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

gost.e-ecolog.ru

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

УДК 614.841.33:614.83.833.075.5
ББК 38.96
П 62

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

П 62 **Пособие по применению СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»** / *И.М. Смолин* [и др.]. М.: ВНИИПО, 2014. 147 с.

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.

УДК 614.841.33:614.83.833.075.5
ББК 38.96

©МЧС России, 2014
© ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2014

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 уста-

новок 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. 1–4.

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 $t_р$ (°С) в рассматриваемом помещении.

2.5. Из справочных данных [2; приложение 1] определяется молярная масса M (кг · кмоль$^{-1}$) ГГ и удельная теплота сгорания $H_т$ (Дж · кг$^{-1}$).

2.6. Плотность ГГ $\rho_г$ (кг · м$^{-3}$) рассчитывается по формуле (А.2) [1].

2.7. Согласно п. А.1.4 [1] определяется свободный объем помещения $V_{св}$ (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

$$\Delta P = 1{,}332 \cdot 10^4 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_г \cdot C_{ст}}. \qquad (1)$$

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

- для водорода ($Z = 1{,}0$)

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

- для метана ($Z = 0{,}5$)

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

- для этана ($Z = 0{,}5$)

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

- для пропана ($Z = 0{,}5$)

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

- для бутана ($Z = 0{,}5$)

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

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

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

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 ($Z = 1{,}0$)

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

- для метана ($Z = 0{,}5$)

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

- для этана ($Z = 0{,}5$)

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

- для пропана ($Z = 0{,}5$)

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

- для бутана ($Z = 0{,}5$)

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

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 (ГЖ).

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

$$P_н = 10^{\left(A - \frac{B}{t_р + C_a}\right)}.$$

3.3. Интенсивность испарения ЛВЖ и ГЖ W (кг · с$^{-1}$ · 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 $t_р$ определяется значение коэффициента η.

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

$$\Delta P = 7{,}99 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п \cdot C_{ст}}. \qquad (13)$$

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

$$\Delta P = 7{,}144 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п}; \qquad (14)$$

- для бензина АИ-93 зимнего

$$\Delta P = 3{,}936 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п}; \qquad (15)$$

- для гексана

$$\Delta P = 3{,}507 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п}; \qquad (16)$$

- для м-ксилола

$$\Delta P = 3{,}440 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п}; \qquad (17)$$

- для толуола

$$\Delta P = 2{,}379 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п}; \qquad (18)$$

- для диэтилового эфира (при $t_р < t_{кип} = 34,5$ °С – температура кипения диэтилового эфира):

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

- для ацетона

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

- для этилового спирта

$$\Delta P = 902,2 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_п}. \quad (21)$$

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

$$\Delta P = 2,831 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{m \cdot H_т}{V_{св}}. \quad (22)$$

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

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

- для гексана

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

- для бензина АИ-93 зимнего

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

- для дизельного топлива зимнего

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

- для толуола

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

- для диэтилового эфира (при $t_р < t_{кип} = 34{,}5$ °С – температура кипения диэтилового эфира)

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

- для ацетона

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

- для этилового спирта

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

3.11. Для ацетона и бензина АИ-93 зимнего избыточное давление взрыва ΔP (кПа) согласно п. А.2.1 [1] в зависимости от параметра $\frac{m_ж}{V_{св}}$ ($m_ж$ – масса поступившей в помещение ЛВЖ) при значении $Z = 0{,}3$, при условии полного испарения с поверхности разлива (менее площади помещения), температуре $t_р = 45$ °С и отсутствии подвижности воздуха в помещении может быть рассчитано при указанных

условиях и для различных значений температуры $t_р$ по формулам:

- для ацетона:

$$\text{при } t_р = 20\ °C: \Delta P = 338{,}4 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (31)$$

$$\text{при } t_р = 25\ °C: \Delta P = 404{,}1 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (32)$$

$$\text{при } t_р = 30\ °C: \Delta P = 410{,}9 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (33)$$

$$\text{при } t_р = 35\ °C: \Delta P = 417{,}7 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (34)$$

$$\text{при } t_р = 40\ °C: \Delta P = 424{,}5 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (35)$$

$$\text{при } t_р = 45\ °C: \Delta P = 431{,}3 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (36)$$

- для бензина АИ-93 зимнего:

$$\text{при } t_р = 20\ °C: \Delta P = 993{,}6 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (37)$$

$$\text{при } t_р = 25\ °C: \Delta P = 1010{,}6 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (38)$$

$$\text{при } t_р = 30\ °C: \Delta P = 1027{,}6 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (39)$$

$$\text{при } t_р = 35\ °C: \Delta P = 1044{,}6 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (40)$$

$$\text{при } t_р = 40\ °C: \Delta P = 1061{,}6 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}; \quad (41)$$

при $t_р = 45$ °С: $\Delta P = 1078{,}6 \cdot \frac{m_ж}{V_{св}}$. (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

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

где $H_т$ – 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 $M_O \approx 0{,}24$ кг $\cdot$ м$^{-3}$ – масса кислорода в 1 м^3 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 $V_п = 27{,}2$ 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 °С (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:

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

где $F = 9{,}65 \cdot 10^4$ А · с · моль$^{-1}$ – постоянная Фарадея; A – атомная единица массы водорода, равная 1 а. е. м = $= 1 \cdot 10^{-3}$ кг · 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

$$V_{\text{н}} = \frac{1{,}036 \cdot 10^{-8}}{\rho_{\text{г}}} \cdot 4 \cdot \left[I_1 \cdot n_1 + I_2 \cdot n_2 + \ldots + I_{\text{i}} \cdot n_{\text{i}} \right] \cdot 3600,$$

где $\rho_{\text{г}}$ – плотность водорода при расчетной температуре воздуха, кг · м$^{-3}$; I_i – максимальный зарядный ток i-й батареи, А; n_i – количество аккумуляторов i-й батареи.

Плотность водорода определяется по формуле

$$\rho_{\text{г}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\text{р}})}, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где M – масса одного киломоля водорода, равная 2 кг · кмоль$^{-1}$; V_0 – объем киломоля газа при нормальных условиях, равный 22,413 м^3 · кмоль$^{-1}$; α = 0,00367 град$^{-1}$ – коэффициент температурного расширения газа; $t_р$ – расчетная температура воздуха, °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]:

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

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

1.6. Плотность водорода при расчетной температуре воздуха будет равна:

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

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

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

1.8. Свободный объем аккумуляторного помещения составит:

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

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

$$\Delta P = 717 \cdot \frac{m}{V_{св} \cdot \rho_г} = 717 \cdot \frac{V_н}{V_{св}} = 717 \cdot \frac{1{,}046}{21{,}76} = 34{,}5 \text{ кПа}.$$

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 $T = 3600$ с).

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

$$V_н^* = \frac{V_н}{(A/3600) \cdot T + 1} = \frac{1{,}046}{8 + 1} = 0{,}116 \text{ м}^3.$$

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 $ч^{-1}$, 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 $V_п = 300$ м^3. Свободный объем помещения $V_{св} = 0{,}8 \cdot V_п = 0{,}8 \cdot 300 = 240$ м^3. Объем баллона со сжатым природным газом $V = 50$ л $= 0{,}05$ м^3. Давление в баллоне $P_1 = 2 \cdot 10^4$ кПа.

1.2. Основной компонент сжатого природного газа – метан (98 % (об.). Молярная масса метана $M = 16{,}04$ кг $\cdot$ 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] $t_р = 37$ °С.

Плотность метана при $t_р = 37$ °С составит:

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

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

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

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

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. Наращивание поликристалла кремния осуществляется методом восстановления тетрахлорида кремния в атмосфере водорода на двух установках с давлением в их реакторах P_1 = 200 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 м^3. Температура раскаленных поверхностей реактора t = 1200 °С. Время автоматического отключения по паспортным данным T_a = 3 с. Расход газа в трубопроводе q = 0,06 м$^3 \cdot$ с$^{-1}$. Размеры помещения $L \times S \times H$ = = 15,81 × 15,81 × 6 м. Объем помещения $V_п$ = 1500 м^3. Свободный объем помещения $V_{св}$ = 0,8 · 1500 = 1200 м^3. Площадь помещения F = 250 м^2.

1.2. Молярная масса водорода M = 2,016 кг · кмоль$^{-1}$. Нижний концентрационный предел распространения пламени водорода $C_{НКПР}$ = 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] $t_р$ = 41 °С. Плотность водорода при $t_р$ = 41 °С $\rho_г = \frac{2{,}016}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 41)} = 0{,}0782$ кг · м$^{-3}$. Расчетное время отключения трубопровода по п. А.1.2 в) [1] $T_а$ = 120 с.

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

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

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

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

$V_т = 7{,}2 + 0{,}014 = 7{,}214$ м^3;

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

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

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

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

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

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 $X_{\text{НКПР}}$, $Y_{\text{НКПР}}$ и $Z_{\text{НКПР}}$ составят:

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

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

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 $V_а$ = = 80 л = 0,08 м^3. Размеры помещения $L \times S \times H$ = 12 × 6 × 6 м. Объем помещения $V_п$ = 432 м^3. Свободный объем помещения $V_{св}$ = 0,8 · 432 = 345,6 м^3. Площадь помещения F = 72 м^2.

1.2. Молярная масса ацетона M = 58,08 кг·кмоль$^{-1}$. Константы уравнения Антуана: A = 6,37551; B = 1281,721; $C_а$ = 237,088. Химическая формула ацетона C_3H_6O. Плотность ацетона (жидкости) $\rho_ж$ = 790,8 кг · м$^{-3}$. Температура вспышки ацетона $t_{всп}$ = −18 °С.

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 м^2 пола помещения. За расчетную температуру принимается абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Мурманск) согласно [3] $t_р$ = 32 °С.

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 $t_р$ = 32 °С:

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

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

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

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

4. Расчетная площадь разлива содержимого одной бочки ацетона составляет:

$$F_и = 1{,}0 \cdot V_а = 1{,}0 \cdot 80 = 80 \text{ м}^2.$$

Поскольку площадь помещения F = 72 м^2 меньше рассчитанной площади разлива ацетона $F_и$ = 80 м^2, то окончательно принимаем $F_и = F$ = 72 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 $m = m_п = V_а \cdot \rho_ж = 0{,}08 \cdot 790{,}8 = 63{,}264$ 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) $V_а$ = 6,3 м^3. Размеры помещения $L \times S \times H$ = 4,0 × 4,0 × 3,6 м. Объем помещения $V_п$ = 57,6 м^3. Свободный объем помещения $V_{св}$ = 0,8 · 57,6 = 46,08 м^3. Площадь помещения F = 16 м^2. Суммарная длина трубопроводов диаметром d_1 = 57 мм = = 0,057 м (r_1 = 0,0285 м), ограниченная задвижками (ручными), установленными на подводящем и отводящем участках трубопроводов, составляет L_1 = 10 м. Расход дизельного топлива в трубопроводах q = 1,5 л · с$^{-1}$ = 0,0015 м^3· с$^{-1}$.

1.2. Молярная масса дизельного топлива марки «З» M = 172,3 кг · кмоль$^{-1}$. Брутто-формула $C_{12,343}$ $H_{23,889}$. Плотность жидкости при температуре t = 25 °С $\rho_ж$ = 804 кг · м$^{-3}$. Константы уравнения Антуана: A = 5,07828; B = 1255,73; $C_а$ = = 199,523. Температура вспышки $t_{всп}$ > 40 °С. Теплота сгорания $H_т$ = $Q_н^р$ = 4,359 · 10^7 Дж · кг$^{-1}$ = 43,59 МДж · кг$^{-1}$. Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР}$ = 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] $t_р$ = 41 °С.

Плотность паров дизельного топлива при $t_р$ = 41 °С $\rho_п = \frac{172,3}{22,413 \cdot (1+0,00367 \cdot 41)} = 6,6820$ кг · м$^{-3}$. Расчетное время отключения трубопроводов по п. А.1.2 [1] $T_а$ = 300 с, длительность испарения по п. А.1.2 е) [1] T = 3600 с.

3. Объем $V_ж$ и площадь разлива $F_и$ поступившего при расчетной аварии дизельного топлива определяются в соответствии с положениями п. А.1.2 [1]:

$$V_ж = V_а + q \cdot T_а + \pi \cdot r_1^2 \cdot L_1 = 6,3 + 0,0015 \cdot 300 + 3,14 \times$$
$$\times 0,0285^2 \cdot 10 = 6,776 \text{ м}^3 = 6776 \text{ л};$$
$$F_и = 1,0 \cdot 6776 = 6776 \text{ м}^2.$$

Поскольку площадь помещения F = 16 м^2 меньше рассчитанной площади разлива дизельного топлива $F_и$ = 6776 м^2, то окончательно принимаем $F_и = F$ = 16 м^2.

4. Определяем давление насыщенных паров дизельного топлива $P_н$ при расчетной температуре $t_р$ = 41 °С:

$$\lg P_н = 5,07828 - \frac{1255,73}{199,523+41} = -0,142551;$$
$$P_н = 0,72 \text{ кПа}.$$

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 $C_{ср}$ в помещении составит:

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

$C_{ср} = 0{,}18\ \%\ (об.) < 0{,}5 \cdot C_{НКПР} = 0{,}5 \cdot 0{,}6 = 0{,}3\ \%\ (об.)$. Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров дизельного топлива во взрыве Z расчетным методом.

7.2. Значение $C_{н}$ будет равно:

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

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

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

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

7.4. Значение параметра C^{*} будет равно:

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

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

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

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:

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

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

$$S = F = 16 \text{ м}^2;$$

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

11. Удельная пожарная нагрузка более 2200 МДж $\cdot$ 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

окунания с подводящими и отводящими трубопроводами. Размеры помещения $L \times S \times H = 32 \times 10 \times 8$ м. Объем помещения $V_п = 2560$ м^3. Свободный объем помещения $V_{св} = 0{,}8 \cdot 2560 = 2048$ м^3. Площадь помещения $F = 320$ м^2. Объем каждого бака $V_{ап} = 0{,}5$ м^3. Степень заполнения бака лаком $\varepsilon = 0{,}9$. Объем лака в баке $V_а = \varepsilon \cdot V_{ап} = 0{,}9 \cdot 0{,}5 = 0{,}45$ м^3. Длина и диаметр подводящего (напорного) трубопровода между баком и насосом $L_1 = 10$ м и $d_1 = 25$ мм $= 0{,}025$ м соответственно. Длина и диаметр отводящего трубопровода между задвижкой и баком $L_2 = 10$ м и $d_2 = 40$ мм $= 0{,}04$ м соответственно. Производительность насоса $q = 6{,}5 \cdot 10^{-5}$ м$^3 \cdot$ с$^{-1}$. Время отключения насоса $T_а = 300$ с. В каждый бак попеременно загружается и выгружается единовременно по 10 шт. полюсных катушек, размещаемых в корзине. Открытое зеркало испарения каждого бака $F_{емк} = 1{,}54$ м^2. Общая поверхность 10 шт. свежеокрашенных полюсных катушек $F_{св.окр} = 6{,}28$ 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 $\rho_ж = 953$ кг $\cdot$ м$^{-3}$. Молярная масса ксилола $M = 106{,}17$ кг $\cdot$ кмоль$^{-1}$, уайт-спирита $M = 147{,}3$ кг $\cdot$ кмоль$^{-1}$. Химическая формула ксилола C_8H_{10}, уайт-спирита $C_{10,5}H_{21,0}$. Плотность жидкости ксилола $\rho_ж = 855$ кг $\cdot$ м$^{-3}$, уайт-спирита $\rho_ж = 760$ кг $\cdot$ м$^{-3}$. Температура вспышки ксилола $t_{всп} = 29$ °С, уайт-спирита $t_{всп} = 33$ °С. Нижний концентрационный предел распространения пламени ксилола $C_{НКПР} = 1{,}1$ % (об.), уайт-спирита $C_{НКПР} = 0{,}7$ % (об.). Теплота сгорания ксилола $H_т = Q^р_н = 43154$ кДж $\cdot$ кг$^{-1}$ $= 43{,}15$ МДж $\cdot$ кг$^{-1}$, уайт-спирита $H_т = Q^р_н = 43966$ кДж $\cdot$ кг$^{-1}$ =

= 43,97 МДж · кг$^{-1}$. Константы уравнения Антуана для ксилола A = 6,17972; B = 1 478,16; $C_а$ = 220,535; для уайт-спирита A = 7,13623; B = 2218,3; $C_а$ = 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 окунания 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] $t_р$ = 37 °С. Плотность паров при $t_р$ = 37 °С:

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

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

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

3. Объем $V_ж$, площадь разлива $F_р$ поступившего в помещение при расчетной аварии лака и площадь испарения $F_и$ определяются в соответствии с положениями п. А.1.2 [1]:

$$V_ж = V_а + q \cdot T_а + \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 \cdot L_1 + d_2^2 \cdot L_2) = 0,45 + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300 +$$

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

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

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

4. Определяем давление насыщенных паров $P_н$ ксилола и уайт-спирита при расчетной температуре $t_р = 37$ °С:

- для ксилола

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

$$P_н = 2{,}755 \text{ кПа};$$

- для уайт-спирита

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

$$P_н = 0{,}964 \text{ кПа}.$$

5. Интенсивность испарения W растворителя составит:

- по ксилолу

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

- 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 – ксилолу:

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

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

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

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

$C_{ср} = 0{,}30\ \%\ (об.) < 0{,}5 \cdot C_{НКПР} = 0{,}5 \cdot 0{,}7 = 0{,}35\ \%\ (об.)$. Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров растворителя во взрыве Z расчетным методом.

7.2. Значение $C_н$ будет равно:

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

7.3. Значение C_0 будет равно:

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

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

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

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

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

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

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{25{,}6812} \cdot 5{,}7864 \cdot \left(1{,}105 + \frac{1{,}1}{1{,}25}\right) \cdot 320 \cdot 0{,}31 = 0{,}222.$$

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

- для ксилола

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

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4{,}84 \cdot 10{,}5} = 1{,}93\ \%\ (об.);$$

- для уайт-спирита

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

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

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

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

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 $A = 6\ ч^{-1}$.

11.1. При кратности воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, равной $A = 6\ ч^{-1} = 1{,}6667 \cdot 10^{-3} \cdot с^{-1}$, 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 $U = 0{,}05$ м $\cdot$ 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) $m_и$ составит:

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

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:

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

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

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

$C_{ср} = 0{,}07$ % (об.) $< 0{,}5 \cdot C_{НКПР} = 0{,}5 \cdot 0{,}7 = 0{,}35$ % (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 $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$, $Z_{НКПР}$ составят:

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

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

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

Значения $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$, $Z_{НКПР}$ 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 $A = 6$ ч$^{-1}$ не относится к категории А или Б. Согласно п. Б.2 и табл. Б1 [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:

$$G = 2 \cdot V_а \cdot \rho_ж = 2 \cdot 0{,}45 \cdot 855 = 769{,}5 \text{ кг};$$

$$Q = G \cdot Q_н^р = 769{,}5 \cdot 43{,}97 = 33835 \text{ МДж};$$

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

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

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

11.10. Удельная пожарная нагрузка более 2200 МДж · 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 $A = 6$ 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 $V_а = 40$ л $= 0{,}04$ м^3, насосы горячей воды. Размеры помещения $L \times S \times H = 12 \times 6 \times 6$ м. Объем помещения $V_п = 432$ м^3. Свободный объем помещения $V_{св} = 0{,}8 \cdot 432 = 345{,}6$ м^3. Площадь помещения $F = 72$ м^2. Температура гексана в емкости охлажденного гексана $T_а = 50$ °С $= 323{,}2$ К. Суммарный объем гексана, истекающего из подводящих и отводящих трубопроводов при аварийной ситуации, составляет $V_{тр} = 1$ л $= 0{,}001$ м^3.

1.2. Молярная масса гексана $M = 86{,}177$ кг · кмоль$^{-1}$. Константы уравнения Антуана: $A = 5{,}99517$; $B = 1166{,}274$; $C_а = 223{,}661$. Химическая формула гексана C_6H_{14}. Плотность гексана (жидкости) при температуре жидкости $t_ж = 50$ °С

$\rho_{ж} = 631{,}8$ кг $\cdot$ м$^{-3}$. Средняя теплоемкость гексана в интервале температур 0 ÷ 100 °С $C_{ж} = 2514$ Дж $\cdot$ кг$^{-1}$ $\cdot$ К$^{-1}$. Температура вспышки гексана $t_{всп} = -23$ °С. Температура кипения гексана $t_{к} = 68{,}74$ °С.

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 $t_{р,2} = 50$ °С. Максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно [3] $t_{р,1} = 37$ °С.

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

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

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

$$\text{при } t_{р,2} = 50 \text{ °С } \rho_{п} = \frac{86{,}177}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 50)} = 3{,}2488 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

3.2. Давление насыщенных паров гексана при температурах $t_{р,1} = 37$ °С и $t_{р,2} = 50$ °С составит соответственно (п. 3.2 Пособия):

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

$$P_{н,1} = 33{,}18 \text{ кПа};$$

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

$$P_{н,2} = 54{,}13 \text{ кПа}.$$

3.3. Удельная теплота испарения гексана $L_{исп}$ (Дж · кг$^{-1}$) при температуре $t_{р,2}$ = 50 °С рассчитывается по формуле (А.15) [1]:

$$L_{исп} = \frac{19{,}173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273{,}2)^2 \cdot M} =$$

$$= \frac{19{,}173 \cdot 10^3 \cdot 1166{,}274 \cdot 323{,}2^2}{(323{,}2 + 223{,}661 - 273{,}2)^2 \cdot 86{,}177} = 361923 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

3.4. Объем гексана, вышедшего в помещение, $V_г$ (м^3) составит:

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

3.5. Масса вышедшего в помещение гексана $m_п$ (кг) составит:

$$m_п = V_г \cdot \rho_ж = 0{,}041 \cdot 631{,}8 = 25{,}904 \text{ кг}.$$

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

$$F_и = 1{,}0 \cdot V_г = 1{,}0 \cdot 41 = 41 \text{ м}^2.$$

4. Для определения массы m_1 (кг) паров гексана, испарившихся при охлаждении разлившейся жидкости от $t_{р,2}$ = = 50 °С до $t_{р,1}$ = 37 °С, воспользуемся формулой (А.14) [1]:

$$m_1 = 0{,}02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{н,2} \cdot \frac{C_ж \cdot m_п}{L_{исп}} = 0{,}02 \cdot \sqrt{86{,}177} \cdot 54{,}13 \times$$

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

5. Интенсивность испарения W (кг · м$^{-2}$ · с$^{-1}$) гексана при расчетной температуре $t_{р,1}$ = 37 °С определяем согласно формуле (А.13) [1]:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{н,1} = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \sqrt{86,177} \cdot 33,18 =$$

$$= 3,0802 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

6. Масса m_2 (кг) паров гексана, испарившихся с поверхности разлива при расчетной температуре $t_{р,1}$ = 37 °С, согласно формуле (А.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 °С = 403,2 К. Температура нагретого ДМФА в сборнике $T_а$ = 110 °С = 383,2 К.

Производительность одного насоса $q = 1$ м^3 · ч$^{-1}$ = 2,78 × × 10^{-4} м^3 · с$^{-1}$ = 0,278 л · с$^{-1}$. На подводящих и отводящих трубопроводах насосов за пределами помещения установлены автоматические задвижки (время отключения $\tau = 120$ с). Объем ДМФА в отводящих и подводящих трубопроводах с учетом объема ДМФА в насосе для одного насоса составляет $V_{тр} = 0{,}02$ м^3 = 20 л. Размеры помещения $L \times S \times H =$ = 18 × 6 × 6 м. Площадь помещения $F = 108$ м^2. Объем помещения $V_п = 648$ м^3. Свободный объем помещения $V_{св} =$ = 0,8 · 648 = 518,4 м^3.

1.2. Молярная масса ДМФА $M = 73{,}1$ кг · кмоль$^{-1}$. Константы уравнения Антуана: $A = 6{,}15939$; $B = 1482{,}985$; $C_а = 204{,}342$. Химическая формула ДМФА C_3H_7ON. Стехиометрическая концентрация ДМФА $C_{ст} = 4{,}64$ % (об.). Плотность жидкости ДМФА при $t = 25$ °С $\rho_ж = 950$ кг · м$^{-3}$ (с запасом для $t = 110$ °С при расчетах). Теплоемкость ДМФА принимаем с запасом для расчетов по гексану $C_ж =$ = 2514 Дж · кг$^{-1}$ · К$^{-1}$ (пример 7 Пособия). Температура вспышки ДМФА $t_{всп} = 53$ °С. Температура кипения ДМФА $t_к = 153$ °С. Теплоту сгорания $Q_н^р = 45{,}105$ МДж · кг$^{-1}$ принимаем с запасом для расчетов по гексану (приложение 1 Пособия).

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 $t_{р,2} = 110$ °С. Максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно [3] $t_{р,1} = 37$ °С.

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

3.1. Плотность паров ДМФА при $t_{р,1}$ = 37 °С составит:

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

при $t_{р,2}$ = 110 °С

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

3.2. Давление насыщенных паров ДМФА при температуре $t_{р,2}$ = 110 °С составит соответственно (п. 3.2 Пособия):

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

$$P_н = 27,65 \text{ кПа}.$$

3.3.Удельная теплота испарения $L_{исп}$ (Дж · кг$^{-1}$) ДМФА при температуре $t_{р,2}$ = 110 °С рассчитывается по формуле (А.15) [1]:

$$L_{исп} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_а^2}{(T_а + C_а - 273,2)^2 \cdot M} =$$

$$= \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 1482,985 \cdot 383,2^2}{(383,2 + 204,342 - 273,2)^2 \cdot 73,1} = 578037 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

3.4. Объем $V_д$ (м^3) ДМФА, вышедшего в помещение, и площадь разлива жидкости $F_р$ (м^2) составит:

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

$$F_р = 1,0 \cdot V_д = 1,0 \cdot 53,4 = 53,4 \text{ м}^2.$$

3.5. Масса вышедшего в помещение ДМФА $m_п$ (кг) составит:

$$m_п = V_д \cdot \rho_ж = 0{,}0534 \cdot 950 = 50{,}73 \text{ кг}.$$

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

$$m = 0{,}02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_н \cdot \frac{C_ж \cdot m_п}{L_{исп}} =$$

$$= 0{,}02 \cdot \sqrt{73{,}1} \cdot 27{,}65 \cdot \frac{2514 \cdot 50{,}73}{578037} = 1{,}043 \text{ кг}.$$

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:

$$Q = G \cdot Q_н^р = 152{,}2 \cdot 45{,}105 = 6865 \text{ МДж};$$

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

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

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

Поскольку $F < F_р$, принимаем $S = F = 108$ м^2.

8. Удельная пожарная нагрузка менее 180 МДж · 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 $V_{св} = 0{,}8 \cdot 8 \times \times 30 \cdot 10 = 1920$ м^3. В помещении расположен смеситель, представляющий собой цилиндрическую емкость со встроенным шнекообразным устройством равномерного перемешивания порошкообразных компонентов напитка, загружаемых через расположенное сверху входное отверстие. Единовременная загрузка дисперсного материала в смеситель составляет $m_{ап} = m = 300$ 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 $H_т = 16477$ кДж $\cdot$ кг$^{-1} = 1{,}65 \cdot 10^7$ Дж $\cdot$ кг$^{-1}$. Распределение пыли по дисперсности представлено в таблице.

Фракция пыли, мкм	≤ 100 мкм	≤ 200 мкм	≤ 500 мкм	≤ 1 000 мкм
Массовая доля, % (масс.)	5	10	40	100

Критический размер частиц взрывоопасной взвеси сахарной пыли $d^* = 200$ мкм.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в помещении не обращаются горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, 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; затирание 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 $d^* \leq \leq 200$ мкм $F = 10\ \% = 0{,}1$) и составляет:

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

Отсюда получаем:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_т \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_в \cdot C_р \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_н} = \frac{300 \cdot 1{,}65 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0{,}05}{1920 \cdot 1{,}2 \cdot 1010 \cdot 300 \cdot 3} = 11{,}9 \text{ кПа}.$$

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 $V_{св}$= 1000 м^3. Ежесменная пылеуборка в поме-

щении 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 $H_т$ = $= 1{,}8 \cdot 10^7$ Дж $\cdot$ 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 °С), могут задаваться одним из трех способов:

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

2) указанием сведений о брутто-формуле химического состава вещества, например, в виде $C_У H_В O_К N_А$. 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

$$\rho_{ст} = 0{,}0087 \cdot (12 \cdot У + В + 16 \cdot К + 14 \cdot A)/(У + В/4 - К/2).$$

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_O – масса кислорода в 1 м^3 воздуха; допускается принимать $M_O = 0{,}24$ кг $\cdot$ м$^{-3}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в помещении не обращаются горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, 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 ($m_{ав}$ = 50 кг), поступая в помещение с максимально возможной высоты (H = 2 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:

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

3. Коэффициент участия пыли во взрыве Z рассчитывается по формуле (А.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 (А.17) [1]:

$$m = \min \begin{cases} m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}} \\ \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}} / Z \end{cases}.$$

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

Для надежного выполнения расчета ΔP 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 $H_{\text{т}}$. Понятно, что масса m не может превысить общую массу пыли в этом облаке ($m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}$), которая записана в верхней строке формулы (А.17) [1]. Но масса m может быть меньше ($m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}$). 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 $\rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}}$, представленную в нижней строке формулы (А.17) [1]. Добавим, что поправка ($1/Z$) к указанной ве-

личине 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 (А.4) [1]:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_т \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_в \cdot C_р \cdot T_0 \cdot K_н} = \frac{4{,}2 \cdot 1{,}8 \cdot 10^7 \cdot 101{,}3 \cdot 0{,}5}{1000 \cdot 1{,}2 \cdot 1010 \cdot 300 \cdot 3} = 3{,}51 \text{ кПа}.$$

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 °С),

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

$$Q = \sum_{i=1}^{n} G_i \cdot Q_{\text{н}i}^{\text{р}},$$

где G_i – количество i-го материала пожарной нагрузки, кг; $Q_{\text{н}i}^{\text{р}}$ – 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 м^2. В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки $S = 10$ м^2. Удельная пожарная нагрузка составит:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{628}{10} = 62{,}8 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с табл. Б.1 [1] помещения с данной удельной пожарной нагрузкой могут быть отнесены к категории В4 ($g \le 180$ МДж · 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 ($H < 11$ м) предельное расстояние $l_{пр}$ должно удовлетворять неравенству

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

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 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 МДж и условие $Q \geq 59488$ 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 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 $Q = 50244$ МДж и условие $Q \geq 114048$ 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 м^2. В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки $S = 130$ 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 м^2.

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

10 ярусов × 16 отсеков × 3 коробки × 1 кг = 480 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 м^2. 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 м^2, 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 МДж · кг$^{-1}$. Пожарная нагрузка будет равна:

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

Площадь размещения пожарной нагрузки составляет 2,5 м^2. В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки S = 10 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, сма-

зочные 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 МДж · кг$^{-1}$, резина – 33,52 МДж · кг$^{-1}$, дизельное топливо – 43,59 МДж · кг$^{-1}$, пенополиуретан – 24,3 МДж · кг$^{-1}$, полиэтилен – 47,14 МДж · кг$^{-1}$, полихлорвинил – 14,31 МДж · кг$^{-1}$, картон – 13,4 МДж · кг$^{-1}$, искусственная кожа – 17,76 МДж · кг$^{-1}$. Пожарная нагрузка будет равна:

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

Минимальное расстояние H от поверхности пожарной нагрузки до покрытия составляет 6 м. Площадь размещения пожарной нагрузки $S = 10$ 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 $Q = 10365{,}8$ МДж и условие $Q \geq 32256$ 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 $M_{C_8H_{11}} = 113{,}2$.

Расчетная температура $t_р$, °С:

- в помещении $t_п = 39$ [3];
- в сушильной камере $t_к = 80$.

Плотность жидкости, кг · м$^{-3}$:

- сольвента $\rho^{ж}_{C_{8,5}H_{11}} = 850$.

Плотность газов и паров, кг · м$^{-3}$:

- метана $\rho^{39\,°C}_{CH_4} = \dfrac{M}{22{,}413 \cdot (1+0{,}00367 \cdot t_р)} = 0{,}6260;$

- сольвента $\rho^{39\,°C}_{C_{8,5}H_{11}} = 4{,}4182\ (\rho_с);$ $\rho^{80\,°C}_{C_{8,5}H_{11}} = 3{,}9043.$

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

- сольвента $\lg P_{н,C_{8,5}H_{11}} = 6{,}2276 - \dfrac{1529{,}33}{226{,}679 + t_п};$

$$P_{н,C_{8,5}H_{11}} = 3{,}0.$$

Интенсивность испарения при 39 °С, кг · м$^{-2}$ · с$^{-1}$:

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

1.4. Пожароопасные свойства [2].

Температура вспышки, °С:

- сольвента $t_{всп} = 21$.

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

- метана $C_{НКПР,\,CH_4} = 5{,}28;$

- сольвента $C_{НКПР,\,C_{8,5}H_{11}} = 1{,}0.$

Стехиометрическая концентрация, % (об.):

- метана $C_{ст,\,CH_4} = 9{,}36;$

- сольвента $C_{ст,\,C_{8,5}H_{11}} = 1{,}80\ (C_{ст,\,с}).$

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 $V_п$ = 264,7 · 30,54 · 15,75 = = 127322,0 м^3.

1.5.2. Площадь окрасочного пролета со встроенными помещениями на отметке 0,00: $F_{общ} = 264,7 \cdot 30,54 = 8083,94$ м^2.

1.5.3. Площади встроенных помещений:

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

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

1.5.4. Площадь окрасочного пролета без встроенных помещений:

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

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

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

1.5.6. Объемы встроенных помещений на отметке 6,500:

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

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

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

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

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

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

- венткамера (отм. 6,500, оси Р/1-У):

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

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

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

- суммарный объем встроенных помещений:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- помещения (отм. 7,800, оси Ф-Х):

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

- тамбур (отм. 3,74, ось В/1):

$$V_{5,пер} = 1,75 \cdot 3,49 \cdot 2,26 = 13,80 \text{ м}^3;$$

- ПСУ (отм. 3,040, оси К-К/1):

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

- общий объем над встроенными помещениями:

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

1.5.9. Объем бассейна коагуляции на отметке –2,500 и 0,00 (L = 80,5 м, S = 3,60 ÷ 6,40 м, H = 2,10 ÷ 2,20 м):

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

1.5.10. Объем помещения окрасочного участка малярно-сдаточного цеха:

$$V_п = V_1 + V_{1\text{–}6,пер} + V_б = 109622{,}11 + 1984{,}01 + 659{,}95 = = 112266{,}07 \text{ м}^3.$$

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

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

1.5.12. Толщина слоя лакокрасочных материалов:

- грунт ФЛ-03 $\delta_г = 15$ мкм;
- эмаль МЛ-152 $\delta_э = 20$ мкм.

1.5.13. Расход лакокрасочных материалов:

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

1.5.14. Содержание горючих растворителей в лакокрасочных материалах:

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

1.5.15. Расход растворителя на единицу площади окрашиваемых поверхностей тракторов:

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

1.5.16. Производительность конвейера по площади нанесения лакокрасочных материалов:

- линия окрашивания тракторов в серийном исполнении:

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

- линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении:

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $P_{CH_4} = 178{,}4$ кПа:

$$G_{CH_4} = 714 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} = 0{,}19844 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}.$$

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

$$m_{CH_4} = 0{,}19844 \cdot 300 + 0{,}01 \cdot 3{,}14 \cdot 178{,}4 \cdot \frac{0{,}219^2}{4} \cdot 1152 \times$$

$$\times 0{,}626 = 107{,}97 \text{ кг}.$$

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

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

$$m_{эс} = 2 \cdot n_{р,эс} \cdot T_а = 2 \cdot 26{,}6863 \cdot 1 = 53{,}3726 \text{ кг};$$

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

$$m_{гэ} = 2 \cdot n_{р,фл} \cdot T_а = 2 \cdot 4{,}0618 \cdot 1 = 8{,}1236 \text{ кг};$$

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

$$m_{ээ} = 2 \cdot n_{р,э} \cdot T_а = 2 \cdot 6{,}6699 \cdot 1 = 13{,}3398 \text{ кг}.$$

2.1.4. Масса растворителя $m_{рб}$ (кг), испаряющегося со свободной поверхности бассейна коагуляции $F_{бк}$ = 226,84 м^2 за время аварийной ситуации $T_а$ = 3600 с [1], составит:

$$m_{рб} = W_с \cdot F_{бк} \cdot T_а = 3{,}1919 \cdot 10^{-5} \cdot 226{,}84 \cdot 3600 = 26{,}0658 \text{ кг}.$$

2.2. Разгерметизация красконагнетательного бака при работающем конвейере.

2.2.1. Масса растворителя, поступающего в помещение при аварийной ситуации из красконагнетательного бака $V_{бк}$ = 60 л = 0,06 м^3 и трубопроводов диаметром $d_{бко} = d_{бкп}$ = = 0,04 м и длиной ($L_{бко} + L_{бкп}$) = 312 м, составит:

$$m_{бк} = K_и \cdot n_{рэ} \cdot \tau_а + [V_{бк} + 0{,}785 \cdot (d^2_{бко} \cdot L_{бко} + d^2_{бко} \cdot L_{бкп})] \cdot \varphi_э \times$$

$$\times \rho^{ж}_{C_{8,5}H_{11}} = 2 \cdot 0{,}007413 \cdot 300 + [0{,}06 + 0{,}785 \cdot (0{,}04^2 \cdot 156 +$$

$$+ 0{,}04^2 \cdot 156)] \cdot 0{,}78 \cdot 850 = 304{,}04 \text{ кг}.$$

2.2.2. Площадь испарения $F_{и,бк}$ ($м^2$) с поверхности разлившейся из бака и трубопровода эмали МЛ-152 будет равна:

$$F_{и,бк} = \frac{m_{бк} \cdot 100}{\varphi_э \cdot \rho^{ж}_{C_{8,5}H_{11}}} = \frac{304{,}04 \cdot 1000}{0{,}78 \cdot 850} = 458{,}6 \text{ м}^2.$$

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

$$m_{рбб} = m_{рб} + W_с \cdot F_{и,бк} \cdot T_а = 26{,}0658 + 3{,}1919 \cdot 10^{-5} \cdot 458{,}6 \times \\ \times 3600 = 78{,}7628 \text{ кг}.$$

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

$$m_{рк} = m_{эс} + m_{гэ} + m_{ээ} = 53{,}3726 + 8{,}1236 + 13{,}3398 = 74{,}836 \text{ кг}.$$

2.2.5. Масса паров растворителя $m_{п,р}$ (кг), поступившая в объем помещения при аварийной ситуации, будет равна:

$$m_{п,р} = m_{рбб} + m_{рк} = 78{,}7628 + 74{,}836 = 153{,}5988 \text{ кг}.$$

2.3. Разгерметизация красконагнетательного бака, остановка конвейера.

2.3.1. Масса растворителя $m_{рбб}$ (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:

$$F_{го} = 260 \text{ м}^2;$$

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

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

$$F_{гс} = 227{,}5 \text{ м}^2;$$

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

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

$$F_{эо} = 305{,}5 \text{ м}^2;$$

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

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

$$F_{эсэ} = 500{,}5 \text{ м}^2;$$

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

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

$$F_{эос} = 533 \text{ м}^2;$$

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

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

$$F_{эсс} = 1092 \text{ м}^2;$$

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

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

2.4.1. Масса газа m_{CH_4}, 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:

$$\Delta P = \frac{(P_{max} - P_0)\cdot 100}{V_{св}\cdot K_н}\cdot\left[\frac{m_{CH_4}\cdot Z_г}{\rho_{CH_4}\cdot C_{ст,CH_4}} + \frac{m_{рб}\cdot Z_п}{\rho_c^{39\,°C}\cdot C_{ст,с}} + \right.$$

$$\left. + \frac{(m_{эс} + m_{гэ} + m_{ээ})\cdot Z_п}{\rho_c^{80\,°C}\cdot C_{ст,с}}\right] = \frac{799\cdot 100}{89813\cdot 3}\cdot\left[\frac{107{,}97\cdot 0{,}5}{0{,}626\cdot 9{,}36} + \right.$$

$$\left. + \frac{26{,}0658\cdot 0{,}3}{4{,}4182\cdot 1{,}8} + \frac{(53{,}3726 + 8{,}1236 + 13{,}3398)\cdot 0{,}3}{3{,}9043\cdot 1{,}8}\right] =$$

$$= 0{,}2965\cdot(9{,}2135 + 0{,}9833 + 3{,}1946) = 3{,}97\ \text{кПа}.$$

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:

$$\Delta P = \frac{(P_{max} - P_0)\cdot Z_п}{V_{св}\cdot K_н}\cdot\frac{100}{C_{ст,с}}\cdot\left[\frac{m_{рбб}}{\rho_c^{39\,°C}} + \frac{m_{рк}}{\rho_c^{80\,°C}}\right] =$$

$$= \frac{799\cdot 0{,}3\cdot 100}{89813\cdot 3\cdot 1{,}8}\cdot\left[\frac{78{,}7628}{4{,}4182} + \frac{74{,}836}{3{,}9043}\right] =$$

$$= 0{,}04942\cdot(17{,}8269 + 19{,}1676) = 1{,}83\ \text{кПа}.$$

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:

$$\Delta P = \frac{(P_{max} - P_0)\cdot Z_п}{V_{св}\cdot K_н}\cdot\frac{100}{C_{ст,с}}\cdot\left[\frac{m_{рбб}}{\rho_с^{39\ °C}} + \right.$$

$$\left. + \frac{(m_{гэо} + m_{гэс} + m_{эоэ} + m_{эсэ} + m_{эос} + m_{эсс})}{\rho_с^{80\ °C}}\right] =$$

$$= \frac{799\cdot 0{,}3\cdot 100}{89813\cdot 3\cdot 1{,}8}\cdot\left[\frac{78{,}7628}{4{,}4182} + \right.$$

$$\left. + \frac{(20{,}7480 + 9{,}077 + 40{,}0327 + 32{,}7928 + 69{,}8443 + 71{,}5478)}{3{,}9043}\right] =$$

$$= 0{,}04942\cdot(17{,}8269 + 62{,}5062) = 3{,}97\ \text{кПа}.$$

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:

$$\Delta P = \frac{(P_{max} - P_0)\cdot 100}{V_{св}\cdot K_н}\cdot\left[\frac{m_{CH_4}\cdot Z_г}{\rho_{CH_4}\cdot C_{ст,CH_4}} + \frac{m_{рб}\cdot Z_п}{\rho_с^{39\ °C}\cdot C_{ст,с}} + \right.$$

$$\left. + \frac{(m_{гэо} + m_{гэс} + m_{эоэ} + m_{эсэ} + m_{эос} + m_{эсс})\cdot Z_п}{\rho_с^{80\ °C}\cdot C_{ст,с}}\right] =$$

$$= \frac{799 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \cdot \left[\frac{107{,}97 \cdot 0{,}5}{0{,}626 \cdot 9{,}36} + \frac{26{,}0658 \cdot 0{,}3}{4{,}4182 \cdot 1{,}8} + \right.$$

$$\left. + \frac{(20{,}7480 + 9{,}0772 + 40{,}0327 + 32{,}7928 + 69{,}8443 + 71{,}5478) \cdot 0{,}3}{3{,}9043 \cdot 1{,}8} \right] =$$

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

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 $L \times S \times H =$ $= 54{,}0 \times 12{,}0 \times 12{,}7$ м. Объем помещения $V_{\text{п}} = 8229{,}6$ м^3. Свободный объем помещения $V_{\text{св}} = 0{,}8 \cdot 8229{,}6 = 6583{,}7$ м^3 $\approx$ ≈ 6584 м^3. Площадь помещения $F = 648$ м^2. Обезжиривание станков раствором тринатрийфосфата ($m_1 = 20{,}7$ кг) с синтанолом ДС-10 ($m_2 = 2{,}36$ кг) осуществляется в ванне размером $L_1 \times S_1 \times H_1 = 1{,}5 \times 1{,}0 \times 1{,}0$ м ($F_1 = 1{,}5$ м^2). Отдельные детали станков обезжириваются в вытяжном шкафу размером $L_2 \times S_2 \times H_2 = 1{,}2 \times 0{,}8 \times 2{,}85$ м ($F_2 = 0{,}96$ м^2) уайт-спиритом, который хранится в шкафу в емкости объемом $V_{\text{а}} = 3$ л $= 0{,}003$ м^3 (суточная норма). Обработка поверхностей станков производится в ванне с индустриальным маслом И-50 размером $L_3 \times S_3 \times H_3 = 1{,}15 \times 0{,}9 \times 0{,}72$ м ($F_3 =$ $= 1{,}035$ м^2, $V_3 = 0{,}7452$ м^3) при температуре $t = 140$ °С. Масса

индустриального масла И-50 в ванне $m_3 = 538$ кг. Рядом с ванной для промасливания станков расположено место для упаковки станков размером $L_4 \times S_4 = 6{,}0 \times 4{,}0$ м ($F_4 = 24{,}0$ м^2), на котором находится упаковочная бумага массой $m_4 = 24$ кг и обшивочные доски массой $m_5 = 1650$ кг.

1.2. Тринатрийфосфат – негорючее вещество. Брутто-формула уайт-спирита $C_{10,5}H_{21,0}$. Молярная масса уайт-спирита $M = 147{,}3$ кг · кмоль$^{-1}$. Константы уравнения Антуана для уайт-спирита: $A = 7{,}13623$; $B = 2218{,}3$; $C_a = 273{,}15$. Температура вспышки уайт-спирита $t_{всп} > 33$ °С, индустриального масла И-50 $t_{всп} = 200$ °С, синтанола ДС-10 $t_{всп} = 247$ °С. Плотность жидкости при температуре $t = 25$ °С: уайт-спирита $\rho_ж = 790$ кг · м$^{-3}$, индустриального масла И-50 $\rho_ж = 903$ кг · м$^{-3}$, синтанола ДС-10 $\rho_ж = 980$ кг · м$^{-3}$. Теплота сгорания уайт-спирита $H_т = Q_н^р = 43{,}966$ МДж · кг$^{-1}$ $= 4{,}397 \cdot 10^7$ Дж · кг$^{-1}$, индустриального масла И-50 по формуле Басса $Q_н^р = 50460 - 8{,}545 \cdot \rho_ж = 50460 - 8{,}545 \cdot 903 = 42744$ кДж · кг$^{-1}$ $= 42{,}744$ МДж · кг$^{-1}$, упаковочной бумаги $Q_н^р = 13{,}272$ МДж · кг$^{-1}$, древесины обшивочных досок $Q_н^р = 20{,}853$ МДж · 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] $t_р = 35$ °С. Плотность паров уайт-спирита при $t_р = 35$ °С $\rho_п = \dfrac{147{,}3}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 35)} = 5{,}8240$ кг · м$^{-3}$. Длительность испарения по п. А.1.2 е) [1] $T = 3600$ с.

3. Объем $V_ж$ и площадь разлива $F_и$ поступившего в помещение при расчетной аварии уайт-спирита согласно п. А.1.2. [1] составят:

$$V_ж = V_а = 0{,}003 \text{ м}^3 = 3 \text{ л};$$

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

4. Определяем давление $P_н$ насыщенных паров уайт-спирита при расчетной температуре $t_р = 35$ °С:

$$\lg P_н = 7{,}13623 - \frac{2218{,}3}{273{,}15 + 35} = -0{,}062537;$$

$$P_н = 0{,}87 \text{ кПа}.$$

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 m, 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:

$G_3 = m_3 = 538$ кг, $G_4 = m_4 = 24$ кг, $G_5 = m_5 = 1650$ 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 м^3 каждый, из которых каждые два заполнены битумом, а один пустой; 2 смесителя объемом V_a= 15 м^3 каждый. Все смесители обогреваются диатермическим маслом (аллотерм-1), подаваемым из помещения котельной и имеющим температуру t = 210 °С. Температура битума и смеси в смесителях t = 190 °С. 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 кг. В 1 т гранулированного полипропилена содержится до 0,3 кг пыли. Полипропилен загружается из тары в бункер смесителя объемом V_a = 1 м^3. Количество полипропилена в бункере m_2 = 400 кг, следовательно, пыли в этом бункере в грануляте содержится m_3 = 0,12 кг.

Полипропилен и его сополимеры в процессе переработки при его нагревании выше температуры $t = 150$ °С 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 $L \times S \times H = 24 \times 36 \times 12$ м. Объем помещения $V_п = 10368$ м^3. Свободный объем помещения $V_{св} = 0{,}8 \cdot 10368 = 8294{,}4$ м^3. Площадь помещения $F = 864$ м^2.

Производительность насоса с диатермическим маслом (аллотерм-1) $n_1 = 170$ м$^3 \cdot$ ч$^{-1} = 0{,}0472$ м$^3 \cdot$ с$^{-1} = 71{,}5$ кг $\cdot$ 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, $n_2 = 10$ м$^3 \cdot$ ч$^{-1} = 0{,}00278$ м$^3 \cdot$ с$^{-1} = 2{,}78$ кг $\cdot$ с$^{-1}$ (по битуму с полипропиленом 2,5 кг $\cdot$ с$^{-1}$), а отводящего смесь в смесители из ванн $n_3 = 5$ м$^3 \cdot$ ч$^{-1} = 0{,}00139$ м$^3 \cdot$ с$^{-1} = 1{,}39$ кг $\cdot$ с$^{-1}$ (по битуму с полипропиленом 1,25 кг $\cdot$ 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, $n_4 = 25$ м$^3 \cdot$ ч$^{-1} = 0{,}007$ м$^3 \cdot$ с$^{-1} = 7$ кг $\cdot$ 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 по-

мещение 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 $n_5 = 1{,}65$ т $\cdot$ 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 $t_{всп} = 212$ °С, аллотерма-1 $t_{всп} = 214$ °С. Плотность жидкости битума $\rho_ж = 1000$ кг $\cdot$ м$^{-3}$, аллотерма-1 $\rho_ж =$ $= 1514$ кг $\cdot$ м$^{-3}$. Теплота сгорания битума по формуле Басса $H_т =$ $= Q_н^р = 50460 - 8{,}545 \cdot \rho_ж = 41915$ кДж $\cdot$ кг$^{-1} = 41{,}92$ МДж $\cdot$ кг$^{-1}$, аллотерма-1 $H_т = Q_н^р = 50460 - 8{,}545 \cdot 1514 = 37523$ кДж $\cdot$ кг$^{-1} =$ $= 37{,}52$ МДж $\cdot$ кг$^{-1}$, полипропилена $H_т = Q_н^р = 44000$ кДж $\cdot$ кг$^{-1} =$ $= 44{,}0$ МДж $\cdot$ 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 $m_п$ ($K_г = 1{,}0$; $K_у = 0{,}7$) и масса взвихрившейся пыли $m_{вз}$ ($K_{вз} = 0{,}9$) составят:

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

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

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

$$m_{ав} = m_3 = 0{,}12 \text{ кг}.$$

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 ($V_а$ = 15 м^3) и трубопровода смеси при работающем насосе $m_{см}$ будет равна ($q = n_3$; $T_а$ = 300 с):

$$m_{см} = \left(V_а + q \cdot T_а + \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot L_2\right) \cdot \rho_ж = (15 + 0{,}00139 \cdot 300 +$$

$$+ \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}15^2 \cdot 15) \cdot 1000 = 15682 \text{ кг}.$$

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

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

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:

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

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:

$$\Delta P = 2{,}831 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{2{,}7 \cdot 44{,}0 \cdot 10^{6}}{8294{,}4} = 0{,}4 \text{ кПа}.$$

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. Б1 [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 $V_a = 10$ м^3 каждый и в двух смесителях объемом $V_a = 15$ м^3 каждый. При этом количество циркулирующего диатермического масла не принимается во внимание. Также для упрощения расчет проведем с использованием единой теплоты сгорания для всех компонентов и веществ по битуму, равной $Q_н^р = 41{,}92$ МДж $\cdot$ 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 МДж $\cdot$ 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 м^2. В здании находятся помещения категории А суммарной площадью F_A = 400 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 м^2. В здании находятся помещения категории А суммарной площадью F_A = 2000 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 м^2. Площадь помещений

категории А составляет $F_А = 150$ м^2, категории Б – $F_Б = 400$ м^2, суммарная категорий А и Б – $F_{А, Б} = 550$ м^2.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категории А составляет 0,47 % и не превышает 5 % площади всех помещений здания и 200 м^2. 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 м^2. Согласно п. 6.4 [1] здание относится к категории Б.

Пример 24

1. Исходные данные.

Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений здания $F = 15000$ м^2. Площадь помещений категории А составляет $F_А = 800$ м^2, категории Б – $F_Б = 600$ м^2, суммарная категорий А и Б – $F_{А, Б} = 1400$ м^2. 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 м^2. 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 м^2. 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 $F = 40000$ м^2. В здании отсутствуют помещения категорий А и Б. Площадь помещений категорий В1–В3 составляет $F_В = 8000$ м^2.

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 $F = 12000$ м^2. Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А, Б} = 180$ м^2, категорий В1–В3 – $F_В = 5000$ м^2, суммарная категорий А, Б, В1–В3 – $F_{А, Б, В} = 5180$ м^2.

2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б составляет 1,5 % площади всех помещений здания и не превышает 200 м^2. 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 $F = 20000$ м^2. Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А,Б} = 900$ м^2, категорий В1–В3 – $F_В = 4000$ м^2, суммарная категорий А, Б, В1–В3 – $F_{А,Б,В} = 4900$ м^2. Помещения категории 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 м^2. 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 м^2. 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 м^2. Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В1–В3 составляет $F_В$ = 1800 м^2, категории Г – $F_Г$ = = 2000 м^2, суммарная площадь помещений категорий В1–В3, Г – $F_{В,Г}$ = 3800 м^2.

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 м^2. Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А,Б}$ = 800 м^2, помещений

категорий В1–В3 – $F_В$ = 1500 м^2, помещений категории Г – $F_Г$ = 3000 м^2, суммарная категорий А, Б, В1–В3 – $F_{А, Б, В}$ = = 2300 м^2, суммарная категорий А, Б, В1–В3, Г – $F_{А, Б, В, Г}$ = = 5300 м^2. 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 м^2. 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 м^2. 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 м^2. 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 м^2. Площадь помещений категорий А и Б составляет $F_{А, Б}$ = 600 м^2, категорий В1–В3 – $F_В$ = 1000 м^2, категории Г– $F_Г$ = 200 м^2, категорий В4 и Д – $F_{В4, Д}$ = 6200 м^2, суммарная категорий А, Б, В1–В3 – $F_{А, Б, В}$ = = 1600 м^2, суммарная категорий А, Б, В1–В3, Г – $F_{А, Б, В, Г}$ = = 1800 м^2. 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 м^2. 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 м^2. 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 м^2. 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 м^2. Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В1–В3 составляет $F_{В}$ = 1000 м^2, категории Г – $F_{Г}$ = = 200 м^2, категорий В4 и Д – $F_{В4, Д}$ = 23800 м^2, суммарная категорий В1–В3, Г – $F_{В, Г}$ = 1200 м^2.

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 по-

мещений 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 $F = 10000$ м^2. Помещения категорий А, Б, В1–В3 и Г отсутствуют. Площадь помещений категории В4 составляет $F_{В4} = 2000$ м^2, категории Д – $F_Д = 8000$ м^2.

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 $d_{тр1} = d_{тр2} = 500$ мм = 0,5 м. Объем емкости-сепаратора $V_а = 50$ м^3.

Давление газа $P = P_1 = P_2 = 2500$ кПа, расход газа $G = 40000$ кг $\cdot$ ч$^{-1}$ = 11,1111 кг $\cdot$ с$^{-1}$, температура газа $t_г = 60$ °С.

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

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

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]:

$$m_1 = G \cdot \tau + 0{,}01 \cdot 0{,}785 \cdot d_{тр_1}^2 \cdot L_1 \cdot P \cdot \rho_г = 11{,}1111 \cdot 120 + 0{,}01 \times$$

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

$$m_2 = G \cdot \tau + 0{,}01 \cdot 0{,}785 \cdot d_{тр_2}^2 \cdot L_2 \cdot P \cdot \rho_г = 1333{,}3 + 0{,}01 \cdot 0{,}785 \times$$

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

$$m_3 = G \cdot \tau + 0{,}01 \cdot V_а \cdot P \cdot \rho_г = 1333{,}3 + 0{,}01 \cdot 50 \cdot 2500 \cdot 1{,}5387 =$$

$$= 1333{,}3 + 1923{,}4 = 3256{,}3 \text{ кг}.$$

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

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

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

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

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

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

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 $V_{\text{р}}$ = 10000 м^3. Максимальный коэффициент заполнения резервуара α = 0,95. Температура сжиженного этилена $T_{\text{ж}}$ = −103 °С = 170,2 К. Давление паров этилена в резервуаре $P_{\text{р}}$ = 103,8 кПа. Резервуар размещен в бетонном обваловании площадью F = 5184 м^2 ($L = S$ = 72 м, H = 2,2 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 $V_ж = 9850$ м^3 с массой $m_ж = 5{,}5948 \cdot 10^6$ кг.

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

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

Плотность газообразного этилена при $T_ж = -103$ °С составит:

$$\rho_г = \frac{28{,}05}{22{,}413 \cdot [1 + 0{,}00367 \cdot (-103)]} = 2{,}021 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

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 (В.2), (В.3) [1]:

$$m_1 = 0{,}01 \cdot P_р \cdot (1 - \alpha) \cdot V_р \cdot \rho_г =$$

$$= 0{,}01 \cdot 103{,}8 \cdot 0{,}05 \cdot 10000 \cdot 2{,}0121 = 1044 \text{ кг}.$$

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

$$m_{уд} = \frac{M}{L_{исп}} \cdot (T_0 - T_ж) \cdot \left(2\lambda_{тв} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot a}} + \frac{5{,}1 \cdot \sqrt{\mathrm{Re}} \cdot \lambda_в \cdot t}{d} \right) =$$

$$= \frac{0{,}02805}{1{,}35094 \cdot 10^4} \cdot (309{,}2 - 170{,}2) \cdot \left((2 \cdot 1{,}3 \cdot \sqrt{\frac{3600}{3{,}14 \cdot 7{,}74 \cdot 10^{-7}}} + \right.$$

$$\left. + \frac{5{,}1 \cdot \sqrt{1{,}51 \cdot 10^7} \cdot 0{,}00155 \cdot 3600}{81{,}3} \right) = 2{,}89 \cdot 10^{-4} \cdot (1 \cdot 10^5 +$$

$$+ 0{,}14 \cdot 10^5) = 32{,}95 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2};$$

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

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

$$F_{\text{и}} = F = 5184 \text{ м}^2;$$

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

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

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

6. Избыточное давление ΔP взрыва на расстоянии r = = 30 м от наружной установки ИРЭ согласно формулам (В.14) и (В.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 $Q = 6{,}2 \times \times 10^{-5}$ 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 (Па·с) вычисляется по формуле (В.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]:

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

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{287000}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1371}\right)^{9,3} =$$

$$= 6,24 \cdot 10^{-11} + 5,32 \cdot 10^{-7} = 5,32 \cdot 10^{-7}.$$

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 36

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:

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

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

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

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

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

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

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

$$G_{ист} = \frac{G}{0{,}785 \cdot d_{тр1}^2} = \frac{11{,}1111}{0{,}785 \cdot 0{,}5^2} = 56{,}6170 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

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

$G_1 = 0{,}785 \cdot d_1^2 \cdot G_{ист} = 0{,}785 \cdot 0{,}005^2 \cdot 56{,}617 = 1{,}1111 \cdot 10^{-3}$ кг · с$^{-1}$;

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

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

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

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

$G_6 = 0{,}785 \cdot d_{тр1}^2 \cdot G_{ист} = 0{,}785 \cdot 0{,}5^2 \cdot 56{,}617 = 11{,}1111$ кг · с$^{-1}$.

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

$m_1 = G_1 \cdot \tau + 0{,}01 \cdot V_a \cdot P \cdot \rho_г = 11{,}1111 \cdot 10^{-3} \cdot 120 +$
$+ 0{,}01 \cdot 50 \cdot 2500 \cdot 1{,}5387 = 0{,}13 + 1923{,}4 = 1923{,}5$ кг;
$m_2 = 6{,}9444 \cdot 10^{-3} \cdot 120 + 1923{,}4 = 1924{,}2$ кг;
$m_3 = 0{,}0278 \cdot 120 + 1923{,}4 = 1926{,}7$ кг;
$m_4 = 0{,}1111 \cdot 120 + 1923{,}4 = 1976{,}7$ кг;
$m_5 = 0{,}4444 \cdot 120 + 1923{,}4 = 1976{,}7$ кг;
$m_6 = 11{,}1111 \cdot 120 + 1923{,}4 = 3256{,}7$ 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 (В.14) и (В.15) [1] составит:

$$\Delta P_1 = P_0 \cdot \left(\frac{0{,}8 \cdot m_{пр1}^{0{,}33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{пр1}^{0{,}66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{пр1}}{r^3} \right) =$$

$$= 101 \cdot \frac{0{,}8 \cdot 1940{,}7^{0{,}33}}{30} + \frac{3 \cdot 1940{,}7^{0{,}66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1940{,}7}{30^3} \Bigg) = 118{,}8 \text{ кПа};$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta P_5 = 101 \cdot \left(\frac{0{,}8 \cdot 1944^{0{,}33}}{30} + \frac{3 \cdot 1994^{0{,}66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1994}{30^3} \right) = 121 \text{ кПа};$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\mathrm{Pr}_1 = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(V_1) = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(1{,}047 \cdot 10^{-3}) = 6{,}78;$$

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

$$\mathrm{Pr}_2 = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(1{,}046 \cdot 10^{-3}) = 6{,}78;$$

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

$$\mathrm{Pr}_3 = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(1{,}036 \cdot 10^{-3}) = 6{,}79;$$

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

$$\mathrm{Pr}_4 = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(1{,}0005 \cdot 10^{-3}) = 6{,}79;$$

$$V_4 = \left(\frac{17500}{119400}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{609{,}2}\right)^{9,3} = 1{,}005 \cdot 10^{-3};$$

$$\mathrm{Pr}_5 = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(8{,}873 \cdot 10^{-4}) = 6{,}83;$$

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

$$\mathrm{Pr}_6 = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(4{,}131 \cdot 10^{-5}) = 7{,}62;$$

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

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

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

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

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

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 м^3 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 $F_{об} = F_и = 14 \cdot 17{,}6 = 246{,}4$ м^2 ($F_и$ – площадь испарения, м^2). Высота обвалования $H_{об} = 1{,}5$ м.

1.2. Молярная масса ацетона $M = 58{,}08$ кг $\cdot$ кмоль$^{-1}$. Химическая формула C_3H_6O. Температура вспышки $t_{всп} = -18$ °С. Удельная теплота сгорания ацетона $Q_{сг} = 31360$ кДж $\cdot$ кг$^{-1}$ $= 31{,}36 \cdot 10^6$ Дж $\cdot$ кг$^{-1}$. Плотность жидкости $\rho_ж = 790{,}8$ кг $\cdot$ м$^{-3}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Пермь) [3] составляет $t_р = 37$ °С. Плотность паров ацетона при $t_р = 37$ °С составляет $\rho_п = \dfrac{58{,}08}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 37)} = 2{,}815$ кг $\cdot$ м$^{-3}$. Константы уравнения Антуана $A = 6{,}37551$, $B = 1281{,}721$, $C_а = 237{,}088$.

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

$$\lg P_н = A - \frac{B}{t_р + C_а} = 6{,}37551 - \frac{1281{,}721}{37 + 237{,}088} = 1{,}6992;$$

$$P_н = 50{,}03 \text{ кПа}.$$

1.4. Вычисляется интенсивность испарения W (кг $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ с$^{-1}$) ацетона в соответствии с формулой (В.10) [1]:

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

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:

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

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

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

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

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

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 $V_{\text{ж}} = 6$ м^3. Площадка не имеет ограждения.

1.2. Молярная масса дизельного топлива M = = 172,3 кг · кмоль$^{-1}$. Химическая формула $C_{12{,}343}H_{23{,}889}$. Температура вспышки $t_{\text{всп}} > 35$ °С. Удельная теплота сгорания дизельного топлива $Q_{\text{сг}} = 43590$ кДж · кг$^{-1}$ = $43{,}59 \cdot 10^6$ Дж · кг$^{-1}$.

Плотность жидкости $\rho_ж = 815$ кг · м$^{-3}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Тула) [3] составляет $t_р = 38$ °С. Плотность паров дизельного топлива при $t_р = 38$ °С составляет:

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

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

1.3. Давление насыщенных паров дизельного топлива $P_н$ при расчетной температуре $t_р = 38$ °С составит:

$$\lg P_н = 5,07818 - \frac{1255,73}{38 + 199,523} = -0,20859;$$

$$P_н = 0,62 \text{ кПа}.$$

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

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

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 $F_н$, определяется согласно п. В.1.3 г) и формуле (В.8) [1] из выражений:

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

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

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

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

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

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

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

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:

$d_1 = 0{,}025$ м, $Q_1 = 8{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot$ год$^{-1}$;
$d_2 = 0{,}1$ м, $Q_2 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot$ год$^{-1}$;
полное разрушение, $Q_3 = 5{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot$ год$^{-1}$.

Частота реализации в течение года рассматриваемого сценария аварии для всех размеров утечек составляет $Q = 1{,}05 \cdot 10^{-4}$ 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 (В.23) [1]:

$$i = \frac{123 \cdot m_{\text{пр1}}^{0,66}}{r} = \frac{123 \cdot 25{,}4^{0,66}}{30} = 34{,}7 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

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

$$\text{Pr} = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(V) = 5 - 0{,}26 \cdot \ln(3{,}76 \cdot 10^8) = -0{,}134;$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{11200}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{34{,}7}\right)^{9,3} =$$

$$= 42{,}47 + 3{,}76 \cdot 10^8 = 3{,}76 \cdot 10^8.$$

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 (a), на расстоянии 30 м от наружной установки, рассчитывают с помощью соотношения (1) [1]:

$$P(a) = Q_d \cdot Q = 1{,}42 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}05 \cdot 10^{-4} = 1{,}49 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}.$$

7. Величина пожарного риска при возможном сгорании паров дизельного топлива с образованием волн давле-

ния 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 ВН.

9. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q, входящих в формулу (В.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 900}{3{,}14}} = 33{,}86 \text{ м};$$

$$F = F_и = 900 \text{ м}^2;$$

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M}{\rho_в \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0{,}61} = 42 \cdot 33{,}86 \cdot \left(\frac{0{,}04}{1{,}34 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 33{,}86}} \right)^{0{,}61} = 31{,}5 \text{ м};$$

$$M = 0{,}04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \text{ (табл. В.1 [1])};$$

$$\rho_в = \frac{28{,}96}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 38)} = 1{,}134 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 31{,}5}{33{,}86} = 1{,}86;$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} = \frac{2 \cdot 30}{33{,}86} = 1{,}77;$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} = \frac{1 + 1{,}77^2}{2 \cdot 1{,}77} = 1{,}17;$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} = \frac{1{,}86^2 + 1{,}77^2 + 1}{2 \cdot 1{,}77} = 2{,}14;$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}} \right) \right\} \right] =$$

$$= \frac{1}{3{,}14} \cdot \left[\frac{1}{1{,}77} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1{,}86}{\sqrt{1{,}77^2 - 1}} \right) - \frac{1{,}86}{1{,}77} \cdot \left\{ \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{1{,}77-1}{1{,}77+1}} \right) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{2{,}14}{\sqrt{2{,}14^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}14+1)\cdot(1{,}77-1)}{(2{,}14-1)\cdot(1{,}77+1)}} \right) \right\} \right] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot \left[0{,}56 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}274 - 1{,}051 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0{,}527 - \right.$$

$$\left. - 1{,}131 \cdot \operatorname{arctg} 0{,}875 \} \right] = 0{,}3185 \cdot \left[0{,}5115 + 0{,}3447 \right] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot 0{,}8562 = 0{,}2727;$$

$$F_н = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{B - \frac{1}{S}}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(B+1)\cdot(S-1)}{(B-1)\cdot(S+1)}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{A - \frac{1}{S}}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}} \right) \right] =$$

$$= \frac{1}{3{,}14} \cdot \left[\frac{1{,}17 - \frac{1}{1{,}77}}{\sqrt{1{,}17^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(1{,}17+1)\cdot(1{,}77-1)}{(1{,}17-1)\cdot(1{,}77+1)}} \right) - \right.$$

$$- \frac{2{,}14 - \frac{1}{1{,}77}}{\sqrt{2{,}14^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}14+1)\cdot(1{,}77-1)}{(2{,}14-1)\cdot(1{,}77+1)}}\right)\Bigg] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot \left[0{,}996 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}884 - 0{,}832 \cdot \operatorname{arctg} 0{,}875\right] =$$

$$= 3{,}185 \cdot [1{,}078 - 0{,}598] = 0{,}3185 \cdot 0{,}48 = 0{,}1529;$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_н^2} = \sqrt{0{,}2727^2 + 0{,}1529^2} = 0{,}3126.$$

10. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (В.34) [1]:

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

$$= \exp[-7{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0{,}5 \cdot 33{,}86)] = 0{,}9909.$$

11. Вычисляем интенсивность теплового излучения q (кВт · м$^{-2}$) при горении пролива жидкости по формуле (В.24) [1]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0{,}3126 \cdot 0{,}9909 = 7{,}74 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$E_f = 25 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (табл. В.1 [1]).}$$

12. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает 4 кВт · м$^{-2}$ 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 $V_ж = 30$ 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 $V_{тр} = 5$ м^3. Площадка не имеет ограждения. Температура нагрева теплоносителя $t_ж = 280$ °С = 553,2 К (T_a).

1.2. Молярная масса масла-теплоносителя АМТ-300 составляет $M = 312{,}9$ кг · кмоль$^{-1}$. Химическая формула $C_{22,25}H_{33,48}S_{0,34}N_{0,07}$. Температура вспышки $t_{всп} > 170$ °С. Удельная теплота сгорания масла-теплоносителя АМТ-300 равна $Q_{сг} = 42257$ кДж · кг$^{-1}$ = $42{,}257 \cdot 10^6$ Дж · кг$^{-1}$. Плотность жидкости при $t_ж = 280$ °С составляет $\rho_ж = 794$ кг · м$^{-3}$. Теплоемкость теплоносителя при $t_ж = 280$ °С равна $C_ж = 2480$ Дж · кг$^{-1}$ · К$^{-1}$. Константы уравнения Антуана $A = 6{,}12439$, $B = 2240{,}001$, $C_a = 167{,}85$.

1.3. Давление насыщенных паров теплоносителя $P_н$ при начальной температуре нагретого теплоносителя $t_ж$ = = 280 °С = 553,2 К (T_a) составляет:

$$\lg P_н = 6{,}12439 - \frac{2240{,}001}{t_ж + 167{,}85} = 6{,}12439 - \frac{2240{,}001}{280 + 167{,}85};$$

$$P_н = 13{,}26 \text{ кПа}.$$

1.4. Теплота испарения теплоносителя $L_{исп}$ (Дж · 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]:

$$m = 0{,}02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{C_{\text{ж}} \cdot m_{\text{п}}}{L_{\text{исп}}} =$$

$$= 0{,}02 \cdot \sqrt{312{,}9} \cdot 13{,}26 \cdot \frac{2480 \cdot 27790}{209427} \doteq 1543{,}8 \text{ кг}.$$

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:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0{,}8 \cdot 1443{,}3^{0{,}33}}{30} + \frac{3 \cdot 1443{,}3^{0{,}66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1443{,}3}{30^3} \right) = 97{,}7 \text{ кПа};$$

$$m_{\text{пр}} = \frac{42{,}257 \cdot 10^6}{4{,}52 \cdot 10^6} \cdot 1543{,}8 \cdot 0{,}1 = 1443{,}3 \text{ кг}.$$

6. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа на расстоянии 30 м от наружной установки, следова-

тельно, 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 $V_ж = 3{,}0$ м^3. На подводящих и отводящих трубопроводах установлены автоматические задвижки. Объем этиленгликоля, поступающего при аварийной разгерметизации резервуара из подводящих и отводящих трубопроводов, составляет $V_{тр} = 0{,}2$ м^3. Площадка не имеет ограждения. Температура поступающего в резервуар хранения этиленгликоля $t_ж = 120$ °С = 393,2 К (T_a).

1.2. Молярная масса этиленгликоля $M = 62{,}068$ кг · кмоль$^{-1}$. Химическая формула $C_2H_6O_2$. Температура вспышки $t_{всп} =$ = 111 °С. Удельная теплота сгорания этиленгликоля $Q_{сг} =$ = 19329 кДж · кг$^{-1}$ = 19329 · 10^6 Дж · кг$^{-1}$. Плотность жидкости при $t_ж = 120$ °С равна $\rho_ж = 987$ кг · м$^{-3}$. Теплоемкость жидкости при $t_ж = 120$ °С составляет $C_ж = 2820$ Дж · кг$^{-1}$ · 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 $t_р = 37$ °С.

1.3. Давление насыщенных паров этиленгликоля $P_н$ при начальной температуре жидкости $t_ж = 120$ °С = 393,2 К (T_a) составляет:

$$\lg P_н = 8{,}13754 - \frac{2753{,}183}{120 + 252{,}009};$$

$P_н = 5{,}45$ 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 нагретого этиленгликоля с поверхности разлива и поступление паров этиленгликоля в окружающее пространство.

3. Масса жидкости $m_п$, поступившей в окружающее пространство, составляет:

$$m_п = (V_ж + V_{тр}) \cdot \rho_ж = (3{,}0 + 0{,}2) \cdot 987 = 3158{,}4 \text{ кг}.$$

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:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0{,}8 \cdot 3{,}44^{0{,}33}}{30} + \frac{3 \cdot 3{,}44^{0{,}66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 3{,}44}{30^3} \right) = 4{,}87 \text{ кПа};$$

$$m_{пр} = \frac{19{,}329 \cdot 10^6}{4{,}52 \cdot 10^6} \cdot 8{,}05 \cdot 0{,}1 = 3{,}44 \text{ кг}.$$

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 ВН.

8. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q, входящих в формулу (В.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 480}{3{,}14}} = 24{,}73 \text{ м};$$

$$F = F_и = 0{,}15 \cdot 1000 \cdot (V_ж + V_тр) = 0{,}15 \cdot 1000 \cdot (3 + 0{,}2) = 480 \text{ м}^2;$$

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M}{\rho_в \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0{,}61} = 42 \cdot 24{,}73 \cdot \left(\frac{0{,}04}{1{,}138 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 24{,}73}}\right) = 25{,}2 \text{ м};$$

$$M = 0{,}04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \text{ (табл. В.1 [1])};$$

$$\rho_в = \frac{28{,}96}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 37)} = 1{,}138 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 25{,}2}{24{,}73} = 2{,}04;$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} = \frac{2 \cdot 30}{24{,}73} = 2{,}43;$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} = \frac{1 + 2{,}43^2}{2 \cdot 2{,}43} = 1{,}42;$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} = \frac{2{,}04^2 + 2{,}43^2 + 1}{2 \cdot 2{,}43} = 2{,}28;$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \text{arctg}\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}}\right) - \frac{h}{S} \times\right.$$

$$\times\left\{\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right)-\frac{A}{\sqrt{A^2-1}}\cdot\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}}\right)\right\}\Bigg]=$$

$$=\frac{1}{3{,}14}\cdot\left[\frac{1}{2{,}43}\cdot\operatorname{arctg}\left(\frac{2{,}04}{\sqrt{2{,}43^2-1}}\right)-\frac{2{,}04}{2{,}43}\cdot\left\{\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{2{,}43-1}{2{,}43+1}}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{2{,}28}{\sqrt{2{,}28^2-1}}\cdot\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}28+1)\cdot(2{,}43-1)}{(2{,}28-1)\cdot(2{,}43+1)}}\right)\right\}\right]=0{,}3185\times$$

$$\times\left[0{,}412\cdot\operatorname{arctg}0{,}921-0{,}840\cdot\left\{\operatorname{arctg}0{,}646-1{,}113\cdot\operatorname{arctg}1{,}034\right\}\right]=$$

$$=0{,}3185\cdot\left[0{,}3066+0{,}2681\right]=0{,}1830;$$

$$F_{\text{н}}=\frac{1}{\pi}\cdot\left[\frac{B-\frac{1}{S}}{\sqrt{B^2-1}}\cdot\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(B+1)\cdot(S-1)}{(B-1)\cdot(S+1)}}\right)-\frac{A-\frac{1}{S}}{\sqrt{A^2-1}}\times\right.$$

$$\left.\times\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}}\right)\right]=\frac{1}{3{,}14}\cdot\left[\frac{1{,}42-\frac{1}{2{,}43}}{\sqrt{1{,}42^2-1}}\times\right.$$

$$\times\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(1{,}42+1)\cdot(2{,}43-1)}{(1{,}42-1)\cdot(2{,}43+1)}}\right)-\frac{2{,}28-\frac{1}{2{,}43}}{\sqrt{2{,}28^2-1}}\times$$

$$\left.\times\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}28+1)\cdot(2{,}43-1)}{(2{,}28-1)\cdot(2{,}43+1)}}\right)\right]=0{,}3185\cdot\left[1{,}000\cdot\operatorname{arctg}1{,}550-\right.$$

$$-0{,}912 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}034\big] = 0{,}3185 \cdot [0{,}9978 - 0{,}7315] = 0{,}0848;$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_н^2} = \sqrt{0{,}1830^2 + 0{,}0848^2} = 0{,}2017.$$

9. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (В.34) [1]:

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

$$= \exp[-7{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0{,}5 \cdot 24{,}73)] = 0{,}9877.$$

10. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении пролива жидкости согласно формуле (В.24) [1]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 19 \cdot 0{,}2017 \cdot 0{,}9877 = 3{,}78 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$E_f = 19 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (табл. В.1 [1] по нефти).}$$

11. Расчетная интенсивность теплового излучения не превышает 4 кВт $\cdot$ 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 $H_т = 1{,}5 \cdot 10^7$ Дж $\cdot$ кг$^{-1}$. Критический размер частиц взрывоопасной взвеси древесной

пыли d^* = 250 мкм. Стехиометрическая концентрация принимается равной $\rho_{ст}$ = 0,25 кг · 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 $\rho_{ст}$ в воздухе при нормальных условиях (атмосферное давление 101,3 кПа, температура 20 °С), могут задаваться одним из трех способов:

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

2) указанием сведений о брутто-формуле химического состава вещества, например, в виде $C_УH_BO_KN_A$. 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

$$\rho_{ст} = 0{,}0087 \cdot (12 \cdot У + В + 16 \cdot К + 14 \cdot А)/(У + В/4 - К/2).$$

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 $\rho_{ст}$ производится по формуле

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

где M_O – масса кислорода в 1 м^3 воздуха; допускается принимать M_O = 0,24 кг · м$^{-3}$.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в рассматриваемой установке не присутствуют горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, 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 $V_{ав} = 30$ 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 ΔP 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]:

$$m = \min \begin{cases} m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}} \\ \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}} / Z \end{cases}.$$

Поскольку $m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}} = 0 + 5000 = 5000$ кг; $\rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}}/Z = 0{,}25 \cdot 30/0{,}5 = 15$ кг, следует принять $m = 15$ кг.

Для надежного выполнения расчета ΔP 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 $H_{\text{т}}$. Понятно, что масса m не может превысить общую массу пыли в этом облаке ($m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}$), которая записана в верхней строке формулы (А. 17) [1]. Но масса m может быть меньше ($m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}$). 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 $\rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}}$, 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 $m_{пр}$, кг, определяют по формуле (В.21) [1]:

$$m_{пр} = m \cdot Z \cdot H_т/H_{т0} = 15 \cdot 0{,}1 \cdot 1{,}5 \cdot 10^7/4{,}52 \cdot 10^6 = 4{,}9 \text{ кг}.$$

7. Определение избыточного давления взрыва ΔP на расстоянии $r = 30$ м от наружной установки производится по формуле (В.22) [1]:

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

$$= 101{,}3 \cdot (0{,}8 \cdot 4{,}9^{0,33}/30 + 3 \times$$

$$\times 4{,}9^{0,66}/30^2 + 5 \cdot 4{,}9/30^3) = 5{,}6 \text{ кПа}.$$

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 $\rho_н = 300$ кг $\cdot$ м$^{-3}$, угол естественного откоса для отложения древесной пыли составляет $\alpha = 45°$, массовая скорость выгорания отложения древесной пыли составляет 0,01 кг $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ с$^{-1}$; плотность воздуха $\rho_в = 1{,}2$ кг $\cdot$ м$^{-3}$.

В рассматриваемой установке не присутствуют горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, 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 БН. 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 $r = 30$ м от наружной установки составляет 5,6 кПа.

3. Импульс волны давления i, Па · с, вычисляем по формуле (В.23) [1]:

$$i = 123 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}/r = 123 \cdot 4,9^{0,66}/30 = 11,7 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

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

$$\text{Pr} = 5 - 0,26 \cdot \ln \cdot (V) = 5 - 7,7 = -2,7,$$

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 $P(a) < 10^{-6}$ 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 соответст-

вии с критерием п. 7.3 [1] зависит от расчетного значения интенсивности теплового излучения от очага пожара, вызванного загоранием просыпавшейся из установки пыли, на расстоянии $r = 30$ 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 $V_п = 30$ м^3. Такое количество пыли при просыпании на землю образует объект в виде конуса (угол откоса равен $\alpha = 45$ °С) с высотой H, равной радиусу основания R.

Приравнивая объем конуса к начальному объему пыли, получим:

$$(1/3) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H = V_п,$$

откуда следует: $H = R = (3 \cdot V_п/\pi)^{1/3} = (3 \cdot 30/3{,}14)^{1/3} = 3$ м.

10. В соответствии с формулой (В.24) [1] интенсивность теплового излучения q, кВт · 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, кВт · м$^{-2}$; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

В соответствии с примечанием к табл. В.1 допускается принимать $E_f = 40$ кВт · м$^{-2}$.

Из общих соображений следует, что величина углового коэффициента облученности подчиняется соотношению

$$F_q \le S_{max}/r_{min}^2,$$

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 $r = 30$ м от наружной установки.

Согласно п. В.5.1 [1] при горении тонкого цилиндрического слоя древесной пыли, лежащего на поверхности земли и имеющего диаметр $d = 2R = 6$ м, форму пламени можно представить цилиндром с основанием того же диаметра и высотой H, равной

$$H = 42 \cdot d \cdot [M/(\rho_в \cdot g^{0,5} \cdot d^{0,5})]^{0,61} =$$

$$= 42 \cdot 6 \cdot [0,01/1,2 \cdot 9,8^{0,5} \cdot 6^{0,5}] = 3,84 \text{ м}.$$

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,

$$F_q \le 3,14 \cdot 3^2/(30 - 3)^2 = 0,04.$$

Согласно формуле (В.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:

$$q \le 40 \cdot 0,04 \cdot 0,98 = 1,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

11. Поскольку $q < 4$ кВт $\cdot$ 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 $V_ж = 7{,}2$ м^3. Площадка не имеет ограждения.

1.2. Индустриальное масло И-5А – горючая жидкость. Температура вспышки $t_{всп} > 118$ °С. Плотность жидкости при $t_ж = 20$ °С равна $\rho_ж = 888$ кг · м$^{-3}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Владимир) [3] составляет $t_р = 37$ °С.

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 $F = 1080$ 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]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1080}{3{,}14}} = 37{,}1 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M}{\rho_в \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0{,}61} = 42 \cdot 37{,}1 \times$$

$$\times \left(\frac{0{,}04}{1{,}138 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 37{,}1}} \right)^{0{,}61} = 33{,}4 \text{ м};$$

$M = 0{,}04$ кг $\cdot$ м$^{-2} \cdot$ с$^{-1}$ (табл. В.1 [1]);

$$\rho_в = \frac{28{,}96}{22{,}413(1 + 0{,}00367 \cdot 37)} = 1{,}138 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 33{,}4}{37{,}1} = 1{,}80;$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} = \frac{2 \cdot 30}{37{,}1} = 1{,}62;$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} = \frac{1 + 1{,}62^2}{2 \cdot 1{,}62} = 1{,}12;$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} = \frac{1{,}8^2 + 1{,}62^2 + 1}{2 \cdot 1{,}62} = 2{,}12;$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \text{arctg} \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \times \right.$$

$$\times\left\{\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right)-\frac{A}{\sqrt{A^2-1}}\cdot\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}}\right)\right\}\Bigg]=$$

$$=\frac{1}{3{,}14}\cdot\left[\frac{1}{1{,}62}\cdot\operatorname{arctg}\left(\frac{1{,}8}{\sqrt{1{,}62^2-1}}\right)-\frac{1{,}8}{1{,}62}\cdot\left\{\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{1{,}62-1}{1{,}62+1}}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{2{,}12}{\sqrt{2{,}12^2-1}}\cdot\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}12+1)\cdot(1{,}62-1)}{(2{,}12-1)\cdot(1{,}62+1)}}\right)\right\}\right]=0{,}3185\times$$

$$\times\left[0{,}617\cdot\operatorname{arctg}1{,}412-1{,}111\cdot\left\{\operatorname{arctg}0{,}486-1{,}134\cdot\operatorname{arctg}0{,}812\right\}\right]=$$

$$=0{,}3185\cdot\left[0{,}5890+0{,}3193\right]=0{,}2893;$$

$$F_{\text{н}}=\frac{1}{\pi}\cdot\left[\frac{B-\frac{1}{S}}{\sqrt{B^2-1}}\cdot\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(B+1)\cdot(S-1)}{(B-1)\cdot(S+1)}}\right)-\frac{A-\frac{1}{S}}{\sqrt{A^2-1}}\times\right.$$

$$\left.\times\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}}\right)\right]=\frac{1}{3{,}14}\cdot\left[\frac{1{,}12-\frac{1}{1{,}62}}{\sqrt{1{,}12^2-1}}\times\right.$$

$$\times\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(1{,}12+1)\cdot(1{,}62-1)}{(1{,}12-1)\cdot(1{,}62+1)}}\right)-\frac{2{,}12-\frac{1}{1{,}62}}{\sqrt{2{,}12^2-1}}\times$$

$$\left.\times\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}12+1)\cdot(1{,}62-1)}{(2{,}12-1)\cdot(1{,}62+1)}}\right)\right]=0{,}3185\cdot\left[0{,}997\cdot\operatorname{arctg}2{,}045-\right.$$

$$-0{,}804 \cdot \operatorname{arctg} 0{,}812] = 3{,}185 \cdot [1{,}1126 - 0{,}5483] = 0{,}1797;$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_н^2} = \sqrt{0{,}2893^2 + 0{,}1797^2} = 0{,}3406.$$

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]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 13 \cdot 0{,}3406 \cdot 0{,}9920 = 4{,}39 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$E_f = 13$ кВт $\cdot$ м$^{-2}$ (табл. В.1 [1] по нефти).

7. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает 4 кВт $\cdot$ 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 $V_ж = 1{,}0$ м^3. Под трансформатором размещен поддон-маслосборник объемом $V_м = 1{,}2$ м^3. Площадь поддона $F = 20$ м^2.

1.2. Трансформаторное масло – горючая жидкость. Температура вспышки $t_{всп} > 135$ °С. Плотность жидкости $\rho_ж = 880$ кг $\cdot$ м$^{-3}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Ростов-на-Дону) [3] составляет $t_р = 40$ °С.

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 $F = 20$ 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]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 20}{3{,}14}} = 5{,}05 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 5{,}05 \cdot \left(\frac{0{,}04}{1{,}127 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 5{,}05}} \right)^{0{,}61} = 8{,}4 \text{ м};$$

$$M = 0{,}04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \text{ (табл. В.1 [1])};$$

$$\rho_в = \frac{28{,}96}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 40)} = 1{,}127 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot 8{,}4}{5{,}05} = 3{,}33;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{5{,}05} = 11{,}88;$$

$$B = \frac{1 + 11{,}88^2}{2 \cdot 11{,}88} = 5{,}98;$$

$$A = \frac{3{,}33^2 + 11{,}88^2 + 1}{2 \cdot 11{,}88} = 6{,}45;$$

$$F_v = \frac{1}{3{,}14}\cdot\left[\frac{1}{11{,}88}\cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{3{,}33}{\sqrt{11{,}88^2-1}}\right) - \frac{3{,}33}{11{,}88}\cdot\left\{\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{11{,}88-1}{11{,}88+1}}\right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{6{,}45}{\sqrt{6{,}45^2-1}}\cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(6{,}45+1)\cdot(11{,}88-1)}{(6{,}45-1)\cdot(11{,}88+1)}}\right)\right\}\right] = 0{,}3185\times$$

$$\times\left[0{,}084\cdot \operatorname{arctg} 0{,}281 - 0{,}280\cdot\left\{\operatorname{arctg} 0{,}919 - 1{,}012\cdot \operatorname{arctg} 1{,}074\right\}\right] =$$

$$= 0{,}3185\cdot[0{,}0230 + 0{,}0246] = 0{,}0152;$$

$$F_н = 0{,}3185\cdot\left[\frac{5{,}98-\dfrac{1}{11{,}88}}{\sqrt{5{,}98^2-1}}\cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(5{,}98+1)\cdot(11{,}88-1)}{(5{,}98-1)\cdot(11{,}88+1)}}\right) - \right.$$

$$\left. - \frac{6{,}45-\dfrac{1}{11{,}88}}{\sqrt{6{,}45^2-1}}\cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(6{,}45+1)\cdot(11{,}88-1)}{(6{,}45-1)\cdot(11{,}88+1)}}\right)\right] = 0{,}3185\times$$

$$\times\left[1{,}000\cdot \operatorname{arctg} 1{,}088 - 0{,}999\cdot \operatorname{arctg} 1{,}074\right] =$$

$$= 3{,}185\cdot[0{,}8275 - 0{,}8202] = 0{,}002325;$$

$$F_q = \sqrt{0{,}0152^2 + 0{,}002325^2} = 0{,}0154.$$

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (В.34) [1]:

$$\tau = \exp\left[-7{,}0\cdot 10^{-4}\cdot(30 - 0{,}5\cdot 5{,}05)\right] = 0{,}9810.$$

6. Вычисляем интенсивность теплового излучения q при горении пролива жидкости согласно формуле (В.24) [1]:

$$q = E_f\cdot F_q\cdot\tau = 25\cdot 0{,}054\cdot 0{,}9810 = 0{,}38 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2};$$

$E_f = 25$ кВт $\cdot$ м$^{-2}$ (табл. В.1 [1] по нефти).

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения не превышает 4 кВт $\cdot$ 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 $F = 1000$ м^2.

1.2. Пиломатериалы – горючий материал. Удельная массовая скорость выгорания пиломатериалов $M = 0{,}04$ кг $\cdot$ м$^{-2} \cdot$ с$^{-1}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Архангельск) [3] составляет $t_р = 34$ °С.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении пиломатериалов на складе принимается горение на площади их размещения $F = 1000$ 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]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1000}{3{,}14}} = 35{,}7 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 35{,}7 \cdot \left(\frac{0{,}04}{1{,}1488 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 35{,}7}} \right)^{0{,}61} = 32{,}4 \text{ м};$$

$$\rho_{в} = \frac{28,96}{22,413 \cdot (1+0,00367 \cdot 34)} = 1,1488 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot 32,4}{35,7} = 1,82;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{35,7} = 1,68;$$

$$B = \frac{1+1,68^2}{2 \cdot 1,68} = 1,14;$$

$$A = \frac{1,82^2 + 1,68^2 + 1}{2 \cdot 1,68} = 2,12;$$

$$F_{\nu} = 0,3185 \cdot \left[\frac{1}{1,68} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1,82}{\sqrt{1,68^2 - 1}} \right) - \frac{1,82}{1,68} \cdot \left\{ \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{1,68-1}{1,68+1}} \right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{2,12}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2,12+1) \cdot (1,68-1)}{(2,12-1) \cdot (1,68+1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times$$

$$\times [0,595 \cdot \operatorname{arctg} 1,348 - 1,083 \cdot \{\operatorname{arctg} 0,504 - 1,134 \cdot \operatorname{arctg} 0,841\}] =$$

$$= 0,3185 \cdot [0,5549 + 0,3532] = 0,2892;$$

$$F_{н} = 0,3185 \cdot \left[\frac{1,14 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{1,14^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(1,14+1) \cdot (1,68-1)}{(1,14-1) \cdot (1,68+1)}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{2,12 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2,12+1) \cdot (1,68-1)}{(2,12-1) \cdot (1,68+1)}} \right) \right] = 0,3185 \times$$

$$\times[0{,}995 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}969 - 0{,}816 \cdot \operatorname{arctg} 0{,}841] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot [1{,}0954 - 0{,}5706] = 0{,}6171;$$

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2} = \sqrt{0{,}2892^2 + 0{,}1671^2} = 0{,}3340.$$

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]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 40 \cdot 0{,}3340 \cdot 0{,}9915 = 13{,}25 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$E_f = 40$ кВт $\cdot$ м$^{-2}$ (примечание к табл. В.1 [1]).

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения превышает 4 кВт $\cdot$ 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 $F = 200$ м^2.

1.2. Пластик – полимерный горючий материал. Удельная массовая скорость выгорания пластика $M = 0{,}04$ кг $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ с$^{-1}$. Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Санкт-Петербург) [3] составляет $t_р = 33$ °С.

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении пластиковых поддонов на складе принимается горение на площади их размещения $F = 200$ 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]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 200}{3{,}14}} = 16 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 16 \cdot \left(\frac{0{,}04}{1{,}1525 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 16}} \right)^{0{,}61} = 18{,}5 \text{ м};$$

$$\rho_в = \frac{28{,}96}{22{,}413 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 33)} = 1{,}1525 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$h = \frac{2 \cdot 18{,}5}{16} = 2{,}31;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{16} = 3{,}75;$$

$$B = \frac{1 + 3{,}75^2}{2 \cdot 3{,}75} = 2{,}01;$$

$$A = \frac{2{,}31^2 + 3{,}75^2 + 1}{2 \cdot 3{,}75} = 2{,}72;$$

$$F_v = 0{,}3185 \cdot \left[\frac{1}{3{,}75} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{2{,}31}{\sqrt{3{,}75^2 - 1}} \right) - \frac{2{,}31}{3{,}75} \cdot \left\{ \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{3{,}75 - 1}{3{,}75 + 1}} \right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{2{,}72}{\sqrt{2{,}72^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}72 + 1) \cdot (3{,}75 - 1)}{(2{,}72 - 1) \cdot (2{,}72 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0{,}3185 \times$$

$$\times \left[0{,}267 \cdot \operatorname{arctg} 0{,}639 - 0{,}616 \cdot \left\{ \operatorname{arctg} 0{,}761 - 1{,}075 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}264 \right\} \right] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot [0{,}1518 + 0{,}3186] = 0{,}1498;$$

$$F_{н} = 0{,}3185 \cdot \left[\frac{2{,}01 - \dfrac{1}{3{,}75}}{\sqrt{2{,}01^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}01+1)\cdot(3{,}75-1)}{(2{,}01-1)\cdot(3{,}75+1)}} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{2{,}72 - \dfrac{1}{3{,}75}}{\sqrt{2{,}72^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(2{,}72+1)\cdot(3{,}75-1)}{(2{,}72-1)\cdot(3{,}75+1)}} \right) \right] = 0{,}3185 \times$$

$$\times [1{,}000 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}314 - 0{,}970 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}119] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot [0{,}9203 - 0{,}8162] = 0{,}0332;$$

$$F_q = \sqrt{0{,}1498^2 + 0{,}0332^2} = 0{,}1534.$$

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]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 40 \cdot 0{,}1534 \cdot 0{,}9847 = 6{,}04 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

$E_f = 40$ кВт $\cdot$ м$^{-2}$ (примечание к табл. В.1 [1]).

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения превышает 4 кВт $\cdot$ 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 ВН.

Пример 48

1. Исходные данные и обоснование расчетного варианта аварии аналогичны примеру 47. Площадь размещения пластиковых поддонов $F = 50$ м^2.

2. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности F_q, входящих в формулу (В.27) [1]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3{,}14}} = 8 \text{ м};$$

$$H = 42 \cdot 8 \cdot \left(\frac{0{,}04}{1{,}1525 \cdot \sqrt{9{,}81 \cdot 8}} \right)^{0{,}61} = 11{,}4 \text{ м};$$

$$h = \frac{2 \cdot 11{,}4}{8} = 2{,}85;$$

$$S = \frac{2 \cdot 30}{8} = 7{,}50;$$

$$B = \frac{1 + 7{,}5^2}{2 \cdot 7{,}5} = 3{,}82;$$

$$A = \frac{2{,}85^2 + 7{,}5^2 + 1}{2 \cdot 7{,}5} = 4{,}36;$$

$$F_v = 0{,}3185 \cdot \left[\frac{1}{7{,}5} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{2{,}85}{\sqrt{7{,}5^2 - 1}} \right) - \frac{2{,}85}{7{,}5} \cdot \left\{ \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{7{,}5 - 1}{7{,}5 + 1}} \right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{4{,}36}{\sqrt{4{,}36^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(4{,}36 + 1) \cdot (7{,}5 - 1)}{(4{,}36 - 1) \cdot (7{,}5 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0{,}3185 \times$$

$$\times \left[0{,}133 \cdot \operatorname{arctg} 0{,}383 - 0{,}380 \cdot \left\{ \operatorname{arctg} 0{,}874 - 1{,}027 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}104 \right\} \right] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot [0{,}0486 + 0{,}0528] = 0{,}0323;$$

$$F_н = 0{,}3185 \cdot \left[\frac{3{,}82 - \frac{1}{7{,}5}}{\sqrt{3{,}82^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(3{,}82 + 1) \cdot (7{,}5 - 1)}{(3{,}82 - 1) \cdot (7{,}5 + 1)}} \right) - \right.$$

$$- \frac{4{,}36 - \frac{1}{7{,}5}}{\sqrt{4{,}36^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{(4{,}36+1)\cdot(7{,}5-1)}{(4{,}36-1)\cdot(7{,}5+1)}}\right)\Bigg] = 0{,}3185\times$$

$$\times\left[1{,}000 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}143 - 0{,}996 \cdot \operatorname{arctg} 1{,}104\right] =$$

$$= 0{,}3185 \cdot [0{,}8520 - 0{,}8314] = 0{,}0066;$$

$$F_q = \sqrt{0{,}0323^2 + 0{,}0066^2} = 0{,}033.$$

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 кВт $\cdot$ 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.

Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкпр}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_a				
1	Амилацетат	$C_7H_{14}O_2$	130,196	+43	+290	6,29350	1579,510	221,365	25÷147	1,08	ЛВЖ	29879
2	Амилен	C_5H_{10}	70,134	<–18	+273	5,91048	1014,294	229,783	–60÷100	1,49	ЛВЖ	45017
3	н-Амиловый спирт	$C_5H_{12}O$	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_6H_7N	93,128	+73	+617	6,04622	1457,02	176,195	35÷184	1,3	ГЖ	32386
6	Ацетальдегид	C_2H_4O	44,053	–40	+172	6,31653	1093,537	233,413	–80÷20	4,12	ЛВЖ	27071
7	Ацетилен	C_2H_2	26,038	–	+335	–	–	–	–	2,5	ГГ (ВВ)	49965
8	Ацетон	C_3H_6O	58,08	–18	+535	6,37551	1281,721	237,088	–15÷93	2,7	ЛВЖ	31360
9	Бензиловый спирт	C_7H_8O	108,15	+90	+415	–	–	–	–	1,3	ГЖ	–
10	Бензол	C_6H_6	78,113	–11	+560	5,61391 6,10906	902,275 1252,776	178,099 225,178	–20÷6 –7÷80	1,43	ЛВЖ	40576
11	1,3-Бутадиен	C_4H_6	54,091	–	+430	–	–	–	–	2,0	ГГ	44573
12	н-Бутан	C_4H_{10}	58,123	–69	+405	6,00525	968,098	242,555	–130÷0	1,8	ГГ	45713
13	1-Бутен	C_4H_8	56,107	–	+384	–	–	–	–	1,6	ГГ	45317
14	2-Бутен	C_4H_8	56,107	–	+324	–	–	–	–	1,8	ГГ	45574
15	н-Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	116,16	+29	+330	6,25205	1430,418	210,745	59÷126	1,35	ЛВЖ	28280
16	втор-Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	116,16	+19	+410	–	–	–	–	1,4	ЛВЖ	28202
17	н-Бутиловый спирт	$C_4H_{10}O$	74,122	+35	+340	8,72232	2664,684	279,638	–1÷126	1,8	ЛВЖ	36805

Продолжение таблицы

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкпр}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_a				
18	Винилхлорид	C_2H_3Cl	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
20	н-Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	226,44	+128	+207	5,91242	1656,405	136,869	105÷287	0,47	ГЖ (ТГВ)	44312
21	н-Гексан	C_6H_{14}	86,177	–23	+233	5,99517	1166,274	223,661	–54÷69	1,24	ЛВЖ	45105
22	н-Гексиловый спирт	$C_6H_{14}O$	102,17	+60	+285	6,17894 7,23663	1293,831 1872,743	152,631 202,666	52÷157 60÷108	1,2	ЛВЖ	39587
23	Гептан	C_7H_{16}	100,203	–4	+223	6,07647	1295,405	219,819	60÷98	1,07	ЛВЖ	44919
24	Гидразин	N_2H_4	32,045	+38	+132	7,99805	2266,447	266,316	84÷112	4,7	ЛВЖ (ВВ)	14644
25	Глицерин	$C_3H_8O_3$	92,1	+198	+400	8,177393	3074,220	214,712	141÷263	2,6	ГЖ	16102
26	Декан	$C_{10}H_{22}$	142,28	+47	+230	6,52023	1809,975	227,700	17÷174	0,7	ЛВЖ	44602
27	Дивиниловый эфир	C_4H_6O	70,1	–30	+360	–	–	–	–	1,7	ЛВЖ	32610
28	N,N-Диметил-формамид	C_3H_7ON	73,1	+53	+440	6,15939	1482,985	204,342	25÷153	2,35	ЛВЖ	–
29	1,4-Диоксан	$C_4H_8O_2$	88,1	+11	+375	6,64091	1632,425	250,725	12÷101	2,0	ЛВЖ	–
30	1,2-Дихлорэтан	$C_2H_4Cl_2$	98,96	+9	+413	6,78615	1640,179	259,715	–24÷83	6,2	ЛВЖ	10873
31	Диэтиламин	$C_4H_{11}N$	73,14	–14	+310	6,34794	1267,557	236,329	–33÷59	1,78	ЛВЖ	34876
32	Диэтиловый эфир	$C_4H_{10}O$	74,12	–41	+180	6,12270	1098,945	232,372	–60÷35	1,7	ЛВЖ	34147
33	н-Додекан	$C_{12}H_{26}$	170,337	+77	+202	7,29574	2463,739	253,884	48÷214	0,63	ГЖ	44470
34	Изобутан	C_4H_{10}	58,123	–76	+462	5,95318	916,054	243,783	–159÷12	1,81	ГГ	45578
35	Изобутилен	C_4H_8	56,11	–	+465	–	–	–	–	1,78	ГГ	45928

Продолжение таблицы

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкпр}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_a				
36	Изобутиловый спирт	$C_4H_{10}O$	74,12	+28	+390	7,83005	2058,392	245,642	–9÷116	1,8	ЛВЖ	36743
37	Изопентан	C_5H_{12}	72,15	–52	+432	5,91799	1022,551	233,493	–83÷28	1,36	ЛВЖ	45239
38	Изопропилбензол	C_9H_{12}	120,20	+37	+424	6,06756	1461,643	207,56	2,9÷152,4	0,88	ЛВЖ	46663
39	Изопропиловый спирт	C_3H_8O	60,09	+14	+430	7,51055	1733,00	232,380	–26÷148	2,23	ЛВЖ	34139
40	м-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+28	+530	6,13329	1461,925	215,073	–20÷220	1,1	ЛВЖ	52829
41	о-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+31	+460	6,28893	1575,114	223,579	–3,8÷144,4	1,0	ЛВЖ	41217
42	п-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	–8,1÷138,3	1,1	ЛВЖ	41207
43	Метан	CH_4	16,04	–	+537	5,68923	380,224	264,804	–182÷ –162	5,28	ГГ	50000
44	Метиловый спирт	CH_4O	32,04	+6	+440	7,3527	1660,454	245,818	–10÷90	6,98	ЛВЖ	23839
45	Метилпропилкетон	$C_5H_{10}O$	86,133	+6	+452	6,98913	1870,4	273,2	–17÷103	1,49	ЛВЖ	33879
46	Метилэтилкетон	C_4H_8O	72,107	–6	–	7,02453	1292,791	232,340	–48÷80	1,90	ЛВЖ	–
47	Нафталин	$C_{10}H_8$	128,06	+80	+520	9,67944 6,7978	3123,337 2206,690	243,569 245,127	0÷80 80÷159	0,9	ТГВ	39435
48	н-Нонан	C_9H_{20}	128,257	+31	+205	6,17776	1510,695	211,502	2÷150	0,78	ЛВЖ	44684
49	Оксид углерода	CO	28,01	–	+605	–	–	–	–	12,5	ГГ	10104
50	Оксид этилена	C_2H_4O	44,05	–18	+430	–	–	–	–	3,2	ГГ (ВВ)	27696

Продолжение таблицы

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкпр}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_a				
51	н-Октан	C_8H_{18}	114,230	+14	+215	6,09396	1379,556	211,896	–14÷126	0,9	ЛВЖ	44787
52	н-Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	212,42	+115	+203	6,0673	1739,084	157,545	92÷270	0,5	ГЖ	44342
53	н-Пентан	C_5H_{12}	72,150	–44	+286	5,97208	1062,555	231,805	–50÷36	1,47	ЛВЖ	45350
54	γ-Пиколин	C_6H_7N	93,128	+39	+578	6,44382	1632,315	224,787	70÷145	1,4	ЛВЖ	36702
55	Пиридин	C_5H_5N	79,10	+20	+530	5,91684	1217,730	196,342	–19÷116	1,8	ЛВЖ	35676
56	Пропан	C_3H_8	44,096	–96	+470	5,95547	813,864	248,116	–189÷ –42	2,3	ГГ	46353
57	Пропилен	C_3H_6	42,080	–	+455	5,94852	786,532	247,243	–107,3÷ –47,1	2,4	ГГ	45604
58	н-Пропиловый спирт	C_3H_8O	60,09	+23	+371	7,44201	1751,981	225,125	0÷97	2,3	ЛВЖ	34405
59	Сероводород	H_2S	34,076	–	+246	–	–	–	–	4,3	ГГ	–
60	Сероуглерод	CS_2	76,14	–43	+102	6,12537	1202,471	245,616	–15÷80	1,0	ЛВЖ	14020
61	Стирол	C_8H_8	104,14	+30	+490	7,06542	2113,057	272,986	–7÷146	1,1	ЛВЖ	43888
62	Тетрагидрофуран	C_4H_8O	72,1	–20	+250	6,12008	1202,29	226,254	23÷100	1,8	ЛВЖ	34730
63	н-Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	198,39	+103	+201	6,40007	1950,497	190,513	76÷254	0,5	ГЖ	44377
64	Толуол	C_7H_8	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	–26,7÷110,6	1,27	ЛВЖ	40936
65	н-Тридекан	$C_{13}H_{28}$	184,36	+90	+204	7,09388	2468,910	250,310	59÷236	0,58	ГЖ	44424
66	2,2,4-Триметилпентан	C_8H_{18}	114,230	–4	+411	5,93682	1257,84	220,735	–60÷175	1,0	ЛВЖ	44647
67	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	60,05	+40	+465	7,10337	1906,53	255,973	–17÷118	4,0	ЛВЖ	13097
68	н-Ундекан	$C_{11}H_{24}$	156,31	+62	+205	6,80501	2102,959	242,574	31÷197	0,6	ГЖ	44527
69	Формальдегид	CH_2O	30,03	–	+430	5,40973	607,399	197,626	–19÷60	7,0	ГГ	19007

Окончание таблицы

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкпр}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_a				
70	Фталевый ангидрид	$C_8H_4O_3$	148,1	+153	+580	7,12439	2879,067	277,501	134÷285	1,7 (15г · м$^{-3}$)	ТГВ	–
71	Хлорбензол	C_6H_5Cl	112,56	+29	+637	6,38605	1607,316	235,351	–35÷132	1,4	ЛВЖ	27315
72	Хлорэтан	C_2H_5Cl	64,51	–50	+510	6,11140	1030,007	238,612	56÷12	3,8	ГГ	19392
73	Циклогексан	C_6H_{12}	84,16	–17	+259	5,96991	1203,526	222,863	6,5÷200	1,3	ЛВЖ	43833
74	Этан	C_2H_6	30,069	–	+515	–	–	–	–	2,9	ГГ	52413
75	Этилацетат	$C_4H_8O_2$	88,10	–3	+446	6,22672	1244,951	217,881	15÷75,8	2,0	ЛВЖ	23587
76	Этилбензол	C_8H_{10}	106,16	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	–9,8÷136,2	1,0	ЛВЖ	41323
77	Этилен	C_2H_4	28,05	–	+435	–	–	–	–	2,7	ГГ	46988
78	Этиленгликоль	$C_2H_6O_2$	62,068	+111	+412	8,13754	2753,183	252,009	53÷198	4,29	ГЖ	19329
79	Этиловый спирт	C_2H_6O	46,07	+13	+400	7,81158	1918,508	252,125	–31÷78	3,6	ЛВЖ	30562
80	Этилцеллозольв	$C_4H_{10}O_2$	90,1	+40	+235	7,86626	2392,56	273,15	20÷135	1,8	ЛВЖ	26382

Значения показателей пожарной опасности некоторых смесей и технических продуктов

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_A				
1	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	$C_{7,267}H_{14,796}$	102,2	–34	+300	7,54424	2629,65	384,195	–40÷100	0,79	ЛВЖ	44094
2	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084 – 67)	$C_{6,991}H_{13,108}$	97,2	–36	–	4,19500	682,876	222,066	–60÷85	1,08	ЛВЖ	44239
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	$C_{7,024}H_{13,706}$	98,2	–36	–	4,12311	664,976	221,695	–60÷95	1,06	ЛВЖ	43641
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	$C_{6,911}H_{12,168}$	95,3	–37	–	4,26511	695,019	223,220	–60÷90	1,1	ЛВЖ	43641
5	Дизельное топливо «З» (ГОСТ 305-73)	$C_{12,343}H_{23,889}$	172,3	>+35	+225	5,07818	1255,73	199,523	40÷210	0,61	ЛВЖ	43590
6	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-73)	$C_{14,511}H_{29,120}$	203,6	>+40	+210	5,00109	1314,04	192,473	60÷240	0,52	ЛВЖ	43419
7	Керосин осветительный КО-20 (ГОСТ 4753-68)	$C_{13,595}H_{26,860}$	191,7	>+40	+227	4,82177	1211,73	194,677	40÷240	0,55	ЛВЖ	43692
8	Керосин осветительный КО-22 (ГОСТ 4753-68)	$C_{10,914}H_{21,832}$	153,1	>+40	+245	5,59599	1394,72	204,260	40÷190	0,64	ЛВЖ	43692
9	Керосин осветительный КО-25 (ГОСТ 4753-68)	$C_{11,054}H_{21,752}$	154,7	>+40	+236	5,12496	1223,85	203,341	40÷190	0,66	ЛВЖ	43692
10	Ксилол (смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C_8H_{10}	106,17	+29	+490	6,17972	1478,16	220,535	0÷50	1,1	ЛВЖ	43154

Продолжение таблицы

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкп}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_a				
11	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	$C_{10,5}H_{21,0}$	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛВЖ	43966
12	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	$C_{21,74}H_{42,28}S_{0,04}$	303,9	>+135	+270	6,88412	2524,17	174,010	164÷343	0,29	ГЖ	43111
13	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	$C_{22,25}H_{33,48}S_{0,34}N_{0,07}$	312,9	>+170	+290	6,12439	2240,001	167,85	170÷376	0,2	ГЖ	42257
14	Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)	$C_{19,04}H_{24,58}S_{0,196}N_{0,04}$	260,3	>+189	+334	5,62020	2023,77	164,09	171÷396	0,2	ГЖ	41778
15	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат – 12, толуол – 62, ацетон – 26)	$C_{5,452}H_{7,606}O_{0,535}$	81,7	–7	+550	6,29685	1373,667	242,828	–15÷100	1,65	ЛВЖ	40936
16	Растворитель Р-4 (ксилол – 15, толуол – 70, ацетон – 15)	$C_{6,231}H_{7,798}C_{0,223}$	86,3	–4	–	6,27853	1415,199	244,752	–15÷100	1,38	ЛВЖ	43154
17	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат – 30, ксилол – 40, ацетон – 30)	$C_{5,309}H_{8,655}O_{0,897}$	86,8	–9	–	6,30343	1378,851	245,039	–15÷100	1,57	ЛВЖ	43154
18	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат – 30, ксилол – 10, толуол – 60)	$C_{6,837}H_{9,217}O_{0,515}$	99,6	+10	–	6,17297	1403,079	221,483	0÷100	1,26	ЛВЖ	43154
19	Растворитель М (н-бутилацетат – 30, этилацетат – 5, этиловый спирт – 60, изобутиловый спирт – 5)	$C_{2,761}H_{7,147}O_{1,187}$	59,36	+6	+397	8,05697	2083,566	267,735	0÷50	2,79	ЛВЖ	36743

Окончание таблицы

№ п/п	Продукт (ГОСТ, ТУ), состав смеси, % (масс.)	Суммарная формула	Молярная масса, кг · кмоль$^{-1}$	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР}$, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг$^{-1}$
						A	*B*	C_a				
20	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол – 10, этиловый спирт – 64, н-бутиловый спирт – 10, этилцеллозольв – 16)	$C_{2,645}H_{6,810}O_{1,038}$	55,24	+10	+374	8,69654	2487,728	290,920	0÷50	2,85	ЛВЖ	40936
21	Растворитель РМЛ-218 (МРТУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат – 9, ксилол – 21,5, толуол – 21, 5, этиловый спирт – 16, н-бутиловый спирт – 3, этилцеллозольв – 13, этилацетат – 16)	$C_{4,791}H_{8,318}O_{0,974}$	81,51	+4	+399	7,20244	1761,043	251,546	0÷50	1,72	ЛВЖ	43154
22	Растворитель РМЛ-315 (ТУ 6-10-1013-70) (н-бутилацетат – 18, ксилол – 25, толуол – 25, н-бутиловый спирт – 15, этилцеллозольв – 17)	$C_{5,962}H_{9,779}O_{0,845}$	94,99	+16	+367	6,83653	1699,687	241,00	0÷50	1,25	ЛВЖ	43154
23	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	$C_{10,5}H_{21,0}$	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛВЖ	43966

Значения низшей теплоты сгорания твердых горючих веществ и материалов

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания $Q_н^р$, МДж · кг$^{-1}$
Бумага:	
разрыхленная	13,40
книги, журналы	13,40
книги на деревянных стеллажах	13,40
Древесина (бруски, W = 14 %)	13,80
Древесина (мебель в жилых и административных зданиях, W = 8÷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

Окончание таблицы

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания $Q_н^р$, МДж · кг$^{-1}$
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 ρ = 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	$q_{кр}$, кВт · м$^{-2}$
Древесина (сосна влажность 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты плотностью 417 кг·м$^{-3}$	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковый	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
Винилискожа обивочная пониженной горючести, ТУ 17-21-488-84	30,0
Винилискожа, ТУ 17-21-473-84	32,0

Продолжение таблицы

Материалы	$q_{кр}$, кВт · м$^{-2}$
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 ССР-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 ССР-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

Окончание таблицы

Материалы	$q_{кр}$, кВт · м$^{-2}$
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, °С:	
300	12,1
350	15,5
400	19,9
500 и выше	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).

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положения 3
2. Порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности горючих газов 6
3. Порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности легковоспламеняющихся и горючих жидкостей 9
4. Порядок определения и упрощенные методы расчета параметров взрывопожарной опасности горючих пылей 14
5. Типовые примеры расчетов категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности 16
5.1. Помещения с горючими газами 16
5.2. Помещения с легковоспламеняющимися жидкостями 24
5.3. Помещения с нагретыми легковоспламеняющимися и горючими жидкостями 37
5.4. Помещения с горючими пылями 44
5.5. Помещения с горючими жидкостями 50
5.6. Помещения с твердыми горючими веществами и материалами 55
5.7. Помещения с горючими газами, легковоспламеняющимися жидкостями, горючими жидкостями, пылями, твердыми веществами и материалами 58
5.8. Примеры расчетов категорий зданий по взрывопожарной и пожарной опасности 78
5.8.1. Здания категории А 78
5.8.2. Здания категории Б 78
5.8.3. Здания категории В 80
5.8.4. Здания категории Г 81
5.8.5. Здания категории Д 82
6. Типовые примеры расчетов категорий наружных установок по пожарной опасности 84
6.1. Наружные установки с горючими газами 84
6.2. Наружные установки с легковоспламеняющимися жидкостями 95

6.3. Наружные установки с нагретыми горючими жидкостями 103
6.4. Наружные установки с горючими пылями 110
6.5. Наружные установки с горючими жидкостями 118
6.6. Наружные установки с твердыми горючими веществами и материалами 124
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ 131
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Значения показателей пожарной опасности некоторых смесей и технических продуктов 136
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Значения низшей теплоты сгорания твердых горючих веществ и материалов 139
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Значения критических плотностей падающих лучистых потоков 141
Литература 144

Технический редактор ***Л.А. Буланова***

Ответственный за выпуск ***Е.В. Смирнов***

Подписано в печать 24.03.2014 г. Формат 60×84/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 9,30. Т. – 200 экз. Заказ № 16.

Типография ФГБУ ВНИИПО МЧС России
мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха,
Московская обл., 143903

gost.e-ecolog.ru