняя	Слабая
Смертельная	0,6	0,49	0,09	0
Тяжелая травма	0,37	0,34	0,1	0
Легкая травма	0,03	0,17	0,2	0,05

Расчет вероятности контузии у людей, попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС, оценивается по величине пробит-функции, рассчитываемой по формуле:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \cdot \ln D_3 \quad (14)$$

$$\text{где: } D_3 = \frac{4,2}{k} + \frac{1,3}{n} \quad (15)$$

где k , n – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$k = 1 + \frac{\Delta P_\phi}{P_0} \quad (16)$$

$$n = \frac{I}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}} \quad (17)$$

где m – масса тела человека, кг; P_0 – атмосферное давление, кПа.

Вероятность разрыва барабанных перепонок у людей, обусловленная перепадом давления в воздушной волне определяется через пробит-функцию, определяемую по формуле:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \cdot \ln \Delta P_\phi \quad (18)$$

Вероятность отброса человека ударной волной, который, как правило, приводит к летальному исходу, оценивается по величине пробит-функции:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \cdot \ln D_5 \quad (19)$$

$$\text{где: } D_5 = \frac{7,38 \cdot 10^{-3}}{\Delta P_\phi} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P_\phi \cdot I} \quad (20)$$

При оценке воздействия теплового излучения основным критерием поражения является интенсивность теплового излучения. Детерминированные критерии поражения людей приведены в таблице 5.

Таблица 5

Предельно допустимая интенсивность теплового излучения

Степень поражения	Интенсивность теплового излучения, q , кВт/м ²
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20 - 30 с Ожог первой степени через 15 - 20 с Ожог второй степени через 30 - 40 с Воспламенение хлопка-волокна через 15 мин	7,0
Непереносимая боль через 3 - 5 с Ожог первой степени через 6 - 8 с Ожог второй степени через 12 - 16 с	10,5

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается следующими выражениями:

$$Pr_6 = -12,8 + 2,56 \ln D_6 \quad (21)$$

$$\text{где: } D_6 = t \cdot q^{4/3} \quad (22)$$

где: t – время воздействия теплового фактора на человека, с; q – интенсивность теплового излучения, кВт/м².

Интенсивность теплового излучения рассчитывается для нескольких случаев пожара:

- твердых горючих материалов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, газов;
- «огненного шара».

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

Интенсивность теплового излучения q , для первого случая рассчитывается по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \quad (23)$$

где E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт·м⁻², принимается на основе экспериментальных данных (приложение 2 таблица 2); F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Угловой коэффициент облученности рассчитывается по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (24)$$

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

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right\} \right] \quad (25)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{B-1/S}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}}\right) - \frac{A-1/S}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right] \quad (26)$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S} \quad (27)$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2S} \quad (28)$$

$$S = \frac{2r}{d} \quad (29)$$

$$h = \frac{2H}{d} \quad (30)$$

где r – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d – эффективный диаметр пролива, м; H – высота пламени H , м.

Параметры d и H определяются по формулам 31 и 32 соответственно:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (31)$$

где F – площадь пролива, м^2 .

$$H = 42d \left(\frac{M}{\rho_v \sqrt{gd}} \right)^{0,61} \quad (32)$$

где M – удельная массовая скорость выгорания жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ (приложение 2 таблица 2); ρ_v – плотность окружающего воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$.

Коэффициент пропускания атмосферы рассчитывается следующим образом:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5d)) \quad (33)$$

Интенсивность теплового излучения для второго случая – «огненного шара» рассчитывается по той же формуле 23, что и для первого случая, только угловой коэффициент облученности определяется по формуле 34:

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot ((H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2)^{1,5}} \quad (34)$$

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

Эффективный диаметр «огненного шара» D_s рассчитывается по формуле:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327} \quad (35)$$

где: m – масса горючего вещества, участвующего в образовании огненного шара, кг;

Высота центра «огненного шара» H определяется специальными методами либо принимается равной $\frac{1}{2} D_s$.

Коэффициент пропускания атмосферы рассчитывается как:

$$\tau = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2})) \quad (36)$$

Величина эффективного времени экспозиции t вычисляется по формулам:

а) для огненного шара:

$$t = 0,92 \cdot m^{0,303} \quad (37)$$

б) для пожара, пролива или факела:

$$t = t_0 + \frac{x_{\delta}}{v_{cp}}, \quad (38)$$

где t_0 – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (принимается равным 5 с); x_{δ} – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м^2), м; v_{cp} – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с (принимается 5 м/с).

В качестве зон, безопасных с точки зрения воздействия поражающих факторов, принимаются зоны поражения, где значения пробит-функции достигают величины, соответствующей вероятности в 1 %. Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара, пролива или факела, принимается равной 1.

Для пожара-вспышки следует принимать, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1. За пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

При расчете вероятности поражения человека тепловым излучением рекомендуется учитывать возможность укрытия (например, в здании или за ним).

Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные теоретические сведения к практической работе, уделяя особое внимание используемым терминам и определениям, методике расчетов.

2. Выполнить задания 3 и 4. Исходные данные для расчета выбираются согласно приложению 2 таблицам 1-4 для в соответствии с вариантом.

3. Объяснить полученные результаты, сделать выводы.

Задание 3.

На основе результатов выполненного задания 2 к практической работе №1 определить вероятность получения работниками ремонтного цеха травм различной степени тяжести при взрыве СПГ в резервуаре, используя детерминированные и вероятностные критерии.

Задание 4.

Вследствие разгерметизации резервуара и воздействия теплового источника произошло воспламенение горючих веществ. Определить вероятность и тяжесть поражения тепловым фактором людей, находящихся в непосредственной близости с зоной пожара. Обратите внимание, что в вариантах 1-13 рассматривается случай образования «огненного шара», в вариантах 14-15 – пожар разлива горючих и легковоспламеняющихся веществ, факел горящих газов.

Контрольные вопросы

1. Какая величина избыточного давления на фронте падающей ударной волны при взрыве является безопасной для человека, а какая является смертельной?

2. Как определяется вероятность поражения человека при взрыве и тяжесть полученных травм? Поясните на примере детерминированных и вероятностных критериев. Приведите примеры.

3. Каким образом определяется вероятность поражения человека тепловым излучением?

4. От чего зависит степень поражения человека тепловым излучением? Приведите примеры.

5. В чем особенности расчета интенсивности теплового излучения для случая «огненного шара» и горения твердых горючих веществ, ЛВЖ, СПГ?

Практическая работа № 3.

ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ АВАРИИ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Цель работы – приобретение навыков расчета размера полного ущерба, нанесенного в результате аварии на опасных производственных объектах в целом или его отдельных частях.

Теоретические сведения

Согласно отчетам Ростехнадзора ежегодно на территории РФ на подконтрольных опасных производственных объектах происходят различные виды аварий, сопровождаемых значительным экономическим ущербом и человеческими потерями.

Авария – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Ущерб – потери некоторым субъектом или группой субъектов части или всех своих ценностей.

Согласно требованиям ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 организации, эксплуатирующие ОПО, должны иметь резервы финансовых средств и материальных ресурсов для локализации и ликвидации последствий аварий, включая их расследование. В связи с этим, весьма важно, предварительно оценивать риски аварий и размер возможного ущерба. Оценка ущерба необходима также для подготовки деклараций промышленной безопасности, страхования ОПО, обоснования противоаварийных мероприятий.

Оценка ущерба от аварий на ОПО производится согласно методических рекомендаций РД 03-496-02 от 29.12.2002, утвержденных постановлением Ростехнадзора № 63. Ниже кратко описаны основные подходы к оценке ущерба от аварий на ОПО, указанные в методических рекомендациях.

Полный ущерб (P_a) от аварий на ОПО, как правило, включает: прямые финансовые потери ($P_{п.п.}$) организации, эксплуатирующей ОПО, на котором произошла авария; расходы на локализацию и ликвидацию аварии, а также расследование ее причин ($P_{л.а.}$); социально-экономические потери ($P_{сэ}$), связанные с травмиранием и

гибелью персонала организации и третьих лиц; косвенный ущерб ($\Pi_{н.в.}$); вред, нанесенный окружающей природной среде ($\Pi_{экол.}$); и потери государства от выбытия трудовых ресурсов ($\Pi_{в.т.р.}$) в результате гибели работников или потери ими трудоспособности:

$$\Pi_a = \Pi_{п.п.} + \Pi_{л.а.} + \Pi_{сэ} + \Pi_{н.в.} + \Pi_{экол.} + \Pi_{в.т.р.} \quad (39)$$

Прямые потери складываются из потерь предприятия в результате уничтожения или повреждения основных фондов ($\Pi_{о.ф.}$), товарно-материальных ценностей ($\Pi_{тм.ц}$) и имущества третьих лиц ($\Pi_{им.}$).

Социально-экономические потери определяются суммированием затрат на компенсации и мероприятия вследствие гибели персонала ($\Pi_{г.п.}$) и третьих лиц ($\Pi_{г.т.л.}$) и (или) травмирования персонала ($\Pi_{т.п.}$) и третьих лиц ($\Pi_{т.т.л.}$)

Косвенный ущерб оценивается как часть доходов, недополученных предприятием в результате простоя ($\Pi_{н.п.}$), зарплата и условно-постоянные расходы предприятия за время простоя ($\Pi_{з.п.}$), убытки, связанные с уплатой неустоек, штрафов, пени ($\Pi_{ш}$) и убытки третьих лиц из-за недополученной ими прибыли ($\Pi_{н.т.п.л.}$).

Экологический ущерб вычисляется путем суммирования ущербов от различных видов вредного воздействия на окружающую природную среду: от загрязнения атмосферы (\mathcal{E}_a), водных ресурсов ($\mathcal{E}_в$), почвы ($\mathcal{E}_п$), от уничтожения биологических ресурсов в т.ч. лесов ($\mathcal{E}_л$), от засорения территорий обломками зданий, сооружений, оборудования ($\mathcal{E}_о$).

Порядок выполнения работы:

1. Изучить краткие теоретические сведения к практической работе.
2. Ознакомиться с методикой расчетов отдельных составляющих экономического ущерба от аварий на ОПО, представленных в РД 03-496-02, и выполнить задание 5.

Задание 5.

Закрепить теоретические знания методики оценки экономического ущерба от аварии на ОПО посредством детального рассмотрения примера, приведенного в приложении 3 к РД 03-496-02.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под аварией на ОПО и нанесенным ущербом?
2. Из каких основных составляющих складывается размер полного ущерба, нанесенного в результате аварии на ОПО?
3. Что такое прямые потери предприятия и как их рассчитать? Приведите примеры.
4. Как определяются социально-экономические потери? Поясните на примере.
5. Каким образом определяется косвенный и экологический ущерб?

Практическая работа № 4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИИ ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА

Цель работы – изучение основных показателей пожаро- и взрывоопасности веществ и материалов, приобретение навыков оценки категорий производственных объектов по критерию взрыво- и пожароопасности.

Теоретические сведения

Промышленные предприятия часто характеризуются повышенной взрыво- и пожароопасностью, так как их отличает сложность производственных установок, значительное количество легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных горючих газов, твердых сгораемых материалов, большое количество емкостей и аппаратов, в которых находятся пожароопасные продукты под давлением, разветвленная сеть трубопроводов с регулировочной аппаратурой, большая оснащенность электроустановками.

Пожар – это неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб.

Горение – это химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и свечением. Для возникновения горения необходимо наличие горючего вещества, окислителя (чаще всего, кислорода) и источника зажигания. Кроме того, необходимо, чтобы горючее вещество было нагрето до определенной температуры и находилось в определенном количественном соотношении с окислителем, а источник загорания имел бы определенную энергию. Окислителями являются также хлор, фтор, оксиды азота и другие вещества.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования» *пожарная безопасность* – это состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. С учетом этого разрабатывают профилактические мероприятия и систему пожарной защиты. Нормативная вероятность возникновения пожара принимается равной не более 10^{-6} в год на отдельный

пожароопасный элемент рассматриваемого объекта. Такая же вероятность воздействия опасных факторов пожара в расчете на отдельного человека (риск) принимается при разработке системы пожарной защиты.

Опасными факторами пожара являются повышенная температура воздуха и предметов, открытый огонь и искры, токсичные продукты горения и дым, пониженная концентрация кислорода, избыточное давление во фронте ударной волны при взрыве, обломки зданий и сооружений при их повреждении и разрушении.

Все вещества, в зависимости от способности гореть без источника зажигания делятся на:

- *негорючие*, которые самостоятельно на воздухе не горят;
- *горючие*, способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания;
- *трудногорючие*, которые возгораются при наличии источника зажигания, но прекращают горение после его удаления.

Пожаро- и взрывоопасность веществ и материалов определяется показателями, характеризующими предельные условия возникновения процесса горения. Такими показателями горючих газов являются концентрационные пределы распространения пламени или пределы воспламенения; скорость распространения пламени; минимальное взрывоопасное содержание кислорода; температура самовоспламенения; давление взрыва и скорость его нарастания; минимальная энергия зажигания; нижний (НКП) и верхний (ВКП) концентрационный предел распространения пламени.

При оценке пожароопасности жидкостей перечисленные выше показатели дополняются температурой вспышки, температурой воспламенения, температурными пределами распространения пламени. Пожарная опасность твердых веществ и материалов характеризуется их склонностью к возгоранию и самовозгоранию.

Различают следующие виды горения:

- а) *вспышка* – быстрое сгорание горючей смеси без образования повышенного давления газов;
- б) *возгорание* – возникновение горения от источника зажигания;

в) *воспламенение* – возгорание, сопровождающееся появлением пламени;

г) *самовозгорание* – горение, возникающее при отсутствии внешнего источника зажигания;

д) *самовоспламенение* – самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени;

е) *взрыв* – чрезвычайно быстрое горение, при котором происходит выделение энергии и образование сжатых газов, способных производить механические разрушения.

Температурой вспышки называется самая низкая температура горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары и газы, способные давать вспышку в воздухе от источника зажигания, но скорость образования паров и газов недостаточна для устойчивого горения.

Значения температуры вспышки применяют при классификации жидкостей по степени пожароопасности, при определении категории производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями СНиП; классов взрывоопасных и пожароопасных зон в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ), а также при разработке мероприятий для обеспечения пожарной безопасности и взрывобезопасности.

По температуре вспышки горючие вещества делятся на:

– *легковоспламеняющиеся жидкости* (ЛВЖ), к которым относятся жидкости с температурой вспышки, не превышающей 61°C в закрытом тигле и 66°C в открытом тигле (например, бензин, этиловый спирт, ацетон, нитроэмали);

– *горючие жидкости* (ГЖ) с температурой вспышки более 61°C в закрытом тигле и 66°C в открытом тигле (например, масла, мазут, формалин).

Температура воспламенения – это наименьшая температура горючего вещества, при которой оно выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при поднесении источника зажигания возникает устойчивое горение.

Температурой самовоспламенения называют самую низкую температуру вещества, при которой оно загорается в процессе на-

гревания без непосредственного контакта с огнем. Самовоспламенение возможно только при определенных соотношениях горючего вещества и окислителей. Существуют понятия: нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения. Интервал между ними называется *диапазоном* или *областью воспламенения*. Различают и температурные пределы воспламенения.

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1–В4, Г и Д (Приложение 3 таблица 1), а здания – на категории А, Б, В, Г и Д.

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

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

Здание относится к категории Б, если здание не относится к категории А и суммированная площадь помещений категорий А и Б превышает 5% суммарной площади всех помещений или 200 м².

Здание относится к категории В, если здание не относится к категории А или Б и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2 и В3 превышает 5% (10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений.

Здание относится к категории Г, если оно не относится к категории А, Б или В и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2, В3 и Г превышает 5 % суммарной площади всех помещений.

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

Если помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения, то для зданий категорий А или Б площадь помещений соответствующих категорий должна превышать 25% всей площади помещений или 1000 м², для зданий категории В – 3500 м² и зданий категории Г – 5000 м².

При расчете критериев взрывопожарной опасности в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в

образовании горючих газо-, паро-, пылевоздушных смесей участвует наибольшее количество газов, паров, пылей, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей.

Определение категорий помещений и зданий предприятий производится в соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Отнесение помещения к категориям А и Б производится на основании анализа физико-химических свойств хранящихся в нем веществ и материалов, а также по величине избыточного давления ΔP , кПа. Избыточное давление взрыва ΔP для горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, состоящих из атомов *C, H, N, O, Cl, Br, J, F*, определяется по формуле:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \cdot \rho_{г,п}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n} \quad (40)$$

где P_{max} – максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовойоздушной или паро-воздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочной литературе, кПа, $P_{max} = 900$ кПа; P_0 – начальное давление, кПа, $P_0 = 101$ кПа; m – масса горючего газа или паров ЛВЖ и ГЖ, вышедшая в результате аварии в помещение из аппаратов, кг; Z – коэффициент участия горючих газов и паров в горении (Приложение 3, таблица 2); $V_{св}$ – свободный объем помещения, м³ (равен 80 % от геометрического объема помещения); K_n – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения, $K_n=3$; $\rho_{г,п}$ – плотность газа или пара при расчетной температуре $t_p=61^\circ\text{C}$; $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, об. %.

Плотность газа или пара $\rho_{г,п}$ вычисляется по формуле:

$$\rho_{г,п} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} \quad (41)$$

где M – молярная масса, м³/кмоль; V_0 – мольный объем, м³/кмоль, $V_0=22,413$ м³/кмоль; t_p – расчетная температура, °C.

Стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, об. %:

$$C_{cm} \leq \frac{100}{1 + 4,84\beta} \quad (42)$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения, определяемый по формуле:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2} \quad (43)$$

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

Расчет ΔP для индивидуальных веществ, кроме упомянутых выше, а также для смесей, может быть выполнен по формуле:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_B \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H} \quad (44)$$

где H_T – теплота сгорания, Дж/кг (таблица 3 приложения 3); ρ_B – плотность воздуха при начальной температуре T_0 , кг/м³; C_p – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К), $C_p = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); T_0 – начальная температура воздуха, К.

Определение пожароопасной категории помещений В1-В4 осуществляется исходя из значения удельной пожарной нагрузки, т.е. путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в таблице 4 приложения 3.

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

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ин}^p \quad (45)$$

где n количество горючих и трудногорючих веществ, находящихся в помещении, кг; G_i – масса i -го материала пожарной нагрузки, кг; Q_{Hi}^p – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг;

Удельная пожарная нагрузка g , МДж/м², определяется как:

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (46)$$

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

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения к практической работе.
2. Выполнить задания 6 и 7.

Задание 6.

Определить категорию взрывопожароопасности помещения, имеющего габаритные размеры $D \times Ш \times В$, в котором хранится n -ое количество вещества определенного типа. Исходные данные для расчета приведены в таблице 5 приложения 3.

Задание 7.

Установить категорию пожароопасности помещения, имеющего габаритные размеры $D \times Ш \times В$, в котором хранится n -ое количество твердых горючих веществ разных типов. Исходные данные для расчета приведены в таблице 6 приложения 3.

Контрольные вопросы

1. Что относится к опасным факторам пожара? Назовите виды горения.
2. Что такое температура вспышки? На какие типы делятся горючие вещества по температуре вспышки?
3. Как определить, что помещение относится к категории А или Б?
4. Как осуществляется определение пожароопасной категории помещений В1-В4?
5. Каким образом устанавливаются категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности?

Практическая работа № 5.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭВАКУАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Цель работы – изучение основных мероприятий по пожарной профилактике и формирование навыков расчета параметров эвакуационных мероприятий.

Теоретические сведения

Пожарная профилактика (ПП) – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара.

Пожарная профилактика обеспечивается путем реализации следующих мероприятий:

- повышения огнестойкости зданий и сооружений;
- зонирования территории;
- применения противопожарных разрывов;
- применения противопожарных преград;
- обеспечения безопасной эвакуации людей на случай возникновения пожара и обеспечения удаления из помещения газов и дыма.

Огнестойкость конструкций характеризуется пределом огнестойкости, представляющим собой время в часах от начала испытания конструкции по стандартному температурному режиму до возникновения одного из следующих признаков: образование в конструкции трещин или отверстий, сквозь которые проникают продукты горения или пламя; повышение температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140 °С; потеря конструкцией своей несущей способности; переход горения в смежные конструкции или помещения; разрушение узлов крепления конструкции. В зависимости от величины предела огнестойкости основных строительных конструкций и пределов распространения огня по этим конструкциям здания и сооружения по огнестойкости подразделяют на пять степеней (I, II, III, IV, V) по мере снижения требований.

Повысить огнестойкость зданий и сооружений можно облицовкой или оштукатуриванием металлических конструкций (например, гипсовыми плитами); оштукатуриванием деревянных конструкций известково-цементной, асбестоцементной или гипсовой штукатуркой; огнезащитной пропиткой древесины антипиренами – химическими веществами (фосфорнокислый аммоний, сернокислый аммоний), придающими ей негорючесть; покрытие конструкций огнезащитными красками.

Зонирование территории заключается в группировании при генеральной планировке предприятий в отдельные комплексы объектов, родственных по функциональному назначению и признаку пожарной опасности. При этом сооружения с повышенной пожарной опасностью располагаются с подветренной стороны. Сюда же относится и правильное устройство внутривоздушных ворот, которые должны обеспечивать беспрепятственный удобный проезд пожарных автомобилей к любому зданию, а также выбор мест расположения пожарных депо. Одна из сторон предприятия должна примыкать к дороге общего пользования или сообщаться с ней проездами.

Для предупреждения распространения пожара с одного здания на другое между ними предусматривают *противопожарные разрывы*. При определении размеров противопожарных разрывов учитывают степень огнестойкости зданий. Регулируемые нормами величины противопожарных разрывов между производственными и вспомогательными зданиями, сооружениями и закрытыми складами приведены в таблице 6.

Таблица 6

Величины противопожарных разрывов между производственными и вспомогательными зданиями

Степень огнестойкости одного здания или сооружения	Противопожарный разрыв (м) при степени огнестойкости другого здания или сооружения		
	I и II	III	IV и V
I	2	3	4
I и II	9	9	12
III	9	12	15
IV и V	12	15	18

К противопожарным преградам относятся стены, перегородки, перекрытия, двери, ворота, люки, тамбур-шлюзы и окна. Противопожарные стены должны быть выполнены из несгораемых материалов, иметь предел огнестойкости не менее 2,5 ч и опираться на фундаменты. Противопожарные двери, окна и ворота в противопожарных стенах должны иметь предел огнестойкости не менее 1,2 ч, а противопожарные перекрытия – не менее 1 ч. Такие перекрытия не должны иметь проемов и отверстий, через которые могут проникать продукты горения при пожаре.

При проектировании зданий должна быть предусмотрена безопасная эвакуация людей на случай возникновения пожара. Люди при этом должны покинуть здание в течение нормированного минимального времени, которое определяется кратчайшим расстоянием от места нахождения до выхода из здания наружу.

Эвакуационный путь (путь эвакуации) — путь движения и (или) перемещения людей, ведущий непосредственно наружу или в безопасную зону, удовлетворяющий требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре

Самостоятельный эвакуационный выход – эвакуационный выход, ведущий на путь эвакуации и не включающий части здания (помещения) иной функциональной пожарной опасности.

Основные требования к организации эвакуационных путей и выходов регламентированы СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

Количество эвакуационных выходов из производственного здания или сооружения должно быть, как правило, не менее двух. Эвакуационные выходы располагают рассредоточено. Минимальное расстояние L (м) между наиболее удаленными эвакуационными выходами один от другого эвакуационными выходами в коридоре:

$$L \geq 0,4 \cdot D, \quad (47)$$

где D – длина коридора, м.

Все пути эвакуации (проходы, коридоры, лестницы и т.д.) должны иметь, по возможности, ровные вертикальные ограждающие конструкции без выступов, обычное и аварийное освещение. Минимальная ширина эвакуационных выходов из помещений и зданий,

при числе эвакуирующихся через указанные выходы более 50 человек, должна быть не менее 1,2 м, в большинстве других случаев – не менее 0,8 м. Из технических помещений и кладовых площадью не более 20 м² без постоянных рабочих мест, туалетных и душевых кабин, санузлов, а также из помещений с одиночными рабочими местами, допускается предусматривать эвакуационные выходы шириной не менее 0,6 м. Высота эвакуационных выходов в свету должна быть, как правило, не менее 1,9 м, в исключительных случаях 1,5 м при соответствующем обосновании.

Высота горизонтальных участков путей эвакуации в свету, как правило, должна быть не менее 2 м. Допускается уменьшать указанную высоту до 1,8 м для горизонтальных участков путей эвакуации, по которым могут эвакуироваться не более 5 человек. Ширина горизонтальных участков путей эвакуации и пандусов должна быть не менее 1,2 м – для коридоров и иных путей эвакуации, по которым могут эвакуироваться более 50 человек; 0,7 м – для проходов к одиночным рабочим местам; 1,0 м – в остальных случаях. Коридоры длиной более 60 м следует разделять противопожарными перегородками на участки с длиной не более 60 м.

Ширина пути эвакуации по лестнице, должна быть не менее:

а) 1,35 м – для лестниц, предназначенных для эвакуации посетителей зданий класса Ф1.1, Ф2.1, Ф2.2, Ф3.4, Ф4.1, а также для зданий с числом людей, находящихся на любом этаже, кроме первого, более 200 человек;

б) 1,6 м – для зданий с числом людей, находящихся на любом этаже, кроме первого, более 600 человек;

в) 1,2 м – для остальных зданий, за исключением зданий класса Ф1.3, Ф1.4, Ф5;

г) 1,05 м – для зданий класса Ф1.3;

д) 0,7 м – для лестниц, ведущих к одиночным рабочим местам или предназначенным для эвакуации не более 5 человек;

е) 0,9 м – для всех остальных случаев.

Высота пути эвакуации должна быть не менее 2,2 м.

Расстояние по путям эвакуации от дверей наиболее удаленных помещений до выхода наружу или на лестничную клетку определяется в зависимости от класса конструктивной пожарной опасно-

сти, степени огнестойкости и назначения здания и варьируется от 5-20 м для детских учреждений до 40 м в гостиницах и общежитиях. Минимальная ширина лестничных маршей определяется расчетом, но не должна быть меньше 2,4 м. Ширина эвакуационного выхода из производственного здания принимается в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход, по нормам, приведенным в таблице 7, но должна быть не менее 0,8 м.

Таблица 7

Ширина эвакуационного выхода

Категория помещения	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Количество людей на 1м ширины эвакуационного выхода
А, Б	I, II, III, IV	C0	85
B1-B2	I, II, III, IV	C0	175
	IV	C1	120
	Не нормируется	C2, C3	85
B4, Г, Д	I, II, III, IV	C0	260
	IV	C1	180
	Не нормируется	C2, C3	130

Величина необходимого времени эвакуации людей для помещений производственных зданий I, II и III степени огнестойкости приведена в таблице 8.

Таблица 8

Величина необходимого времени эвакуации людей из производственных зданий

Категория помещения	Необходимое время эвакуации (мин) при объеме помещения, тыс. м ³				
	До 15	30	40	50	60 и более
А, Б	0,5	0,75	1	1,5	1,75
В	1,25	2	2	2,5	3
Г, Д	не регламентируется				

Для обеспечения безопасности людей при пожарах в зданиях и сооружениях предусматриваются эвакуационные пути, по которым люди могут достичь безопасного места. При расчете эвакуации необходимо учитывать время, необходимое для эвакуации людей и материальных ценностей из отдельных помещений и время для эвакуации из зданий в целом. Конструктивные элементы эвакуацион-

ных выходов должны быть большей или равной степени огнестойкости, чем здание. Выходы считают эвакуационными, если они ведут: а) из помещений первого этажа непосредственно наружу или к выходу через коридор, лестничную клетку, вестибюль; б) из помещений любого этажа в коридоры, ведущие к лестничной клетке, имеющей выход непосредственно наружу или через вестибюль; в) из помещений любого этажа в соседние помещения на этом этаже, обеспеченные выходами, указанными в а) и б). Число эвакуационных выходов должно быть не менее двух. Для обеспечения безопасной эвакуации людей из помещений и зданий расчетное время эвакуации t_p должно быть меньше необходимого времени эвакуации $t_{нб}$.

На план здания наносят эвакуационные выходы и пути эвакуации. Расчетное время эвакуации определяют исходя из протяженности эвакуационных путей и скорости движения людских потоков на всех участках пути от наиболее удаленной точки помещения до эвакуационных выходов. При расчете весь путь людского движения делят на участки длиной l_i и шириной σ_i . Начальными участками считаются проходы между рабочими местами, далее участки определяют исходя из планировки здания. Путь по лестничной клетке определяется длиной лестничного марша. Расчетное время t_p находят как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути:

$$t_p = \sum t_i \quad (48)$$

Время движения людского потока по первому участку пути рассчитывается как:

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1} \quad (49)$$

где v_1 – скорость движения людского потока, м/с, зависящая от плотности потока D и определяемая по таблице 1 приложения 4.

Плотность потока на этом участке пути D (чел.) рассчитывается по формуле:

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot \sigma_1} \quad (50)$$

где N_1 – число людей на первом участке; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м², $f = 0,1$ м² – для взрослого человека в летней одежде, $f = 0,125$ м² для взрослого человека в зимней одежде, $f = 0,07$ м² – для подростка; l_1 и σ_1 длина и ширина первого участка, м.

Интенсивность движения людского потока на первом участке, чел/мин определяется по формуле:

$$q_1 = D_1 \cdot v_1 \quad (51)$$

Величина скорости движения людского потока v_i на последующих участках пути определяется по таблице 1 приложения 4 в зависимости от интенсивности движения потока q_i :

$$q_i = q_{i-1} \cdot \frac{\sigma_{i-1}}{\sigma_i} \quad (52)$$

где σ_i и σ_{i-1} – ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему ($i-1$)-го участка пути соответственно, м; q_i , q_{i-1} – значение интенсивности движения потока по рассматриваемому i -му и предшествующему ($i-1$)-му участкам пути соответственно, м/мин.

В случае, если $q_i < q_{max}$, то время движения на этом участке пути определяем по формуле:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i} \quad (53)$$

при этом значение q_{max} следует принимать равным 16,5 м/мин для горизонтальных путей; 19,5 м/мин для двери; 16 м/мин для лестницы вниз; 11 м/мин для лестницы вверх. При $q_i > q_{max}$ на i -м участке пути возникает задержка людей. Время задержки определяется по формуле:

$$\Delta t = N \cdot f \cdot \left(\frac{1}{q_i \cdot \sigma_i} - \frac{1}{q_{i-1} \cdot \sigma_{i-1}} \right) \quad (54)$$

При невозможности выполнения условия $q_i < q_{max}$ необходимо увеличить ширину данного участка или принять значение скорости v_i при $D=0,9$. При слиянии в начале участка i двух и более людских потоков интенсивность определяется по формуле:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \sigma_{i-1}}{\sigma_i} \quad (55)$$

После определения всех значений t_i определяется t_p по формуле (48), а затем проверяется условие, чтобы расчетное время эвакуации t_p было меньше необходимого времени эвакуации $t_{нб}$. При соблюдении условия люди безопасно могут эвакуироваться с рабочих мест. При невыполнении условия необходимо пересмотреть расположение эвакуационных выходов, направления и размеры путей эвакуации, возможно расширить проходы для сокращения времени эвакуации.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения к практической работе.
2. Выполнить задание 8.

Задание 8.

Оценить безопасность эвакуации работников предприятия, офиса, образовательного учреждения и т.п. по индивидуальному заданию преподавателя. При необходимости, предложить мероприятия по повышению безопасности работников и обосновать их расчетами.

Контрольные вопросы

1. Что такое пожарная профилактика и на что она направлена?
2. Что понимается под огнестойкостью конструкций и на какие категории по огнестойкости делятся здания и сооружения?
3. Какие требования предъявляются к противопожарным разрывам?
4. Каким требованиям должны отвечать эвакуационные выходы?
5. Как рассчитать время эвакуации от рабочего места до выхода на улицу при пожаре?

Практическая работа № 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ, НАХОДЯЩЕГОСЯ ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Цель работы – приобретение навыков расчета безопасных прочностных характеристик материалов оборудования, находящегося под избыточным давлением пара, газа или воды.

Теоретические сведения

В различных отраслях промышленности используется оборудование, работающее под избыточным давлением пара, газа или воды, которое при неправильной эксплуатации может приводить к инцидентам, авариям и чрезвычайным ситуациям.

Оборудованием, работающим под избыточным давлением, является оборудование, функционирующее под давлением более 0,07 мегапаскала (МПа):

- а) пара, газа (в газообразном, сжиженном состоянии);
- б) воды при температуре более 115 °С;
- в) иных жидкостей при температуре, превышающей температуру их кипения при избыточном давлении 0,07 МПа.

Примерами такого оборудования являются котлы (паровые, водогрейные и др.), трубопроводы для транспортирования газообразных, парообразных и жидких сред, сосуды, работающие под избыточным давлением пара, газов и жидкостей, газовые баллоны, барокамеры.

Для снижения производственных рисков разгерметизации такого оборудования необходимо знать прочные характеристики материалов, из которых оно изготовлено, и безаварийные параметры его работы. При организации производства одной из важнейших задач является не только выбор типа оборудования в зависимости от объемов производства, но также расчет параметров, обеспечивающих безопасность эксплуатации этого оборудования при конкретных условиях.

Чаще всего требуется определить безопасную толщину стенки сосуда, работающего под избыточным давлением, и трубопровода для транспортирования пара, газа или жидкостей при соответствующих

значениях избыточного давления и температуры среды. Рассмотрим ниже типовые задачи и методические подходы к их решению.

Расчет толщины стенки сосуда, работающего под избыточным давлением.

1. Определяется номинальная расчетная толщина стенки сосуда:

$$\delta_{\text{ном}} = \frac{P \cdot D}{2\sigma_p \cdot \varphi - P} \quad (56)$$

где P – избыточное давление пара (жидкости, газа), Па; $D_{\text{в}}$ – внутренний диаметр сосуда, м; σ_p – допустимое напряжение на растяжение металла в зависимости от его марки, Па; φ – коэффициент прочности сварного соединения, $\varphi=0,9$;

2. Рассчитывается полная толщина стенки сосуда $\delta_{\text{полн}}$ с учетом поправок на коррозию металла C и на припуск при изготовлении C_1 :

$$\delta_{\text{полн}} = \delta_{\text{ном}} + C + C_1 \quad (57)$$

где C_1 – производственный припуск на неточность изготовления сосуда при прокатке $C_1 = 0,003$ м.

Коэффициент C рассчитывается исходя из номинальной толщины стенки сосуда с учетом поправочного коэффициента A , который определяется согласно справочным данным и в большинстве случаев принимается равным 0,2:

$$C = A \cdot \delta_{\text{ном}} \quad (58)$$

Расчет толщины стенки трубопровода, работающего под избыточным давлением, производится также в несколько этапов:

1. Производится расчет толщины стенки $\delta_{\text{п}}$ (мм) трубопровода из условия предела прочности металла:

$$\delta_{\text{п}} = \frac{P \cdot d_{\text{н}} \cdot n}{2\sigma_{\text{в}} \cdot m_n} + C \quad (59)$$

где P – давление пара, МПа; $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубопровода, мм; n – коэффициент перегрузки трубопровода; m_n – коэффициент

условий работы трубопровода по пределу прочности; C – производственный припуск на неточность изготовления бесшовных труб и коррозионный износ; σ_B – предел прочности на растяжение металла, МПа, определяемый для условий эксплуатации по формуле:

$$\sigma_B = \sigma_B^{н.у.} \cdot K \quad (60)$$

где $\sigma_B^{н.у.}$ – предел прочности на растяжение металла для нормальных условий, МПа; K – температурный коэффициент.

2. Определяется толщина стенки δ_T трубопровода из условия предела текучести металла по формуле:

$$\delta_T = \frac{P \cdot d_n \cdot n}{2\sigma_T \cdot m_T} + C \quad (61)$$

где m_T – коэффициент условий работы трубопровода по пределу текучести; σ_T – предел текучести металла (МПа), определяемый для условий эксплуатации по формуле:

$$\sigma_T = \sigma_T^{н.у.} \cdot K_T \quad (62)$$

где $\sigma_T^{н.у.}$ – предел текучести металла для нормальных условий, МПа; K_T – температурный коэффициент.

Значения коэффициентов выбираются в соответствии со справочной литературой. В качестве итогового значения толщины стенки трубопровода выбирается наибольшее из рассчитанных значений, которое округляется до величины из ближайшего ряда сортамента труб.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения к практической работе и методику расчетов прочностных характеристик оборудования, находящегося под избыточным давлением пара, газа или воды.

2. Выполнить задания 9 и 10.

Задание 9.

Рассчитать толщину стенки сосуда, достаточную для обеспечения его безопасной работы в условиях избыточного давления пара. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1 приложения 5.

Задание 10.

Рассчитать толщину трубопровода, необходимую для безопасного транспортирования под давлением жидкости с высокой температурой. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1 приложения 5.

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование считается оборудованием, работающим под избыточным давлением?
2. Приведите примеры оборудования, работающего под избыточным давлением.
3. Чем отличается полная толщина стенки сосуда от номинальной расчетной?
4. Какие параметры влияют на выбор толщины стенки оборудования, работающего под избыточным давлением пара, газа или воды?
5. Как производится расчет толщины стенки трубопровода, работающего под избыточным давлением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования» Введ. 1992-07-01. М.: Стандартиформ. 2006. 68 с.

Залаева С.Ш. Безопасность жизнедеятельности: лабораторный практикум / С.Ш. Залаева, Е.А. Носатова, Т.Г. Болотских и др. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 114 с.

Иванов М.Н. Детали машин / М.Н. Иванов. М.: Высшая школа, 1991. 382 с.

Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах (РД 03-496–02). Серия 03. Выпуск 19. 3-е изд., испр. и доп. М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. 40 с.

Миндрин В.И. Производственная безопасность: сборник задач / В.И. Миндрин. Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2009. 92 с.

Приказ МЧС РФ от 14.12.2010 № 649 «О внесении изменений в Приказ МЧС России от 10.07.2009 №404 (Зарегистрировано в Минюсте России 20.01.2011 №19546).

С.А. Фарамазов Оборудование нефтеперегонных заводов и его эксплуатация / С.А. Фарамазов. М.: Химия, 1978. 352 с.

СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». Введ. 2009-05-01. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России. 27 с.

СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы». Введ. 2020-09-19. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России. 52 с.

Теплотехнический справочник под ред. В.Н. Юренева. – М.: Энергия, 1975. 742 с.

Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Приложение 1

Таблица 1

Энергетические характеристики некоторых взрывчатых веществ (к заданию 1)

Вариант	Взрывчатое вещество	Температура взрывчатого превращения, $T_{в}, ^\circ\text{C}$	Теплота взрыва, $Q_{в}, \text{кДж/кг}$	Масса ВВ, т
1	Дымный порох	2380	2784	200
2	Пироксилиновый порох	2400	3391	340
3	Нитроглицерин	4500	6238	400
4	Тротил	3200	4520	100
5	ТЭН	3900	5862	80
6	Гексоген	3400	5443	260
7	Аммонал	3380	6134	50
8	Гремучая ртуть	4500	1721	120
9	Азид свинца	3500	1537	70
10	Гексоген	3400	5443	200
11	Гремучая ртуть	4500	1721	120
12	Пироксилиновый порох	2400	3391	150
13	Нитроглицерин	4500	6238	100
14	Тротил	3200	4520	90
15	ТЭН	3900	5862	40
16	Нитроглицерин	4500	6238	170
17	Аммонал	3380	6134	100
18	Гремучая ртуть	4500	1721	230
19	Азид свинца	3500	1537	100
20	Дымный порох	2380	2784	150
21	Гексоген	3400	5443	160
22	ТЭН	3900	5862	70
23	Тротил	3200	4520	90
24	Дымный порох	2380	2784	350
25	Гексоген	3400	5443	140

Продолжение приложения 1

Таблица 2

Габаритные размеры резервуара СУГ и условия хранения пропан-бутановой смеси (к заданию 2)

Вариант	Марка резервуара	Габаритные размеры резервуара, D×L×H, мм	Уровень налива, %	Соотношение пропана/бутана в смеси, %	Температура, °C
1	СУГ-5	1600×2900×1990	80	90/10	-20
2	СУГ-10	1600×6100×2110	85	80/20	-10
3	СУГ-16	1600×8250×2110	80	70/30	0
4	СУГ-20	1600×9980×2100	85	60/40	5
5	СУГ-25	2000×8120×2320	80	50/50	10
6	СУГ-50	2400×11470×2724	80	40/60	15
7	СУГ-80	3000×11500×3510	85	30/70	20
8	СУГ-100	3000×14700×3695	80	20/80	20
9	СУГ-200	3400×22900×3910	85	10/90	10
10	СУГ-50	2400×11470×2724	85	40/60	15
11	СУГ-80	3000×11500×3510	80	20/80	10
12	СУГ-10	1600×6100×2110	80	10/90	-5
13	СУГ-100	3000×14700×3695	80	40/60	10
14	СУГ-20	1600×9980×2100	80	90/10	10
15	СУГ-25	2000×8120×2320	85	30/70	10
16	СУГ-50	2400×11470×2724	85	40/60	5
17	СУГ-16	1600×8250×2110	85	50/50	-10
18	СУГ-100	3000×14700×3695	85	70/30	0
19	СУГ-16	1600×8250×2110	80	30/70	20
20	СУГ-25	2000×8120×2320	85	70/30	15
21	СУГ-80	3000×11500×3510	85	50/50	0
22	СУГ-5	1600×2900×1990	85	60/40	-10
23	СУГ-50	2400×11470×2724	85	20/80	0
24	СУГ-10	1600×6100×2110	80	80/20	-20
25	СУГ-200	3400×22900×3910	80	80/20	5

Продолжение приложения 1

Таблица 3

**Плотность СУГ при различных температурах и соотношении пропана/бутана
(к заданию 2)**

Пропан / бутан, %	Плотность СУГ (кг/м ³) при температуре, °С								
	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
90/10	559	554	548	542	535	528	521	514	506
80/20	565	561	555	548	541	535	528	521	514
70/30	572	567	561	555	548	542	535	529	521
60/40	577	572	567	561	555	549	542	536	529
50/50	584	579	574	568	564	556	549	543	536
40/60	590	586	579	575	568	562	555	550	543
30/70	596	592	586	581	575	569	562	557	551
20/80	603	598	592	588	582	576	569	565	558
10/90	609	605	599	594	588	583	576	572	566

Приложение 2

Таблица 1

Исходные данные к заданию 3

Вариант	Масса тела работника, кг	Атмосферное давление на момент взрыва, P_0 , мм рт. ст.	Вариант	Масса тела работника, кг	Атмосферное давление на момент взрыва, P_0 , мм рт. ст.
1	65	760	14	74	755
2	80	755	15	76	763
3	74	761	16	82	760
4	77	766	17	66	769
5	69	754	18	70	753
6	85	760	19	72	766
7	81	763	20	68	753
8	66	765	21	76	755
9	60	759	22	69	758
10	64	762	23	73	757
11	70	769	24	80	766
12	75	751	25	90	768
13	63	758			

Таблица 2

Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени (E_f , кВт·м⁻²) и удельная массовая скорость выгорания (M , кг·м⁻²·с⁻¹) жидких углеводородов (к заданию 4)

Углеводороды	E_f (кВт·м ⁻²) при диаметре очага пожара (м)					M , кг·м ⁻² ·с ⁻¹
	10	20	30	40	50	
СПГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельное топливо	40	32	25	21	18	0,04
Нефть	25	19	15	12	10	0,04

Продолжение приложения 2

Таблица 3

Исходные данные к заданию 4 (Варианты 1-13)

Вариант	Тип фактора	Вещество	Диаметр очага пожара, м	Масса горючего вещества, кг	Расстояние от точки под центром огненного шара до объекта, r , м
1	Огненный шар	СПГ	20	2000	250
2	Огненный шар	ДТ	30	5000	280
3	Огненный шар	бензин	40	3000	300
4	Огненный шар	нефть	50	4000	260
5	Огненный шар	бензин	40	3500	320
6	Огненный шар	СПГ	30	2500	270
7	Огненный шар	ДТ	20	3000	300
8	Огненный шар	бензин	10	4500	310
9	Огненный шар	нефть	20	5000	290
10	Огненный шар	СПГ	30	4800	220
11	Огненный шар	бензин	50	3700	240
12	Огненный шар	СПГ	10	2300	320
13	Огненный шар	СУГ	20	2500	280

Таблица 4

Исходные данные к заданию 4 (Варианты 14-25)

Вариант	Тип фактора	Вещество	Диаметр очага пожара, м	Площадь пролива, F , м ²	Расстояние от центра пролива до объекта, r , м	Температура воздуха в месте пожара, °С	Расстояние от человека до безопасной зоны, x_0 , м
14	Пожар, пролив	СПГ	10	1 256	20	1150	550
15	Пожар, пролив	СУГ	20	1 963	25	900	600
16	Пожар, пролив	бензин	40	2 826	30	950	400
17	Пожар, пролив	ДТ	10	314	10	1000	850
18	Пожар, пролив	нефть	30	707	15	1050	300
19	Пожар, пролив	СУГ	50	1 963	25	800	150
20	Пожар, пролив	бензин	30	5 024	40	1100	350
21	Пожар, пролив	бензин	10	2 826	30	850	1000
22	Пожар, пролив	ДТ	40	314	10	750	800
23	Пожар, пролив	СПГ	20	1 256	20	700	500
24	Пожар, пролив	нефть	10	707	15	1000	550
25	Пожар, пролив	СПГ	40	1 963	25	1100	600

Приложение 3

Таблица 1

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрывопожаро- опасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазо-воздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б взрывопожаро- опасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1-В4 пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б
Г умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Продолжение приложения 3

Таблица 2

Значение коэффициента участия горючего во взрыве

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

Таблица 3

Низшая теплота сгорания некоторых веществ, МДж/кг

Вещество	Химическая формула	Теплота сгорания, МДж/кг
Сжиженные углеводородные газы		
Метан	CH_4	35,76
Этан	C_2H_6	63,65
Пропан	C_3H_8	91,14
Пропилен	C_3H_6	86,49
Изобутан	C_4H_{10}	118,23
н-Бутилен	C_4H_8	113,83
н-Пентан	C_5H_{12}	146,18
ЛВЖ и ГЖ		
Бензин авиационный Б-70	C_7H_{14}	44,09
Уайт-спирит	$\text{C}_{10}\text{H}_{21}$	43,97
Керосин	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}$	43,69
Масло трансформаторное	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}$	43,11
Дизельное топливо «Л»	$\text{C}_{14}\text{H}_{29}$	43,42
Твердые горючие материалы		
Бумага	-	13,40
Торф	-	16,60
Древесина	-	13,80
Резина	-	33,52
Каучук натуральный	-	44,73
Лиолеум	-	20,29
Полиэтилен	-	47,14
Пенополиуретан	-	24,30

Продолжение приложения 3

Таблица 4

Значение удельной пожарной нагрузки для определения категорий В1-В4

Категории	Удельная пожарная нагрузка на участке, г, МДж/м ²
В1	Более 2200
В2	1401-2200
В3	181-1400
В4	1-180

Таблица 5

Исходные данные к заданию 6

Вариант	Вещество	Размеры помещения, Д×Ш×В, м	Масса горючего газа или паров ЛВЖ и ГЖ, т, кг	Температура воздуха, °С
1	Уайт-спирит	10×5×3	15	20
2	Этан	12×6×3,5	94	17
3	Пропан	20×5×4	85	21
4	Пропилен	25×10×2,5	70	19
5	Масло трансформ.	15×7×4	46	25
6	Керосин	22×6×3	54	26
7	н-Бутилен	24×8×3	33	20
8	Метан	25×10×2,8	78	19
9	Дизельное топливо	15×4×3	56	22
10	н-Пентан	12×7×2,8	87	18
11	Керосин	10×5×3,5	90	19
12	Бензин	13×4×3,5	101	21
13	Дизельное топливо	12×6×3	120	23
14	Метан	18×9×4	99	24
15	н-Бутилен	14×4×3	63	24
16	Керосин	20×4×3,5	28	16
17	н-Бутилен	15×10×3	20	15
18	Уайт-спирит	11×8×4	49	21
19	Изобутан	12×6×3,5	55	18
20	Бензин	19×7×3	31	19
21	Пропан	15×4×4	22	19
22	Уайт-спирит	12×6,5×2,8	19	20
23	Масло трансформ.	10×8×3	12	22
24	Дизельное топливо	17×5×4	38	23
25	Пропан	20×6×3	47	25

Продолжение приложения 3

Таблица 6

Исходные данные к заданию 7

Вариант	Вещество	Размеры помещения, Д×Ш×В, м	Масса <i>i</i> -го материала пожарной нагрузки, G_i , т
1	Бумага / Торф	14×7×3	7,8 / 4,3
2	Пенополиуретан/ Полиэтилен	25×7×3	10,0 / 2,0
3	Торф / Резина	22×6×3,5	6,5 / 10,2
4	Резина / Каучук	10×10×3	15,4 / 7,4
5	Древесина / Торф	15×15×4	20,7 / 1,8
6	Линолеум / Резина	21×5×3	14,8 / 0,6
7	Каучук / Резина	24×8×3	5,6 / 2,0
8	Бумага / Торф	14×4×3	17,0 / 4,6
9	Торф / Резина	15×4×3	20,0 / 5,8
10	Каучук / Бумага	20×6×3	18,4 / 4,9
11	Торф / Полиэтилен	10×5×3,5	10,5 / 6,0
12	Пенополиуретан/ Бумага	13×4×3,5	5,4 / 11,2
13	Древесина / Бумага	12×6×3	4,8 / 10,4
14	Древесина /Линолеум	18×9×4	7,9 / 5,6
15	Пенополиуретан/ Бумага	18×18×3	24,6 / 1,9
16	Полиэтилен / Бумага	11×4×3,5	25,5 / 2,0
17	Каучук / Бумага	10×10×3	18,0 / 10,0
18	Резина / Полиэтилен	16×8×4	30,1 / 0,5
19	Древесина / Бумага	15×5×3,5	11,1 / 3,5
20	Каучук / Резина	20×8×4	16,0 / 7,8
21	Пенополиуретан/ Полиэтилен	17×6×4	25,4 / 10,7
22	Линолеум / Резина	10×4×3	14,0 / 2,0
23	Древесина / Бумага	12×10×3	12,0 / 11,6
24	Бумага / Торф	17×6×5	3,8 / 17,2
25	Линолеум / Резина	12×7×2,8	4,4 / 10,9

Приложение 4

Таблица 1

Значения скорости и плотности людского потока к заданию 8

$D, \frac{m^2}{m^2}$	Горизонтальный путь		Двери	Лестница вниз		Лестница вверх	
	$v, \frac{m}{min}$	$q, \frac{m}{min}$	$q, \frac{m}{min}$	$v, \frac{m}{min}$	$q, \frac{m}{min}$	$v, \frac{m}{min}$	$q, \frac{m}{min}$
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,5	22	11
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,8
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Приложение 5

Таблица 1

Исходные данные к заданиям 9 и 10

Вариант	Марка стали	Давление, P , МПа / температура t , °С рабочей среды	Наружный диаметр трубопровода, $d_{\text{н}}$, мм	Коэффициент перегрузки, n	Коэффициент по пределу прочности, m_n	Коэффициент по пределу текучести, m_t	Производственный припуск, мм
1	Ст. 20	2,0 / 330	150	1,3	0,7	1,0	3,0
2	Ст. 15	1,6 / 300	160	1,2	0,6	0,9	2,5
3	Ст. 10	1,6 / 300	200	1,1	0,5	0,9	2,5
4	Ст. 30	2,5 / 360	210	1,4	0,8	1,0	3,0
5	Ст. 20	3,0 / 400	170	1,3	0,7	1,0	3,0
6	Ст. 30	3,5 / 430	180	1,4	0,8	1,0	3,0
7	Ст. 20	4,0 / 450	150	1,3	0,7	1,0	3,0
8	Ст. 15	1,6 / 300	160	1,2	0,6	0,9	2,5
9	Ст. 10	2,5 / 360	200	1,1	0,5	0,9	2,5
10	Ст. 10	2,0 / 330	190	1,1	0,5	0,9	2,5
11	Ст. 30	4,0 / 450	220	1,4	0,8	1,0	3,0
12	Ст. 15	3,5 / 430	230	1,2	0,6	0,9	2,5
13	Ст. 20	3,0 / 400	190	1,3	0,7	1,0	3,0
14	Ст. 30	3,5 / 430	150	1,4	0,8	1,0	3,0
15	Ст. 20	1,6 / 300	160	1,3	0,7	1,0	3,0
16	Ст. 10	2,0 / 330	170	1,1	0,5	0,9	2,5
17	Ст. 15	3,5 / 430	200	1,1	0,6	0,9	2,5
18	Ст. 20	4,0 / 450	210	1,3	0,7	1,0	3,0
19	Ст. 20	3,0 / 400	230	1,3	0,7	1,0	3,0
20	Ст. 30	2,5 / 360	220	1,4	0,8	1,0	3,0
21	Ст. 10	3,0 / 400	190	1,1	0,5	0,9	2,5
22	Ст. 15	4,0 / 450	150	1,2	0,6	0,9	2,5
23	Ст. 10	1,6 / 300	180	1,1	0,5	0,9	2,5
24	Ст. 20	2,5 / 360	190	1,3	0,7	1,0	3,0
25	Ст. 10	2,0 / 300	150	1,1	0,5	0,9	2,5

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Практическая работа № 1	4
Оценка степени разрушения зданий и сооружений при взрывах на опасных производственных объектах	4
Практическая работа № 2	12
Определение вероятности и тяжести поражения людей при взрыве и пожаре на опасном производственном объекте	12
Практическая работа № 3	19
Оценка ущерба от аварии на опасном производственном объекте ..	19
Практическая работа № 4	22
Определение категории пожаро- и взрывоопасности производственного объекта	22
Практическая работа № 5	29
Расчет параметров эвакуационных мероприятий при пожаре	29
Практическая работа № 6	37
Определение безопасных прочностных характеристик материалов оборудования, находящегося под избыточным давлением	37
Библиографический список	41
Приложение 1	42
Приложение 2	45
Приложение 3	47
Приложение 4	51
Приложение 5	52

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *А.В. Корнев, Е.И. Кабанов, Г.И. Кориунов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
безопасности производств

Ответственный за выпуск *А.В. Корнев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 03.12.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,1. Усл.кр.-отт. 3,1. Уч.-изд.л. 2,7. Тираж 50 экз. Заказ 1095.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2