

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА»
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ»**

**ПОСОБИЕ
ПО ПРИМЕНЕНИЮ СП 12.13130.2009
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ,
ЗДАНИЙ И НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК
ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ
ОПАСНОСТИ»**

Москва 2014

Авторы: *И.М. Смолин, Н.Л. Полетаев, Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Шебеко, Е.В. Смирнов* (ФГБУ ВНИИПО МЧС России).

Пособие разработано в связи с утверждением и введением в действие приказом МЧС России от 25.03.2009 г. № 182 [СП 12.13130.2009](#) «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Приведены порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности и категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, порядок определения категорий наружных установок по пожарной опасности, сведения о пожаровзрывоопасных и физико-химических свойствах широко применяемых легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, горючих газов, горючих пылей и твердых горючих веществ и материалов. Представлены примеры расчетов категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности конкретных объектов.

Пособие предназначено для практического использования организациями, занимающимися вопросами категорирования производственных и складских помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В связи с утверждением и введением в действие приказом МЧС России от 25.03.2009 г. № 182 [СП 12.13130.2009](#) «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» возникла необходимость переработки ранее действовавшего Пособия по применению [НПБ 105-95](#) «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности».

Актуальность переработки Пособия по применению [НПБ 105-95](#) определялась введением категорирования наружных установок по пожарной опасности и методов расчета критериев пожарной опасности наружных установок в [НПБ 105-03](#) и в дальнейшем в [СП 12.13130.2009](#), внесением Изменения № 1 к СП 12.13130.2009, уточняющего расчетный метод определения категории помещения В4 и расчетный метод определения горизонтальных размеров зон, ограничивающих газо- и паровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела распространения пламени, введением в [СП 12.13130.2009](#) расчетного метода определения массы паров, нагретых до температуры кипения легковоспламеняющихся и

горючих жидкостей, и обращениями граждан и организаций по вопросам определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, касающимися положений [НПБ 105-03](#), [СП 12.13130.2009](#) и Пособия по применению [НПБ 105-95](#).

Значительная часть предложений и замечаний относилась к пожеланиям включить в документ порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности и категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, порядок определения категорий наружных установок по пожарной опасности, сведения о пожаровзрывоопасных и физико-химических свойствах широко применяемых легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), горючих жидкостей (ГЖ), горючих газов (ГГ), горючих пылей и твердых горючих веществ и материалов, а также примеры расчетов категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности конкретных объектов. Материалы такого рода являются предметом рассмотрения настоящего методического документа, содержащего подробные разъяснения по практическому использованию расчетных методов определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

В Пособии приведены порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности и категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, порядок определения категорий наружных установок по пожарной опасности, сведения о пожаровзрывоопасных свойствах широко применяемых горючих веществ и материалов и типовые примеры расчетов категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности конкретных объектов.

Пособие рассматривает расчетные методы определения категорий помещений (А, Б, В1 - В4, Г, Д), зданий (А, Б, В, Г, Д) и наружных установок (АН, БН, ВН, ГН, ДН) по взрывопожарной и пожарной опасности, в которых находятся (обращаются) горючие газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, горючие пыли и твердые горючие вещества и материалы.

Последовательность и порядок проведения необходимых вычислений, выбор исходных данных, обоснование расчетного варианта с учетом особенностей технологических процессов производства отражены в типовых примерах расчетов категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Данные, необходимые для проведения указанных выше расчетов, представлены в прил. [4](#).

2. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

2.1. В соответствии с положениями приложения А [\[1\]](#) определяется масса горючего газа (ГГ) m (кг), вышедшего в результате расчетной аварии в помещение.

2.2. Согласно химической формуле ГГ [\[2\]](#); приложение 1] определяется значение стехиометрического коэффициента кислорода в реакции сгорания β по формуле (А.3) [\[1\]](#).

2.3. Стехиометрическая концентрация ГГ $C_{ст}$ (% об.) рассчитывается по формуле (А.3) [\[1\]](#).

2.4. В соответствии с [\[3\]](#) определяется абсолютная максимальная температура воздуха для данной климатической зоны, соответствующая расчетной температуре t_p ($^{\circ}\text{C}$) в рассматриваемом помещении.

2.5. Из справочных данных [\[2\]](#); приложение 1] определяется молярная масса M (кг · кмоль⁻¹) ГГ и удельная теплота сгорания H_t (Дж · кг⁻¹).

2.6. Плотность ГГ ρ_g (кг · м⁻³) рассчитывается по формуле (А.2) [\[1\]](#).

2.7. Согласно п. А.1.4 [1] определяется свободный объем помещения $V_{\text{св}}$ (м^3).

2.8. Избыточное давление взрыва ΔP (кПа) для ГГ, указанных в п. А.2.1 [1], кроме водорода, при значении $Z = 0,5$ определяется по формуле

$$\Delta P = 1,332 \cdot 10^4 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}} \cdot \rho_r \cdot C_{\text{ср}}} . \quad (1)$$

2.9. Для водорода, метана, этана, пропана и бутана избыточное давление взрыва ΔP (кПа) согласно может быть определено по формулам: п. А.2.1 [1] может быть определено по формулам:

- для водорода ($Z = 1,0$)

$$\Delta P = 717 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}} \cdot \rho_r} ; \quad (2)$$

- для метана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 1,077 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}} \cdot \rho_r} ; \quad (3)$$

- для этана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 1,718 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}} \cdot \rho_r} ; \quad (4)$$

- для пропана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 3,115 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}} \cdot \rho_r} ; \quad (5)$$

- для бутана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 4,015 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}} \cdot \rho_r} ; \quad (6)$$

2.10. Избыточное давление взрыва ΔP (кПа) для ГГ, указанных в п. А.2.2 [1], кроме водорода, при значении $Z = 0,5$ определяется по формуле

$$\Delta P = 4,718 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{m \cdot H_{\tau}}{V_{\text{св}}} . \quad (7)$$

2.11. Для водорода, метана, этана, пропана и бутана избыточное давление взрыва ΔP (кПа), согласно п. А.2.2 [1], может быть определено по формулам:

- для водорода ($Z = 1,0$)

$$\Delta P = 1,14 \cdot 10^4 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}}} ; \quad (8)$$

- для метана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 2,36 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}}} ; \quad (9)$$

- для этана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 2,47 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}}} ; \quad (10)$$

- для пропана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 2,19 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}}} ; \quad (11)$$

- для бутана ($Z = 0,5$)

$$\Delta P = 2,16 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{\text{св}}} ; \quad (12)$$

2.12. Определяется категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности на основании полученного значения избыточного давления взрыва ΔP (кПа). Если $\Delta P > 5$ кПа, то помещение относится к взрывопожароопасной категории А. Если $\Delta P \leq 5$ кПа, то помещение не относится к взрывопожароопасной категории А и дальнейшее

определение категории помещения в зависимости от пожароопасных свойств и количества обращающихся в помещении веществ и материалов осуществляется в соответствии с требованиями п. 5.2 [1].

3. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

3.1. Согласно пп. 2.1 - 2.7 разд. 2 настоящего Пособия определяются значения соответствующих параметров для легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ПК).

3.2. Из справочной литературы [2] находятся значения констант Антуана A , B и C_a и расчетным путем определяется значение давления насыщенного пара P_n (кПа) по формуле

$$P_n = 10^{\frac{B}{t_p + C_a}}$$

3.3. Интенсивность испарения ЛВЖ и ГЖ W ($\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$), указанных в п. А.2.7 [1], может быть рассчитана по формуле (А.13) [1].

3.4. По табл. А.2 [1] выбирается значение коэффициента η . При отсутствии аварийной вентиляции или постоянно работающей общеобменной вентиляции в помещении значение коэффициента η принимается равным 1,0. При наличии аварийной или постоянно работающей общеобменной вентиляции в помещении, удовлетворяющей требованиям п. А.2.3 [1], определяется скорость воздушного потока в помещении $U = A \cdot L$, где A - кратность воздухообмена аварийной вентиляции (с^{-1}) и L - длина помещения, м. Исходя из значений U и t_p определяется значение коэффициента η .

3.5. Определяется значение молярной массы ЛВЖ и ГЖ M ($\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$) [2; приложения 1, 2]. По формуле (А.13) [1] рассчитывается значение интенсивности испарения ЛВЖ и ГЖ W ($\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$).

3.6. По п. А.2.5 [1] рассчитывается масса паров ЛВЖ и ГЖ m (кг), поступивших в помещение.

3.7. Избыточное давление взрыва ΔP (кПа) для ЛВЖ и ГЖ, указанных в п. А.2.1 [1], при значении $Z = 0,3$ определяется по формуле

$$\Delta P = 7,99 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n \cdot C_{cr}}. \quad (13)$$

3.8. Для дизельного топлива зимнего, бензина АИ-93 зимнего, гексана, м-ксилола, толуола, диэтилового эфира, ацетона и этилового спирта избыточное давление взрыва ΔP (кПа) согласно п. А.2.1 [1] при значении $Z = 0,3$ может быть определено по формулам:

- для дизельного топлива зимнего

$$\Delta P = 7,144 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (14)$$

- для бензина АИ-93 зимнего

$$\Delta P = 3,936 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (15)$$

- для гексана

$$\Delta P = 3,507 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (16)$$

- для м-ксилола

$$\Delta P = 3,440 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (17)$$

- для толуола

$$\Delta P = 2,379 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (18)$$

- для диэтилового эфира (при $t_p < t_{kip} = 34,5$ °C - температура кипения диэтилового эфира):

$$\Delta P = 1,859 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (19)$$

- для ацетона

$$\Delta P = 959,3 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (20)$$

- для этилового спирта

$$\Delta P = 902,2 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_n}; \quad (21)$$

3.9. Избыточное давление взрыва ΔP (кПа) для ЛВЖ и ГЖ, указанных в п. А.2.2 [1], при значении $Z = 0,3$ определяется по формуле

$$\Delta P = 2,831 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{m \cdot H_T}{V_{cb}}; \quad (22)$$

3.10. Для м-ксилола, гексана, бензина АИ-93 зимнего, дизельного топлива зимнего, толуола, диэтилового эфира, ацетона и этилового спирта избыточное давление взрыва ΔP (кПа) согласно п. А.2.2 [1] при значении $Z = 0,3$ может быть определено по формулам:

- для м-ксилола

$$\Delta P = 1,496 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb}}; \quad (23)$$

- для гексана

$$\Delta P = 1,277 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb}}; \quad (24)$$

- для бензина АИ-93 зимнего

$$\Delta P = 1,251 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb}}; \quad (25)$$

- для дизельного топлива зимнего

$$\Delta P = 1,234 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb}}; \quad (26)$$

- для толуола

$$\Delta P = 1,159 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{cb}}; \quad (27)$$

- для диэтилового эфира (при $t_p < t_{kip} = 34,5$ °C - температура кипения диэтилового эфира)

$$\Delta P = 966,8 \cdot \frac{m}{V_{cb}}; \quad (28)$$

- для ацетона

$$\Delta P = 887,8 \cdot \frac{m}{V_{cb}}; \quad (29)$$

- для этилового спирта

$$\Delta P = 865,2 \cdot \frac{m}{V_{cb}}. \quad (30)$$

3.11. Для ацетона и бензина АИ-93 зимнего избыточное давление взрыва ΔP (кПа) согласно п. А.2.1 [1] в зависимости от параметра $\frac{m_{ж}}{V_{cb}}$ ($m_{ж}$ - масса поступившей в помещение ЛВЖ) при значении $Z = 0,3$, при условии полного испарения с поверхности разлива (менее площади помещения), температуре $t_p = 45$ °C и отсутствии подвижности

воздуха в помещении может быть рассчитано при указанных условиях и для различных значений температуры t_p по формулам:

- для ацетона:

$$\text{при } t_p = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 338,4 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (31)$$

$$\text{при } t_p = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 404,1 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (32)$$

$$\text{при } t_p = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 410,9 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (33)$$

$$\text{при } t_p = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 417,7 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (34)$$

$$\text{при } t_p = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 424,5 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (35)$$

$$\text{при } t_p = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 431,3 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (36)$$

- для бензина АИ-93 зимнего:

$$\text{при } t_p = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 993,6 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (37)$$

$$\text{при } t_p = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 1010,6 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (38)$$

$$\text{при } t_p = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 1027,6 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (39)$$

$$\text{при } t_p = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 1044,6 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (40)$$

$$\text{при } t_p = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 1061,6 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}; \quad (41)$$

$$\text{при } t_p = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}: \Delta P = 1078,6 \cdot \frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}. \quad (42)$$

3.12. Определяется категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности на основании полученного значения избыточного давления взрыва ΔP (кПа). Если $\Delta P > 5$ кПа, то помещение относится к взрывопожароопасной категории А (Б). Если $\Delta P \leq 5$ кПа, то помещение не относится к взрывопожароопасной категории А (Б) и дальнейшее определение категории помещения в зависимости от пожароопасных свойств и количества обращающихся в помещении веществ и материалов осуществляется в соответствии с требованиями п. 5.2 [1].

4. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ГОРЮЧИХ ПЫЛЕЙ

4.1. В соответствии с положениями приложения А [1] определяется масса взвешенной в объеме помещения горючей пыли m (кг), образовавшейся в результате аварийной ситуации.

4.2. Избыточное давление взрыва ΔP (кПа) для горючих пылей согласно п. А.2.2 [1] при значении $Z = 0,5$ определяется по формуле

$$\Delta P = 47,18 \cdot \frac{m \cdot H_t}{V_{\text{св}}}, \quad (43)$$

где H_t - теплота сгорания вещества, МДж · кг⁻¹.

4.3. Расчет стехиометрической концентрации твердого горючего с известной химической брутто-формулой, включающей, например, атомы C, H, N, O, P, Al в воздухе, производится на основе химического уравнения окисления данного вещества воздухом с брутто-формулой ($O_2 + 3,77N_2$) до следующих соответствующих продуктов взаимодействия: CO_2 , H_2O , N_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 и др. Перечень упомянутых продуктов взаимодействия атомов можно найти в книге В.Т. Монахова [4].

Для твердого вещества с неизвестной химической брутто-формулой величину стехиометрической концентрации $\rho_{st,x}$ можно определить экспериментально, например, в стандартных опытах по определению теплоты сгорания, где потребуется дополнительно измерить уменьшение массы кислорода Δm_o в камере для сжигания в атмосфере кислорода пробной навески данного вещества Δm_x : $\rho_{st,x} = (\Delta m_x / \Delta m_o) \cdot M_o$, где $M_o \approx 0,24 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ - масса кислорода в 1 м³ воздуха нормального состава при комнатной температуре.

4.4. Определяется категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности на основании полученного значения величины избыточного давления взрыва ΔP (кПа). Если $\Delta P > 5$ кПа, то помещение относится к взрывопожароопасной категории Б. Если $\Delta P \leq 5$ кПа, то помещение не относится к взрывопожароопасной категории Б и дальнейшее определение категории помещения в зависимости от пожароопасных свойств и количеств обращающихся в помещении веществ и материалов осуществляется в соответствии с требованиями п. 5.2 [1].

5. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

5.1. Помещения с горючими газами

Пример 1

1. Исходные данные.

1.1. Аккумуляторное помещение объемом $V_p = 27,2 \text{ м}^3$ оборудуется аккумуляторными батареями СК-4 из 12 аккумуляторов и СК-1 из 13 аккумуляторов.

1.2. Максимальная абсолютная температура воздуха согласно [3] в районе строительства 38°C (г. Екатеринбург).

1.3. Обоснование расчетного варианта наиболее неблагоприятного в отношении взрыва периода.

1.3.1. При расчете избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта принимается наиболее неблагоприятный в отношении взрыва период, связанный с формовкой и зарядом полностью разряженных батарей с напряжением более 2,3 В на элемент и наибольшим значением зарядного тока, превышающим в четыре раза максимальный зарядный ток.

1.3.2. Происходит заряд аккумуляторных батарей с максимальной номинальной емкостью (А · ч). Количество одновременно заряжаемых батарей устанавливается в зависимости от эксплуатационных условий, мощности и напряжения внешнего источника тока. Продолжительность поступления водорода в помещение соответствует конечному периоду заряда при обильном газовыделении и принимается равной 1 ч ($T = 3600$ с).

1.3.3. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура наружного воздуха в населенном пункте (климатической зоне) согласно СНиП 23-01-99* [3].

1.4. Расчет поступающего в помещение водорода при заряде аккумуляторных батарей.

1.4.1. Масса водорода, выделившегося в одном элементе при установившемся динамическом равновесии между силой зарядного тока и количеством выделяемого газа, составляет:

$$\frac{M}{I \cdot T} = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} = \frac{1}{9,65 \cdot 10^4} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} = 1,036 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1},$$

где $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}^{-1}$ - постоянная Фарадея; A - атомная единица массы водорода, равная $1 \text{ а.е.м} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; $Z = 1$ - валентность водорода; I - сила зарядного тока, А; T - расчетное время заряда, с.

1.4.2. Объем водорода, поступающего в помещение при заряде нескольких батарей, м^3 , можно определить по формуле

$$V_h = \frac{1,036 \cdot 10^{-8}}{\rho_r} \cdot 4 \cdot [I_1 \cdot n_1 + I_2 \cdot n_2 + \dots + I_i \cdot n_i] \cdot 3600,$$

где ρ_r - плотность водорода при расчетной температуре воздуха, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; I_i - максимальный зарядный ток i -й батареи, А; n_i - количество аккумуляторов i -й батареи. Плотность водорода определяется по формуле

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_p)}, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где M - масса одного киломоля водорода, равная $2 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$; V_0 - объем киломоля газа при нормальных условиях, равный $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$; $\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$ - коэффициент температурного расширения газа; t_p - расчетная температура воздуха, $^{\circ}\text{С}$.

Максимальная сила зарядного тока принимается по [ГОСТ 825-73](#) «Аккумуляторы свинцовые для стационарных установок».

1.5. Стехиометрическая концентрация водорода $C_{ст}$ рассчитывается по формуле А.3 [1]:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 0,5} = 29,24 \% \text{ (о.б.)};$$

$$\beta = 0 + \frac{2 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 0,5.$$

1.6. Плотность водорода при расчетной температуре воздуха будет равна:

$$\rho_r = \frac{2}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 38)} = 0,0783 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

1.7. Объем водорода, поступающего в аккумуляторное помещение при зарядке двух батарей СК-4 и СК⁻¹, составит: У

$$V_h = \frac{1,036 \cdot 10^{-8}}{0,0783} \cdot [4 \cdot 9 \cdot 13 + 4 \cdot 36 \cdot 12] \cdot 3600 = 1,046 \text{ м}^3.$$

1.8. Свободный объем аккумуляторного помещения составит:

$$V_{cb} = 0,8 \cdot V_h = 0,8 \cdot 27,2 = 21,76 \text{ м}^3.$$

2. Избыточное давление взрыва ΔP водорода в аккумуляторном помещении согласно формуле (2) Пособия будет равно:

$$\Delta P = 717 \cdot \frac{m}{V_{cb} \cdot \rho_r} = 717 \cdot \frac{V_h}{V_{cb}} = 717 \cdot \frac{1,046}{21,76} = 34,5 \text{ кПа}.$$

Так как расчетное избыточное давление взрыва более 5 кПа, то аккумуляторное помещение следует относить к категории А.

3. Расчет избыточного давления взрыва ΔP водорода в аккумуляторном помещении с учетом работы аварийной вентиляции или постоянно работающей общеобменной вентиляции, отвечающей требованиям п. А.2.3 [1] (продолжительность поступления водорода в объем помещения $T = 3600 \text{ с}$).

3.1. При кратности воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, равной 8 ч^{-1} , объем водорода, поступающего в помещение, составит:

$$V_{\text{в}}^* = \frac{V_{\text{п}}}{(A/360) \cdot T + 1} = \frac{1,046}{8 + 1} = 0,116 \text{ м}^3.$$

Избыточное давление взрыва ΔP при этом будет равно:

$$\Delta P = 717 \cdot \frac{0,116}{21,76} = 3,8 \text{ кПа.}$$

3.2. При оборудовании аккумуляторного помещения аварийной вентиляцией или постоянно работающей вентиляцией с кратностью воздухообмена $A = 8 \text{ ч}^{-1}$, отвечающей требованиям п. А.2.3 [1], СП 7.13130.2009 [5] и ПУЭ [6], допускается не относить аккумуляторное помещение к категории А.

Согласно п. 5.2 и табл. 1 [1] при расчетном давлении взрыва, не превышающем 5 кПа, аккумуляторное помещение следует относить к категории В1 - В4 в зависимости от пожарной нагрузки, находящейся в аккумуляторном помещении.

Пример 2

1. Исходные данные.

1.1. Пост диагностики автотранспортного предприятия для грузовых автомобилей, работающих на сжатом природном газе. Объем помещения $V_{\text{п}} = 300 \text{ м}^3$. Свободный объем помещения $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot V_{\text{п}} = 0,8 \cdot 300 = 240 \text{ м}^3$. Объем баллона со сжатым природным газом $V = 50 \text{ л} = 0,05 \text{ м}^3$. Давление в баллоне $P_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ кПа}$.

1.2. Основной компонент сжатого природного газа - метан (98 % (об.). Молярная масса метана $M = 16,04 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва ΔP в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного баллона со сжатым природным газом и поступление его в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно СНиП 23-01-99* [3] $t_p = 37^\circ\text{C}$.

Плотность метана при $t_p = 37^\circ\text{C}$ составит:

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

3. Масса поступившего в помещение при расчетной аварии метана m определяется по формулам (А.6) и (А.7) [1]:

$$V_a = 0,01 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,05 = 10 \text{ м}^3;$$

$$m = 10 \cdot 0,6301 = 6,301 \text{ кг.}$$

4. Избыточное давление взрыва ΔP , определенное по формуле (9) Пособия, составит:

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

5. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно, помещение поста диагностики относится к категории А.

Пример 3

1. Исходные данные.

1.1. Помещение участка наращивания кремния. Нарашивание поликристалла кремния осуществляется методом восстановления тетрахлорида кремния в атмосфере водорода на двух установках с давлением в их реакторах $P_1 = 200 \text{ кПа}$. Водород подается к

установкам от коллектора, расположенного за пределами участка, по трубопроводу из нержавеющей стали диаметром $d = 0,02$ м (радиусом $r = 0,01$ м) под давлением $P_2 = 300$ кПа. Суммарная длина трубопровода от автоматической задвижки с электроприводом, расположенной за пределами участка, до установок составляет $L_1 = 15$ м. Объем реактора $V = 0,09$ м³. Температура раскаленных поверхностей реактора $t = 1200$ °С. Время автоматического отключения по паспортным данным $T_a = 3$ с. Расход газа в трубопроводе $q = 0,06$ м³ · с⁻¹. Размеры помещения $L \times S \times H = 15,81 \cdot 15,81 \cdot 6$ м. Объем помещения $V_p = 1500$ м³. Свободный объем помещения $V_{cb} = 0,8 \cdot 1500 = 1200$ м³. Площадь помещения $F = 250$ м².

1.2. Молярная масса водорода $M = 2,016$ кг · кмоль⁻¹. Нижний концентрационный предел распространения пламени водорода $C_{НКР} = 4,1$ % (об.). Стехиометрическая концентрация водорода $C_{ст} = 29,24$ % (об.). Максимальное давление взрыва водорода $P_{max} = 730$ кПа. Тетрахлорид кремния - негорючее вещество. Образующиеся в результате химической реакции вещества - негорючие.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного реактора и выход из него и подводящего трубопровода водорода в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Воронеж) согласно [3] $t_p = 41$ °С. Плотность водорода при $t_p = 41$ °С $\rho_r = \frac{2,016}{22,143 \cdot (1+0,00367 \cdot 41)} = 0,0782$ кг · м⁻³. Расчетное время отключения трубопровода по п. А.1.2 в) [1] $T_a = 120$ с.

3. Масса поступившего в помещение при расчетной аварии водорода m определяется по формулам (А.6) - (А.10) [1]:

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

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

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

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

$$m = (0,18 + 7,214) \cdot 0,0782 = 0,5782 \text{ кг.}$$

4. Коэффициент участия водорода во взрыве Z определяется в соответствии с приложением Д [1].

4.1. Средняя концентрация водорода C_{cp} в помещении составит:

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

$$C_{cp} = 0,62 \text{ % (об.)} < 0,5 \cdot C_{НКР} = 0,5 \cdot 4,1 = 2,05 \text{ % (об.)}.$$

Следовательно, можно определить значение коэффициента участия водорода во взрыве Z расчетным методом.

4.2. Значение предэкспоненциального множителя C_0 составит:

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,5782}{0,0782 \cdot 1200} = 23,23 \text{ % (об.)}.$$

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

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

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

4.4. Расчетное значение коэффициента участия водорода во взрыве Z будет равно:

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,5782} \cdot 0,0782 \cdot \left(23,23 + \frac{4,1}{1,38} \right) \cdot 250 \cdot 0,218 = 0,97.$$

5. Избыточное давление взрыва ΔP согласно формуле (А.1) [1] составит:

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

6. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа. Помещение участка наращивания кремния не относится к категории А. Согласно п. 5.2 и табл. 1 [1] при расчетном давлении взрыва, не превышающем 5 кПа, данное помещение следует относить к категории В1 - В4 в зависимости от пожарной нагрузки, находящейся в помещении участка наращивания кремния.

5.2. Помещения с легковоспламеняющимися жидкостями

Пример 4

1. Исходные данные.

1.1. Помещение складирования ацетона. В помещении хранится десять бочек с объемом ацетона в каждой по $V_a = 80 \text{ л} = 0,08 \text{ м}^3$. Размеры помещения $L \times S \times H = 12 \cdot 6 \cdot 6 \text{ м}$. Объем помещения $V_p = 432 \text{ м}^3$. Свободный объем помещения $V_{cb} = 0,8 \cdot 432 = 345,6 \text{ м}^3$. Площадь помещения $F = 72 \text{ м}^2$.

1.2. Молярная масса ацетона $M = 58,08 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Константы уравнения Антуана: $A = 6,37551$; $B = 1281,721$; $C_a = 237,088$. Химическая формула ацетона $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$. Плотность ацетона (жидкости) $\rho_j = 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Температура вспышки ацетона $t_{vsp} = -18^\circ\text{C}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одной бочки и разлив ацетона по полу помещения, исходя из условия, что 1 л ацетона разливается на 1 м² пола помещения. За расчетную температуру принимается абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Мурманск) согласно [3] $t_p = 32^\circ\text{C}$.

3. Определение параметров взрывопожарной опасности проводим в соответствии с требованиями [1] и данного Пособия.

3.1. По формуле (А.2) [1] определяется значение плотности паров ацетона при расчетной температуре $t_p = 32^\circ\text{C}$:

$$\rho_p = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 32)} = 2,3190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

3.2. Согласно Пособию определяется значение давления насыщенных паров ацетона $P_p = 40,95 \text{ кПа}$ ($\lg P_p = 6,37551 - \frac{1281,721}{(32+237,088)} = 1,612306$, откуда расчетное значение $P_p = 40,95 \text{ кПа}$).

3.3. По формуле (А.13) [1] определяется значение интенсивности испарения ацетона

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

4. Расчетная площадь разлива содержимого одной бочки ацетона составляет:

$$F_i = 1,0 \cdot V_a = 1,0 \cdot 80 = 80 \text{ м}^2.$$

Поскольку площадь помещения $F = 72 \text{ м}^2$ меньше рассчитанной площади разлива ацетона $F_i = 80 \text{ м}^2$, то окончательно принимаем $F_i = F = 72 \text{ м}^2$.

5. Масса паров ацетона, поступивших в помещение, m рассчитывается по формуле (А.12) [1]:

$$m = 3,1208 \cdot 10^{-4} \cdot 72 \cdot 3600 = 80,891 \text{ кг.}$$

В этом случае испарится только масса разлившегося из бочки ацетона и $m = m_{\text{п}} = V_a \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,08 \cdot 790,8 = 63,264 \text{ кг}$.

6. Избыточное давление взрыва ΔP согласно формуле (20) Пособия будет равно:

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

7. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно, помещение складирования ацетона относится к категории А.

Пример 5

1. Исходные данные.

1.1. Помещение промежуточного топливного бака резервной дизельной электростанции унифицированной компоновки. В помещении находится топливный бак с объемом дизельного топлива марки «З» (ГОСТ 305-82) $V_a = 6,3 \text{ м}^3$. Размеры помещения $L \times S \times H = 4,0 \times 4,0 \times 3,6 \text{ м}$. 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 $F = 16 \text{ м}^2$. Суммарная длина трубопроводов диаметром $d_1 = 57 \text{ мм} = 0,057 \text{ м}$ ($r_1 = 0,0285 \text{ м}$), ограниченная задвижками (ручными), установленными на подводящем и отводящем участках трубопроводов, составляет $L_1 = 10 \text{ м}$. Расход дизельного топлива в трубопроводах $q = 1,5 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} = 0,0015 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

1.2. Молярная масса дизельного топлива марки «З» $M = 172,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Брутто-формула $C_{12,343}H_{23,889}$. Плотность жидкости при температуре $t = 25^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{ж}} = 804 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Константы уравнения Антуана: $A = 5,07828$; $B = 1255,73$; $C_a = 199,523$. Температура вспышки $t_{\text{всп}} > 40^\circ\text{C}$. Теплота сгорания $H_t = Q_{\text{в}}^p = 4,359 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,59 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{\text{НКПР}} = 0,6 \%$ (об.).

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация топливного бака и выход из него и подводящих и отводящих трубопроводов дизельного топлива в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Благовещенск) согласно [3] $t_p = 41^\circ\text{C}$. Плотность паров дизельного топлива при $t_p = 41^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{п}} = \frac{172,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 41)} = 6,6820 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Расчетное время отключения трубопроводов по п. А.1.2 [1] $T_a = 300 \text{ с}$, длительность испарения по п. А.1.2 е) [1] $T = 3600 \text{ с}$.

3. Объем $V_{\text{ж}}$ и площадь разлива $F_{\text{и}}$ поступившего при расчетной аварии дизельного топлива определяются в соответствии с положениями п. А.1.2 [1]:

$$V_{\text{ж}} = V_a + q \cdot T_a + \pi \cdot r_1^2 \cdot L_1 = 6,3 + 0,0015 \cdot 300 + 3,14 \cdot$$

$$\cdot 0,0285^2 \cdot 10 = 6,776 \text{ м}^3 = 6776 \text{ л};$$

$$F_{\text{и}} = 1,0 \cdot 6776 = 6776 \text{ м}^2.$$

Поскольку площадь помещения $F = 16 \text{ м}^2$ меньше рассчитанной площади разлива дизельного топлива $F_{\text{и}} = 6776 \text{ м}^2$, то окончательно принимаем $F_{\text{и}} = F = 16 \text{ м}^2$.

4. Определяем давление насыщенных паров дизельного топлива $P_{\text{н}}$ при расчетной температуре $t_p = 41^\circ\text{C}$:

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

$$P_{\text{н}} = 0,72 \text{ кПа.}$$

5. Интенсивность испарения W дизельного топлива составит:

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

6. Масса паров дизельного топлива, поступивших в помещение, m будет равна:

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

7. Определение коэффициента участия паров дизельного топлива во взрыве Z проводим в соответствии с приложением Д [1].

7.1. Средняя концентрация паров дизельного топлива $C_{\text{ср}}$ в помещении составит:

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

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

Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров дизельного топлива во взрыве Z расчетным методом.

7.2. Значение C_h будет равно:

$$C_h = 100 \cdot \frac{0,72}{101} = 0,71 \% \text{ (об.)}.$$

7.3. Значение стехиометрической концентрации паров дизельного топлива $C_{\text{ст}}$ согласно формуле (А.3) [1], исходя из химической брутто-формулы дизельного топлива, составит:

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

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

7.4. Значение параметра C^* будет равно:

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

7.5. Поскольку $C_h = 0,71 \% < C^* = 2,13 \% \text{ (об.)}$, то рассчитываем значение параметра X :

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

7.6. Согласно рис. Д.1 приложения Д [1] при значении $X = 0,33$ определяем значение коэффициента участия паров дизельного топлива во взрыве $Z = 0$.

8. Избыточное давление взрыва ΔP согласно формуле (А.1) [1] составит:

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

9. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа. Помещение промежуточного топливного бака резервной дизельной электростанции унифицированной компоновки не относится к категориям А или Б. Согласно п. Б.2 и табл. Б.1 [1] проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 - В4.

10. В соответствии с п. Б.2 [1] определим пожарную нагрузку Q и удельную пожарную нагрузку g :

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

$$Q = G \cdot Q_{\text{ж}}^{\text{п}} = 5448 \cdot 43,59 = 237478 \text{ МДж};$$

$$S = F = 16 \text{ м}^2;$$

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{237478}{16} = 14842 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

11. Удельная пожарная нагрузка более $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$. Помещение промежуточного топливного бака резервной дизельной электростанции унифицированной компоновки согласно табл. Б.1 [1] относится к категории В1.

Пример 6

1. Исходные данные.

1.1. Помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха. В помещении находятся два бака для покрытия лаком БТ-99 полюсных катушек способом окуривания с подводящими и отводящими трубопроводами. Размеры помещения $L \times S \times H = 32 \times 10 \times 8 \text{ м}$. Объем помещения $V_{\text{п}} = 2560 \text{ м}^3$. Свободный объем помещения $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 2560 = 2048 \text{ м}^3$. Площадь помещения $F = 320 \text{ м}^2$. Объем каждого бака $F_{\text{ап}} = 0,5 \text{ м}^3$. Степень заполнения бака лаком $\varepsilon = 0,9$. Объем лака в баке $V_a = \varepsilon \cdot V_{\text{ап}} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45 \text{ м}^3$. Длина и диаметр подводящего (напорного) трубопровода между баком и насосом $L_1 = 10 \text{ м}$ и $d_1 = 25 \text{ мм} = 0,025 \text{ м}$ соответственно. Длина и диаметр отводящего трубопровода между задвижкой и баком $L_2 = 10 \text{ м}$ и $d_2 = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$ соответственно. Производительность насоса $q = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Время отключения насоса $T_a = 300 \text{ с}$. В каждый бак попеременно загружается и выгружается единовременно по 10 шт. полюсных катушек, размещаемых в корзине. Открытое зеркало испарения каждого бака $F_{\text{емк}} = 1,54 \text{ м}^2$. Общая поверхность 10 шт. свежеокрашенных полюсных катушек $F_{\text{св.окр}} = 6,28 \text{ м}^2$.

1.2. В лаке БТ-99 ([ГОСТ 8017-74](#)) в виде растворителей содержится 46 % (масс.) ксилола и 2 % (масс.) уайт-спирита. В общей массе растворителей содержится ($\varphi_1 = 95,83 \%$ (масс.) ксилола и $\varphi_2 = 4,17 \%$ (масс.) уайт-спирита. Плотность лака БТ-99 $\rho_{\text{ж}} = 953 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Молярная масса ксилола $M = 106,17 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$, уайт-спирита $M = 147,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Химическая формула ксилола C_8H_{10} , уайт-спирита $C_{10,5}H_{21,0}$. Плотность жидкости ксилола $\rho_{\text{ж}} = 855 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, уайт-спирита $\rho_{\text{ж}} = 760 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Температура вспышки ксилола $t_{\text{всп}} = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$, уайт-спирита $t_{\text{всп}} = 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Нижний концентрационный предел распространения пламени ксилола $C_{\text{нкпр}} = 1,1 \%$ (об.), уайт-спирита $C_{\text{нкпр}} = 0,7 \%$ (об.). Теплота сгорания ксилола $H_{\text{т}} = Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 43154 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,15 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, уайт-спирита $H_{\text{т}} = Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 43966 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,97 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Константы уравнения Антуана для ксилола $A = 6,17972$; $B = 1478,16$; $C_a = 220,535$; для уайт-спирита $A = 7,13623$; $B = 2218,3$; $C_a = 273,15$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного бака с лаком для покрытия полюсных катушек способом окуривания и утечка лака из напорного и отводящего трубопроводов при работающем насосе с последующим разливом лака на пол помещения. Происходит испарение ксилола и уайт-спирита с поверхности разлившегося лака, а также с открытой поверхности второго бака и с поверхности выгружаемых покрытых лаком полюсных катушек (10 шт.). За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно [3] $t_p = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Плотность паров при $t_p = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\text{ксилола } \rho_{\text{п}} = \frac{106,17}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 4,1706 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$\text{уайт - спирита } \rho_{\text{п}} = \frac{147,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 5,7864 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

Расчетное время отключения трубопроводов и насоса по п. А.1.2 в) [1] $T_a = 300 \text{ с}$, длительность испарения по п. А.1.2 е) [1] $T = 3600 \text{ с}$.

3. Объем $V_{\text{ж}}$, площадь разлива F_p поступившего в помещение при расчетной аварии лака и площадь испарения $F_{\text{н}}$ определяются в соответствии с положениями п. А.1.2 [1]:

$$V_{\text{вн}} = V_{\text{а}} + q \cdot T_{\text{а}} + \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 \cdot L_1 + d_2^2 \cdot L_2) = 0,45 + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300 +$$

$$+ 0,785 \cdot (0,025^2 \cdot 10 + 0,04^2 \cdot 10) = 0,487 \text{ м}^3 = 487 \text{ л};$$

$$F_p = 0,5 \cdot 487 = 243,5 \text{ м}^2;$$

$$F_i = F_p + F_{\text{емк}} + F_{\text{св.окр.}} = 243,5 + 1,54 + 6,28 = 251,3 \text{ м}^2.$$

4. Определяем давление насыщенных паров P_h ксиола и уайт-спирита при расчетной температуре $t_p = 37^\circ\text{C}$:

- для ксиола

$$\lg P_h = 6,17972 - \frac{1478,16}{(220,535 + 37)} = 0,440073;$$

$$P_h = 2,755 \text{ кПа};$$

- для уайт-спирита

$$\lg P_h = 7,13623 - \frac{2218,3}{(273,15 + 37)} = 0,016116;$$

$$P_h = 0,964 \text{ кПа.}$$

5. Интенсивность испарения W растворителя составит:

- по ксиолу

$$W = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \sqrt{106,17} \cdot 2,755 = 2,8387 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1};$$

- по уайт-спириту

$$W = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \sqrt{147,3} \cdot 0,964 = 1,1700 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1};$$

6. В соответствии с положениями п. А.2.5 [1] определяем массу паров, поступивших в помещение, m по наиболее опасному компоненту - ксиолу:

$$m = 2,8387 \cdot 10^{-5} \cdot 251,3 \cdot 3600 = 25,6812 \text{ кг.}$$

7. Определение коэффициента участия паров растворителя во взрыве Z проводим в соответствии с приложением Д [1], принимая значения расчетных параметров по ксиолу либо уайт-спириту, наиболее опасные в отношении последствий взрыва.

7.1. Средняя концентрация $C_{\text{ср}}$ паров растворителя в помещении составит:

$$C_{\text{ср}} = \frac{100 \cdot 25,6812}{4,1706 \cdot 2048} = 0,30 \% \text{ (об.)};$$

$$C_{\text{ср}} = 0,30 \% \text{ (об.)} < 0,5 \cdot C_{\text{НКПР}} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \% \text{ (об.)}.$$

Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров растворителя во взрыве Z расчетным методом.

7.2. Значение C_h будет равно:

$$C_h = 100 \cdot \frac{2,755}{101} = 2,73 \% \text{ (об.)}.$$

7.3. Значение C_0 будет равно:

$$C_0 = 2,73 \cdot \left(\frac{25,6812 \cdot 100}{2,73 \cdot 4,1706 \cdot 2048} \right)^{0,41} = 1,105 \% \text{ (об.)}.$$

7.4. Расстояния $X_{\text{НКПР}}$, $Y_{\text{НКПР}}$, $Z_{\text{НКПР}}$ составят:

$$X_{\text{НКПР}} = 1,1958 \cdot 32 \cdot \left(1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,105}{0,7} \right)^{0,5} = 31,55 \text{ м};$$

$$Y_{\text{НКПР}} = 1,1958 \cdot 10 \cdot \left(1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,105}{0,7} \right)^{0,5} = 9,86 \text{ м};$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,04714 \cdot 8 \cdot \left(1,0 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,105}{0,7} \right)^{0,5} = 0,31 \text{ м.}$$

7.5. Коэффициент участия паров растворителя во взрыве Z согласно формуле (Д.2) приложения Д [1] составит:

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{25,618} \cdot 5,7864 \cdot \left(1,105 + \frac{1,1}{1,25} \right) \cdot 320 \cdot 0,31 = 0,222.$$

8. Значение стехиометрической концентрации $C_{\text{ст}}$ согласно формуле (А.3) [1] составит:

- для ксилола

$$\beta = 8 + \frac{10}{4} = 10,5;$$

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 1,05} = 1,93 \% \text{ (об.)};$$

- для уайт-спирита

$$\beta = 10,5 + \frac{21}{4} = 15,75;$$

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 15,75} = 1,29 \% \text{ (об.)};$$

9. Избыточное давление взрыва ΔP согласно формуле (А.1) [1] составит:

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{25,6812 \cdot 0,222}{2048 \cdot 4,1706} \cdot \frac{100}{1,29} \cdot \frac{1}{3} = 13,8 \text{ кПа.}$$

10. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно, помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха относится к категории Б.

11. Расчет избыточного давления взрыва ΔP в помещении сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха с учетом работы аварийной вентиляции или постоянно работающей общеобменной вентиляции, удовлетворяющей требованиям п. А.2.3 [1]. Рассматривается случай при кратности обмена аварийной вентиляции $A = 6 \text{ ч}^{-1}$.

11.1. При кратности воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, равной $A = 6 \text{ ч}^{-1} = 1,6667 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, согласно п. 3.4 Пособия скорость движения воздуха в помещении составит:

$$U = A \cdot L = 1,6667 \cdot 10^{-3} \cdot 32 = 0,05 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

11.2. Интенсивность испарения W растворителя (по ксилолу) при скорости воздушного потока в помещении $U = 0,05 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (с некоторым запасом коэффициент $\eta = 1,6$ в соответствии с табл. А.2 [1]) будет равна:

$$W = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot \sqrt{106,17} \cdot 2,755 = 4,5420 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

11.3. Масса поступивших в помещение паров растворителя (по ксилолу) $m_{\text{и}}$ составит:

$$m_{\text{и}} = 4,5420 \cdot 10^{-5} \cdot 251,3 \cdot 3600 = 41,0906 \text{ кг.}$$

11.4. Масса находящихся в помещении паров растворителя m при учете работы аварийной вентиляции или постоянно работающей общеобменной вентиляции, удовлетворяющей требованиям п. А.2.3 [1], будет равна:

$$m = \frac{m_{\text{и}}}{A \cdot T + 1} = \frac{41,0906}{1,6667 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 + 1} = 5,8700 \text{ кг.}$$

11.5. Средняя концентрация $C_{\text{ср}}$ паров растворителя в помещении составит:

$$C_{\text{ср}} = \frac{100 \cdot 5,8700}{4,1706 \cdot 2048} \approx 0,07 \% \text{ (об.)};$$

$$C_{\text{ср}} = 0,07 \% \text{ (об.)} < 0,5 \cdot C_{\text{НКПР}} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \% \text{ (об.)}.$$

Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров растворителя во взрыве Z расчетным методом.

11.6. Значение C_0 будет равно:

$$C_0 = 2,73 \cdot \left(\frac{5,8700 \cdot 100}{2,73 \cdot 4,1706 \cdot 2048} \right)^{0,46} = 0,502 \% \text{ (об.)}$$

11.7. Расстояния $X_{\text{НКПР}}$, $Y_{\text{НКПР}}$, $Z_{\text{НКПР}}$ составят:

$$X_{\text{НКПР}} = 1,1958 \cdot 32 \cdot \left(1,0 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,502}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ м};$$

$$Y_{\text{НКПР}} = 1,1958 \cdot 10 \cdot \left(1,0 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,502}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ м};$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,3536 \cdot 8 \cdot \left(1,0 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,502}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ м}.$$

Значения $X_{\text{НКПР}}$, $Y_{\text{НКПР}}$, $Z_{\text{НКПР}}$ согласно приложению Д [1] принимаются равными 0, поскольку логарифмы указанных в формулах сомножителей дают отрицательные значения. Следовательно, согласно формуле (Д.1) приложения Д [1] коэффициент участия паров растворителя также равен $Z=0$. Подставляя в формулу (А.1) [1] значение коэффициента $Z=0$, получим избыточное давление взрыва $\Delta P=0$ кПа.

11.8. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха при оснащении его аварийной вентиляцией или постоянно работающей общеобменной вентиляцией, удовлетворяющей требованиям п. А.2.3 [1], с кратностью воздухообмена $A=6 \text{ ч}^{-1}$ не относится к категории А или Б. Согласно п. Б.2 и табл. Б.1 [1] проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 - В4.

11.9. В соответствии с п. Б.2 [1] определим пожарную нагрузку Q и удельную пожарную нагрузку g :

$$G = 2 \cdot V_a \cdot \rho_{\text{ж}} = 2 \cdot 0,45 \cdot 855 = 769,5 \text{ кг};$$

$$Q = G \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 769,5 \cdot 43,97 = 33835 \text{ МДж};$$

$$S = 2 \cdot F_{\text{емк}} = 1,54 \cdot 2 = 3,08 \text{ м}^2$$

(согласно п. Б.2 [1] принимаем $S=10 \text{ м}^2$);

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{33835}{10} = 3383,5 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

11.10. Удельная пожарная нагрузка более $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$. Помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха при оснащении его аварийной вентиляцией или постоянно работающей общеобменной вентиляцией, удовлетворяющей требованиям п. А.2.3 [1], с кратностью воздухообмена $A=6 \text{ ч}^{-1}$ согласно табл. Б.1 [1] относится к категории В1.

5.3. Помещения с нагретыми легковоспламеняющимися и горючими жидкостями

Пример 7

1. Исходные данные.

1.1. Помещение приемной емкости охлажденного гексана установки экстракции пропиточного масла. В помещении расположена емкость с объемом гексана $V_a = 40 \text{ л} = 0,04 \text{ м}^3$, насосы горячей воды. Размеры помещения $L \times S \times H = 12 \cdot 6 \cdot 6 \text{ м}$. Объем помещения $V_{\text{п}} = 432 \text{ м}^3$. Свободный объем помещения $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 432 = 345,6 \text{ м}^3$. Площадь помещения $F = 72 \text{ м}^2$. Температура гексана в емкости охлажденного гексана $T_a = 50^\circ\text{C} = 323,2 \text{ К}$. Суммарный объем гексана, истекающего из подводящих и отводящих трубопроводов при аварийной ситуации, составляет $V_{\text{тр}} = 1 \text{ л} = 0,001 \text{ м}^3$.

1.2. Молярная масса гексана $M = 86,177 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Константы уравнения Антуана: $A = 5,99517$; $B = 1166,274$; $C_a = 223,661$. Химическая формула гексана C_6H_{14} . Плотность гексана (жидкости) при температуре жидкости $t_{\text{ж}} = 50^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{ж}} = 631,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Средняя теплоемкость гексана в интервале температур $0 \div 100^\circ\text{C}$ $C_{\text{ж}} = 2514 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Температура вспышки гексана $t_{\text{всп}} = -23^\circ\text{C}$. Температура кипения гексана $t_{\text{k}} = 68,74^\circ\text{C}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация приемной емкости и выход из нее и подводящих и отводящих трубопроводов гексана в объем помещения. За расчетную температуру принимается температура нагрева гексана в приемной емкости $t_{\text{p},2} = 50^\circ\text{C}$.

Максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно [3] $t_{\text{p},1} = 37^\circ\text{C}$.

3. Определение параметров взрывопожарной опасности проводим с использованием [1] и данного Пособия.

3.1. Плотность паров гексана (формула А.2 [1]) составит:

$$\text{при } t_{\text{p},1} = 37^\circ\text{C} \rho_{\text{п}} = \frac{86,177}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 3,3852 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$\text{при } t_{\text{p},2} = 50^\circ\text{C} \rho_{\text{п}} = \frac{86,177}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 50)} = 3,2488 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

3.2. Давление насыщенных паров гексана при температурах $t_{\text{p},1} = 37^\circ\text{C}$ и $t_{\text{p},2} = 50^\circ\text{C}$ составит соответственно (п. 3.2 Пособия):

$$\lg P_{\text{h},1} = 5,99517 - \frac{1166,274}{37 + 223,661} = 1,520876;$$

$$P_{\text{h},1} = 33,18 \text{ кПа};$$

$$\lg P_{\text{h},2} = 5,99517 - \frac{1166,274}{50 + 223,661} = 1,733423;$$

$$P_{\text{h},2} = 54,13 \text{ кПа}.$$

3.3. Удельная теплота испарения гексана $L_{\text{исп}}$ ($\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$) при температуре $t_{\text{p},2} = 50^\circ\text{C}$ рассчитывается по формуле (А.15) [1]:

$$\begin{aligned} L_{\text{исп}} &= \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 \cdot M} = \\ &= \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 1166,224 \cdot 323,2^2}{(323,2 + 223,661 - 273,2)^2 \cdot 86,177} = 361923 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}. \end{aligned}$$

3.4. Объем гексана, вышедшего в помещение, $V_{\text{г}}$ (м^3) составит:

$$V_{\text{г}} = V_a + V_{\text{тр}} = 0,04 + 0,001 = 0,041 \text{ м}^3.$$

3.5. Масса вышедшего в помещение гексана $m_{\text{п}}$ (кг) составит:

$$m_{\text{п}} = V_{\text{г}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,041 \cdot 631,8 = 25,904 \text{ кг}.$$

3.6. Расчетная площадь разлившегося гексана F_i (м^2) составит:

$$F_i = 1,0 \cdot V_r = 1,0 \cdot 41 = 41 \text{ м}^2.$$

4. Для определения массы m_1 (кг) паров гексана, испарившихся при охлаждении разлившейся жидкости от $t_{p,2} = 50^\circ\text{C}$ до $t_{p,1} = 37^\circ\text{C}$, воспользуемся формулой (A.14) [1]:

$$m_1 = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{i,2} \cdot \frac{C_{ж} \cdot m_{п}}{L_{исп}} = 0,02 \cdot \sqrt{86,177} \cdot 54,13 \cdot$$

$$\cdot \frac{2514 \cdot 25,904}{361923} = 1,808 \text{ кг.}$$

5. Интенсивность испарения W ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) гексана при расчетной температуре $t_{p,1} = 37^\circ\text{C}$ определяем согласно формуле (A.13) [1]:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{i,1} = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \sqrt{86,177} \cdot 33,18 = 3,0802 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

6. Масса m_2 (кг) паров гексана, испарившихся с поверхности разлива при расчетной температуре $t_{p,1} = 37^\circ\text{C}$, согласно формуле (A.12) [1] составит:

$$m_2 = 3,0802 \cdot 10^{-4} \cdot 41 \cdot 3600 = 45,464 \text{ кг.}$$

7. Суммарная масса испарившегося гексана составит:

$$m = m_1 + m_2 = 1,808 + 45,464 = 47,272 \text{ кг.}$$

Поскольку $m_{п} = 25,904 < m = 47,272$ кг, то принимаем, что масса вышедшего при аварийной разгерметизации приемной емкости гексана испаряется полностью, т.е. $m = m_{п} = 25,904$ кг.

8. Избыточное давление взрыва ΔP согласно формуле (16) Пособия будет равно:

$$\Delta P = 3,507 \cdot 10^3 \cdot \frac{25,904}{345,6 \cdot 3,2488} = 80,91 \text{ кПа.}$$

9. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно, помещение приемной емкости охлажденного гексана относится к категории А.

Пример 8

1. Исходные данные.

1.1. Помещение насосной диметилформамида (ДМФА). В помещении расположены три насоса, откачивающих ДМФА из расположенного вне пределов помещения сборника, в который ДМФА отбирается из отгонного куба низа ректификационной колонны при температуре $T_1 = 130^\circ\text{C} = 403,2 \text{ К}$. Температура нагретого ДМФА в сборнике $T_a = 110^\circ\text{C} = 383,2 \text{ К}$. Производительность одного насоса $q = 1 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 0,278 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$. На подводящих и отводящих трубопроводах насосов за пределами помещения установлены автоматические задвижки (время отключения $\tau = 120 \text{ с}$). Объем ДМФА в отводящих и подводящих трубопроводах с учетом объема ДМФА в насосе для одного насоса составляет $V_{tp} = 0,02 \text{ м}^3 = 20 \text{ л}$. Размеры помещения $L \times S \times H = 18 \cdot 6 \cdot 6 \text{ м}$. Площадь помещения $F = 108 \text{ м}^2$. Объем помещения $V_{п} = 648 \text{ м}^3$. Свободный объем помещения $V_{cb} = 0,8 \cdot 648 = 518,4 \text{ м}^3$.

1.2. Молярная масса ДМФА $M = 73,1 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Константы уравнения Антуана: $A = 6,15939$; $B = 1482,985$; $C_a = 204,342$. Химическая формула ДМФА $\text{C}_3\text{H}_7\text{ON}$. Стехиометрическая концентрация ДМФА $C_{ст} = 4,64 \%$ (об.). Плотность жидкости ДМФА при $t = 25^\circ\text{C}$ $\rho_{ж} = 950 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ (с запасом для $t = 110^\circ\text{C}$ при расчетах). Теплоемкость ДМФА принимаем с запасом для расчетов по гексану $C_{ж} = 2514 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ (пример 7 Пособия). Температура вспышки ДМФА $t_{всп} = 53^\circ\text{C}$. Температура кипения ДМФА $t_k = 153^\circ\text{C}$. Теплоту сгорания $Q_n^p = 45,105 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ принимаем с запасом для расчетов по гексану (приложение 2. Обоснование расчетного варианта аварии).

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного насоса и выход из него и подводящих и отводящих трубопроводов ДМФА в объем помещения. За расчетную температуру принимается температура нагрева ДМФА в сборнике $t_{p,2} = 110^{\circ}\text{C}$. Максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно [3] $t_{p,1} = 37^{\circ}\text{C}$.

3. Определение параметров взрывопожарной опасности проводим в соответствии с требованиями [1] и данного Пособия.

3.1. Плотность паров ДМФА при $t_{p,1} = 37^{\circ}\text{C}$ составит:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{73,1}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,8716 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

при $t_{p,2} = 110^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{73,1}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 110)} = 2,3235 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

3.2. Давление насыщенных паров ДМФА при температуре $t_{p,2} = 110^{\circ}\text{C}$ составит соответственно (п. 3.2 Пособия):

$$\lg P_{\text{н}} = 6,15939 - \frac{1482,985}{110 + 204,342} = 1,441646;$$

$$P_{\text{н}} = 27,65 \text{ кПа.}$$

3.3. Удельная теплота испарения $L_{\text{исп}}$ ($\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$) ДМФА при температуре $t_{p,2} = 110^{\circ}\text{C}$ рассчитывается по формуле (A.15) [1]:

$$\begin{aligned} L_{\text{исп}} &= \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 \cdot M} = \\ &= \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 1482,985 \cdot 383,2^2}{(383,2 + 204,342 - 273,2)^2 \cdot 73,1} = 578037 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}. \end{aligned}$$

3.4. Объем $V_{\text{д}}$ (м^3) ДМФА, вышедшего в помещение, и площадь разлива жидкости $F_{\text{р}}$ (м^2) составит:

$$V_{\text{д}} = q \cdot \tau + V_{\text{тр}} = 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 120 + 0,02 = 0,0334 + 0,02 = 0,0534 \text{ м}^3 = 53,4 \text{ л};$$

$$F_{\text{р}} = 1,0 \cdot V_{\text{д}} = 1,0 \cdot 53,4 = 53,4 \text{ м}^2.$$

3.5. Масса вышедшего в помещение ДМФА $m_{\text{п}}$ (кг) составит:

$$m_{\text{п}} = V_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,0534 \cdot 950 = 50,73 \text{ кг.}$$

4. Масса m (кг) паров ДМФА, образующихся при испарении нагретой жидкости ДМФА, определяется по формуле (A.14) [1]:

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{C_{\text{ж}} \cdot m_{\text{п}}}{L_{\text{исп}}} = 0,02 \cdot \sqrt{73,1} \cdot 27,65 \cdot \frac{2514 \cdot 50,73}{578037} = 1,043 \text{ кг.}$$

5. Избыточное давление взрыва ΔP согласно формуле (13) Пособия составит:

$$\Delta P = 7,99 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,043}{518,4 \cdot 2,3235 \cdot 4,64} = 1,49 \text{ кПа.}$$

6. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа. Помещение насосной диметилформамида не относится к категориям А или Б. Согласно п. Б.2 и табл. Б.1 [1] проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 - В4.

7. В соответствии с п. Б.2 [1] определим пожарную нагрузку Q и удельную пожарную нагрузку g :

$$Q = G \cdot Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 152,2 \cdot 45,105 = 6865 \text{ МДж};$$

$$G = 3 \cdot m_{\text{п}} = 3 \cdot 50,73 = 152,2 \text{ кг};$$

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{6865}{108} = 63,6 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$S = 3 \cdot F_{\text{p}} = 3 \cdot 53,4 = 160,2 \text{ м}^2.$$

Поскольку $F < F_{\text{p}}$, принимаем $S = F = 108 \text{ м}^2$.

8. Удельная пожарная нагрузка менее $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, но площадь размещения пожарной нагрузки более 10 м^2 . В соответствии с табл. Б.1 [1] помещение насосной диметилформамида относится к категории В3.

5.4. Помещения с горючими пылями

Пример 9

1. Исходные данные.

1.1. Производственное помещение, где осуществляется фасовка пакетов с сухим растворимым напитком, имеет следующие габариты: высота - 8 м, длина - 30 м, ширина - 10 м. Свободный объем помещения составляет $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 10 = 1920 \text{ м}^3$. В помещении расположен смеситель, представляющий собой цилиндрическую емкость со встроенным шнекообразным устройством равномерного перемешивания порошкообразных компонентов напитка, загружаемых через расположено сверху входное отверстие. Единовременная загрузка дисперсного материала в смеситель составляет $m_{\text{ап}} = m = 300 \text{ кг}$. Основным компонентом порошкообразной смеси является сахар (более 95 % (масс.), который представляет наибольшую пожаровзрывоопасность. Подготовленная в смесителе порошкообразная смесь подается в аппараты фасовки, где производится дозирование (по 30 г) сухого напитка в полиэтиленовые упаковки. Значительное количество пылеобразного материала в смесителе и частая пылеуборка в помещении позволяет при обосновании расчетного варианта аварии пренебречь пылеотложениями на полу, стенах и других поверхностях.

1.2. Расчет категории помещения производится по сахарной пыли, которая представлена в подавляющем количестве по отношению к другим компонентам сухого напитка. Теплота сгорания пыли $H_t = 16477 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 1,65 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Распределение пыли по дисперсности представлено в таблице.

Фракция пыли, мкм	$\leq 100 \text{ мкм}$	$\leq 200 \text{ мкм}$	$\leq 500 \text{ мкм}$	$\leq 1000 \text{ мкм}$
Массовая доля, % (масс.)	5	10	40	100

Критический размер частиц взрывоопасной взвеси сахарной пыли $d^* = 200 \text{ мкм}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в помещении не обращаются горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более $28 \text{ }^\circ\text{C}$, а также вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, данное помещение не относится к категории А.

В соответствии с п. 5.2 [1] следует рассмотреть возможность отнесения данного помещения к категории Б. Поскольку в помещении обращаются только горючие пыли, для проверки возможности отнесения данного помещения к категории Б следует рассмотреть аварию, сопровождающуюся образованием облака горючей пыли, и произвести расчет избыточного давления взрыва.

Аварийная ситуация, которая сопровождается наибольшим выбросом горючего материала в объем помещения, связана с разгерметизацией смесителя, как емкости, содержащей наибольшее количество горючего материала. Процесс разгерметизации может быть связан со взрывом взвеси в смесителе: в процессе перемешивания в объеме

смесителя создается взрывоопасная смесь горючего порошка с воздухом, зажигание которой возможно разрядом статического электричества или посторонним металлическим предметом, попавшим в аппарат при загрузке исходных компонентов; засыпание примесного материала между шнеком и корпусом смесителя приводит к его разогреву до температур, достаточных для зажигания пылевоздушной смеси. Взрыв пыли в объеме смесителя вызывает ее выброс в объем помещения и вторичный взрыв. Отнесение помещения к категории Б зависит от величины расчетного избыточного давления взрыва.

3. Расчет избыточного давления взрыва ΔP производится по формуле (А.4) [1], где коэффициент участия пыли во взрыве Z рассчитывается по формуле (А.16) [1] (для $d^* \leq 200$ мкм $F = 10\% = 0,1$) и составляет:

$$Z = 0,5 \cdot F = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05.$$

Отсюда получаем:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_t \cdot P_0 \cdot Z}{V_{cb} \cdot \rho_{st} \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H} = \frac{300 \cdot 1,65 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0,05}{1920 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 300 \cdot 3} = 11,9 \text{ кПа.}$$

4. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно, помещение фасовки пакетов с сухим растворимым напитком относится к категории Б.

Пример 10

1. Исходные данные.

1.1. Складское помещение мукомольного комбината для хранения муки в мешках по 50 кг. Свободный объем помещения $V_{cb} = 1000 \text{ м}^3$. Ежесменная пылеуборка в помещении позволяет пренебречь пылеотложениями на полу, стенах и других поверхностях ($m_{вз} = 0$). Размещение мешков производится вручную складскими работниками. Максимальная высота подъема мешка не превышает 2 м.

1.2. Единственным взрывопожароопасным веществом в помещении является мука: мелкодисперсный продукт (размер частиц менее 100 мкм). Теплота сгорания $H_t = 1,8 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Критический размер частиц взрывоопасной взвеси мучной пыли $d^* = 250$ мкм.

1.3. Сведения, необходимые для определения стехиометрической концентрации мучной пыли $\rho_{ст}$ в воздухе при нормальных условиях (атмосферное давление 101,3 кПа, температура 20 °C), могут задаваться одним из трех способов:

1) прямым указанием величины: $\rho_{ст} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

2) указанием сведений о брутто-формуле химического состава вещества, например, в виде $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{Na}$. В таком случае расчет $\rho_{ст}$ производится на основе химического уравнения окисления данного вещества воздухом до соответствующих продуктов взаимодействия (CO_2 , H_2O и N_2) - по формуле

$$\rho_{ст} = 0,0087 \cdot (12 \cdot Y + B + 16 \cdot K + 14 \cdot A) / (Y + B / 4 - K / 2).$$

При наличии в брутто-формуле вещества других атомов, например S, P, Al, и т.д., в расчете должны учитываться дополнительные продукты окисления: SO_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 и т.д.;

3) результатами экспериментального измерения убыли массы кислорода Δm_O в камере, где произведено выжигание пробной массы исследуемого вещества Δm_X в атмосфере кислорода (например, в установке для определения теплоты сгорания вещества по ГОСТ 21261-91).

В этом случае расчет $\rho_{ст}$ производится по формуле

$$\rho_{ст} = (\Delta m_X / \Delta m_O) \cdot M_O,$$

где M_0 - масса кислорода в 1 м³ воздуха; допускается принимать $M_0 = 0,24 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в помещении не обращаются горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °C, а также вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, данное помещение не относится к категории А.

В соответствии с п. 5.2 [1] следует рассмотреть возможность отнесения данного помещения к категории Б. Поскольку в нем обращаются только горючие пыли, для проверки возможности отнесения данного помещения к категории Б следует рассмотреть аварию, сопровождающуюся образованием облака горючей пыли, и произвести расчет избыточного давления взрыва.

Аварийная ситуация с образованием пылевоздушного облака может быть связана с разрывом тары (одного из мешков с мукой), в результате которого его содержимое ($m_{ab} = 50 \text{ кг}$), поступая в помещение с максимально возможной высоты ($H = 2 \text{ м}$), образует взрывоопасную взвесь. С определенным запасом надежности примем объем образующегося при этом пылевоздушного облака равным объему конуса, имеющего высоту H и радиус основания также равный H . В этом случае объем аварийного облака составит:

$$V_{ab} = (1 / 3) \cdot H \cdot \pi \cdot H^2 = (1 / 3) \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 2^2 = 8,4 \text{ м}^3.$$

3. Коэффициент участия пыли во взрыве Z рассчитывается по формуле (A.16) [1] и составляет:

$$Z = 0,5 \cdot F = 0,5 \cdot 1 = 0,5.$$

4. Расчетную массу взвешенной в объеме помещения пыли m (кг), образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяют по формуле (A.17) [1]:

$$m = \min \left\{ \frac{m_{bz} + m_{ab}}{\rho_{ct} \cdot V_{ab} / Z} \right\}$$

Поскольку $m_{bz} + m_{ab} = 0 + 50 = 50 \text{ кг}$; $\rho_{ct} \cdot V_{ab} / Z = 0,25 \cdot 8,4 / 0,5 = 4,2 \text{ кг}$, следует принять $m = 4,2 \text{ кг}$.

Для надежного выполнения расчета ΔP целесообразно объяснить физический смысл использованной здесь формулы (A.17) [1]. Избыточное давление воздуха в помещении при горении взвеси объясняется тепловыделением реакции окисления дисперсного горючего кислородом воздуха. Поэтому в окончательном расчете давления взрыва присутствует общая масса сгоревшей в пылевоздушном облаке пыли m и теплотворная характеристика выгорания единичного количества пыли H_t . Понятно, что масса m не может превысить общую массу пыли в этом облаке ($m_{bz} + m_{ab}$), которая записана в верхней строке формулы (A.17) [1]. Но масса m может быть меньше ($m_{bz} + m_{ab}$). Последнее происходит в случае горения пылевоздушных облаков, обогащенных горючим, когда для полного выгорания пыли в таком облаке не хватает кислорода воздуха. Для подобных «богатых» смесей масса выгорающей пыли будет ограничена содержанием кислорода в облаке, а потому не должна превосходить величину $\rho_{ct} \cdot V_{ab}$, представленную в нижней строке формулы (A.17) [1]. Добавим, что поправка $(1 / Z)$ к указанной величине обусловлена спецификой расчета ΔP , куда масса сгоревшей пыли фактически входит в виде комплекса $m \cdot Z$.

5. Определение избыточного давления взрыва ΔP производится по формуле (A.4) [1]:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_t \cdot P_0 \cdot Z}{V_{cb} \cdot \rho_b \cdot C_p \cdot T_0 \cdot K_h} = \frac{4,2 \cdot 1,8 \cdot 10^7 \cdot 101,3 \cdot 0,5}{1000 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 300 \cdot 3} = 3,51 \text{ кПа.}$$

6. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, рассматриваемое помещение мукомольного комбината для хранения муки не относится

к категории Б и его следует относить к категории В1 - В4 в зависимости от пожарной нагрузки, находящейся в этом помещении.

5.5. Помещения с горючими жидкостями

При определении категории помещений в нижеприведенных примерах учитываются следующие положения [1]:

- в качестве расчетного выбирается наиболее неблагоприятный вариант аварии, при котором участвует аппарат, имеющий наибольшую пожарную нагрузку (пп. А.1.1, Б.1 [1]);

- площадь пожарной нагрузки определяется с учетом особенностей технологии, под площадью пожарной нагрузки понимается площадь поверхности зеркала ГЖ в аппарате, площадь разлива ГЖ из аппарата, ограниченная бортиками, поддонами, площадь, занимаемая оборудованием, сливными емкостями и т. п.

Пример 11

Цех разделения, компрессии воздуха и компрессии продуктов разделения воздуха. Машинное отделение. В помещении находятся горючие вещества (турбинные, индустриальные и другие масла с температурой вспышки выше 61 °C), которые обращаются в центробежных и поршневых компрессорах. Количество масла в компрессоре составляет 15 кг. Количество компрессоров 5. Температура нагрева масел в компрессорах менее температур их вспышек.

Определим категорию помещения для случая, когда количество масла в каждом из компрессоров составляет 15 кг, а другая пожарная нагрузка отсутствует.

В соответствии с п. Б.2 [1] пожарная нагрузка определяется из соотношения

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

где G_i - количество i -го материала пожарной нагрузки, кг; $Q_{H_i}^p$ - низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж · кг⁻¹.

Низшая теплота сгорания для турбинного масла составляет 41,87 МДж · кг⁻¹. Пожарная нагрузка будет равна:

$$Q = 15 \cdot 41,87 = 628 \text{ МДж.}$$

Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки составляет 6 - 8 м². В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки $S = 10 \text{ м}^2$. Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{628}{10} = 6,28 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с табл. Б.1 [1] помещения с данной удельной пожарной нагрузкой могут быть отнесены к категории В4 ($g \leq 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$) при условии, что способ ее размещения удовлетворяет необходимым требованиям, изложенным в приложении Б [1].

Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ и ГЖ, расстояния между участками разлива пожарной нагрузки должны быть больше предельных.

В помещении минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм H составляет около 9 м. При этих условиях ($H < 11 \text{ м}$) предельное расстояние $l_{\text{пр}}$ должно удовлетворять неравенству

$$l_{\text{пр}} \geq 26 - H \text{ или при } H = 9 \text{ м } l_{\text{пр}} \geq 17 \text{ м.}$$

Поскольку данное условие для машинного отделения не выполняется (расстояния между агрегатами не более 6 м), то помещение машинного отделения согласно табл. Б.1 [1] относится к категории В3.

Пример 12

Определим категорию помещения для другого случая, когда количество масла в одном из компрессоров (имеющем наибольшее количество масла) составляет 1200 кг.

В соответствии с п. Б.2 [1] пожарная нагрузка будет равна:

$$Q = 1200 \cdot 41,87 = 50244 \text{ МДж.}$$

Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки будет составлять 30 м^2 . В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки $S = 30 \text{ м}^2$. Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{50244}{30} = 1674,8 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с табл. Б.1 [1] помещения с данной удельной пожарной нагрузкой могут быть отнесены к категории В2 при условии, что способ ее размещения удовлетворяет необходимым требованиям, изложенным в приложении Б [1].

В данном помещении минимальное расстояние H от поверхности пожарной нагрузки до покрытия составляет около 6,5 м.

Определим, выполняется ли условие

$$Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2.$$

После подстановки численных значений получим:

$$0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 2200 \cdot 6,5^2 = 59488 \text{ МДж.}$$

Так как $Q = 50244 \text{ МДж}$ и условие $Q \geq 59488 \text{ МДж}$ не выполняется, то помещение машинного отделения согласно табл. Б.1 [1] относится к категории В2.

Пример 13

Определим категорию помещения, приведенного в примере 11, для другого случая, когда количество масла в одном из компрессоров (имеющем наибольшее количество масла) составляет 1200 кг.

В соответствии с п. Б.2 [1] пожарная нагрузка будет равна:

$$Q = 1200 \cdot 41,87 = 50244 \text{ МДж.}$$

Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки составляет 26 м^2 . В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки $S = 26 \text{ м}^2$. Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{50244}{26} = 1932,5 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с табл. Б.1 [1] помещения с данной удельной пожарной нагрузкой могут быть отнесены к категории В2 при условии, что способ ее размещения удовлетворяет необходимым требованиям, изложенным в приложении Б [1].

В данном помещении минимальное расстояние H от поверхности пожарной нагрузки до покрытия составляет около 9 м.

Определим, выполняется ли условие

$$Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2.$$

После подстановки численных значений получим:

$$0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 2200 \cdot 9^2 = 114048 \text{ МДж.}$$

Так как $Q = 50244 \text{ МДж}$ и условие $Q \geq 114048 \text{ МДж}$ не выполняется, то согласно табл. Б.1 [1] помещение машинного отделения относится к категории В2.

Пример 14

Определим категорию того же помещения (пример 13) для случая, когда количество масла в одном из компрессоров (имеющем наибольшее количество масла) составляет 7000 кг.

В соответствии с п. Б.2 [1] пожарная нагрузка будет равна:

$$Q = 7000 \cdot 41,87 = 293090 \text{ МДж.}$$

Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки составляет 130 м². В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки $S = 130 \text{ м}^2$. Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{293090}{130} = 2254,5 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с табл. Б.1 [1] помещение машинного отделения с данной удельной пожарной нагрузкой относится к категории В1.

5.6. Помещения с твердыми горючими веществами и материалами

Пример 15

Складское здание. Представляет собой многостеллажный склад, в котором предусмотрено хранение на металлических стеллажах негорючих материалов в картонных коробках. В каждом из десяти рядов стеллажей имеется десять ярусов, шестнадцать отсеков, в которых хранятся по три картонных коробки весом 1 кг каждая. Верхняя отметка хранения картонной тары на стеллажах составляет 5 м, а высота нижнего пояса до отметки пола 7,2 м. Длина стеллажа составляет 48 м, ширина 1,2 м, расстояние между рядами стеллажей - 2,8 м.

Согласно исходным данным площадь размещения пожарной нагрузки в каждом ряду составляет 57,6 м².

Определим полное количество горючего материала (картон) в каждом ряду стеллажей:

$$10 \text{ ярусов} \cdot 16 \text{ отсеков} \cdot 3 \text{ коробки} \cdot 1 \text{ кг} = 480 \text{ кг.}$$

Низшая теплота сгорания для картона составляет 13,4 МДж · кг⁻¹. Пожарная нагрузка будет равна:

$$Q = 480 \cdot 13,4 = 6432 \text{ МДж.}$$

Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{6432}{57,6} = 111,7 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Это значение удельной пожарной нагрузки соответствует категории В4. Однако площадь размещения пожарной нагрузки превышает 10 м². Поэтому к категории В4 данное помещение не относится. В соответствии с табл. Б.1 [1] помещение складского здания относится к категории В3.

Пример 16

Производственная лаборатория. В помещении лаборатории находятся: шкаф вытяжной химический, стол для микроаналитических весов, два стула. В лаборатории можно выделить один участок площадью 10 м², на котором расположены стол и два стула, изготовленные из дерева. Общая масса древесины на этом участке составляет около 47 кг.

Низшая теплота сгорания для древесины составляет $13,8 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Пожарная нагрузка будет равна:

$$Q = 13,8 \cdot 47 = 648,6 \text{ МДж.}$$

Площадь размещения пожарной нагрузки составляет $2,5 \text{ м}^2$. В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки $S = 10 \text{ м}^2$. Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{648,6}{10} = 64,9 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с табл. Б.1 [1] помещение производственной лаборатории с данной удельной пожарной нагрузкой относится к категории В4.

Поскольку в помещении лаборатории нет других участков с пожарной нагрузкой, то согласно табл. Б.1 и п. Б.2 [1] проверка помещения производственной лаборатории на принадлежность к категории В3 не производится.

Пример 17

Помещение гаража. Основную пожарную нагрузку автомобиля составляет резина, топливо, смазочные масла, искусственные полимерные материалы. Среднее значение количества этих материалов для грузового автомобиля следующее: резина - 118,4 кг, дизельное топливо - 120 кг, смазочные масла - 18 кг, пенополиуретан - 4 кг, полиэтилен - 1,8 кг, полихлорвинил - 2,6 кг, картон - 2,5 кг, искусственная кожа - 9 кг. Общая масса горючих материалов 276,3 кг. Как показано выше в примере 5, для дизельного топлива $\Delta P = 0$, т. е. помещение не относится к категории А или Б.

Низшая теплота сгорания составляет: смазочное масло - $41,87 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, резина - $33,52 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, дизельное топливо - $43,59 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, пенополиуретан - $24,3 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, полиэтилен - $47,14 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, полихлорвинил - $14,31 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, картон - $13,4 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, искусственная кожа - $17,76 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Пожарная нагрузка будет равна:

$$Q = 18 \cdot 41,87 + 118,4 \cdot 33,52 + 120 \cdot 43,59 + 4 \cdot 24,3 + 1,8 \cdot 47,14 + 2,5 \cdot 13,4 + 9 \cdot 17,76 + 2,6 \cdot 14,31 = 10365,8 \text{ МДж.}$$

Минимальное расстояние H от поверхности пожарной нагрузки до покрытия составляет 6 м. Площадь размещения пожарной нагрузки $S = 10 \text{ м}^2$. Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{10365,8}{10} = 1036,6 \cdot \text{МДж} \cdot \text{м}^2.$$

В соответствии с табл. Б.2 [1] помещение с данной удельной пожарной нагрузкой относится к категории В3.

Определим, выполняется ли условие п. Б.2 [1]

$$Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2.$$

После подстановки численных значений получим:

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

Так как $Q = 10365,8 \text{ МДж}$ и условие $Q \geq 32256 \text{ МДж}$ не выполняется, помещение гаража относится к категории В3.

5.7. Помещения с горючими газами, легковоспламеняющимися жидкостями, горючими жидкостями, пылями, твердыми веществами и материалами

Пример 18

1. Исходные данные.

1.1. Помещение малярно-сдаточного цеха тракторосборочного корпуса. В помещении цеха производится окрашивание и сушка окрашенных тракторов на двух конвейерных линиях. В сушильных камерах в качестве топлива используется природный газ. Избыток краски из окрасочных камер смывается водой в коагуляционный бассейн, из которого после отделения от воды краска удаляется по трубопроводу за пределы помещения для дальнейшей ее утилизации.

1.2. Используемые вещества и материалы:

- природный газ метан (содержание 99,2 % (об.);
- грунт ГФ-0119, [ГОСТ 23343-78](#);
- эмаль МЛ-152, [ГОСТ 18099-78](#);
- сольвент, [ГОСТ 10214-78](#) или [ГОСТ 1928-79](#) (наиболее опасный компонент в составе растворителей грунта и эмали).

1.3. Физико-химические свойства веществ и материалов [2].

Молярная масса, кг · кмоль⁻¹:

- метана $M_{CH_4} = 16,04$;
- сольвента $M_{C_{8,5}H_{11}} = 113,2$.

Расчетная температура t_p , °C:

- в помещении $t_n = 39$ [3];
- в сушильной камере $t_k = 80$.

Плотность жидкости, кг · м⁻³:

- сольвента $\rho_{C_{8,5}H_{11}}^* = 850$.

Плотность газов и паров, кг · м⁻³.

- метана $\rho_{CH_4}^{39\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{M}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = 0,6260$;
- сольвента $\rho_{C_{8,5}H_{11}}^{39\text{ }^{\circ}\text{C}} = 4,4182 (\rho_c); \rho_{C_{8,5}H_{11}}^{80\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,9043$.

Парциальное давление насыщенных паров при температуре 39 °C [2], кПа:

- сольвента $lg P_{H,C_{8,5}H_{11}} = 6,2276 - \frac{1529,33}{226,679 + t_n}$;

$$P_{H,C_{8,5}H_{11}} = 3,0.$$

Интенсивность испарения при 39 °C, кг · м⁻² · с⁻¹:

- сольвента $W_c = 10^{-6} \cdot \sqrt{113,2} \cdot 3,0 = 3,1919 \cdot 10^{-5}$.

1.4. Пожароопасные свойства [2].

Температура вспышки, °C:

- сольвента $t_{всп} = 21$.

Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), % (об.):

- метана $C_{HKPР,CH_4} = 5,28$;
- сольвента $C_{HKPР,C_{8,5}H_{11}} = 1,0$.

Стехиометрическая концентрация, % (об.):

- метана $C_{ст,CH_4} = 9,36$;
- сольвента $C_{ст,C_{8,5}H_{11}} = 1,80 (C_{ст,c})$.

1.5. Размеры помещений и параметры технологического процесса.

1.5.1. Общие размеры цеха: $L = 264,7$ м, $S = 30,54$ м, $H = 15,75$ м. Объем помещения $V_n = 264,7 \cdot 30,54 \cdot 15,75 = 127322,0$ м³.

1.5.2. Площадь окрасочного пролета со встроенными помещениями на отметке 0,00: $F_{общ} = 264,7 \cdot 30,54 = 8083,94$ м².

1.5.3. Площади встроенных помещений:

- тамбур (ось В/1) $F_{1,\text{встр}} = 1,75 \cdot 3,49 = 6,11$ м²;
- ПСУ (оси К - К/1) $F_{2,\text{встр}} = 1,97 \cdot 6,61 = 13,02$ м²;
- помещения (оси Л/3 - Р/1) $F_{3,\text{встр}} = 82,76 \cdot 6,55 = 542,08$ м²;
- помещения (оси У - Х1) $F_{4,\text{встр}} = 50,04 \cdot 6,55 = 327,76$ м²;
- суммарная площадь встроенных помещений:

$$F_{\text{встр}} = F_{1,\text{встр}} + F_{2,\text{встр}} + F_{3,\text{встр}} + F_{4,\text{встр}} = 6,11 + 13,02 + 542,08 + 327,76 = 888,97 \text{ м}^2.$$

1.5.4. Площадь окрасочного пролета без встроенных помещений:

$$F_{\text{оп}} = F_{\text{общ}} - F_{\text{встр}} = 8083,94 - 888,97 = 7194,97 \text{ м}^2.$$

1.5.5. Объем окрасочного пролета с площадью $F_{\text{оп}}$ и высотой H :

$$V_{\text{бп}} = 7194,97 \cdot 15,75 = 113320,78 \text{ м}^3.$$

1.5.6. Объемы встроенных помещений на отметке 6,500:

- венткамера (отм. 6,500, ось В/1, консоль):

$$V_{1,\text{встр}} = 1,95 \cdot 27,05 \cdot 9,25 = 487,91 \text{ м}^3;$$

- венткамера (отм. 6,500, оси Х/Х1, консоль):

$$V_{2,\text{встр}} = 5,47 \cdot 23,99 \cdot 9,25 = 1213,83 \text{ м}^3;$$

- венткамера (отм. 6,500, оси И/2 - К/2):

$$V_{3,\text{встр}} = 23,92 \cdot 7,27 \cdot 9,25 - 13,02 \cdot 9,25 = 1488,12 \text{ м}^3;$$

- венткамера (отм. 6,500, оси Р/1 - У):

$$V_{4,\text{встр}} = 5,43 \cdot 6,55 \cdot 9,25 = 328,99 \text{ м}^3;$$

- венткамера (отм. 6,500, оси П/2 - У, консоль):

$$V_{5,\text{встр}} = 0,72 \cdot 27,0 \cdot 9,25 = 179,82 \text{ м}^3;$$

- суммарный объем встроенных помещений:

$$V_{1-6,\text{встр}} = V_{1,\text{встр}} + V_{2,\text{встр}} + V_{3,\text{встр}} + V_{4,\text{встр}} + V_{5,\text{встр}} = 3698,67 \text{ м}^3.$$

1.5.7. Объем окрасочного пролета без объема $V_{1-5,\text{встр}}$:

$$V_1 = V_{\text{бп}} - V_{1-5,\text{встр}} = 113320,78 - 3698,67 = 109622,11 \text{ м}^3.$$

1.5.8. Объемы над встроенными помещениями на отметке 12,030:

- венткамеры (отм. 12,030, оси Л/3 - М/1):

$$V_{1,\text{пер}} = 10,5 \cdot 6,55 \cdot 3,72 = 255,84 \text{ м}^3;$$

- помещения (отм. 6,500, оси М/1 - М/3):

$$V_{2,\text{пер}} = 6,5 \cdot 6,55 \cdot 9,25 = 393,82 \text{ м}^3;$$

- венткамеры (отм. 12,030, оси М/3 - Н/1):

$$V_{3,\text{пер}} = 5,08 \cdot 6,55 \cdot 3,72 = 123,78 \text{ м}^3;$$

- помещения (отм. 7,800, оси Ф - Х):

$$V_{4,\text{пер}} = 23,1 \cdot 6,55 \cdot 7,95 - 5,82 \cdot 2,72 \cdot 2,82 = 1158,23 \text{ м}^3;$$

- тамбур (отм. 3,74, ось В/1):

$$V_{4,\text{пер}} = 1,75 \cdot 3,49 \cdot 2,26 = 13,80 \text{ м}^3;$$

- ПСУ (отм. 3,040, оси К - К/1):

$$V_{6,\text{пер}} = 1,97 \cdot 6,61 \cdot 2,96 = 38,54 \text{ м}^3;$$

- общий объем над встроенными помещениями:

$$V_{1-6,\text{пер}} = V_{1,\text{пер}} + V_{2,\text{пер}} + V_{3,\text{пер}} + V_{4,\text{пер}} + V_{5,\text{пер}} + V_{6,\text{пер}} = 1984,01 \text{ м}^3.$$

1.5.9. Объем бассейна коагуляции на отметке -2,500 и 0,00

($L = 80,5$ м, $S = 3,60 \div 6,40$ м, $H = 2,10 \div 2,20$ м):

$$V_6 = (1,90 \cdot 6,40 + 2,40 \cdot 5,00 + 1,40 \cdot 4,00 + 6,40 \cdot 3,10 + 66,4 \cdot 2,60 + 2,0 \cdot 2,50) \cdot 2,20 + 76,20 \cdot 1,00 \cdot 2,10 = 659,95 \text{ м}^3.$$

1.5.10. Объем помещения окрасочного участка малярно-сдаточного цеха:

$$V_{\text{п}} = V_1 + F_{1,\text{пер}} + V_6 = 109622,11 + 1984,01 + 659,95 = 112266,07 \text{ м}^3.$$

1.5.11. Свободный объем помещения окрасочного участка малярно-сдаточного цеха:

$$V_{\text{св}} = 0,8 - V_{\text{п}} = 0,8 \cdot 112266,07 = 89812,86 \text{ м}^3 \approx 89813 \text{ м}^3.$$

1.5.12. Толщина слоя лакокрасочных материалов:

- грунт ФЛ-03 $\delta_{\text{г}} = 15$ мкм;
- эмаль МЛ-152 $\delta_{\text{э}} = 20$ мкм.

1.5.13. Расход лакокрасочных материалов:

- грунт ФЛ-03К $G_{\text{г,фл}} = 3,97 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$;
- эмаль МЛ-152 $G_{\text{э}} = 4,2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$.

1.5.14. Содержание горючих растворителей в лакокрасочных материалах:

- грунт ФЛ-03К $\varphi_{\text{г,фл}} = 67\%$ (масс.);
- эмаль МЛ-152 $\varphi_{\text{э}} = 78\%$ (масс.).

1.5.15. Расход растворителя на единицу площади окрашиваемых поверхностей тракторов:

- сольвент (грунт ФЛ-03К) $G_{\text{рфл}} = 2,66 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$;
- сольвент (эмаль МЛ-152) $G_{\text{рэ}} = 3,276 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$.

1.5.16. Производительность конвейера по площади нанесения лакокрасочных материалов:

- линия окрашивания тракторов в серийном исполнении:

$$n_{\text{k,c}} = 407,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}^{-1} = 6,79 \text{ м}^2 \cdot \text{мин}^{-1} = 0,1131 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1};$$

- линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении:

$$n_{\text{k,e}} = 101,8 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}^{-1} = 1,70 \text{ м}^2 \cdot \text{мин}^{-1} = 0,0283 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}.$$

1.5.17. Производительность конвейера по массе растворителя, содержащегося в нанесенных лакокрасочных материалах:

- нанесение грунта ФЛ-03К (сольвент), окрашивание тракторов в экспортном исполнении:

$$n_{\text{p,фл}} = 101,8 \cdot 15 \cdot 2,66 \cdot 10^{-3} = 4,0618 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} = 0,001128 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1};$$

- нанесение эмали МЛ-152 (сольвент), окрашивание тракторов в экспортном исполнении:

$$n_{\text{p,э}} = 101,8 \cdot 20 \cdot 3,276 \cdot 10^{-3} = 6,6699 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} = 0,001853 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1};$$

- нанесение эмали МЛ-152 (сольвент), окрашивание тракторов в серийном исполнении:

$$n_{\text{p,ес}} = 407,3 \cdot 20 \cdot 3,276 \cdot 10^{-3} = 26,6863 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} = 0,007413 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}.$$

2. Обоснование расчетных вариантов аварии.

2.1. Разгерметизация трубопровода, подающего природный газ в теплогенераторы, при работающем конвейере.

2.1.1. Расход метана в подводящем трубопроводе при давлении $P_{\text{CH}_4} = 178,4$ кПа:

$$G_{\text{CH}_4} = 714 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} = 0,19844 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}.$$

2.1.2. Масса газа m_{CH_4} , поступающего из трубопроводов диаметром $d_r = 0,219$ м и общей длиной участков трубопроводов $L_r = 1152$ м, согласно пп. А.1.2 в) и А.2.4 [1] составит:

$$m_{\text{CH}_4} = 0,19844 \cdot 300 + 0,01 \cdot 3,14 \cdot 178,4 \cdot \frac{0,219^2}{4} \cdot 1152 \cdot 0,626 = 107,97 \text{ кг.}$$

2.1.3. Масса растворителя, испаряющегося с окрашенных изделий, при работающем конвейере за время аварийной ситуации $T_a = 3600$ с = 1 ч [1] с учетом коэффициента избытка лакокрасочных материалов $K_i = 2$ составит:

- линия окрашивания тракторов в серийном исполнении, окрашивание эмалью МЛ-152:

$$m_{\text{ЭС}} = 2 \cdot n_{\text{p,ЭС}} \cdot T_a = 2 \cdot 26,6863 \cdot 1 = 53,3726 \text{ кг};$$

- линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении, грунтование грунтом ФЛ-03К:

$$m_{\text{ГЭ}} = 2 \cdot n_{\text{p,ФЛ}} \cdot T_a = 2 \cdot 4,0618 \cdot 1 = 8,1236 \text{ кг};$$

- линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении, окрашивание эмалью МЛ-152:

$$m_{\text{ЭЭ}} = 2 \cdot n_{\text{p,Э}} \cdot T_a = 2 \cdot 6,6699 \cdot 1 = 13,3398 \text{ кг.}$$

2.1.4. Масса растворителя $m_{\text{РБ}}$ (кг), испаряющегося со свободной поверхности бассейна коагуляции $F_{\text{БК}} = 226,84$ м² за время аварийной ситуации $T_a = 3600$ с [1], составит:

$$m_{\text{РБ}} = W_c \cdot F_{\text{БК}} \cdot T_a = 3,1919 \cdot 10^{-5} \cdot 226,84 \cdot 3600 = 26,0658 \text{ кг.}$$

2.2. Разгерметизация красконагнетательного бака при работающем конвейере.

2.2.1. Масса растворителя, поступающего в помещение при аварийной ситуации из красконагнетательного бака $V_{\text{БК}} = 60$ л = 0,06 м³ и трубопроводов диаметром $d_{\text{БКО}} = d_{\text{БКП}} = 0,04$ м и длиной ($L_{\text{БКО}} + L_{\text{БКП}} = 312$ м, составит:

$$\begin{aligned} m_{\text{БК}} &= K_i \cdot n_{\text{p,Б}} \cdot \tau_a + [V_{\text{БК}} + 0,785 \cdot (d_{\text{БКО}}^2 \cdot L_{\text{БКО}} + d_{\text{БКП}}^2 \cdot L_{\text{БКП}})] \cdot \varphi_3 \cdot \\ &\cdot \rho_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}}^* = 2 \cdot 0,007413 \cdot 300 + [0,06 + 0,785 \cdot (0,04^2 \cdot 156 + \\ &+ 0,04^2 \cdot 156)] \cdot 0,78 \cdot 850 = 304,04 \text{ кг.} \end{aligned}$$

2.2.2. Площадь испарения $F_{\text{И,БК}}$ (м²) с поверхности разлившейся из бака и трубопровода эмали МЛ-152 будет равна:

$$F_{\text{И,БК}} = \frac{m_{\text{БК}} \cdot 100}{\varphi_3 \cdot \rho_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}}^*} = \frac{304,04 \cdot 1000}{0,78 \cdot 850} = 458,6 \text{ м}^2.$$

2.2.3. Масса растворителя $m_{\text{РББ}}$ (кг), испаряющегося со свободной поверхности бассейна коагуляции и с поверхности разлившейся эмали МЛ-152 из красконагнетательного бака, будет равна:

$$m_{\text{РББ}} = m_{\text{РБ}} + W_c \cdot F_{\text{И,БК}} \cdot T_a = 26,0658 + 3,1919 \cdot 10^{-5} \cdot 458,6 \cdot 3600 = 78,7628 \text{ кг.}$$

2.2.4. Масса растворителя $m_{\text{РК}}$ (кг), испаряющегося с окрашенных изделий при работающем конвейере (п. 2.1.3), составит:

$$m_{\text{РК}} = m_{\text{ЭС}} + m_{\text{ГЭ}} + m_{\text{ЭЭ}} = 53,3726 + 8,1236 + 13,3398 = 74,836 \text{ кг.}$$

2.2.5. Масса паров растворителя $m_{\text{П,Р}}$ (кг), поступившая в объем помещения при аварийной ситуации, будет равна:

$$m_{\text{П,Р}} = m_{\text{РББ}} + m_{\text{РК}} = 78,7628 + 74,836 = 153,5988 \text{ кг.}$$

2.3. Разгерметизация красконагнетательного бака, остановка конвейера.

2.3.1. Масса растворителя $m_{\text{рбб}}$ (кг), испаряющегося со свободной поверхности бассейна и с поверхности разлившейся эмали МЛ-152 из красконагнетательного бака (п. [2.2.3](#)).

2.3.2. Площадь окрашиваемых поверхностей, находящихся на технологических линиях окраски тракторов в экспортном и серийном исполнении, и масса растворителя, содержащегося в лакокрасочных материалах, нанесенных на эти поверхности, составят:

- участок нанесения грунта ФЛ-03К, линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении:

$$F_{\text{го}} = 260 \text{ м}^2;$$

$$m_{\text{гэо}} = K_{\text{и}} \cdot G_{\text{рфл}} \cdot F_{\text{го}} \cdot \delta_{\text{г}} = 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-3} \cdot 260 \cdot 15 = 20,7480 \text{ кг};$$

- участок сушки грунта ФЛ-03К, линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении:

$$F_{\text{гс}} = 227,5 \text{ м}^2;$$

$$m_{\text{гэс}} = G_{\text{рфл}} \cdot F_{\text{гс}} \cdot \delta_{\text{г}} = 2,66 \cdot 10^{-3} \cdot 227,5 \cdot 15 = 9,0772 \text{ кг};$$

- участок нанесения эмали МЛ-152, линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении:

$$F_{\text{эо}} = 305,5 \text{ м}^2;$$

$$m_{\text{эоэ}} = K_{\text{и}} \cdot G_{\text{рэ}} \cdot F_{\text{эо}} \cdot \delta_{\text{э}} = 2 \cdot 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 305,5 \cdot 20 = 40,0327 \text{ кг};$$

- участок сушки эмали МЛ-152, линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении:

$$F_{\text{эсэ}} = 500,5 \text{ м}^2;$$

$$m_{\text{эсэ}} = G_{\text{рэ}} \cdot F_{\text{эсэ}} \cdot \delta_{\text{э}} = 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 500,5 \cdot 20 = 32,7928 \text{ кг};$$

- участок нанесения эмали МЛ-152, линия окрашивания тракторов в серийном исполнении:

$$F_{\text{эос}} = 533 \text{ м}^2;$$

$$m_{\text{эос}} = K_{\text{и}} \cdot G_{\text{рэ}} \cdot F_{\text{эос}} \cdot \delta_{\text{э}} = 2 \cdot 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 533 \cdot 20 = 69,8443 \text{ кг};$$

- участок сушки эмали МЛ-152, линия окрашивания тракторов в серийном исполнении:

$$F_{\text{эсс}} = 1092 \text{ м}^2;$$

$$m_{\text{эсс}} = G_{\text{рэ}} \cdot F_{\text{эсс}} \cdot \delta_{\text{э}} = 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 1092 \cdot 20 = 71,5478 \text{ кг.}$$

2.4. Разгерметизация трубопровода, подающего природный газ в теплогенераторы, остановка конвейера.

2.4.1. Масса газа $m_{\text{чн4}}$, поступающего из трубопровода (п. [2.1.2](#)).

2.4.2. Масса растворителя, испаряющегося с окрашенных поверхностей и со свободной поверхности (пп. [2.3.2](#) и [2.1.4](#)).

3. Расчет избыточного давления взрыва ΔP для различных вариантов аварийных ситуаций проводится согласно формуле (А.1) [1].

3.1. Разгерметизация трубопровода, подающего природный газ в теплогенераторы, при работающем конвейере:

$$\begin{aligned}\Delta P = & \frac{(P_{max} - P_0) \cdot 100}{V_{cb} \cdot K_h} \cdot \left[\frac{m_{CH_4} \cdot Z_r}{\rho_{CH_4} \cdot C_{ct,CH_4}} + \frac{m_{p6} \cdot Z_n}{\rho_c^{39^{\circ}C} \cdot C_{ct,c}} + \right. \\ & \left. + \frac{(m_{sc} + m_{rc} + m_s) \cdot Z_n}{\rho_c^{80^{\circ}C} \cdot C_{ct,c}} \right] = \frac{799 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \cdot \left[\frac{107,97 \cdot 0,5}{0,626 \cdot 9,36} + \right. \\ & \left. + \frac{26,0658 \cdot 0,3}{4,4182 \cdot 1,8} + \frac{(53,3726 + 8,1236 + 13,3398) \cdot 0,3}{3,9043 \cdot 1,8} \right] = \\ & = 0,2965 \cdot (9,2135 + 0,9833 + 3,1946) = 3,97 \text{ кПа.}\end{aligned}$$

Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, при данном варианте аварийной ситуации помещение малярно-сдаточного цеха не относится к категории А или Б.

3.2. Разгерметизация красконагнетательного бака при работающем конвейере:

$$\begin{aligned}\Delta P = & \frac{(P_{max} - P_0) \cdot Z_n}{V_{cb} \cdot K_h} \cdot \frac{100}{C_{ct,c}} \cdot \left[\frac{m_{p66}}{\rho_c^{39^{\circ}C}} + \frac{m_{pk}}{\rho_c^{80^{\circ}C}} \right] = \\ & = \frac{799 \cdot 0,3 \cdot 100}{89813 \cdot 3 \cdot 1,8} \cdot \left[\frac{78,7628}{4,4182} + \frac{74,836}{3,9043} \right] = \\ & = 0,04942 \cdot (17,8269 + 19,1676) = 1,83 \text{ кПа.}\end{aligned}$$

Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, при данном варианте аварийной ситуации помещение малярно-сдаточного цеха не относится к категории А или Б.

3.3. Разгерметизация красконагнетательного бака, остановка конвейера:

$$\begin{aligned}\Delta P = & \frac{(P_{max} - P_0) \cdot Z_n}{V_{cb} \cdot K_h} \cdot \frac{100}{C_{ct,c}} \cdot \left[\frac{m_{p66}}{\rho_c^{39^{\circ}C}} + \right. \\ & \left. + \frac{(m_{r30} + m_{r3c} + m_{303} + m_{3c3} + m_{30c} + m_{3cc})}{\rho_c^{80^{\circ}C}} \right] = \\ & = \frac{799 \cdot 0,3 \cdot 100}{89813 \cdot 3 \cdot 1,8} \cdot \left[\frac{78,7628}{4,4182} + \right. \\ & \left. + \frac{(20,740 + 9,077 + 40,0327 + 32,7928 + 69,8443 + 71,5478)}{3,9043} \right] = \\ & = 0,04942 \cdot (17,8269 + 62,5062) = 3,97 \text{ кПа.}\end{aligned}$$

Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, при данном варианте аварийной ситуации помещение малярно-сдаточного цеха не относится к категории А или Б.

3.4. Разгерметизация трубопровода, подающего природный газ в теплогенераторы, остановка конвейера:

$$\begin{aligned}\Delta P = & \frac{(P_{max} - P_0) \cdot 100}{V_{cb} \cdot K_h} \cdot \left[\frac{m_{CH_4} \cdot Z_r}{\rho_{CH_4} \cdot C_{ct,CH_4}} + \frac{m_{p6} \cdot Z_n}{\rho_c^{39^{\circ}C} \cdot C_{ct,c}} + \right. \\ & \left. + \frac{(m_{r30} + m_{r3c} + m_{303} + m_{3c3} + m_{30c} + m_{3cc}) \cdot Z_n}{\rho_c^{80^{\circ}C} \cdot C_{ct,c}} \right] = \\ & = \frac{799 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \cdot \left[\frac{107,97 \cdot 0,5}{0,626 \cdot 9,36} + \frac{26,0658 \cdot 0,3}{4,4182 \cdot 1,8} + \right. \\ & \left. + \frac{(20,7480 + 9,0772 + 40,0327 + 32,7928 + 69,8443 + 71,5478) \cdot 0,3}{3,9043 \cdot 1,8} \right] =\end{aligned}$$

$$= 0,2965 \cdot (9,2135 + 0,9833 + 10,4177) = 6,11 \text{ кПа.}$$

Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно, при данном варианте аварийной ситуации помещение малярно-сдаточного цеха относится к категории А.

Пример 19

1. Исходные данные.

1.1. Помещение отделения консервации и упаковки станков. В помещении производится обезжиривание поверхностей станков в водном растворе тринатрийфосфата с синтанолом ДС-10, обезжиривание отдельных деталей станков уайт-спиритом и обработка поверхностей станков (промасливание) индустриальным маслом И-50. Размеры помещения $L \times S \times H = 54,0 \cdot 12,0 \cdot 12,7 \text{ м}$. Объем помещения $V_{\text{п}} = 8229,6 \text{ м}^3$. Свободный объем помещения $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 8229,6 = 6583,7 \text{ м}^3 \approx 6584 \text{ м}^3$. Площадь помещения $F = 648 \text{ м}^2$. Обезжиривание станков раствором тринатрийфосфата ($m_1 = 20,7 \text{ кг}$) с синтанолом ДС-10 ($m_2 = 2,36 \text{ кг}$) осуществляется в ванне размером $L_1 \times S_1 \times H_1 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \text{ м}$ ($F_1 = 1,5 \text{ м}^2$). Отдельные детали станков обезжираются в вытяжном шкафу размером $L_2 \times S_2 \times H_2 = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 2,85 \text{ м}$ ($F_2 = 0,96 \text{ м}^2$) уайт-спиритом, который хранится в шкафу в емкости объемом $V_a = 3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$ (суточная норма). Обработка поверхностей станков производится в ванне с индустриальным маслом И-50 размером $L_3 \times S_3 \times H_3 = 1,15 \cdot 0,9 \cdot 0,72 \text{ м}$ ($F_3 = 1,035 \text{ м}^2$, $V_3 = 0,7452 \text{ м}^3$) при температуре $t = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Масса индустриального масла И-50 в ванне $m_3 = 538 \text{ кг}$. Рядом с ванной для промасливания станков расположено место для упаковки станков размером $L_4 \times S_4 = 6,0 \cdot 4,0 \text{ м}$ ($F_4 = 24,0 \text{ м}^2$), на котором находится упаковочная бумага массой $m_4 = 24 \text{ кг}$ и обшивочные доски массой $m_5 = 1650 \text{ кг}$.

1.2. Тринатрийфосфат - негорючее вещество. Брутто-формула уайт-спирита $C_{10,5}H_{21,0}$. Молярная масса уайт-спирита $M = 147,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Константы уравнения Антуана для уайт-спирита: $A = 7,13623$; $B = 2218,3$; $C_a = 273,15$. Температура вспышки уайт-спирита $t_{\text{всп}} > 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$, индустриального масла И-50 $t_{\text{всп}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, синтанола ДС-10 $\rho_{\text{ж}} = 247 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Плотность жидкости при температуре $t = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$: уайт-спирита $\rho_{\text{ж}} = 790 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, индустриального масла И-50 $\rho_{\text{ж}} = 903 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, синтанола ДС-10 $\rho_{\text{ж}} = 980 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Теплота сгорания уайт-спирита $H_{\text{т}} = Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 43,966 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 4,397 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$, индустриального масла И-50 по формуле Басса $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 50460 - 8,545 \cdot \rho_{\text{ж}} = 50460 - 8,545 \cdot 903 = 42744 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 42,744 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, упаковочной бумаги $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 13,272 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, древесины обшивочных досок $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 20,853 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация емкости с уайт-спиритом. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Вологда) согласно [3] $t_p = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Плотность паров уайт-спирита при $t_p = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho_{\text{п}} = \frac{147,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 35)} = 5,8240 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Длительность испарения по п. А.1.2 е) [1] $T = 3600 \text{ с}$.

3. Объем $V_{\text{ж}}$ и площадь разлива $F_{\text{и}}$ поступившего в помещение при расчетной аварии уайт-спирита согласно п. А.1.2. [1] составят:

$$V_{\text{ж}} = V_a = 0,003 \text{ м}^3 = 3 \text{ л};$$

$$F_{\text{и}} = 1,0 \cdot 3 = 3 \text{ м}^2.$$

4. Определяем давление $P_{\text{н}}$ насыщенных паров уайт-спирита при расчетной температуре $t_p = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\lg P_n = 7,136230 - \frac{2218,3}{273,15 + 35} = -0,062537;$$

$$P_n = 0,87 \text{ кПа.}$$

5. Интенсивность испарения W уайт-спирита составит:

$$W = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \sqrt{147,3 \cdot 0,87} = 1,056 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

6. Масса паров уайт-спирита t , поступивших в помещение, будет равна:

$$m = 1,056 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 3600 = 0,114 \text{ кг.}$$

7. Избыточное давление взрыва ΔP согласно формуле (22) Пособия составит:

$$\Delta P = 2,831 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,114 \cdot 4,397 \cdot 10^7}{6584} = 0,02 \text{ кПа.}$$

8. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа. Помещение отделения консервации и упаковки станков не относится к категории А или Б. Согласно п. Б.2 и табл. Б.1 [1] проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 - В4.

9. В соответствии с п. Б.2 [1] определим пожарную нагрузку Q и удельную пожарную нагрузку g :

$$G_3 = m_3 = 538 \text{ кг}, G_4 = m_4 = 24 \text{ кг}, G_5 = m_5 = 1650 \text{ кг};$$

$$Q = 538 \cdot 42,744 + 24 \cdot 13,272 + 1650 \cdot 20,583 = 57277 \text{ МДж};$$

$$S = F_3 + F_4 = 1,035 + 24,0 = 25,035 \text{ м}^2;$$

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{57277}{25,035} = 2288 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

10. Удельная пожарная нагрузка превышает 2200 МДж · м⁻². Помещение отделения консервации и упаковки станков согласно табл. Б.1 [1] относится к категории В1.

Пример 20

1. Исходные данные.

1.1. Помещение первичных и вторичных смесителей, насосов и фильтров. В этом помещении осуществляется приготовление смеси для пропитки гидроизоляционных материалов и производится ее подача насосами в пропиточные ванны производственных линий, находящиеся в другом помещении. В качестве компонентов смеси используются битум БНК 45/190, полипропилен и наполнитель (тальк). Всего в помещении находится 8 смесителей: 6 смесителей объемом $V_a = 10 \text{ м}^3$ каждый, из которых каждые два заполнены битумом, а один пустой; 2 смесителя объемом $V_a = 15 \text{ м}^3$ каждый. Все смесители обогреваются диатермическим маслом (аллотерм-1), подаваемым из помещения котельной и имеющим температуру $t = 210^\circ\text{C}$. Температура битума и смеси в смесителях $t = 190^\circ\text{C}$. Смесь состоит из битума БНК 45/190 - 8 т, полипропилена - 1 т, талька - 1 т. Полипропилен подается в единичной таре в виде гранул массой $m_1 = 250 \text{ кг}$. В 1 т гранулированного полипропилена содержится до 0,3 кг пыли. Полипропилен загружается из тары в бункер смесителя объемом $V_a = 1 \text{ м}^3$. Количество полипропилена в бункере $m_2 = 400 \text{ кг}$, следовательно, пыли в этом бункере в грануляте содержится $m_3 = 0,12 \text{ кг}$.

Полипропилен и его сополимеры в процессе переработки при его нагревании выше температуры $t = 150^\circ\text{C}$ могут выделять в воздух летучие продукты термоокислительной деструкции, содержащие органические кислоты, карбонильные соединения, оксид

углерода. При этом на 1 т сырья выделяется 1,7 кг газообразных продуктов (в пересчете на уксусную кислоту).

Размеры помещения $L \times S \times H = 24 \cdot 36 \cdot 12$ м. Объем помещения $V_{\text{п}} = 10368 \text{ м}^3$. Свободный объем помещения $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 10368 = 8294,4 \text{ м}^3$. Площадь помещения $F = 864 \text{ м}^2$.

Производительность насоса с диатермическим маслом (аллотерм-1) $n_1 = 170 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,0472 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 71,5 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$. Всего в системе циркуляции диатермического масла находится $m_4 = 15$ т масла. Максимальная длина подводящих и отводящих трубопроводов с диатермическим маслом между ручными задвижками и смесителями $L_1 = 19$ м, диаметр $d_1 = 150$ мм = 0,15 м. Производительность насоса, подающего смесь в пропиточную ванну, $n_2 = 10 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,00278 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 2,78 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ (по битуму с полипропиленом 2,5 кг · с⁻¹), а отводящего смесь в смесители из ванн $n_3 = 5 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,00139 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 1,39 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ (по битуму с полипропиленом 1,25 кг · с⁻¹). Максимальная длина подводящих и отводящих трубопроводов со смесью между ручными задвижками и смесителями $L_2 = 15$ м, диаметр $d_2 = 150$ мм = 0,15 м. Производительность насоса, перекачивающего битум из резервуара, расположенного в другом помещении, в смесители, $n_4 = 25 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,007 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 7 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$. Максимальная длина подводящего трубопровода между ручной задвижкой и смесителем $L_3 = 20$ м, диаметр $d_3 = 150$ мм = 0,15 м.

По данным технологического регламента с 1 т гранулированного полипропилена при загрузке в смеситель в помещение поступает 30 г (0,03 кг) содержащейся в грануляте пыли. Текущая влажная пылеуборка производится не реже 1 раза в смену, генеральная влажная пылеуборка не реже 1 раза в месяц. Производительность по перерабатываемому полипропилену $n_5 = 1,65 \text{ т} \cdot \text{ч}^{-1}$. Доли выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей на труднодоступных и доступных для уборки поверхностях, соответственно $\beta_1 = 0,2$ и $\beta_2 = 0,8$.

1.2. Тальк - негорючее вещество. Температура вспышки битума БНК 45/190 $t_{\text{всп}} = 212^\circ\text{C}$, аллотерма-1 $t_{\text{всп}} = 214^\circ\text{C}$. Плотность жидкости битума $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, аллотерма-1 $\rho_{\text{ж}} = 1514 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Теплота сгорания битума по формуле Басса $H_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} = 50460 - 8,545 \cdot \rho_{\text{ж}} = 41915 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 41,92 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, аллотерма-1 $H_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} = 50460 - 8,545 \cdot 1514 = 37523 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 37,52 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$, полипропилена $H_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} = 44000 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 44,0 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного из двух вариантов аварии принимается наиболее неблагоприятный по последствиям взрыва. За первый вариант аварии принимается разгерметизация бункера при загрузке полипропилена в смеситель. За второй вариант принимается разгерметизация трубопровода на участке между смесителем и задвижкой перед насосом, перекачивающим смесь из ванны в смеситель.

2.1. Разгерметизация бункера при загрузке полипропилена в смеситель. Расчет проводим в соответствии с пп. А.3.2 - А.3.6.

2.1.1. Интенсивность пылеотложений n_6 в помещении при загрузке в бункера смесителей полипропилена из тары по исходным данным составит:

$$n_6 = 0,03 \cdot 1,65 = 0,0495 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1}.$$

2.1.2. Масса пыли M_1 , выделяющейся в объем помещения за период (30 дней = 720 ч) между генеральными пылеуборками ($\beta_1 = 0,2$; $\alpha = 0$), будет равна:

$$m_1 = 0,0495 \cdot 720 \cdot 0,2 = 7,128 \text{ кг}.$$

2.1.3. Масса пыли M_2 , выделяющейся в объем помещения за время (8 ч) между текущими пылеуборками ($\beta_2 = 0,8$; $\alpha = 0$), будет равна:

$$m_2 = 0,0495 \cdot 8 \cdot 0,8 = 0,317 \text{ кг.}$$

2.1.4. Масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии $m_{\text{п}} (K_r = 1,0; K_y = 0,7)$ и масса взвихившейся пыли $m_{\text{вз}}$ ($K_{\text{вз}} = 0,9$) составят:

$$m_{\text{п}} = \frac{1}{0,7} \cdot (7,128 + 0,317) = 10,636 \text{ кг};$$

$$m_{\text{вз}} = 10,636 \cdot 0,9 = 9,572 \text{ кг.}$$

2.1.5. Масса пыли $m_{\text{ав}}$, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, будет равна:

$$m_{\text{ав}} = m_3 = 0,12 \text{ кг.}$$

2.1.6. Расчетная масса взвешенной в объеме помещения пыли m , образовавшейся в результате аварийной ситуации, составит:

$$m = 9,572 + 0,12 = 9,692 \text{ кг.}$$

2.2. Разгерметизация трубопровода на участке между смесителем и задвижкой перед насосом, перекачивающим смесь из ванны в смеситель. Расчет проводим в соответствии с п. А.1.2 [1] и исходными данными.

2.2.1. Масса вышедшей из смесителя ($V_a = 15 \text{ м}^3$) и трубопровода смеси при работающем насосе $m_{\text{см}}$ будет равна ($q = n_3; T_a = 300 \text{ с}$):

$$m_{\text{см}} = \left(V_a + q \cdot T_a + \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot L_2 \right) \cdot \rho_{\text{ж}} = \left(15 + 0,00139 \cdot 300 + \frac{\pi}{4} \cdot 0,15^2 \cdot 15 \right) \cdot$$

$$\cdot 1000 = 15682 \text{ кг.}$$

2.2.2. Масса полипропилена $m_{\text{пр}}$ в массе $m_{\text{см}}$ составит, при соотношении битума, полипропилена и талька 8:1:1:

$$m_{\text{пр}} = \frac{1}{10} \cdot m_{\text{см}} = \frac{1}{10} \cdot 15682 = 1568,2 \text{ кг.}$$

2.2.3. Масса летучих углеводородов m , выделяющихся при термоокислительной деструкции из полипропилена, входящего в состав разлившейся смеси (из 1 т полипропилена выделяется 1,7 кг газообразных продуктов), будет равна:

$$m = 0,0017 \cdot m_{\text{пр}} = 0,0017 \cdot 1568,2 = 2,7 \text{ кг.}$$

3. Избыточное давление взрыва ΔP для двух расчетных вариантов аварии определяем по формулам (22) и (43) Пособия.

3.1. Избыточное давление взрыва ΔP при аварийной ситуации, связанной с разгерметизацией бункера при загрузке полипропилена в смеситель, составит:

$$\Delta P = 47,18 \cdot \frac{9,692 \cdot 44,0}{8294,4} = 2,42 \text{ кПа.}$$

3.2. Избыточное давление взрыва ΔP при аварийной ситуации, связанной с разгерметизацией трубопровода на участке между смесителем и задвижкой перед насосом, перекачивающим смесь из ванны в смеситель, составит:

$$\Delta P = 2,831 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{2,7 \cdot 44,0 \cdot 106}{8294,4} = 0,4 \text{ кПа.}$$

4. Расчетное избыточное давление взрыва для каждого из вариантов аварии не превышает 5 кПа. Помещение первичных и вторичных смесителей, насосов и фильтров не относится к категории А или Б. Согласно п. Б.2 и табл. Б.1 [1] проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 - В4.

5. Учитывая, что в помещении находится достаточно большое количество горючих веществ, проведем для упрощения расчет только по битуму и смеси, находящихся в 4 смесителях объемом $V_a = 10 \text{ м}^3$ каждый и в двух смесителях объемом $V_a = 15 \text{ м}^3$ каждый. При этом количество циркулирующего диатермического масла не принимается во внимание. Также для упрощения расчета проведем с использованием единой теплоты сгорания для всех компонентов и веществ по битуму, равной $Q_{\#}^p = 41,92 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

6. В соответствии с п. Б.2 [1] определим пожарную нагрузку Q и удельную пожарную нагрузку g :

$$G = 4 \cdot 10 \cdot 1000 + 2 \cdot 15 \cdot 0,9 \cdot 1000 = 67000 \text{ кг};$$

$$Q = 67000 \cdot 41,92 = 2808640 \text{ МДж};$$

$$S = F = 864 \text{ м}^2;$$

$$g = \frac{2808640}{864} = 3251 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

7. Удельная пожарная нагрузка превышает $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$. Помещение первичных и вторичных смесителей, насосов и фильтров согласно табл. Б.1 [1] относится к категории В1.

5.8. Примеры расчетов категорий зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

5.8.1. Здания категории А

Пример 21

1. Исходные данные. Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 9000 \text{ м}^2$. В здании находятся помещения категории А суммарной площадью $F_A = 400 \text{ м}^2$.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категории А составляет 4,44 % и не превышает 5 % площади всех помещений здания, но более 200 м^2 . Согласно п. 6.2 [1] здание относится к категории А.

Пример 22

1. Исходные данные. Производственное трехэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 20000 \text{ м}^2$. В здании находятся помещения категории А суммарной площадью $F_A = 2000 \text{ м}^2$. Эти помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категории А, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 10 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания, но более 1000 м^2 . Согласно п. 6.2 [1] здание относится к категории А.

5.8.2. Здания категории Б

Пример 23

1. Исходные данные.

Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 32000 \text{ м}^2$. Площадь помещений 22 категории А составляет $F_A = 150 \text{ м}^2$, категории Б - $F_B = 400 \text{ м}^2$, суммарная категорий А и Б - $F_{A,B} = 550 \text{ м}^2$.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категории А составляет 0,47 % и не превышает 5 % площади всех помещений здания и 200 м². Согласно п. 6.2 [1] здание не относится к категории А. Суммарная площадь помещений категорий А и Б составляет 1,72 % и не превышает 5 % площади всех помещений здания, но более 200 м². Согласно п. 6.4 [1] здание относится к категории Б.

Пример 24

1. Исходные данные.

Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 15000$ м². Площадь помещений категории А составляет $F_A = 800$ м², категории Б - $F_B = 600$ м², суммарная категорий А и Б - $F_{A,B} = 1400$ м². Помещения категорий А и Б оборудованы установками автоматического пожаротушения.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категории А, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 5,33 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 1000 м². Согласно п. 6.3 [1] здание не относится к категории А. Суммарная площадь помещений категорий А и Б, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 9,33 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания, но более 1000 м². Согласно пп. 6.4 и 6.5 [1] здание относится к категории Б.

5.8.3. Здания категории В

Пример 25

1. Исходные данные.

Производственное восьмиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 40000$ м². В здании отсутствуют помещения категорий А и Б. Площадь помещений категорий В1 - В3 составляет $F_{B1-B3} = 8000$ м².

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий В1 - В3 составляет 20 % площади всех помещений здания, что более 10 %. Согласно п. 6.6 [1] здание относится к категории В.

Пример 26

1. Исходные данные.

Производственное трехэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 12000$ м². Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{A,B} = 180$ м², категорий В1 - В3 - $F_{B1-B3} = 5000$ м², суммарная категорий А, Б, В1 - В3 - $F_{A,B,B1-B3} = 5180$ м².

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б составляет 1,5 % площади всех помещений здания и не превышает 200 м². Согласно пп. 6.2 и 6.4 здание не относится к категории А или Б. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1 - В3 составляет 43,17 % площади всех помещений здания, что более 5 %. Согласно п. 6.6 [1] здание относится к категории В.

Пример 27

1. Исходные данные.

Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 20000$ м². Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{A,B} = 900$ м², категорий В1 - В3 - $F_{B1-B3} = 4000$ м², суммарная категорий А, Б, В1 - В3 - $F_{A,B,B1-B3} = 4900$ м². Помещения категорий А, Б, В1 - В3 оборудованы установками автоматического пожаротушения.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 4,5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 1000 м². Согласно пп. 6.3 и 6.5 [1] здание не относится к категориям А или Б. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1 - В3 составляет 24,5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания, но более 3500 м². Согласно п. 6.7 [1] здание относится к категории В.

5.8.4. Здания категории Г

Пример 28

1. Исходные данные.

Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 30000$ м². Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В1 - В3 составляет $F_{В} = 1800$ м², категории Г - $F_{Г} = 2000$ м², суммарная площадь помещений категорий В1 - В3, Г - $F_{В, Г} = 3800$ м².

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий В1 - В3 составляет 6 % и не превышает 10 % площади всех помещений здания. Согласно п. 6.6 [1] здание не относится к категории В. Суммарная площадь помещений категорий В1 - В3, Г составляет 12,67 % площади всех помещений здания, что превышает 5 %. Согласно пп. 6.6 и 6.8 [1] здание относится к категории Г.

Пример 29

1. Исходные данные.

Производственное четырехэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 16000$ м². Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А, Б} = 800$ м², помещений категорий В1 - В3 - $F_{В} = 1500$ м², помещений категории Г - $F_{Г} = 3000$ м², суммарная категорий А, Б, В1 - В3 - $F_{А, Б, В} = 2300$ м², суммарная категорий А, Б, В1 - В3, Г - $F_{А, Б, В, Г} = 5300$ м². Помещения категорий А, Б, В1 - В3 оборудованы установками автоматического пожаротушения.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 1000 м². Согласно пп. 6.3 и 6.5 [1] здание не относится к категории А или Б. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1 - В3, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 14,38 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 3500 м². Согласно п. 6.7 [1] здание не относится к категории В. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1 - В3, Г, где помещения категорий А, Б, В1 - В3 оборудованы установками автоматического пожаротушения, составляет 31,12 % площади всех помещений здания, что более 25 % и 5000 м². Согласно пп. 6.7, 6.8 и 6.9 [1] здание относится к категории Г.

5.8.5. Здания категории Д

Пример 30

1. Исходные данные.

Производственное одноэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 8000$ м². Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А, Б} = 600$ м², категорий В1 - В3 - $F_{В} = 1000$ м², категории Г - $F_{Г} = 200$ м², категорий В4 и Д - $F_{В4, Д} = 6200$ м², суммарная категорий А, Б, В1 - В3 - $F_{А, Б, В} = 1600$ м², суммарная категорий А, Б, В1 - В3, Г - $F_{А, Б, В, Г} = 10200$ м².

г = 1800 м². Помещения категорий А, Б, В1 - В3 оборудованы установками автоматического пожаротушения.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 7,5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 1000 м². Согласно пп. 6.3 и 6.5 [1] здание не относится к категории А или Б. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1 - В3, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 20 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 3500 м². Согласно п. 6.7 [1] здание не относится к категории В. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1 - В3, Г, где помещения категорий А, Б, В1 - В3 оборудованы установками автоматического пожаротушения, составляет 22,5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 5000 м². Согласно пп. 6.9 и 6.10 [1] здание не относится к категориям А, Б, В и Г. Следовательно, оно относится к категории Д.

Пример 31

1. Исходные данные.

Производственное пятиэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 25000$ м². Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В1 - В3 составляет $F_{В} = 1000$ м², категории Г - $F_{Г} = 200$ м², категорий В4 и Д - $F_{В4,Д} = 23800$ м², суммарная категорий В1 - В3, Г - $F_{В,Г} = 1200$ м².

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий В1 - В3 составляет 4 % и не превышает 10 % площади всех помещений здания. Согласно п. 6.6 [1] здание не относится к категории В. Суммарная площадь помещений категорий В1 - В3, Г составляет 4,8 % и не превышает 5 % площади всех помещений здания. Согласно пп. 6.8 и 6.10 [1] здание не относится к категориям А, Б, В и Г. Следовательно, оно относится к категории Д.

Пример 32

1. Исходные данные.

Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений $F = 10000$ м². Помещения категорий А, Б, В1 - В3 и Г отсутствуют. Площадь помещений категории В4 составляет $F_{В4} = 2000$ м², категории Д - $F_{Д} = 8000$ м².

2. Определение категории здания.

Согласно п. 6.10 [1] здание относится к категории Д.

6. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ КАТЕГОРИЙ НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПО ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

6.1. Наружные установки с горючими газами

Пример 33

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Емкость-сепаратор, расположенная на открытой площадке и предназначенная для отделения факельного газообразного пропилена от возможной влаги. Емкость-сепаратор размещается за ограждением факельной установки на расстоянии $L_2 = 75$ м (длина отводящего трубопровода) от факела и $L_1 = 700$ м (длина подводящего трубопровода) от наружной установки пропиленового холодильного цикла. На участках начала и конца подводящих и отводящих трубопроводов установлены автоматические задвижки (время срабатывания задвижек $\tau = 120$ с). Диаметр подводящего и отводящего трубопроводов $d_{tp1} = d_{tp2} = 500$ мм = 0,5 м. Объем

емкости-сепаратора $V_a = 50 \text{ м}^3$. Давление газа $P = P_1 = P_2 = 2500 \text{ кПа}$, расход газа $G = 40000 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} = 11,1111 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$, температура газа $t_r = 60^\circ\text{C}$.

1.2. Молярная масса пропилена $M = 42,08 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Химическая формула C_3H_6 . Удельная теплота сгорания пропилена $Q_{cr} = 45604 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 45,604 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Плотность пропилена при $t_r = 60^\circ\text{C}$ составит:

$$\rho_r = \frac{42,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 60)} = 1,5387 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва ΔP при сгорании смеси горючего газа с воздухом в открытом пространстве принимается разгерметизация трубопроводов или емкости-сепаратора, при которой масса поступившего газа в открытое пространство будет максимальной.

3. Масса m пропилена, поступившего в открытое пространство при расчетной аварии из трубопроводов (m_1, m_2) или емкости-сепаратора (m_3), определяется с учетом формул п. В.1.4 [1]:

$$m_1 = G \cdot \tau + 0,01 \cdot 0,785 \cdot d_{tp_1}^2 \cdot L_1 \cdot P \cdot \rho_r = 11,1111 \cdot 120 + 0,01 \cdot$$

$$\cdot 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 700 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 1333,3 + 5284,5 = 6617,8 \text{ кг};$$

$$m_2 = G \cdot \tau + 0,01 \cdot 0,785 \cdot d_{tp_2}^2 \cdot L_2 \cdot P \cdot \rho_r = 1333,3 + 0,01 \cdot 0,785 \cdot$$

$$\cdot 0,5^2 \cdot 75 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 1333,3 + 566,2 = 1899,5 \text{ кг};$$

$$m_3 = G \cdot \tau + 0,01 \cdot V_a \cdot P \cdot \rho_r = 1333,3 + 0,01 \cdot 50 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = \\ = 1333,3 + 1923,4 = 3256,3 \text{ кг}.$$

Максимальная масса поступившего в открытое пространство при расчетной аварии пропилена составляет $m = m_1 = 6617,8 \text{ кг}$.

4. Избыточное давление ΔP (кПа) взрыва на расстоянии $r = 30 \text{ м}$ от наружной установки емкости-сепаратора согласно формулам (B.14) и (B.15) [1] составит:

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

$$= 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 6677^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 6677^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 6677}{30^3} \right) =$$

$$= 101 \cdot (0,488 + 1,114 + 1,236) = 101 \cdot 2,838 = 287 \text{ кПа};$$

$$m_{np} = \frac{Q_{cr}}{Q_o} \cdot m \cdot Z = \frac{45,604 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 6617,8 \cdot 0,1 = 6677 \text{ кг}.$$

5. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка емкости-сепаратора для отделения факельного газообразного пропилена от возможной влаги относится к категории АН.

Пример 34

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Изотермическое хранилище этилена (ИХЭ). Изотермический резервуар хранения этилена (ИРЭ) представляет собой двустенный

металлический резервуар. Пространство между внутренней и наружной стеной заполнено теплоизоляцией - пористым слоем перлита. Объем резервуара $V_p = 10000 \text{ м}^3$. Максимальный коэффициент заполнения резервуара $\alpha = 0,95$. Температура сжиженного этилена $T_{ж} = -103 \text{ }^{\circ}\text{C} = 170,2 \text{ К}$. Давление паров этилена в резервуаре $P_p = 103,8 \text{ кПа}$. Резервуар размещен в бетонном обваловании площадью $F = 5184 \text{ м}^2$ ($L = S = 72 \text{ м}$, $H = 2,2 \text{ м}$).

При аварийной ситуации в обвалование поступает весь объем сжиженного этилена из резервуара, составляющий с учетом поступившего этилена из подводящих и отводящих трубопроводов до отсечных клапанов $V_{ж} = 9850 \text{ м}^3$ с массой $m_{ж} = 5,5948 \cdot 10^6 \text{ кг}$.

1.2. Молярная масса этилена $M = 28,05 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1} = 0,02805 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$. Удельная теплота сгорания этилена $Q_{ср} = 46988 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 46,988 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Плотность сжиженного этилена при температуре его кипения $T_k = -103,7 \text{ }^{\circ}\text{C} = 169,5 \text{ К}$ равна $\rho_{ж} = 568 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Максимальная абсолютная температура воздуха и средняя скорость ветра (воздушного потока) в летний период в данном районе (г. Томск) согласно [3] составляют $t_p = T_0 = 36 \text{ }^{\circ}\text{C} = 309,2 \text{ К}$ и $U = 3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ соответственно. Мольная теплота испарения сжиженного этилена $L_{исп} = 481,62 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 4,8162 \cdot 10^5 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} = 13509,4 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$. Коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_{тв} = 1,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, воздуха $\lambda_{в} = 0,0155 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Теплоемкость бетона $C_{тв} = 840 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Плотность бетона $\rho_{тв} = 2000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Кинематическая вязкость воздуха $\nu_e = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} = 1,62 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Плотность воздуха при $t_p = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$ составит:

$$\rho_v = \frac{28,96}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 36)} = 1,14134 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

Плотность газообразного этилена при $T_{ж} = -103 \text{ }^{\circ}\text{C}$ составит:

$$\rho_r = \frac{28,5}{2,413 \cdot [1 + 0,00367 \cdot (-103)]} = 2,021 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва ΔP при сгорании смеси горючего газа с воздухом в открытом пространстве принимается разгерметизация трубопровода между изотермическим резервуаром хранения этилена и установленными в обваловании отсечными клапанами на подводящих и отводящих трубопроводах и выход сжиженного и газообразного этилена в окружающее пространство с разливом сжиженного этилена внутри обвалования.

3. Масса m_1 газообразного этилена, поступившего в открытое пространство при расчетной аварии из ИРЭ, определяется согласно формулам (B.2), (B.3) [1]:

$$m_1 = 0,01 \cdot P_p \cdot (1 - \alpha) \cdot V_p \cdot \rho_r = 0,01 \cdot 103,8 \cdot 0,05 \cdot 10000 \cdot 2,0121 = 1044 \text{ кг}.$$

4. Удельная масса $m_{уд}$ испарившегося сжиженного этилена за время $t = 3600 \text{ с}$ из обвалования в соответствии с формулой (B.11) [1] составит:

$$\begin{aligned} m_{уд} &= \frac{M}{L_{исп}} \cdot (T_0 - T_{ж}) \cdot \left(2\lambda_{тв} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot \alpha} + \frac{5,1 \cdot \sqrt{Re} \cdot \lambda_v \cdot t}{d}} \right) = \\ &= \frac{0,02805}{1,35094 \cdot 10^4} \cdot (309,2 - 170,2) \cdot \left(2 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{\frac{3600}{3,14 \cdot 7,74 \cdot 10^{-7}}} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{5,1 \cdot \sqrt{1,51 \cdot 10^7} \cdot 0,00155 \cdot 3600}{81,3} \right) = 2,89 \cdot 10^{-4} \cdot (1 \cdot 10^5 + \\ &\quad + 0,14 \cdot 10^5) = 32,95 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}; \end{aligned}$$

$$a = \frac{\lambda_{\text{TB}}}{C_{\text{TB}} \cdot \rho_{\text{TB}}} = \frac{1,3}{840 \cdot 2000} = 7,74 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1};$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_i}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5184}{3,14}} = 81,3 \text{ м};$$

$$F_i = F = 5184 \text{ м}^2;$$

$$Re = \frac{U \cdot d}{v_s} = \frac{3 \cdot 81,3}{1,62 \cdot 10^{-5}} = 1,51 \cdot 10^7.$$

5. Масса m паров (газов) этилена, поступивших при расчетной аварии в окружающее пространство, будет равна:

$$m = m_1 + m_{\text{уд}} \cdot F_i = 1044 + 32,95 \cdot 5184 = 1044 + 170813 = 171857 \text{ кг.}$$

6. Избыточное давление ΔP взрыва на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки ИРЭ согласно формулам (B.14) и (B.15) [1] составит:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 178655^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 178655^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 178655}{30^3} \right) =$$

$$= 101 \cdot (1,442 + 9,754 + 33,084) = 101 \cdot 44,28 = 4472 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{пр}} = \frac{46,988 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 171857 \cdot 0,1 = 178655 \text{ кг.}$$

7. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка изотермического резервуара этилена относится к категории АН.

Пример 35

1. Исходные данные.

Исходные данные аналогичны данным примера 33. Частота разгерметизации емкости под давлением с последующим истечением газа для всех размеров утечек представлена в табл. П.1.1 [7]. Для упрощенного расчета частоту реализации в течение года рассматриваемого сценария аварии для всех размеров утечек принимаем равной $Q = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$.

2. В соответствии с расчетами из примера 33 величина избыточного давления взрыва ΔP на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки равна 287 кПа.

3. Импульс волны давления i ($\text{Па} \cdot \text{с}$) вычисляется по формуле (B.23) [1]:

$$i = \frac{123 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r} = \frac{123 \cdot 6677^{0,66}}{30} = 1371 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

4. Вычисляем величину пробит-функции Pr по формулам (Г.1) и (Г.2) [1]:

$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln(V) = 5 - 0,26 \cdot \ln(5,32 \cdot 10^{-7}) = 5 + 3,76 = 8,76;$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{287000} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1371} \right)^{9,3} = \\ = 6,24 \cdot 10^{-11} + 5,32 \cdot 10^{-7} = 5,32 \cdot 10^{-7}.$$

5. По табл. Г.1 [1] для полученного значения пробит-функции определяем условную вероятность поражения человека $Q_d > 0,999$. Принимаем $Q_d = 1,0$.

6. Пожарный риск $P(a)$ (год^{-1}) в определенной точке территории (a), на расстоянии 30 м от наружной установки, определяют с помощью соотношения (1) [1]:

$$P(a) = Q_d \cdot Q = 1,0 \cdot 6,2 \cdot 10^{-5} = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

7. Величина пожарного риска при возможном сгорании пропилена с образованием волн давления превышает одну миллионную (10^{-6}) в год на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно табл. 2 [1] наружная установка емкости-сепаратора для отделения факельного газообразного пропилена от возможной влаги относится к категории АН.

Пример 3б

1. Исходные данные.

Исходные данные аналогичны данным примера 33. Частота разгерметизации Q (год⁻¹) емкости под давлением с последующим истечением для всех размеров утечек при различных диаметрах d (м) истечения представлена в табл. П.1.1 [7] и соответственно составляет:

$$d_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_1 = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1};$$

$$d_2 = 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_2 = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1};$$

$$d_3 = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_3 = 6,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1};$$

$$d_4 = 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_4 = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1};$$

$$d_5 = 100 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_5 = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1};$$

$$\text{полное разрушение}, Q_6 = 3,0 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

2. Интенсивность истечения пропилена $G_{\text{ист}}$ ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) в соответствии с исходными данными составляет:

$$G_{\text{ист}} = \frac{G}{0,785 \cdot d_{\text{tp1}}^2} = \frac{11,1111}{0,785 \cdot 0,5^2} = 56,6170 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

3. Расход пропилена G ($\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$) через различные диаметры истечения составляет:

$$G_1 = 0,785 \cdot d_1^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,005^2 \cdot 56,617 = 1,11111 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$G_2 = 0,785 \cdot d_2^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,0125^2 \cdot 56,617 = 6,9444 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$G_3 = 0,785 \cdot d_3^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,0025^2 \cdot 56,617 = 0,0278 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$G_4 = 0,785 \cdot d_4^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,05^2 \cdot 56,617 = 0,1111 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$G_5 = 0,785 \cdot d_5^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,1^2 \cdot 56,617 = 0,4444 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$G_6 = 0,785 \cdot d_{\text{tp1}}^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 56,617 = 11,1111 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}.$$

4. Масса пропилена m , поступившего в открытое пространство при разгерметизации емкости через различные диаметры истечения, составляет:

$$m_1 = G_1 \cdot \tau + 0,01 \cdot V_a \cdot P - \rho_f = 11,1111 \cdot 10^{-3} \cdot 120 + 0,01 \cdot 50 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 0,13 + 1923,4 = 1923,5 \text{ кг};$$

$$m_2 = 6,9444 \cdot 10^{-3} \cdot 120 + 1923,4 = 1924,2 \text{ кг};$$

$$m_3 = 0,0278 \cdot 120 + 1923,4 = 1926,7 \text{ кг};$$

$$m_4 = 0,1111 \cdot 120 + 1923,4 = 1976,7 \text{ кг};$$

$$m_5 = 0,4444 \cdot 120 + 1923,4 = 1976,7 \text{ кг};$$

$$m_6 = 11,1111 \cdot 120 + 1923,4 = 3256,7 \text{ кг.}$$

5. Избыточное давление взрыва ΔP на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки емкости-сепаратора при ее разгерметизации через различные диаметры истечения согласно формулам (B.14) и (B.15) [1] составит:

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{\text{пр1}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр1}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр1}}}{r^3} \right) = \\ &= 101 \cdot \frac{0,8 \cdot 1940,7^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1940,7^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1940,7}{30^3} = 118,8 \text{ кПа}; \end{aligned}$$

$$m_{\text{пр1}} = \frac{Q_{\text{ср}}}{Q_0} \cdot m_1 \cdot Z = \frac{45,604 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 1923,5 \cdot 0,1 = 1940,7 \text{ кг};$$

$$\Delta P_2 = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1941,4^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1941,4^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1941,4}{30^3} \right) = 118,9 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{пр2}} = 1,009 \cdot 1924,2 = 1941,4 \text{ кг};$$

$$\Delta P_3 = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1944^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1944^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1944}{30^3} \right) = 119 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{пр3}} = 1,009 \cdot 1926,7 = 1944 \text{ кг};$$

$$\Delta P_4 = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1954^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1954^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1954}{30^3} \right) = 119,4 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{пр4}} = 1,009 \cdot 1936,7 = 1954 \text{ кг};$$

$$\Delta P_5 = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1944^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1944^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1944}{30^3} \right) = 121 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{пр5}} = 1,009 \cdot 1976,7 = 1994 \text{ кг};$$

$$\Delta P_6 = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 3286^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 3286^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 3286}{30^3} \right) = 171 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{пр6}} = 1,009 \cdot 3256,7 = 3286 \text{ кг.}$$

6. Импульс волны давления i вычисляется по формуле (B.23) [1]:

$$i_1 = \frac{123 \cdot m_{\text{пр1}}^{0,66}}{r} = \frac{123 \cdot 1940,7^{0,6}}{30} = 606,5 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$i_2 = \frac{123 \cdot 1941,4^{0,66}}{30} = 606,6 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$i_3 = \frac{123 \cdot 1944^{0,66}}{30} = 607,2 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$i_4 = \frac{123 \cdot 1954^{0,66}}{30} = 609,2 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$i_5 = \frac{123 \cdot 1994^{0,66}}{30} = 617,4 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$i_6 = \frac{123 \cdot 3286^{0,66}}{30} = 858,6 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

7. Определяем величину пробит-функции Pr по формулам (Г.1) и (Г.2) [1]:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \cdot \ln(V_1) = 5 - 0,26 \cdot \ln(1,047 \cdot 10^{-3}) = 6,78;$$

$$V_1 = \left(\frac{17500}{\Delta P_1}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{118800}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{606,5}\right)^{9,3} = 1,047 \cdot 10^{-3};$$

$$Pr_2 = 5 - 0,26 \cdot \ln(1,046 \cdot 10^{-3}) = 6,78;$$

$$V_2 = \left(\frac{17500}{118900}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{606,6}\right)^{9,3} = 1,046 \cdot 10^{-3};$$

$$Pr_3 = 5 - 0,26 \cdot \ln(1,036 \cdot 10^{-3}) = 6,79;$$

$$V_3 = \left(\frac{17500}{119000}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{607,2}\right)^{9,3} = 1,036 \cdot 10^{-3};$$

$$Pr_4 = 5 - 0,26 \cdot \ln(1,0005 \cdot 10^{-3}) = 6,79;$$

$$V_4 = \left(\frac{17500}{119000}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{609,2}\right)^{9,3} = 1,005 \cdot 10^{-3};$$

$$Pr_5 = 5 - 0,26 \cdot \ln(8,873 \cdot 10^{-4}) = 6,83;$$

$$V_5 = \left(\frac{17500}{121000}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{617,4}\right)^{9,3} = 8,873 \cdot 10^{-4};$$

$$Pr_6 = 5 - 0,26 \cdot \ln(4,131 \cdot 10^{-5}) = 7,62;$$

$$V_6 = \left(\frac{17500}{171000}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{858,6}\right)^{9,3} = 4,131 \cdot 10^{-5};$$

8. По табл. Г.1 [1] для полученных значений пробит-функции определяем условные вероятности поражения человека Q_{d1} :

$$Q_{d1} = 0,962, Q_{d2} = 0,962, Q_{d3} = 0,963, Q_{d4} = 0,963, Q_{d5} = 0,966, Q_{d6} = 0,996.$$

9. Пожарный риск $P(a)$ в определенной точке территории (a), на расстоянии 30 м от наружной установки, вычисляют с помощью соотношения (1) [1]:

$$\begin{aligned} P(a) &= Q_{d1} \cdot Q_1 + Q_{d2} \cdot Q_2 + Q_{d3} \cdot Q_3 + Q_{d4} \cdot Q_4 + Q_{d5} \cdot Q_5 + \\ &+ Q_{d6} \cdot Q_6 = 0,962 \cdot 4,0 \cdot 10^{-5} + 0,962 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} 0,963 \cdot \\ &\cdot 6,2 \cdot 10^{-6} + 0,963 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} + 0,966 \cdot 1,7 \cdot 10^{-6} + \\ &+ 0,996 \cdot 3,0 \cdot 10^{-7} = 3,848 \cdot 10^{-5} + 0,962 \cdot 10^{-5} + 5,971 \cdot 10^{-6} + \\ &+ 3,659 \cdot 10^{-6} + 1,642 \cdot 10^{-6} + 2,988 \cdot 10^{-7} = 5,967 \cdot 10^{-5}. \end{aligned}$$

10. Величина пожарного риска при возможном сгорании пропилена с образованием волн давления превышает одну миллионную (10^{-6}) в год на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно табл. 2 [1] наружная установка емкости-сепаратора для отделения факельного газообразного пропилена от возможной влаги относится к категории АН.

6.2. Наружные установки с легковоспламеняющимися жидкостями

Пример 37

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Склад ацетона. Представляет собой группу из 8 горизонтальных резервуаров объемом 10 м³ каждый (коэффициент заполнения резервуаров $\alpha = 0,9$). Ацетон поступает из ж.-д. цистерны по подводящему трубопроводу через коллектор налива ацетона в резервуары склада. Раздача ацетона в отдельные емкости производится по отводящему трубопроводу через коллектор слива ацетона. Резервуары склада ацетона соединены между собой трубопроводами. На всех трубопроводах и коллекторах установлены ручные задвижки. Склад имеет грунтовое обвалование площадью $F_{об} = F_i = 14 \cdot 17,6 = 246,4$ м² (F_i - площадь испарения, м²). Высота обвалования $H_{об} = 1,5$ м.

1.2. Молярная масса ацетона $M = 58,08$ кг · кмоль⁻¹. Химическая формула C₃H₆O. Температура вспышки $t_{всп} = -18$ °С. Удельная теплота сгорания ацетона $Q_{ср} = 31360$ кДж · кг⁻¹ = 31,36 · 10⁶ Дж · кг⁻¹. Плотность жидкости $\rho_ж = 790,8$ кг · м⁻³. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Пермь) [3] составляет $t_p = 37$ °С. Плотность паров ацетона при $t_p = 37$ °С составляет $\rho_{п} = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,815$ кг · м⁻³. Константы уравнения Антуана $A = 6,37551$, $B = 1281,721$, $C_a = 237,088$.

1.3. Давление насыщенных паров ацетона P_h (кПа) при расчетной температуре $t_p = 37$ °С составит:

$$\lg P_h = A - \frac{B}{t_p + C_a} = 6,37551 - \frac{1281,721}{37 + 237,088} = 1,6992;$$

$$P_h = 50,03 \text{ кПа.}$$

1.4. Вычисляется интенсивность испарения W (кг · м⁻² · с⁻¹) ацетона в соответствии с формулой (В.10) [1]:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_h = 10^{-6} \cdot \sqrt{58,08} \cdot 50,03 = 3,8128 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва ΔP при сгорании смеси горючих паров ацетона с воздухом в открытом пространстве принимается для упрощения расчетов разгерметизация одного резервуара с ацетоном, разлив поступившего из резервуара ацетона в обвалование, испарение ацетона с поверхности разлива и поступление паров ацетона в окружающее пространство.

3. Масса паров ацетона m (кг), поступивших в окружающее пространство, согласно формуле (В.8) [1] определяется из выражения:

$$m = W \cdot F_i \cdot T = 3,8128 \cdot 10^{-4} \cdot 246,4 \cdot 3600 = 338,2 \text{ кг.}$$

4. Избыточное давление ΔP (кПа) взрыва на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки склада ацетона согласно формулам (В.14) и (В.15) составит:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right) = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 234,6^{0,33}}{30} + \right.$$

$$\frac{3 \cdot 234,6^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 234,6}{30^3} = 33 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{нр}} = \frac{Q_{\text{ср}}}{Q_0} \cdot m \cdot Z = \frac{31,36 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 338,2 \cdot 0,1 = 234,6 \text{ кг.}$$

5. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка склада ацетона относится к категории АН.

Пример 38

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Открытая площадка для автоцистерны (АЦ), используемой для заполнения подземных резервуаров дизельным топливом. Объем дизельного топлива в АЦ $V_{\text{ж}} = 6 \text{ м}^3$. Площадка не имеет ограждения.

1.2. Молярная масса дизельного топлива $M = 172,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Химическая формула $C_{12,343}H_{23,889}$. Температура вспышки $t_{\text{всп}} > 35^\circ\text{C}$. Удельная теплота сгорания дизельного топлива $Q_{\text{ср}} = 43590 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,59 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Плотность жидкости $\rho_{\text{ж}} = 815 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Тула) [3] составляет $t_p = 38^\circ\text{C}$. Плотность паров дизельного топлива при $t_p = 38^\circ\text{C}$ составляет:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{172,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 38)} = 6,7466 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

Константы уравнения Антуана $A = 5,07818$, $B = 1255,73$, $C_a = 199,523$. Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{\text{нкпр}} = 0,61\%$ (об.).

1.3. Давление насыщенных паров дизельного топлива $P_{\text{н}}$ при расчетной температуре $t_p = 38^\circ\text{C}$ составит:

$$\lg P_{\text{н}} = 5,07818 - \frac{1255,73}{38 + 199,53} = -0,20859;$$

$$P_{\text{н}} = 0,62 \text{ кПа.}$$

1.4. Вычисляется интенсивность испарения W дизельного топлива в соответствии с формулой (В.10) [1]:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} = 10^{-6} \cdot \sqrt{172,3} \cdot 0,62 = 8,14 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва ΔP при сгорании смеси горючих паров дизельного топлива с воздухом в открытом пространстве принимается разгерметизация резервуара АЦ, разлив поступившего из резервуара АЦ дизельного топлива на горизонтальную поверхность, испарение дизельного топлива с поверхности разлива и поступление паров дизельного топлива в окружающее пространство.

3. Масса паров дизельного топлива m , поступивших в окружающее пространство с поверхности испарения $F_{\text{и}}$, определяется согласно п. В.1.3 г) и формуле (В.8) [1] из выражений:

$$m = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T = 8,14 \cdot 10^{-6} \cdot 900 \cdot 3600 = 26,374 \text{ кг};$$

$$F_{\text{и}} = 0,15 \cdot V_{\text{ж}} \cdot 1000 = 0,15 \cdot 6000 = 900 \text{ м}^2.$$

4. Горизонтальный размер зоны $R_{\text{нкпр}}$, ограничивающий область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{\text{нкпр}}$, согласно формуле (В.13) [1] составит:

$$R_{\text{НКР}} = 3,1501 \cdot \sqrt{\frac{3600}{3600}} \cdot \left(\frac{0,62}{0,61}\right)^{0,813} \cdot \left(\frac{26,374}{6,7466 \cdot 0,62}\right)^{0,333} = 5,9 \text{ м.}$$

5. Избыточное давление взрыва ΔP в на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки площадки для АЦ согласно формулам (B.14) и (B.15) [1] составит:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 25,4^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 25,4^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 25,4}{30^3} \right) = 11,2 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{np}} = \frac{43,59 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 26,374 \cdot 0,1 = 25,4 \text{ кг.}$$

6. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка площадки для автоцистерны с дизельным топливом относится к категории БН.

Пример 39

1. Исходные данные.

Исходные данные аналогичны данным примера 38. Частота разгерметизации резервуаров с ЛВЖ при давлении, близком к атмосферному, с последующим истечением жидкости для всех размеров утечки представлена в табл. П.1.1 [7] и соответственно составляет:

$$d_1 = 0,025 \text{ м}, Q_1 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot \text{год}^{-1};$$

$$d_2 = 0,1 \text{ м}, Q_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{год}^{-1};$$

$$\text{полное разрушение}, Q_3 = 5,0 \cdot 10^{-6} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Частота реализации в течение года рассматриваемого сценария аварии для всех размеров утечек составляет $Q = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

2. В соответствии с расчетами из примера 38 величина избыточного давления взрыва ΔP на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки равна 11,2 кПа.

3. Импульс волны давления i вычисляется по формуле (B.23) [1]:

$$i = \frac{123 \cdot m_{\text{np}}^{0,66}}{r} = \frac{123 \cdot 25,4^{0,66}}{30} = 34,7 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

4. Определяем величину пробит-функции Pr по формулам (Г.1) и (Г.2) [1]:

$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln(V) = 5 - 0,26 \cdot \ln(3,76 \cdot 10^8) = -0,134;$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{11200}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{34,7}\right)^{9,3} = 42,47 + 3,76 \cdot 10^8 = 3,76 \cdot 10^8.$$

5. По табл. П.4.2 и формуле (П.4.2) [6] для получения значения пробит-функции определяем условную вероятность поражения человека $Q_d = 1,42 \cdot 10^{-7}$.

6. Пожарный риск $P(a)$ в определенной точке территории (а), на расстоянии 30 м от наружной установки, рассчитывают с помощью соотношения (1) [1];

$$P(a) = Q_d Q = 1,42 \cdot 10^{-7} \cdot 1,05 \cdot 10^{-4} = 1,49 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}.$$

7. Величина пожарного риска при возможном сгорании паров дизельного топлива с образованием волн давления не превышает одну миллионную (10^{-6}) в год на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки для автоцистерны не относится к категории БН.

8. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории БН.

9. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q , входящих в формулу (B.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 900}{3,14}} = 33,86 \text{ м};$$

$$F = F_u = 900 \text{ м}^2;$$

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M}{\rho_b \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 33,86 \cdot \left(\frac{0,04}{1,34 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 33,86}} \right)^{0,61} = 31,5 \text{ м};$$

$$M = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} (\text{табл. В.1 [1]});$$

$$\rho_b = \frac{28,96}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 38)} = 1,134 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 31,5}{33,86} = 1,86;$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} = \frac{2 \cdot 30}{33,86} = 1,77;$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} = \frac{1 + 1,77^2}{2 \cdot 1,77} = 1,17;$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} = \frac{1,86^2 + 1,77^2 + 1}{2 \cdot 1,77} = 2,14;$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) \right] - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S - 1}{S + 1}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A + 1) \cdot (S - 1)}{(A - 1) \cdot (S + 1)}} \right) \right] =$$

$$= \frac{1}{3,14} \cdot \left[\frac{1}{1,77} \cdot \arctg \left(\frac{1,86}{\sqrt{1,77^2 - 1}} \right) - \frac{1,86}{1,77} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{1,77 - 1}{1,77 + 1}} \right) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{2,14}{\sqrt{2,14^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,14 + 1) \cdot (1,77 - 1)}{(2,14 - 1) \cdot (1,77 + 1)}} \right) \right\} \right] =$$

$$= 0,3185 \cdot [0,56 \cdot \arctg 1,274 - 1,051 \cdot \{ \arctg 0,527 -$$

$$- 1,131 \cdot \arctg 0,875 \}] = 0,3185 \cdot [0,5115 + 0,3447] = 0,3185 \cdot 0,8562 = 0,2727;$$

$$F_u = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{B - \frac{1}{S}}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B + 1) \cdot (S - 1)}{(B - 1) \cdot (S + 1)}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{A - \frac{1}{S}}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A + 1) \cdot (S - 1)}{(A - 1) \cdot (S + 1)}} \right) \right] =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{3,14} \cdot \left[\frac{1,17 - \frac{1}{1,77}}{\sqrt{1,17^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(1,17 + 1) \cdot (1,77 - 1)}{1,17 - 1} \cdot (1,77 + 1)}} \right) - \right. \\
 &\quad \left. \frac{2,14 - \frac{1}{1,77}}{\sqrt{2,14^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,14 + 1) \cdot (1,77 - 1)}{2,14 - 1} \cdot (1,77 + 1)}} \right) \right] = \\
 &= 0,3185 \cdot [0,996 \cdot \arctg 1,884 - 0,832 \cdot \arctg 0,875] = \\
 &= 3,185 \cdot [1,078 - 0,598] = 0,3185 \cdot 0,48 = 0,1529;
 \end{aligned}$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 - F_h^2} = \sqrt{0,27272^2 + 0,15292^2} = 0,3126.$$

10. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (B.34) [1]:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 33,86)] = 0,9909.$$

11. Вычисляем интенсивность теплового излучения q ($\text{kVt} \cdot \text{m}^{-2}$) при горении пролива жидкости по формуле (B.24) [1]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0,3126 \cdot 0,9909 = 7,74 \text{ kVt} \cdot \text{m}^{-2};$$

$$E_f = 25 \text{ kVt} \cdot \text{m}^{-2} (\text{табл. B.1 [1]}).$$

12. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает $4 \text{ kVt} \cdot \text{m}^{-2}$ на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки для автоцистерны с дизельным топливом относится к категории ВН.

6.3. Наружные установки с нагретыми горючими жидкостями

Пример 40

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Цех прядильных машин. Емкость-накопитель горячего масла-теплоносителя АМТ-300 расположена на открытой площадке. Объем масла-теплоносителя в емкости $V_{ж} = 30 \text{ м}^3$. На подводящих и отводящих трубопроводах установлены автоматические задвижки. Объем масла-теплоносителя АМТ-300, поступающего при аварийной разгерметизации емкости из подводящих и отводящих трубопроводов, составляет $V_{тр} = 5 \text{ м}^3$. Площадка не имеет ограждения. Температура нагрева теплоносителя $t_{ж} = 280^\circ\text{C} = 553,2 \text{ K}$ (T_a).

1.2. Молярная масса масла-теплоносителя АМТ-300 составляет $M = 312,9 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Химическая формула $C_{22,25}H_{33,48}S_{0,34}N_{0,07}$. Температура вспышки $t_{всп} > 170^\circ\text{C}$. Удельная теплота сгорания масла-теплоносителя АМТ-300 равна $Q_{ср} = 42257 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 42,257 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Плотность жидкости при $t_{ж} = 280^\circ\text{C}$ составляет $C_{ж} = 794 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Теплоемкость теплоносителя при $t_{ж} = 280^\circ\text{C}$ равна $C_{ж} = 2480 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Константы уравнения Антуана $A = 6,12439$, $B = 2240,001$, $C_a = 167,85$.

1.3. Давление насыщенных паров теплоносителя P_h и при начальной температуре нагретого теплоносителя $t_{ж} = 280^\circ\text{C} = 553,2 \text{ K}$ (Га) составляет:

$$\lg P_h = 6,12439 - \frac{2240,001}{t_{ж} + 167,85} = 6,12439 - \frac{2240,001}{280 + 167,85};$$

$$P_h = 13,26 \text{ кПа.}$$

1.4. Термодинамическая теплота испарения теплоносителя $L_{исп}$ ($\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$) согласно формуле (А.15) [1] будет равна:

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

$$\frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 2240,001 \cdot 553,2^2}{(553,2 + 167,85 - 273,2)^2 \cdot 312,9} = 209427 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва ΔP при сгорании смеси горючих паров теплоносителя с воздухом в открытом пространстве принимается разгерметизация емкости-накопителя горячего масла-теплоносителя АМТ-300, разлив поступившего из емкости теплоносителя на горизонтальную поверхность, испарение горячего теплоносителя с поверхности разлива и поступление паров теплоносителя в окружающее пространство.

3. Масса жидкости $m_{\text{п}}$ (кг), поступившей в окружающее пространство, составляет:

$$m_{\text{п}} = (V_{\text{ж}} + V_{\text{тр}}) \cdot \rho_{\text{ж}} = (30 + 5) \cdot 794 = 27790 \text{ кг.}$$

4. Масса паров m (кг), образующихся при испарении нагретой жидкости, определяется по соотношению (А.14) [1]:

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{C_{\text{ж}} \cdot m_{\text{п}}}{L_{исп}} =$$

$$= 0,02 \cdot \sqrt{312,9} \cdot 13,26 \cdot \frac{2480 \cdot 27790}{209427} = 1543,8 \text{ кг.}$$

5. Избыточное давление взрыва ΔP на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки емкости-накопителя масла-теплоносителя АМТ-300 согласно формулам (В.14) и (В.15) [1] составит:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1443,3^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1443,3^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1443,3}{30^3} \right) = 97,7 \text{ кПа;}$$

$$m_{\text{тр}} = \frac{42,257 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 1543,8 \cdot 0,1 = 1443,3 \text{ кг.}$$

6. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка емкости-накопителя горячего масла-теплоносителя АМТ-300 относится к категории БН.

Пример 41

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Система водно-гликолевого обогрева. Резервуар хранения отработанного этиленгликоля расположен на открытой площадке. Объем этиленгликоля в емкости $V_{\text{ж}} = 3,0 \text{ м}^3$. На подводящих и отводящих трубопроводах установлены автоматические задвижки. Объем этиленгликоля, поступающего при аварийной разгерметизации резервуара из подводящих и отводящих трубопроводов, составляет $V_{\text{тр}} = 0,2 \text{ м}^3$. Площадка не имеет ограждения. Температура поступающего в резервуар хранения этиленгликоля $t_{\text{ж}} = 120^\circ\text{C} = 393,2 \text{ К}$ (T_a).

1.2. Молярная масса этиленгликоля $M = 62,068 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$. Химическая формула $C_2H_6O_2$. Температура вспышки $t_{\text{всп}} = 111^\circ\text{C}$. Удельная теплота сгорания этиленгликоля $Q_{\text{ср}} = 19329 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 19329 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Плотность жидкости при $t_{\text{ж}} = 120^\circ\text{C}$ равна $\rho_{\text{ж}} = 987 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Теплоемкость жидкости при $t_{\text{ж}} = 120^\circ\text{C}$ составляет $C_{\text{ж}} = 2820 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Константы уравнения Антуана $A = 8,13754$, $B = 2753,183$, $C_a = 252,009$. Абсолютная

максимальная температура воздуха в данном районе (г. Ноглики, Сахалинская обл.) [3] составляет $t_p = 37^\circ\text{C}$.

1.3. Давление насыщенных паров этиленгликоля P_n при начальной температуре жидкости $t_{ж} = 120^\circ\text{C} = 393,2\text{ K}$ (T_a) составляет:

$$\lg P_n = 8,13754 - \frac{2753,183}{120 + 252,009};$$

$$P_n = 5,45 \text{ кПа.}$$

1.4. Теплота испарения этиленгликоля $L_{исп}$ согласно формуле (А.15) [1] будет равна:

$$L_{исп} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 2753,183 \cdot 393,2^2}{(393,2 + 252,009 - 273,2)^2 \cdot 62,068} = 950118 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва ΔP при сгорании смеси горючих паров этиленгликоля с воздухом в открытом пространстве принимается разгерметизация резервуара с нагретым этиленгликолем, разлив поступившего из резервуара этиленгликоля на горизонтальную поверхность, испарение нагреветого этиленгликоля с поверхности разлива и поступление паров этиленгликоля в окружающее пространство.

3. Масса жидкости m_n , поступившей в окружающее пространство, составляет:

$$m_n = (V_{ж} + V_{tp}) \cdot \rho_{ж} = (3,0 + 0,2) \cdot 987 = 3158,4 \text{ кг.}$$

4. Масса паров m , образующихся при испарении нагретой жидкости, определяется по соотношению (А.14) [1]:

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{62,068} \cdot 5,45 \cdot \frac{2820 \cdot 3158,4}{950118} = 8,05 \text{ кг.}$$

5. Избыточное давление взрыва ΔP на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки резервуара хранения отработанного этиленгликоля согласно формулам (В.14) и (В.15) [1] составит:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 3,44^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 3,44^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 3,44}{30^3} \right) = 4,87 \text{ кПа;}$$

$$m_{np} = \frac{19,329 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 8,05 \cdot 0,1 = 3,44 \text{ кг.}$$

6. Избыточное давление взрыва на расстоянии 30 м от наружной установки не превышает 5 кПа, следовательно, согласно табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки для резервуара хранения отработанного этиленгликоля не относится к категории БН.

7. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории БН.

8. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q , входящих в формулу (В.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 480}{3,14}} = 24,73 \text{ м;}$$

$$F = F_n = 0,15 \cdot 1000 \cdot (V_{ж} + V_{tp}) = 0,15 \cdot 1000 \cdot (3 + 0,2) = 480 \text{ м}^2;$$

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M}{\rho_{ж} \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 24,73 \cdot \left(\frac{0,04}{1,138 \cdot \sqrt{9,81 - 24,73}} \right) = 25,2 \text{ м;}$$

$$M = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} (\text{табл. В.1 [1]});$$

$$\rho_{\text{в}} = \frac{28,96}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 1,138 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 25,2}{24,73} = 2,04;$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} = \frac{2 \cdot 30}{24,73} = 2,43;$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} = \frac{1 + 2,43^2}{2 \cdot 2,43} = 1,42;$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} = \frac{2,04^2 + 2,43^2 + 1}{2 \cdot 2,43} = 2,28;$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{s} \cdot \right.$$

$$\cdot \left. \left\{ \arctg \left(\frac{S - 1}{S + 2} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A + 1) \cdot (S - 1)}{(A - 1) \cdot (S + 1)}} \right) \right\} \right] =$$

$$= \frac{1}{3,14} \cdot \left[\frac{1}{2,43} \cdot \arctg \left(\frac{2,04}{\sqrt{2,43^2 - 1}} \right) - \frac{2,04}{2,43} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{2,43 - 1}{2,43 + 1}} \right) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{2,28}{\sqrt{2,28^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,28 + 1) \cdot (2,43 - 1)}{(2,28 - 1) \cdot (2,43 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [0,412 \cdot \arctg 0,921 - 0,840 \cdot \{\arctg 0,646 - 1,113 \cdot \arctg 1,034\}] =$$

$$= 0,3185 \cdot [0,3066 + 0,2681] = 0,1830;$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{B - \frac{1}{S}}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B + 1) \cdot (S - 1)}{(B - 1) \cdot (S + 1)}} \right) - \frac{A - \frac{1}{S}}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \right.$$

$$\cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A + 1) \cdot (S - 1)}{(A - 1) \cdot (S + 1)}} \right) \right] = \frac{1}{3,14} \cdot \arctg \left[\frac{1,42 - \frac{1}{2,43}}{\sqrt{1,42^2 - 1}} \cdot \right.$$

$$\cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(1,42 + 1) \cdot (2,43 - 1)}{(1,42 - 1) \cdot (2,43 + 1)}} \right) - \frac{2,28 - \frac{1}{2,43}}{\sqrt{2,28^2 - 1}} \cdot$$

$$\cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,28 + 1) \cdot (2,43 - 1)}{(2,28 - 1) \cdot (2,43 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \cdot [1,000 \cdot \arctg 1,550 -$$

$$- 0,912 \cdot \arctg 1,034] = 0,3185 \cdot [0,9978 - 0,7315] = 0,0848;$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{1830^2 + 0,0848^2} = 0,2017.$$

9. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (B.34) [1]:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 24,73)] = 0,9877.$$

10. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении пролива жидкости согласно формуле (B.24) [1]:

$$q = Ef \cdot F_q \cdot \tau = 19 \cdot 0,2017 \cdot 0,9877 = 3,78 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$Ef = 19 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} (\text{табл. В.1 [1] по нефти}).$$

11. Расчетная интенсивность теплового излучения не превышает 4 $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка резервуара хранения отработанного этиленгликоля, расположенного на открытой площадке, не относится к категории ВН и относится к категории ДН.

6.4. Наружные установки с горючими пылями

Пример 42

1. Исходные данные.

1.1. Приемный бункер аспирационной системы цеха шлифовки изделий из древесины объемом 30 м^3 выполнен из фильтрующей ткани и расположен под навесом на открытой территории предприятия.

1.2. В бункере накапливается мелкодисперсная древесная пыль (размер частиц менее 100 мкм) в количестве до 5000 кг. Теплота сгорания древесной пыли $H_t = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Критический размер частиц взрывоопасной взвеси древесной пыли $d^* = 250 \text{ мкм}$. Стехиометрическая концентрация принимается равной $\rho_{ct} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. В объеме фильтра возможно образование взрывоопасного облака древесной пыли при взвихрении отложений пыли (сорвавшихся со стенок бункера) поступающим в бункер потоком запыленного воздуха.

1.3. Сведения, необходимые для определения стехиометрической концентрации мучной пыли ρ_{ct} в воздухе при нормальных условиях (атмосферное давление 101,3 кПа, температура 20 °C), могут задаваться одним из трех способов:

1) прямым указанием величины: $\rho_{ct} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

2) указанием сведений о брутто-формуле химического состава вещества, например, в виде $C_yH_BO_kNa$. В таком случае расчет ρ_{ct} производится на основе химического уравнения окисления данного вещества воздухом до соответствующих продуктов взаимодействия (CO_2 , H_2O и N_2) - по формуле

$$\rho_{ct} = 0,0087 \cdot (12 \cdot Y + B + 16 \cdot K + 14 \cdot A) / (Y + B / 4 - K / 2).$$

При наличии в брутто-формуле вещества других атомов, например S, P, Al, в расчете должны учитываться дополнительные продукты окисления SO_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 ;

3) результатами экспериментального измерения убыли массы кислорода Δm_O в камере, где произведено выжигание пробной массы исследуемого вещества Δm_X в атмосфере кислорода (например, в установке для определения теплоты сгорания вещества по ГОСТ 21261-91).

В этом случае расчет ρ_{ct} производится по формуле

$$\rho_{ct} = (\Delta m_X / \Delta m_O) \cdot M_O,$$

где M_O - масса кислорода в 1 м^3 воздуха; допускается принимать $M_O = 0,24 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в рассматриваемой установке не присутствуют горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °C, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом, данная установка не относится к категории АН.

Поскольку в установке присутствуют горючие пыли, необходимо исследовать возможность отнесения данной установки к категории БН. Для этого следует рассмотреть аварию, сопровождающуюся образованием облака горючей пыли и произвести расчет избыточного давления взрыва.

Аварийная ситуация, приводящая к воспламенению горючего пылевоздушного облака в объеме фильтра, связана с появлением в объеме бункера источника зажигания в виде:

- тлеющих частиц, принесенных потоком запыленного воздуха;
- разрядов статического электричества с энергией, превышающей минимальную энергию зажигания пылевоздушного облака.

Частота возникновения подобных аварийных ситуаций неизвестна.

Объем сгорающей в аварийном режиме аэровзвеси совпадает с объемом бункера $V_{ab} = 30 \text{ м}^3$.

3. Ввиду отсутствия сведений о частоте возникновения рассмотренной аварийной ситуации оказывается невозможным оценить величину пожарного риска. В соответствии с п. 7.3 [1] в этом случае допускается использовать критерии отнесения установки к категории БН по величине расчетного избыточного давления АР при сгорании пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки.

Ниже приводится расчет ΔP .

4. Коэффициент участия пыли во взрыве Z рассчитывается по формуле (А.16) [1] и составляет:

$$Z = 0,5 \cdot F = 0,5 \cdot 1 = 0,5$$

5. Расчетную массу взвешенной пыли m (кг), участвующей в развитии аварийной ситуации, определяют по формуле (В.17) [1]:

$$m = \min \left\{ \frac{m_{b3} + m_{ab}}{\rho_{ct} \cdot V_{ab}/Z} \right\}$$

Поскольку $m_{b3} + m_{ab} = 0 + 5000 = 5000 \text{ кг}$; $\rho_{ct} \cdot V_{ab}/Z = 0,25 \cdot 30 / 0,5 = 15 \text{ кг}$, следует принять $m = 15 \text{ кг}$.

Для надежного выполнения расчета АР целесообразно объяснить физический смысл использованной здесь формулы (А.17) [1]. Избыточное давление воздуха в помещении при горении взвеси объясняется тепловыделением реакции окисления дисперсного горючего кислородом воздуха. Поэтому в окончательном расчете давления взрыва присутствует общая масса сгоревшей в пылевоздушном облаке пыли m и теплотворная характеристика выгорания единичного количества пыли H_t . Понятно, что масса m не может превысить общую массу пыли в этом облаке ($m_{b3} + m_{ab}$), которая записана в верхней строке формулы (А.17) [1]. Но масса m может быть меньше ($m_{b3} + m_{ab}$). Последнее происходит в случае горения пылевоздушных облаков, обогащенных горючим, когда для полного выгорания пыли в таком облаке не хватает кислорода воздуха. Для подобных «богатых» смесей масса выгорающей пыли будет ограничена содержанием кислорода в облаке, а потому она не должна превосходить величину $\rho_{ct} \cdot V_{ab}$, фигурирующую в нижней строке формулы (А.17) [1]. Добавим, что поправка (1/Z) к указанной величине обусловлена спецификой расчета ΔP , куда масса сгоревшей пыли фактически входит в виде комплекса $m \cdot Z$.

6. Приведенную массу горючей пыли m_{pr} , кг, определяют по формуле (В.21) [1]:

$$m_{pr} = m \cdot Z \cdot H_t / H_{t0} = 15 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^7 / 4,52 \cdot 10^6 = 4,9 \text{ кг.}$$

7. Определение избыточного давления взрыва ΔP на расстоянии $r = 30 \text{ м}$ от наружной установки производится по формуле (В.22) [1]:

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

$$= 101,3 \cdot (0,8 \cdot 4,9^{0,33} / 30 + 3 \cdot 4,9^{0,66} / 30^2 + 5 \cdot 4,9 / 30^3) = 5,6 \text{ кПа.}$$

8. Поскольку ΔP превышает 5 кПа, в соответствии с критерием п. 7.3 [1] рассматриваемую наружную установку следует отнести к категории БН.

Пример 43

1. Исходные данные.

Исходные данные аналогичны данным примера 42 с тем различием, что известна частота реализации в течение года рассматриваемого сценария развития аварии: $Q = 10^{-3}$ год⁻¹. Дополнительная информация: насыпная плотность древесной пыли составляет $\rho_h = 300 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, угол естественного откоса для отложения древесной пыли составляет $\alpha = 45^\circ$, массовая скорость выгорания отложения древесной пыли составляет $0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; плотность воздуха $\rho_v = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

В рассматриваемой установке не присутствуют горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °C, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом. По этой причине данная установка не относится к категории АН.

В установке присутствуют горючие пыли. По этой причине необходимо исследовать возможность отнесения данной установки к категории БЫ. Для этого следует рассмотреть аварию, сопровождающуюся образованием облака горючей пыли и произвести расчет избыточного давления взрыва.

2. В соответствии с расчетами из предыдущего примера величина избыточного давления взрыва ΔP на расстоянии $r = 30 \text{ м}$ от наружной установки составляет 5,6 кПа.

3. Импульс волны давления i , Па · с, вычисляем по формуле (B.23) [1]:

$$i = 123 \cdot m_{\text{mp}}^{0,66} / r = 123 \cdot 4,9^{0,66} / 30 = 11,7 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

4. Вычисляем величину пробит-функции Pr по формулам (Г.1) и (Г.2) [1]:

$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln \cdot (V) = 5 - 7,7 = -2,7,$$

$$\text{где } V = (17500 / \Delta P)^{8,4} + (290 / i)^{9,3} = (17500 / 5600)^{8,4} + (290 / 11,7)^{9,3} = 9,3 \cdot 10^{12}.$$

5. По табл. Г.1 [1] для полученного значения пробит-функции определяем условную вероятность поражения человека: $Q_d < 0,001$.

6. Пожарный риск $P(a)$ (год⁻¹) в определенной точке территории (a), на расстоянии 30 м от наружной установки, определяют с помощью соотношения (1) [1]:

$$P(a) = Q_d \cdot Q < 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

7. Поскольку $P(a) < 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, рассматриваемая наружная установка не относится в категории БН.

8. Таким образом, рассматриваемая наружная установка не относится к категориям АН и БН. В соответствии с требованиями п. 7.2 [1] рассмотрим возможность отнесения данной наружной установки к категории ВН. В установке присутствует только горючая пыль, и ответ на вопрос о принадлежности установки к категории ВН в соответствии с критерием п. 7.3 [1] зависит от расчетного значения интенсивности теплового излучения от очага пожара, вызванного загоранием просыпавшейся из установки пыли, на расстоянии $r = 30 \text{ м}$ от установки.

9. В соответствии с требованием п. В.4.1 следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии, при котором в горении участвует наибольшее количество пыли, что

отвечает полному заполнению емкости бункера, то есть объему пыли, равному $V_{\Pi} = 30 \text{ м}^3$. Такое количество пыли при просыпании на землю образует объект в виде конуса (угол откоса равен $\alpha = 45^\circ \text{C}$) с высотой H , равной радиусу основания R .

Приравнивая объем конуса к начальному объему пыли, получим:

$$(1 / 3) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H = V_{\Pi},$$

откуда следует: $H = R = (3 \cdot V_{\Pi} / \pi)^{1/3} = (3 \cdot 30 / 3,14)^{1/3} = 3 \text{ м.}$

10. В соответствии с формулой (B.24) [1] интенсивность теплового излучения q , $\text{kВт} \cdot \text{м}^{-2}$, при горении твердых материалов рассчитывают по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau,$$

где E_f - среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, $\text{kВт} \cdot \text{м}^{-2}$; F_q - угловой коэффициент облученности; τ - коэффициент пропускания атмосферы.

В соответствии с примечанием к табл. В.1 допускается принимать $E_f = 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Из общих соображений следует, что величина углового коэффициента облученности подчиняется соотношению

$$F_q \leq S_{\max} / r_{\min}^2,$$

где S_{\max} - максимально возможная площадь проекции тела, имеющего форму пламени вокруг горящего объекта; r_{\min} - минимальное расстояние от пламени до точки, удаленной на расстояние $r = 30 \text{ м}$ от наружной установки.

Согласно п. В.5.1 [1] при горении тонкого цилиндрического слоя древесной пыли, лежащего на поверхности земли и имеющего диаметр $d = 2R = 6 \text{ м}$, форму пламени можно представить цилиндром с основанием того же диаметра и высотой H , равной

$$H = 42 \cdot d \cdot [M / (\rho_b \cdot g^{0,5} \cdot d^{0,5})]^{0,61} = 42 \cdot 6 \cdot [0,01 / 1,2 \cdot 9,8^{0,5} \cdot 6^{0,5}] = 3,84 \text{ м.}$$

Поскольку форма просыпавшейся пыли представляет конус меньшей высоты (3 м), с достаточным запасом надежности будем аппроксимировать форму пламени вертикальным цилиндром диаметром 6 м и высотой, равной сумме высоты цилиндра и полученной ранее высоты пламени, то есть 6,84 м.

Для пламени рассматриваемой формы $S_{\max} = \pi \cdot R^2$; $r_{\min} = r - R$. Таким образом,

$$F_q \leq 3,14 \cdot 3^2 / (30 - 3)^2 = 0,04.$$

Согласно формуле (B.34) [1]

$$\tau = \exp [-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - R)] = \exp [-7 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 3)] = 0,98.$$

Объединяя результаты оценок, получим: $q \leq 40 \cdot 0,04 \cdot 0,98 = 1,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$.

11. Поскольку $q < 4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$, в соответствии с критерием п. 7.3 [1] рассматриваемая наружная установка не относится к категории ВН.

12. В соответствии с требованиями п. 7.2 [1] рассмотрим возможность отнесения данной наружной установки к категории ГН. Поскольку в установке не присутствуют негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном и (или) расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и (или) пламени, а также не присутствуют горючие газы, жидкости и (или) твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива, данная установка не относится к категории ГН.

13. Поскольку рассматриваемая наружная установка не относится к категориям АН, БН, ВН и ГН, данную установку в соответствии с требованиями п. 7.2 [1] и табл. 2 следует отнести к категории ДН.

6.5. Наружные установки с горючими жидкостями

Пример 44

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Открытая площадка хранения индустриального масла И-5А в металлических бочках. Объем жидкости в 40 бочках $V_{ж} = 7,2 \text{ м}^3$. Площадка не имеет ограждения.

1.2. Индустриальное масло И-5А - горючая жидкость. Температура вспышки $t_{всп} > 118^\circ\text{C}$. Плотность жидкости при $t_{ж} = 20^\circ\text{C}$ равна $\rho_{ж} = 888 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Владимир) [3] составляет $t_p = 37^\circ\text{C}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении металлических бочек с индустриальным маслом И-5А принимается его разлив из бочек на горизонтальную поверхность и горение на поверхности разлива. Площадь разлива жидкости $F = 1080 \text{ м}^2$.

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

4. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q , входящих в формулу (B.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1080}{3,14}} = 37,1 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M}{\rho_{ж} \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 37,1 \cdot \left(\frac{0,04}{1,138} \cdot \sqrt{9,81 \cdot 37,1} \right)^{0,61} = 33,4 \text{ м};$$

$$M = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} (\text{табл. В.1 [1]});$$

$$\rho_{ж} = \frac{28,96}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 37)} = 1,138 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 33,4}{37,1} = 1,80;$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} = \frac{2 \cdot 30}{37,1} = 1,62$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} = \frac{1 + 1,62^2}{2 \cdot 1,62} = 1,12;$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} = \frac{1,8^2 + 1,62^2 + 1}{2 \cdot 1,62} = 2,12;$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \right.$$

$$\cdot \left. \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S - 1}{S + 1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A + 1) \cdot (S - 1)}{(A - 1) \cdot (S + 1)}} \right) \right\} \right] =$$

$$= \frac{1}{3,14} \cdot \left[\frac{1}{1,62} \cdot \arctg \left(\frac{1,8}{\sqrt{1,62^2 - 1}} \right) - \frac{1,8}{1,62} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{1,62 - 1}{\sqrt{1,62 + 1}} \right) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{2,12}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,12 + 1) \cdot (1,62 - 1)}{(2,12 - 1) - (1,62 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [0,617 \cdot \operatorname{arctg} 1,412 - 1,111 \cdot \{\operatorname{arctg} 0,486 - 1,134 \cdot \operatorname{arctg} 0,812\}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,5890 + 0,3193] = 0,2893;$$

$$F_{\text{н}} = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{B - \frac{1}{S}}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{A - \frac{1}{S}}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \right. \\ \left. \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] = \frac{1}{3,14} \cdot \operatorname{arctg} \left[\frac{1,12 - \frac{1}{1,62}}{\sqrt{1,12^2 - 1}} \cdot \right. \\ \left. \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(1,12+1) \cdot (1,62-1)}{(1,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) - \frac{2,12 - \frac{1}{1,62}}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \right. \\ \left. \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(2,12+1) \cdot (1,62-1)}{(2,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) \right] = 0,3185 \cdot [0,997 \cdot \operatorname{arctg} 2,045 - \\ - 0,804 \cdot \operatorname{arctg} 0,812] = 3,185 \cdot [1,1126 - 0,5483] = 0,1797;$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_{\text{н}}^2} = \sqrt{0,2893^2 + 0,1797^2} = 0,3406.$$

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (В.34) [1]:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 37,1)] = 0,9920.$$

6. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении пролива жидкости согласно формуле (В.24) [1]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 13 \cdot 0,3406 \cdot 0,9920 = 4,39 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$E_f = 13 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} (\text{табл. В.1 [1] по нефти}).$$

7. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки хранения индустриального масла в металлических бочках относится к категории ВН.

Пример 45

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Трансформатор, расположенный на открытой площадке. Объем трансформаторного масла в трансформаторе $V_{\text{ж}} = 1,0 \text{ м}^3$. Под трансформатором размещен поддон-маслосборник объемом $V_{\text{м}} = 1,2 \text{ м}^3$. Площадь поддона $F = 20 \text{ м}^2$.

1.2. Трансформаторное масло - горючая жидкость. Температура вспышки $t_{\text{всп}} > 135^{\circ}\text{C}$. Плотность жидкости $\rho_{\text{ж}} = 880 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Ростов-на-Дону) [3] составляет $t_p = 40^{\circ}\text{C}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении трансформатора с трансформаторным маслом принимается разлив трансформаторного масла в поддон-маслосборник и горение на поверхности жидкости в поддоне-маслосборнике площадью $F = 20 \text{ м}^2$.

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

4. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q , входящих в формулу (B.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 20}{3,14}} = 5,05 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 5,05 \cdot \left(\frac{0,04}{1,127 - \sqrt{9,81 \cdot 5,05}} \right)^{0,61} = 8,4 \text{ м};$$

$$M = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} (\text{табл. B.1 [1]});$$

$$\rho_b = \frac{28,96}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 40)} = 1,127 \text{ кг} \cdot \text{м}^3;$$

$$h = \frac{2 \cdot 8,4}{5,05} = 3,33;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{5,05} = 11,88;$$

$$B = \frac{1 + 11,88^2}{2 \cdot 11,88} = 5,98;$$

$$A = \frac{3,33^2 + 11,88^2 + 1}{2 \cdot 11,88} = 6,45;$$

$$F_v = \frac{1}{3,14} \cdot \left[\frac{1}{11,88} \cdot \arctg \left(\frac{3,33}{\sqrt{11,88^2 - 1}} \right) - \frac{3,33}{11,88} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{11,88 - 1}{11,88 + 1}} \right) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{6,45}{\sqrt{6,45^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(6,45 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(6,45 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) \right\} = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [0,084 \cdot \arctg 0,281 - 0,280 \cdot \{\arctg 0,919 - 1,012 \cdot \arctg 1,074\}] =$$

$$= 0,3185 \cdot [0,0230 + 0,0246] = 0,0152;$$

$$F_h = 0,3185 \cdot \left[\frac{5,98 - \frac{1}{11,88}}{\sqrt{5,98^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(5,98 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(5,98 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{6,45 - \frac{1}{11,88}}{\sqrt{6,45^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(6,45 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(6,45 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [1,000 \cdot \arctg 1,088 - 0,999 \cdot \arctg 1,074] = 3,185 \cdot [0,8275 - 0,8202] = 0,002325;$$

$$F_q = \sqrt{0,0152^2 + 0,002325^2} = 0,0154.$$

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (B.34) [1]:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 5,05)] = 0,9810.$$

6. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении пролива жидкости согласно формуле (B.24) [1]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0,054 \cdot 0,9810 = 0,38 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$E_f = 25 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} (\text{табл. В.1 [1] по нефти}).$$

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения не превышает $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка трансформатора с трансформаторным маслом, расположенного на открытой площадке, не относится к категории ВН и относится к категории ДН.

6.6. Наружные установки с твердыми горючими веществами и материалами

Пример 46

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Склад для хранения пиломатериалов в штабелях на открытой площадке. Площадь хранения (размещения) пиломатериалов $F = 1000 \text{ м}^2$.

1.2. Пиломатериалы - горючий материал. Удельная массовая скорость выгорания пиломатериалов $M = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Архангельск) [3] составляет $t_p = 34^\circ\text{C}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении пиломатериалов на складе принимается горение на площади их размещения $F = 1000 \text{ м}^2$.

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

4. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q , входящих в формулу (B.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1000}{3,14}} = 35,7 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 35,7 \cdot \left(\frac{0,004}{1,1488 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 35,7}} \right)^{0,61} = 32,4 \text{ м};$$

$$\rho_B = \frac{28,96}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 34)} = 1,1488 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

$$h = \frac{2 \cdot 32,4}{35,7} = 1,82;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{35,7} = 1,68;$$

$$B = \frac{1 + 1,68^2}{2 \cdot 1,68^2} = 1,14;$$

$$A = \frac{1,82^2 + 1,68^2 + 1}{2 \cdot 1,68} = 2,12;$$

$$F_v = 0,3185 \cdot \left[\frac{1}{1,68} \cdot \arctg \left(\frac{1,82}{\sqrt{1,68^2 - 1}} \right) - \frac{1,82}{1,68} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{1,68 - 1}{1,68 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2,12}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,12 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(2,12 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [0,595 \cdot \arctg 1,348 - 1,083 \cdot \{ \arctg 0,504 - 1,134 \cdot \arctg 0,841 \}] =$$

$$= 0,3185 \cdot [0,5549 + 0,3532] = 0,2892;$$

$$F_H = 0,3185 \cdot \left[\frac{1,14 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{1,14^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(1,14 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(1,14 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{2,12 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,12 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(2,12 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [0,995 \cdot \arctg 1,969 - 0,816 \cdot \arctg 0,841] = 0,3185 \cdot [1,0954 - 0,5706] = 0,6171;$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2} = \sqrt{0,28922^2 + 0,1671^2} = 0,3340.$$

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (В.34) [1]:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 35,7)] = 0,9915.$$

6. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении твердых горючих материалов согласно формуле (В.24) [1]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 40 \cdot 0,3340 \cdot 0,9915 = 13,25 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$E_f = 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (примечание к табл. В.1 [1]).}$$

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения превышает $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка склада хранения пиломатериалов на открытой площадке относится к категории ВН.

Пример 47

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Открытая площадка складирования пластиковых поддонов. Площадь хранения (размещения) пластиковых поддонов $F = 200 \text{ м}^2$.

1.2. Пластик - полимерный горючий материал. Удельная массовая скорость выгорания пластика $M = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Санкт-Петербург) [3] составляет $t_p = 33^\circ\text{C}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении пластиковых поддонов на складе принимается горение на площади их размещения $F = 200 \text{ м}^2$.

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

4. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q , входящих в формулу (В.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 200}{3,14}} = 16 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 16 \cdot \left(\frac{0,04}{1,1525 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 16}} \right)^{0,61} = 18,5 \text{ м};$$

$$\rho_B = \frac{28,96}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 33)} = 1,1525 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot 18,5}{16} = 2,31;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{16} = 3,75;$$

$$B = \frac{1 + 3,75^2}{2 \cdot 3,75} = 2,01;$$

$$A = \frac{2,31^2 + 3,75^2 + 1}{2 \cdot 3,75} = 2,72;$$

$$F_v = 0,3185 \cdot \left[\frac{1}{3,75} \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{2,31}{\sqrt{3,75^2 - 1}} \right) - \frac{2,31}{3,75} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{3,75 - 1}{3,75 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2,72}{\sqrt{2,72^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(2,72 + 1) \cdot (3,75 - 1)}{(2,72 - 1) \cdot (2,72 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [0,267 \cdot \operatorname{arctg} 0,639 - 0,616 \cdot \{\operatorname{arctg} 0,761 - 1,075 \cdot \operatorname{arctg} 1,264\}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,1518 + 0,3186] = 0,1498;$$

$$F_h = 0,3185 \cdot \left[\frac{2,01 - \frac{1}{3,75}}{\sqrt{2,01^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(2,01 + 1) \cdot (3,75 - 1)}{(2,01 - 1) \cdot (3,75 + 1)}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{2,72 - \frac{1}{3,75}}{\sqrt{2,72^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(2,72 + 1) \cdot (3,75 - 1)}{(2,72 - 1) \cdot (3,75 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [1,000 \cdot \operatorname{arctg} 1,314 - 0,970 \cdot \operatorname{arctg} 1,119] = 0,3185 \cdot [0,9203 - 0,8162] = 0,0332;$$

$$F_q = \sqrt{1498^2 + 0,0332^2} = 0,1534.$$

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (В.34) [1]:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 16)] = 0,9847.$$

6. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении твердых горючих материалов согласно формуле (В.24) [1]:

$$q = E_f \cdot E_q \cdot \tau = 40 \cdot 0,1534 \cdot 0,9847 = 6,04 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$E_f = 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} (\text{примечание к табл. В.1 [1]}).$$

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения превышает $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки складирования пластиковых поддонов относится к категории ВЫ.

Пример 48

1. Исходные данные и обоснование расчетного варианта аварии аналогичны примеру 47. Площадь размещения пластиковых поддонов $F = 50 \text{ м}^2$.

2. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q , входящих в формулу (В.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3,14}} = 8 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 8 \cdot \left(\frac{0,04}{1,1525 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 8}} \right)^{0,61} = 11,4 \text{ м};$$

$$h = \frac{2 \cdot 11,4}{8} = 2,85;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{8} = 7,50;$$

$$B = \frac{1 + 7,5^2}{2 \cdot 7,5} = 3,82;$$

$$A = \frac{2,85^2 + 7,5^2 + 1}{2 \cdot 7,5} = 4,36$$

$$F_v = 0,3185 \cdot \left[\frac{1}{7,5} \cdot \arctg \left(\frac{2,85}{\sqrt{7,5^2 - 1}} \right) - \frac{2,85}{7,5} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{7,5 - 1}{7,5 + 1}} \right) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{4,36}{\sqrt{4,36^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(4,36 + 1) \cdot (7,5 - 1)}{(4,36 - 1) \cdot (7,5 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [0,133 \cdot \arctg 0,383 - 0,380 \cdot \{\arctg 0,874 - 1,027 \cdot \arctg 1,104\}] =$$

$$= 0,3185 \cdot [0,0486 + 0,0528] = 0,0323;$$

$$F_u = 0,3185 \cdot \left[\frac{3,822 - \frac{1}{7,5}}{\sqrt{3,82^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(3,82 + 1) \cdot (7,5 - 1)}{(3,82 - 1) \cdot (7,5 + 1)}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{4,36 - \frac{1}{7,5}}{\sqrt{4,36^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(4,36 + 1) \cdot (7,5 - 1)}{(4,36 - 1) \cdot (7,5 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \cdot$$

$$\cdot [1,000 \cdot \arctg 1,143 - 0,996 \cdot \arctg 1,104] = 0,3185 - [0,8520 - 0,8314] = 0,0066;$$

$$F_q = \sqrt{0,0323^2 + 0,0066^2} = 0,033.$$

3. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (В.34) [1]:

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 8)] = 0,9820.$$

4. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении твердых горючих материалов согласно формуле (В.24) [1]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 40 \cdot 0,033 \cdot 0,9820 = 1,3 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$E_f = 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} (\text{примечание к табл. В.1 [1]}).$$

5. Рассчитанная интенсивность теплового излучения не превышает $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки складирования пластиковых поддонов относится к категории ДН.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ

№ п / п	Вещество	Хими ческая формула	Молеку лярная масса, кг · кмоль ⁻¹	Темпе ратура вспыш ки, °C	Температура самовоспламенения, °C	Константы уравнения Антуана			Темпера турный интерва л значени й констант уравнен ия Антуана, °C	Нижний концентра ционный предел распространения пламени, Снкпп, % (об.)	Характе ристика веществ а	Тепл ота сгора ния, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _a				
1	Амилацет ат	C ₇ H ₁₄ O ₂	130,196	+43	+290	6,29350	1579,510	221,365	25 ÷ 147	1,08	ЛВЖ	29879
2	Амилен	C ₅ H ₁₀	70,134	≤ 18	+273	5,91048	1014,294	229,783	-60 ÷ 100	1,49	ЛВЖ	45017
3	н-Амиловый спирт	C ₃ H ₁₂ O ₉	88,149	+48	+300	6,3073	1287,625	161,330	74 ÷ 157	1,46	ЛВЖ	38385
4	Аммиак	NH ₃	17,03	-	+650	-	-	-	-	15,0	ГГ	18585
5	Анилин	C ₆ H ₇ N ₈	93,128	+73	+617	6,04622	1457,02	176,195	35 ÷ 184	1,3	ГЖ	32386
6	Ацетальде гид	C ₂ H ₄ O ₃	44,053	-40	+172	6,31653	1093,537	233,413	-80 ÷ 20	4,12	ЛВЖ	27071
7	Ацетилен	C ₂ H ₂	26,038	-	+335	-	-	-	-	2,5	ГГ (ВВ)	49965
8	Ацетон	C ₃ H ₆ O	58,08	-18	+535	6,37551	1281,721	237,088	-15 ÷ 93	2,7	ЛВЖ	31360
9	Бензилов ый спирт	C ₇ H ₈ O ₅	108,15	+90	+415	-	-	-	-	1,3	ГЖ	-
10	Бензол	C ₆ H ₆	78,113	-11	+560	5,61391 6,106,10 906	902,275 1252,776	178,099 225, 178	-20 ÷ 6 -7 ÷ 80	1,43	ЛВЖ	40576
11	1,3-Бутадиен	C ₄ H ₆ ₁	54,091	-	+430	-	-	-	-	2,0	ГГ	44573
12	н-Бутан	C ₄ H ₁₀ ₃	58,123	-69	+405	6,00525	968,098	242,555	-130 ÷ 0	1,8	ГГ	45713
13	1-Бутен	C ₄ H ₈ ₇	56,107	-	+384	-	-	-	-	1,6	ГГ	45317
14	2-Бутен	C ₄ H ₈ ₇	56,107	-	+324	-	-	-	-	1,8	ГГ	45574
15	и-Бутилацет ат	C ₆ H ₁₂ O ₂ ₆	116,16	+29	+330	6,25205	1430,418	210,745	59 ÷ 126	1,35	ЛВЖ	28280
16	втор-Бутилацет ат	C ₆ H ₁₂ O ₂ ₆	116,16	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛВЖ	28202
17	н-Бутиловы й спирт	C ₄ H ₁₀ O ₂ ₂	74,122	+35	+340	8,72232	2664,684	279,638	-1 ÷ 126	1,8	ЛВЖ	36805
18	Винилхло рид	C ₂ H ₃ Cl ₉	62,499	-	+470	6,0161	905,008	239,475	-65 ÷ -13	3,6	ГГ	18496
19	Водород	H ₂	2,016	-	+510	-	-	-	-	4,12	ГГ	119841

2 0	н-Гексадесиан	C ₆ H ₁₄	226,44	+128	+207	5,91 242	1656 ,405	136, 869	105 ÷ 287	0,47	ГЖ (ТГВ)	443 12
2 1	н-Гексан	C ₆ H ₁₄	86,177	-23	+233	5,99 517	1166 ,274	223, 661	-54 ÷ 69	1,24	ЛВЖ	451 05
2 2	н-Гексиловый спирт	C ₆ H ₁₄ O	102,17	+60	+285	6,17 894 7,23 663	1293 ,831 1872 ,743	152, 631 202, 666	52 ÷ 157 60 ÷ 108	1,2	ЛВЖ	395 87
2 3	Гептан	C ₇ H ₁₆	100,203	-4	+223	6,07 647	1295 ,405	219, 819	60 ÷ 98	1,07	ЛВЖ	449 19
2 4	Гидразин	N ₂ H ₄	32,045	+38	+132	7,99 805	2266 ,447	266, 316	84 ÷ 12	4,7	ЛВЖ (ВВ)	146 44
2 5	Глицерин	C ₃ H ₈ O ₃	92,1	+198	+400	8,17 7393	3074 ,220	214, 712	141 ÷ 263	2,6	ГЖ	161 02
2 6	Декан	C ₁₀ H ₂₂	142,28	+47	+230	6,52 023	1809 ,975	227, 700	17 ÷ 174	0,7	ЛВЖ	446 02
2 7	Дивиниловый эфир	C ₄ H ₆ O	70,1	-30	+360	-	-	-	-	1,7	ЛВЖ	326 10
2 8	N,N-Диметилформамид	C ₃ H ₇ ON	73,1	+53	+440	6,15 939	1482 ,985	204, 342	25 ÷ 153	2,35	ЛВЖ	-
2 9	1,4-Диоксан	C ₄ H ₈ O ₂	88,1	+11	+375	6,64 091	1632 ,425	250, 725	12 ÷ 101	2,0	ЛВЖ	-
3 0	1,2-Дихлорэтан	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,96	+9	+413	6,78 615	1640 ,179	259, 715	-24 ÷ 83	6,2	ЛВЖ	108 73
3 1	Диэтиламин	C ₄ H ₁₁ N	73,14	-14	+310	6,34 794	1267 ,557	236, 329	-33 ÷ 59	1,78	ЛВЖ	348 76
3 2	Диэтиловый эфир	C ₄ H ₁₀ O	74,12	-41	+180	6,12 270	1098 ,945	232, 372	-60 ÷ 35	1,7	ЛВЖ	341 47
3 3	н-Додекан	C ₁₂ H ₂₆	170,337	+77	+202	7,29 574	2463 ,739	253, 884	48 ÷ 214	0,63	ГЖ	444 70
3 4	Изобутан	C ₄ H ₁₀	58,123	-76	+462	5,95 318	916, 054	243, 783	-159 ÷ 12	1,81	ГГ	455 78
3 5	Изобутилен	C ₄ H ₈	56,111	-	+465	-	-	-	-	1,78	ГГ	459 28
3 6	Изобутиловый спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,12	+28	+390	7,83 005	2058 ,392	245, 642	-9 ÷ 116	1,8	ЛВЖ	367 43
3 7	Изопентан	C ₅ H ₁₂	72,15	-52	+432	5,91 799	1022 ,551	233, 493	-83 ÷ 28	1,36	ЛВЖ	452 39
3 8	Изопропиленбензол	C ₉ H ₁₂	120,20	+37	+424	6,06 756	1461 ,643	207, 56	2,9 ÷ 152,4	0,88	ЛВЖ	466 63
3 9	Изопропиловый спирт	C ₃ H ₈ O	60,09	+14	+430	7,51 055	1733 ,00	232, 380	-26 ÷ 148	2,23	ЛВЖ	341 39
4 0	м-Ксиол	C ₈ H ₁₀	106,17	+28	+530	6,13 329	1461 ,925	215, 073	-20 ÷ 220	1,1	ЛВЖ	528 29
4 1	о-Ксиол	C ₈ H ₁₀	106,17	+31	+460	6,28 893	1575 ,114	223, 579	-3,8 ÷ 144,4	1,0	ЛВЖ	412 17
4 2	п-Ксиол	C ₈ H ₁₀	106,17	+26	+528	6,25 485	1537 ,082	223, 608	-8,1 ÷ 138,3	1,1	ЛВЖ	412 07
4 3	Метан	CH ₄	16,04	-	+537	5,68 923	380, 224	264, 804	-182 ÷ - 162	5,28	ГГ	500 00
4 4	Метиловый спирт	CH ₄ O	32,04	+6	+440	7,35 27	1660 ,454	245, 818	-10 ÷ 90	6,98	ЛВЖ	238 39

4 5	Метилпро- пилкетон	C ₅ H 10O	86,13 3	+6	+452	6,98 913	1870 ,4	273, 2	-17 ÷ 103	1,49	ЛВЖ	338 79
4 6	Метилэти- лкетон	C ₄ H 8O	72,10 7	-6	-	7,02 453	1292 ,791	232, 340	-48 ÷ 80	1,90	ЛВЖ	-
4 7	Нафталин	C ₁₀ H ₈	128,0 6	+80	+520	9,67 944 6,79 78	3123 ,337 2206 ,690	243, 569 245, 127	0 ÷ 80 80 ÷ 159	0,9	ТГВ	394 35
4 8	н-Нонан	C ₉ H 20	128,2 57	+31	+205	6,17 776	1510 ,695	211, 502	2 ÷ 150	0,78	ЛВЖ	446 84
4 9	Оксид углерода	CO	28,01	-	+605	-	-	-	-	12,5	ГГ	101 04
5 0	Оксид этилена	C ₂ H 4O	44,05	-18	+430	-	-	-	-	3,2	ГГ (ВВ)	276 96
5 1	н-Октан	C ₈ H 18	114,2 30	+14	+215	6,09 396	1379 ,556	211, 896	-14 ÷ 126	0,9	ЛВЖ	447 87
5 2	н- Пентадека- н	C ₁₅ H ₃₂	212,4 2	+115	+203	6,06 73	1739 ,084	157, 545	92 ÷ 270	0,5	ГЖ	443 42
5 3	н-Пентан	C ₅ H 12	72,15 0	-44	+286	5,97 208	1062 ,555	231, 805	-50 ÷ 36	1,47	ЛВЖ	453 50
5 4	γ-Пиколин	C ₆ H 7N	93,12 8	+39	+578	6,44 382	1632 ,315	224, 787	70 ÷ 145	1,4	ЛВЖ	367 02
5 5	Пиридин	C ₅ H 5N	79,10	+20	+530	5,91 684	1217 ,730	196, 342	-19 ÷ 116	1,8	ЛВЖ	356 76
5 6	Пропан	C ₃ H 8	44,09 6	-96	+470	5,95 547	813, 864	248, 116	-189 ÷ -42	2,3	ГГ	463 53
5 7	Пропилен	C ₃ H 6	42,08 0	-	+455	5,94 852	786, 532	247, 243	-107,3 ÷ - 47,1	2,4	ГГ	456 04
5 8	н- Пропилов- ый спирт	C ₃ H 8O	60,09	+23	+371	7,44 201	1751 ,981	225, 125	0 ÷ 97	2,3	ЛВЖ	344 05
5 9	Сероводор- од	H ₂ S	34,07 6	-	+246	-	-	-	-	4,3	ГГ	-
6 0	Сероуглер- од	CS ₂	76,14	-43	+102	6,12 537	1202 ,471	245, 616	-15 ÷ 80	1,0	ЛВЖ	140 20
6 1	Стирол	C ₈ H 8	104,1 4	+30	+490	7,06 542	2113 ,057	272, 986	-7 ÷ 146	1,1	ЛВЖ	438 88
6 2	Тетрагидр- офуран	C ₄ H 8O	72,1	-20	+250	6,12 008	1202 ,29	226, 254	23 ÷ 100	1,8	ЛВЖ	347 30
6 3	н- Тетрадека- н	C ₁₄ H ₃₀	198,3 9	+103	+201	6,40 007	1950 ,497	190, 513	76 ÷ 254	0,5	ГЖ	443 77
6 4	Толуол	C ₇ H 8	92,14 0	+7	+535	6,05 07	1328 ,171	217, 713	-26,7 ÷ 110,6	1,27	ЛВЖ	409 36
6 5	н- Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	184,3 6	+90	+204	7,09 388	2468 ,910	250, 310	59 ÷ 236	0,58	ГЖ	444 24
6 6	2,2,4- Триметил- пентан	C ₈ H 18	114,2 30	-4	+411	5,93 682	1257 ,84	220, 735	-60 ÷ 175	1,0	ЛВЖ	446 47
6 7	Уксусная кислота	C ₂ H 4O ₂	60,05	+40	+465	7,10 337	1906 ,53	255, 973	-17 ÷ 118	4,0	ЛВЖ	130 97
6 8	н-Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	156,3 1	+62	+205	6,80 501	2102 ,959	242, 574	31 ÷ 197	0,6	ГЖ	445 27
6 9	Формальд- егид	CH ₂ O	30,03	-	+430	5,40 973	607, 399	197, 626	-19 ÷ 60	7,0	ГГ	190 07

7 0	Фталевый ангидрид	C ₈ H ₁₀ O ₃	148,1	+153	+580	7,12 439	2879 ,067	277, 501	134 ÷ 285	1,7 (15 г · м ⁻³)	ТГВ	-
7 1	Хлорбенз ол	C ₆ H ₅ Cl	112,5 6	+29	+637	6,38 605	1607 ,316	235, 351	-35 ÷ 132	1,4	ЛВЖ	273 15
7 2	Хлорэтан	C ₂ H ₅ Cl	64,51	-50	+510	6,11 140	1030 ,007	238, 612	56 ÷ 12	3,8	ГГ	193 92
7 3	Циклогекс ан	C ₆ H ₁₂	84,16	-17	+259	5,96 991	1203 ,526	222, 863	6,5 ÷ 200	1,3	ЛВЖ	438 33
7 4	Этан	C ₂ H ₆	30,06 9	-	+515	-	-	-	-	2,9	ГГ	524 13
7 5	Этилацета т	C ₄ H ₈ O ₂	88,10	-3	+446	6,22 672	1244 ,951	217, 881	15 ÷ 75,8	2,0	ЛВЖ	235 87
7 6	Этилбензо л	C ₈ H ₁₀	106,1 6	+20	+431	6,35 879	1590 ,660	229, 581	-9,8 ÷ 136,2	1,0	ЛВЖ	413 23
7 7	Этилен	C ₂ H ₄	28,05	-	+435	-	-	-	-	2,7	ГГ	469 88
7 8	Этиленгли коль	C ₂ H ₆ O ₂	62,06 8	+111	+412	8,13 754	2753 ,183	252, 009	53 ÷ 198	4,29	ГЖ	193 29
7 9	Этиловый спирт	C ₂ H ₆ O ₂	46,07	+13	+400	7,81 158	1918 ,508	252, 125	-31 ÷ 78	3,6	ЛВЖ	305 62
8 0	Этилцелл озольв	C ₄ H ₁₀ O ₂	90,1	+40	+235	7,86 626	2392 ,56	273, 15	20 ÷ 135	1,8	ЛВЖ	263 82

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значения показателей пожарной опасности некоторых смесей и технических продуктов

№ п/ п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная формула	Моля рная масса , кг · кмоль ⁻¹	Темпе ратура вспышки, °C	Температу ра самовоспа ления, °C	Коэффициенты уравнения Антуана			Темпера турный интервал значени й констант уравнен ия Антуана, °C	Нижний концентра ционный предел распроstra нения пламени Синкр., % (об.)	Характе ристика вещества	Тепл ота сгора ния, кДж · кг ⁻¹
						A	B	C _a				
1	Бензин авиационн ый Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C _{7,267} H _{14,796}	102 ,2	-34	+300	7,54 424	2629 ,65	384, 195	-40 ÷ 100	0,79	ЛВЖ	44 09 4
2	Бензин А- 72 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C _{6,991} H _{13,108}	97, 2	-36	-	4,19 500	682, 876	222, 066	-60 ÷ 85	1,08	ЛВЖ	44 23 9
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C _{7,024} H _{13,706}	98, 2	-36	-	4,12 311	664, 976	221, 695	-60 ÷ 95	1,06	ЛВЖ	43 64 1
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C _{6,911} H _{12,168}	95, 3	-37	-	4,26 511	695, 019	223, 220	-60 ÷ 90	1,1	ЛВЖ	43 64 1
5	Дизельное топливо «3» (ГОСТ 305-73)	C _{12,343} H _{23,88}	172 9 ,3	> +35	+225	5,07 818	1255 ,73	199, 523	40 ÷ 210	0,61	ЛВЖ	43 59 0

6	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-73)	C _{14,511} H _{29,12} 0	203 ,6	> +40	+210	5,00 109	1314 ,04	192, 473	60 ÷ 240	0,52	ЛВЖ	43 41 9
7	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	C _{13,595} H _{26,86} 0	191 ,7	> +40	+227	4,82 177	1211 ,73	194, 677	40 ÷ 240	0,55	ЛВЖ	43 69 2
8	Керосин осветительный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	C _{10,914} H _{21,83} 2	153 ,1	> +40	+245	5,59 599	1394 ,72	204, 260	40 ÷ 190	0,64	ЛВЖ	43 69 2
9	Керосин осветительный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	C _{11,054} H _{21,75} 2	154 ,7	> +40	+236	5,12 496	1223 ,85	203, 341	40 ÷ 190	0,66	ЛВЖ	43 69 2
10	Ксиол (смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C ₈ H ₁₀	106 ,17	+29	+490	6,17 972	1478 ,16	220, 535	0 ÷ 50	1,1	ЛВЖ	43 15 4
11	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C _{10,5} H _{21,0}	147 ,3	> +33	+250	7,13 623	2218 ,3	273, 15	20 ÷ 80	0,7	ЛВЖ	43 96 6
12	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	C _{21,74} H _{42,28} S _{0,04}	303 ,9	> +13 5	+270	6 884 12	2524 ,17	174, 010	164 ÷ 343	0,29	ГЖ	43 11 1
13	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C _{22,25} H _{33,48} S _{0,34} N _{0,07}	312 ,9	> +17 0	+290	6,12 439	2240 ,001	167, 85	170 ÷ 376	0,2	ГЖ	42 25 7
14	Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	C _{19,04} H _{24,58} S _{0,196} N _{0,04}	260 ,3	> +18 9	+334	5,62 020	2023 ,77	164, 09	171 ÷ 396	0,2	ГЖ	41 77 8
15	Растворитель P-4 (н-бутил-ацетат - 12, толуол - 62, ацетон - 26)	C _{5,452} H _{7,606} O _{0,535}	81, 7	-7	+550	6,29 685	1373 ,667	242, 828	-15 ÷ 100	1,65	ЛВЖ	40 93 6
16	Растворитель P-4 (ксиол - 15, толуол	C _{6,231} H _{7,798} C _{0,223}	86, 3	-4	-	6,27 853	1415 ,199	244, 752	-15 ÷ 100	1,38	ЛВЖ	43 15 4

	- 70, ацетон - 15)											
1 7	Растворит ель Р-5 (н- бутил- ацетат - 30, ксилол - 40, ацетон - 30)	C _{5,309} H _{8,655} O _{0,897}	86, 8	-9	-	6,30 343	1378 ,851	245, 039	-15 ÷ 100	1 <7	ЛВЖ	43 15 4
1 8	Растворит ель Р-12 (н-бутал- ацетат - 30, ксилол - 10, толуол- 60)	C _{6,837} H _{9,217} O _{0,515}	99, 6	+10	-	6,17 297	1403 ,079	221, 483	0 ÷ 100	1,26	ЛВЖ	43 15 4
1 9	Растворит ель М (н- бутилацет ат - 30, этилацета т - 5, этиловый спирт - 60, изобутило вый спирт - 5)	C _{2,761} H _{7,147} O _{1,187}	59, 36	+6	+397	8,05 697	2083 ,566	267, 735	0 ÷ 50	2,79	ЛВЖ	36 74 3
2 0	Растворит ель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол - 10, этиловый спирт - 64, н- бутиловы й спирт - 10, этилцелло зольв -16)	C _{2,645} H _{6,810} O _{1,038}	55, 24	+10	+374	8,69 654	2487 ,728	290, 920	0 ÷ 50	2,85	ЛВЖ	40 93 6
2 1	Растворит ель РМЛ- 218 (МРТУ 6- 10-729-68) (н- бутилацет ат - 9, ксилол - 21, 5, толуол - 21, 5, этиловый спирт-16, н- бутиловы	C _{4,791} H _{8,318} O _{0,974}	81, 51	+4	+399	7,20 244	1761 ,043	251, 546	0 ÷ 50	1,72	ЛВЖ	43 15 4

	й спирт - 3, этилцелло зольв -13, этилацета т - 16)										
2	Растворит ель РМЛ- 315 (ТУ 6- 10-1013- 70) (н- бутил- ацетат - 18, ксилол - 25, толуол - 25, н- бутиловы й спирт- 15, этилцелло зольв - 17)	C _{5,962} H _{9,779} O _{0,845}	94, 99	+16	+367	6,83 653	1699 ,687	241, 00	0 ÷ 50	1,25	ЛВЖ 43 15 4
2	Уайт- спирит (ГОСТ 3134-52)	C _{10,5} H _{21,0}	147 ,3	> +33	+250	7,13 623	2218 ,3	273, 15	20 ÷ 80	0,7	ЛВЖ 43 96 6

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Значения низшей теплоты сгорания твердых горючих веществ и материалов

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания ϱ_p^p , МДж · кг ⁻¹
Бумага:	
разрыхленная	13,40
книги, журналы	13,40
книги на деревянных стеллажах	13,40
Древесина (брюски, $W = 14\%$)	13,80
Древесина (мебель в жилых и административных зданиях, $W = 8 \div 10\%$)	13,80
Кальций (стружка)	15,80
Канифоль	30,40
Кинопленка триацетатная	18,80
Капрон	31,09
Карболитовые изделия	26,90
Каучук СКС	43,89
Каучук натуральный	44,73
Каучук хлоропреновый	27,99
Краситель жировой 5С	33,18
Краситель 9-78Ф п/э	20,67
Краситель фталоцианотен 4 «З» М	13,76
Ледерин (кожзаменитель)	17,76
Линкруст поливинилхлоридный	17,08
Линолеум:	
масляный	20,97
поливинилхлоридный	14,31
поливинилхлоридный двухслойный	17,91
поливинилхлоридный на войлочной основе	16,57
поливинилхлоридный на тканевой основе	20,29
Линопор	19,71
Магний	25,10
Мипора	17,40
Натрий металлический	10,88
Органическое стекло	27,67
Полистирол	39,00
Резина	33,52
Текстолит	20,90
Торф	16,60
Пенополиуретан	24,30
Волокно штапельное	13,80
Волокно штапельное в кипе 40×40×40 см	13,80
Полиэтилен	47,14
Полипропилен	45,67
Хлопок в тюках $\rho = 190$ кг · м ⁻³	16,75
Хлопок разрыхленный	15,70
Лен разрыхленный	15,70
Хлопок + капрон (3:1)	16,20

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Значения критических плотностей падающих лучистых потоков

Материалы	q_{kp} , кВт · м ⁻²
Древесина (сосна влажность 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты плотностью 417 кг · м ⁻³	8,3

Торф брикетный	13,2
Торф дековый	9,8
Хлопок волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Картон серый	10,8
Декоративный бумажно-слоистый пластик, ГОСТ 9590-76	19,0
Декоративный бумажно-слоистый пластик, ТУ 400-1-18-64	24,0
Металлопласт, ТУ 14-1-4003-85	24,0
Металлопласт, ТУ 14-1-4210-86	27,0
Плитка древесно-волокнистая, ГОСТ 8904-81	13,0
Плитка древесно-стружечная, ГОСТ 10632-77	12,0
Плитка древесно-стружечная с отделкой «Полиплен», ГОСТ 21-29-94-81	12,0
Плитка древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева, ГОСТ 8904-81	12,0
Плитка древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева, ТУ 400-1-199-80	16,0
Винилискоожа обивочная пониженной горючести, ТУ 17-21-488-84	30,0
Винилискоожа, ТУ 17-21-473-84	32,0
Кожа искусственная «Теза», ТУ 17-21-488-84	17,9
Кожа искусственная «ВИК-ТР», ТУ 17-21-256-78	20,0
Кожа искусственная «ВИК-Т» на ткани 4ЛХ, ТУ 17-21-328-80	20,0
Стеклопластик на полиэфирной основе, ТУ 6-55-15-88	14,0
Лакокрасочные покрытия РХО, ТУ 400-1-120-85	25,0
Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе, ТУ 21-29-11-72	12,0
Линолеум ПВХ однослойный, ГОСТ 14632-79	10,0
Линолеум алкидный, ГОСТ 19247-73	10,0
Линолеум ПВХ марки ТТН-2, ТУ 21-29-5-69	12,0
Линолеум ПВХ на тканевой основе, ТУ 21-29-107-83	12,0
Линолеум рулонный на тканевой основе	12,0
Линолеум ПВХ, ТУ 480-1-237-86:	
с применением полотна, ТУ 17-14-148-81	7,2
с применением полотна, ТУ 17-РСФСР-18-17-003-83	6,0
на подоснове «Неткол»	9,0
Дорожка прутковая чистошерстяная, ТУ 17-Таджикская CCP-463-84	9,0
Покрытие ковровое, прошивное, ОСТ 17-50-83, арт. 5867	22,0
Покрытие ковровое для полов рулонное «Ворсолон», ТУ 21-29-12-72	5,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Мистра-1», ТУ 17-Эстонская CCP-266-80	6,0

Покрытие ковровое иглопробивное «Мистра-2», ТУ 17-Эстонская ССР-266-80	5,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Авистра»	12,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Вестра», ТУ 17-Эстонская ССР-551-86	5,0
Покрытие ковровое типа А, ТУ 21-29-35 арт. 10505	4,0
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0
Легковоспламеняющиеся, горючие и трудногорючие жидкости при температуре самовоспламенения, °C: 300 350 400 500 и выше	12,1 15,5 19,9 28,0

ЛИТЕРАТУРА

1. [СП 12.13130.2009](#). Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М.: ВНИИПО, 2009. 27 с. Изменение № 1 к СП 12.13130.2009, утвержденное приказом МЧС России от 09.12.2010 г. № [643](#) и введенное в действие 01.02.2011 г.
2. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 кн. / А.Н. Баратов [и др.]. М.: Химия, 1990. 496 с., 384 с.
3. [СНиП 23-01-99*](#). Строительная климатология. М.: ОАО «ЦПП», 2010. 70 с.
4. Монахов В.П. Методы исследования пожарной опасности веществ. М.: Химия, 1980.
5. [СП 7.13130.2013](#). Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования. М.: ВНИИПО, 2009. 29 с.
6. [Правила устройства электроустановок](#). 7-е изд. М.: Омега-Л, 2009. 268 с.
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденная приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № [404](#). М.: ВНИИПО, 2009. 76 с.

(Изменения к методике утверждены приказом МЧС России от 14.12.2010 г. № 649).

Содержание

- [1. Общие положения](#)
- [2. Порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности горючих газов](#)
- [3. Порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности легковоспламеняющихся и горючих жидкостей](#)
- [4. Порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности горючих пылей](#)
- [5. Типовые примеры расчетов категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности](#)
 - [5.1. Помещения с горючими газами](#)
 - [5.2. Помещения с легковоспламеняющимися жидкостями](#)
 - [5.3. Помещения с нагретыми легковоспламеняющимися и горючими жидкостями](#)
 - [5.4. Помещения с горючими пылями](#)
 - [5.5. Помещения с горючими жидкостями](#)
 - [5.6. Помещения с твердыми горючими веществами и материалами](#)
 - [5.7. Помещения с горючими газами, легковоспламеняющимися жидкостями, горючими жидкостями, пылями, твердыми веществами и материалами](#)
 - [5.8. Примеры расчетов категорий зданий по взрывопожарной и пожарной опасности](#)
 - [5.8.1. Здания категории А](#)

[5.8.2. Здания категории Б](#)

[5.8.3. Здания категории В](#)

[5.8.4. Здания категории Г](#)

[5.8.5. Здания категории Д](#)

[6. Типовые примеры расчетов категорий наружных установок по пожарной опасности](#)

[6.1. Наружные установки с горючими газами](#)

[6.2. Наружные установки с легковоспламеняющимися жидкостями](#)

[6.3. Наружные установки с нагретыми горючими жидкостями](#)

[6.4. Наружные установки с горючими пылями](#)

[6.5. Наружные установки с горючими жидкостями](#)

[6.6. Наружные установки с твердыми горючими веществами и материалами](#)

[Приложение 1. Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ](#)

[Приложение 2. Значения показателей пожарной опасности некоторых смесей и технических продуктов](#)

[Приложение 3. Значения низшей теплоты сгорания твердых горючих веществ и материалов](#)

[Приложение 4. Значения критических плотностей падающих лучистых потоков](#)

[Литература](#)