

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

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 пожаро-взрывоопасных 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, касающиеся 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  $\beta$  по формуле (А.3) [1].

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

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

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

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

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

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

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

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

- для водорода ( $Z = 1,0$ )

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

- для метана ( $Z = 0,5$ )

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

- для этана ( $Z = 0,5$ )

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

- для пропана ( $Z = 0,5$ )

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

- для бутана ( $Z = 0,5$ )

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

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

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

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

- для водорода ( $Z = 1,0$ )

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

- для метана ( $Z = 0,5$ )

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

- для этана ( $Z = 0,5$ )

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

- для пропана ( $Z = 0,5$ )

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

- для бутана ( $Z = 0,5$ )

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

2.12. Определяется категория помещения по взрыво-пожарной и пожарной опасности на основании полученного значения избыточного давления взрыва  $\Delta P$  (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  $P_n$  (кПа) по формуле

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

3.3. Интенсивность испарения ЛВЖ и ГЖ  $W$  (кг · с<sup>-1</sup> · м<sup>-2</sup>), 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  $\eta$ . При отсутствии аварийной вентиляции или постоянно работающей общеобменной вентиляции в помещении значение коэффициента  $\eta$  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<sup>-1</sup>) и  $L$  – длина помещения, м. Исходя из значений  $U$  и  $t_p$  определяется значение коэффициента  $\eta$ .

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

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

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

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

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

- для дизельного топлива зимнего

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

- для бензина АИ-93 зимнего

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

- для гексана

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

- для м-ксилола

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

- для толуола

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

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

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

- для ацетона

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

- для этилового спирта

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

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

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

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

- для м-ксилола

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

- для гексана

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

- для бензина АИ-93 зимнего

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

- для дизельного топлива зимнего

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

- для толуола

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

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

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

- для ацетона

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

- для этилового спирта

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

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

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

- для ацетона:

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

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

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

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

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

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

- для бензина АИ-93 зимнего:

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

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

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

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

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

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

3.12. Определяется категория помещения по взрыво-пожарной и пожарной опасности на основании полученного значения избыточного давления взрыва  $\Delta P$  (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  $\Delta P$  (кПа) для горючих пылей согласно п. А.2.2 [1] при значении  $Z = 0,5$  определяется по формуле

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

где  $H_t$  – теплота сгорания вещества, МДж · кг<sup>-1</sup>.

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  $\Delta m_O$  в камере для сжигания в атмосфере кислорода пробной навески данного вещества  $\Delta m_x$ :  $\rho_{st,x} = (\Delta m_x / \Delta m_O) \cdot M_O$ , где  $M_O \approx 0,24 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$  – масса кислорода в 1  $\text{м}^3$  воздуха нормального состава при комнатной температуре.

4.4. Определяется категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности на основании полученного значения величины избыточного давления взрыва  $\Delta P$  (кПа). Если  $\Delta P > 5 \text{ кПа}$ , то помещение относится к взрывопожароопасной категории Б. Если  $\Delta P \leq 5 \text{ кПа}$ , то помещение не относится к взрывопожароопасной категории 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].

## 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  $V_n = 27,2 \text{ м}^3$  оборудуется аккумуляторными батареями СК-4 из 12 аккумуляторов и СК-1 из 13 аккумуляторов.

1.2. Максимальная абсолютная температура воздуха согласно [3] в районе строительства  $38^\circ\text{C}$  (г. Екатеринбург).

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

1.3.1. При расчете избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта принимается наиболее неблагоприятный в отношении взрыва период, связанный с формовкой и зарядом полностью разряженных батарей с напряжением более  $2,3 \text{ В}$  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 ( $\text{А} \cdot \text{ч}$ ). 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 ( $T = 3600 \text{ с}$ ).

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

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

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

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

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

1.4.2. Объем водорода, поступающего в помещение при заряде нескольких батарей,  $\text{м}^3$ , можно определить по формуле

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

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

Плотность водорода определяется по формуле

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

где  $M$  – масса одного киломоля водорода, равная 2 кг · кмоль<sup>-1</sup>;  $V_0$  – объем киломоля газа при нормальных условиях, равный 22,413 м<sup>3</sup> · кмоль<sup>-1</sup>;  $\alpha = 0,00367$  град<sup>-1</sup> – коэффициент температурного расширения газа;  $t_p$  – 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]:

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

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

1.6. Плотность водорода при расчетной температуре воздуха будет равна:

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

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

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

1.8. Свободный объем аккумуляторного помещения составит:

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

2. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  водорода в аккумуляторном помещении согласно формуле (2) Пособия будет равно:

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

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

3. Расчет избыточного давления взрыва  $\Delta P$  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  $8 \text{ ч}^{-1}$ , объем водорода, поступающего в помещение, составит:

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

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  при этом будет равно:

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

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

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

## Пример 2

### 1. Исходные данные.

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

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

### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

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

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

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

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

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

4. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$ , определенное по формуле (9) Пособия, составит:

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

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

### *Пример 3*

#### 1. Исходные данные.

1.1. Помещение участка наращивания кремния. Нарашивание поликристалла кремния осуществляется методом восстановления тетрахлорида кремния в атмосфере водорода на двух установках с давлением в их реакторах  $P_1 = 200$  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<sup>3</sup>. 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<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup>. Размеры помещения  $L \times S \times H = 15,81 \times 15,81 \times 6$  м. Объем помещения  $V_n = 1500$  м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения  $V_{cb} = 0,8 \cdot 1500 = 1200$  м<sup>3</sup>. Площадь помещения  $F = 250$  м<sup>2</sup>.

1.2. Молярная масса водорода  $M = 2,016$  кг · кмоль<sup>-1</sup>. 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]  $t_p = 41$  °С. Плотность водорода при  $t_p = 41$  °С

$$\rho_r = \frac{2,016}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 41)} = 0,0782 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$$
 Расчетное время отключения трубопровода по п. А.1.2 в) [1]  $T_a = 120$  с.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2. Значение предэкспоненциального множителя  $C_0$  составит:

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

4.3. Расстояния  $X_{\text{НКПР}}$ ,  $Y_{\text{НКПР}}$  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  $\Delta P$  согласно формуле (A.1) [1] составит:

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

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

## 5.2. Помещения с легковоспламеняющимися жидкостями

### Пример 4

#### 1. Исходные данные.

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

1.2. Молярная масса ацетона  $M = 58,08 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана:  $A = 6,37551$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_a = 237,088$ . Химическая формула ацетона  $C_3H_6O$ . Плотность ацетона (жидкости)  $\rho_n = 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Температура вспышки ацетона  $t_{vсп} = -18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одной бочки и разлив ацетона по полу помещения, исходя из условия, что 1 л ацетона разливается на 1  $\text{м}^2$  пола помещения. За расчетную температуру принимается абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Мурманск) согласно [3]  $t_p = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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

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

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

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

3.3. По формуле (A.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:

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

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

5. Масса паров ацетона, поступивших в помещение,  $m$  рассчитывается по формуле (A.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  $m = m_n = V_a \cdot \rho_{ж} = 0,08 \cdot 790,8 = 63,264 \text{ кг}$ .

6. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  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 «3» (ГОСТ 305-82)  $V_a = 6,3 \text{ м}^3$ . Размеры помещения  $L \times S \times H = 4,0 \times 4,0 \times 3,6 \text{ м}$ . Объем помещения  $V_p = 57,6 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 57,6 = 46,08 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 16 \text{ м}^2$ . Суммарная длина трубопроводов диаметром  $d_1 = 57 \text{ мм} = 0,057 \text{ м}$  ( $r_1 = 0,0285 \text{ м}$ ), ограниченная задвижками (ручными), установленными на подводящем и отводящем участках трубопроводов, составляет  $L_1 = 10 \text{ м}$ . Расход дизельного топлива в трубопроводах  $q = 1,5 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} = 0,0015 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

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

### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация топливного бака и выход из него и подводящих и отводящих трубопроводов дизельного топлива в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Благовещенск) согласно [3]  $t_p = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Плотность паров дизельного топлива при  $t_p = 41$  °C  
 $\rho_p = \frac{172,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 41)} = 6,6820$  кг · м<sup>-3</sup>. Расчетное

время отключения трубопроводов по п. А.1.2 [1]  $T_a = 300$  с, длительность испарения по п. А.1.2 е) [1]  $T = 3600$  с.

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

$$V_k = V_a + q \cdot T_a + \pi \cdot r_1^2 \cdot L_1 = 6,3 + 0,0015 \cdot 300 + 3,14 \times \\ \times 0,0285^2 \cdot 10 = 6,776 \text{ м}^3 = 6776 \text{ л}; \\ F_u = 1,0 \cdot 6776 = 6776 \text{ м}^2.$$

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

4. Определяем давление насыщенных паров дизельного топлива  $P_u$  при расчетной температуре  $t_p = 41$  °C:

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

5. Интенсивность испарения  $W$  дизельного топлива составит:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7.4. Значение параметра  $C^*$  будет равно:

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

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

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

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  $\Delta P$  согласно формуле (A.1) [1] составит:

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

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

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

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

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

$$S = F = 16 \text{ м}^2;$$

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

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

### Пример 6

#### 1. Исходные данные.

1.1. Помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха. В помещении находятся два бака для покрытия лаком БТ-99 полюсных катушек способом

окунания с подводящими и отводящими трубопроводами. Размеры помещения  $L \times S \times H = 32 \times 10 \times 8$  м. Объем помещения  $V_n = 2560$  м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения  $V_{cb} = 0,8 \cdot 2560 = 2048$  м<sup>3</sup>. Площадь помещения  $F = 320$  м<sup>2</sup>. Объем каждого бака  $V_{an} = 0,5$  м<sup>3</sup>. Степень заполнения бака лаком  $\varepsilon = 0,9$ . Объем лака в баке  $V_a = \varepsilon \cdot V_{an} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45$  м<sup>3</sup>. 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<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup>. Время отключения насоса  $T_a = 300$  с. В каждый бак попеременно загружается и выгружается единовременно по 10 шт. полюсных катушек, размещаемых в корзине. Открытое зеркало испарения каждого бака  $F_{emk} = 1,54$  м<sup>2</sup>. Общая поверхность 10 шт. свежеокрашенных полюсных катушек  $F_{cb,okp} = 6,28$  м<sup>2</sup>.

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 · м<sup>-3</sup>. Молярная масса ксилола  $M = 106,17$  кг · кмоль<sup>-1</sup>, уайт-спирита  $M = 147,3$  кг · кмоль<sup>-1</sup>. Химическая формула ксилола  $C_8H_{10}$ , уайт-спирита  $C_{10,5}H_{21,0}$ . Плотность жидкости ксилола  $\rho_{ж} = 855$  кг · м<sup>-3</sup>, уайт-спирита  $\rho_{ж} = 760$  кг · м<sup>-3</sup>. Температура вспышки ксилола  $t_{всп} = 29$  °С, уайт-спирита  $t_{всп} = 33$  °С. Низкий концентрационный предел распространения пламени ксилола  $C_{НКПР} = 1,1$  % (об.), уайт-спирита  $C_{НКПР} = 0,7$  % (об.). Теплота сгорания ксилола  $H_t = Q_h^p = 43154$  кДж · кг<sup>-1</sup> = 43,15 МДж · кг<sup>-1</sup>, уайт-спирита  $H_t = Q_h^p = 43966$  кДж · кг<sup>-1</sup> =

$= 43,97 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана для ксиола  $A = 6,17972$ ;  $B = 1\ 478,16$ ;  $C_a = 220,535$ ; для уайт-спирита  $A = 7,13623$ ;  $B = 2218,3$ ;  $C_a = 273,15$ .

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

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

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

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

3. Объем  $V_*$ , площадь разлива  $F_p$  поступившего в помещение при расчетной аварии лака и площадь испарения  $F_n$  определяются в соответствии с положениями п. А.1.2 [1]:

$$V_* = V_a + q \cdot T_a + \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 \cdot L_1 + d_2^2 \cdot L_2) = 0,45 + 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 300 + \\ + 0,785 \cdot (0,025^2 \cdot 10 + 0,04^2 \cdot 10) = 0,487 \text{ м}^3 = 487 \text{ л};$$

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

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

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

- для ксиола

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

$$P_h = 2,755 \text{ кПа};$$

- для уайт-спирита

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

$$P_h = 0,964 \text{ кПа.}$$

5. Интенсивность испарения  $W$  растворителя составит:

- по ксиолу

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

- по уайт-спириту

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7.3. Значение  $C_0$  будет равно:

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

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

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

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

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

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

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

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

- для ксилола

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

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

- для уайт-спирита

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

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

9. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  согласно формуле (А.1) [1] составит:

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

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

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

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

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

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

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

11.3. Масса поступивших в помещение паров растворителя (по ксилолу)  $m_u$  составит:

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

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:

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

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

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

$C_{cp} = 0,07 \% \text{ (об.)} < 0,5 \cdot C_{HKPR} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \% \text{ (об.)}.$   
Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров растворителя во взрыве  $Z$  расчетным методом.

11.6. Значение  $C_0$  будет равно:

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

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

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

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

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

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

11.8. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха при оснащении его аварийной вентиляцией или постоянно работающей общеобменной вентиляцией, удовлетворяющей требованиям п. А.2.3 [1], с кратностью воздухообмена  $A = 6 \text{ ч}^{-1}$  не относится к категории А или Б. Согласно п. Б.2 и табл. Б1 [1] проведем проверку при- надлежности помещения к категориям В1–В4.

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

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

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

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

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

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

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

### 5.3. Помещения с нагретыми легковоспламеняющимися и горючими жидкостями

#### Пример 7

##### 1. Исходные данные.

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

1.2. Молярная масса гексана  $M = 86,177 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана:  $A = 5,99517$ ;  $B = 1166,274$ ;  $C_a = 223,661$ . Химическая формула гексана  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ . Плотность гексана (жидкости) при температуре жидкости  $t_{\text{ж}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация приемной емкости и выход из нее и подводящих и отводящих трубопроводов гексана в объем помещения. За расчетную температуру принимается температура нагрева гексана в приемной емкости  $t_{p,2} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно [3]  $t_{p,1} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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

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

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

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

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

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

$$P_{h,1} = 33,18 \text{ кПа};$$

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

$$P_{h,2} = 54,13 \text{ кПа.}$$

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

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

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

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

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

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

$$m_n = V_r \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,041 \cdot 631,8 = 25,904 \text{ кг}.$$

3.6. Расчетная площадь разлившегося гексана  $F_n$  ( $\text{м}^2$ ) составит:

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

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

$$m_1 = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{n,2} \cdot \frac{C_* \cdot m_n}{L_{\text{исп}}} = 0,02 \cdot \sqrt{86,177} \cdot 54,13 \times$$

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

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

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

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

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

7. Суммарная масса испарившегося гексана составит:

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

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

8. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  согласно формуле (16) Посоbия 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  $T_1 = 130$  °C = 403,2 К. Температура нагретого ДМФА в сборнике  $T_a = 110$  °C = 383,2 К.

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

1.2. Молярная масса ДМФА  $M = 73,1 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана:  $A = 6,15939$ ;  $B = 1482,985$ ;  $C_a = 204,342$ . Химическая формула ДМФА  $\text{C}_3\text{H}_7\text{ON}$ . Стехиометрическая концентрация ДМФА  $C_{\text{ст}} = 4,64 \%$  (об.). Плотность жидкости ДМФА при  $t = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $\rho_{\text{ж}} = 950 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$  (с запасом для  $t = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$  при расчетах). Теплоемкость ДМФА принимаем с запасом для расчетов по гексану  $C_{\text{ж}} = 2514 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  (пример 7 Пособия). Температура вспышки ДМФА  $t_{\text{вспн}} = 53 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура кипения ДМФА  $t_{\text{к}} = 153 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплоту сгорания  $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 45,105 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$  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  $t_{\text{p},2} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (г. Москва) согласно [3]  $t_{\text{p},1} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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

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

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

при  $t_{p,2} = 110^\circ\text{C}$

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

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

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

$$P_n = 27,65 \text{ кПа.}$$

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

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

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

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

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

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

$$m_n = V_d \cdot \rho_k = 0,0534 \cdot 950 = 50,73 \text{ кг.}$$

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

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_h \cdot \frac{C_k \cdot m_n}{L_{ исп}} = \\ = 0,02 \cdot \sqrt{73,1} \cdot 27,65 \cdot \frac{2514 \cdot 50,73}{578037} = 1,043 \text{ кг.}$$

5. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  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  $g$ :

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

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

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

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

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

8. Удельная пожарная нагрузка менее  $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ , но площадь размещения пожарной нагрузки более  $10 \text{ м}^2$ . 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  $V_{cb} = 0,8 \cdot 8 \times 30 \cdot 10 = 1920 \text{ м}^3$ . В помещении расположен смеситель, представляющий собой цилиндрическую емкость со встроенным шнекообразным устройством равномерного перемешивания порошкообразных компонентов напитка, загружаемых через расположено сверху входное отверстие. Единовременная загрузка дисперсного материала в смеситель составляет  $m_{ap} = m = 300 \text{ кг}$ . Основным компонентом порошкообразной смеси является сахар (более 95 % (масс.)), который представляет наибольшую пожаровзрывоопасность. Подготовленная в смесителе порошкообразная смесь подается в аппараты фасовки, где производится дозирование (по 30 г) сухого напитка в полиэтиленовые упаковки. Значительное количество пылеобразного материала в смесителе и частая пылеуборка в помещении позволяет при обосновании расчетного варианта аварии пренебречь пылеотложениями на полу, стенах и других поверхностях.

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

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

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

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

Аварийная ситуация, которая сопровождается наибольшим выбросом горючего материала в объем помещения, связана с разгерметизацией смесителя, как емкости, содержащей наибольшее количество горючего материала.

Процесс разгерметизации может быть связан со взрывом взвеси в смесителе: в процессе перемешивания в объеме смесителя создается взрывоопасная смесь горючего порошка с воздухом, зажигание которой возможно разрядом статического электричества или посторонним металлическим предметом, попавшим в аппарат при загрузке исходных компонентов; 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  $\Delta P$  производится по формуле (A.4) [1], где коэффициент участия пыли во взрыве  $Z$  рассчитывается по формуле (A.16) [1] (для  $d^* \leq 200 \text{ мкм}$   $F = 10\% = 0,1$ ) и составляет:

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

Отсюда получаем:

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

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

### *Пример 10*

#### 1. Исходные данные.

1.1. Складское помещение мукомольного комбината для хранения муки в мешках по 50 кг. Свободный объем помещения  $V_{cb} = 1000 \text{ м}^3$ . Ежесменная пылеуборка в 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). Темплата сгорания  $H_t = 1,8 \cdot 10^7$  Дж · кг<sup>-1</sup>. Критический размер частиц взрывоопасной взвеси мучной пыли  $d^* = 250$  мкм.

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

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

2) указанием сведений о брутто-формуле химического состава вещества, например, в виде  $C_9H_{16}O_5Na$ . В таком случае расчет  $\rho_{ст}$  производится на основе химического уравнения окисления данного вещества воздухом до соответствующих продуктов взаимодействия ( $CO_2$ ,  $H_2O$  и  $N_2$ ) – по формуле

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

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

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

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

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

где  $M_O$  – масса кислорода в 1 м<sup>3</sup> воздуха; допускается принимать  $M_O = 0,24 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

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

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

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

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

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

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

$$m = \min \left\{ \frac{m_{вз} + m_{ав}}{\rho_{ст} \cdot V_{ав} / Z} \right\}$$

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

Для надежного выполнения расчета  $\Delta P$  целесообразно объяснить физический смысл использованной здесь формулы (A.17) [1]. Избыточное давление воздуха в помещении при горении взвеси объясняется тепловыделением реакции окисления дисперсного горючего кислородом воздуха. Поэтому в окончательном расчете давления взрыва присутствует общая масса сгоревшей в пылевоздушном облаке пыли  $m$  и теплотворная характеристика выгорания единичного количества пыли  $H_t$ . Понятно, что масса  $m$  не может превысить общую массу пыли в этом облаке ( $m_{вз} + m_{ав}$ ), которая записана в верхней строке формулы (A.17) [1]. Но масса  $m$  может быть меньше ( $m_{вз} + m_{ав}$ ). 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  $\rho_{ст} \cdot V_{ав}$ , представленную в нижней строке формулы (A.17) [1]. Добавим, что поправка  $(1/Z)$  к указанной ве-

личине обусловлена спецификой расчета  $\Delta P$ , куда масса сгоревшей пыли фактически входит в виде комплекса  $m \cdot Z$ .

5. Определение избыточного давления взрыва  $\Delta P$  производится по формуле (А.4) [1]:

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

6. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, рассматриваемое помещение мукомольного комбината для хранения муки не относится к категории Б и его следует относить к категориям В1–В4 в зависимости от пожарной нагрузки, находящейся в этом помещении.

### 5.5. Помещения с горючими жидкостями

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

- в качестве расчетного выбирается наиболее неблагоприятный вариант аварии, при котором участвует аппарат, имеющий наибольшую пожарную нагрузку (пп. А.1.1, Б.1 [1]);
- площадь пожарной нагрузки определяется с учетом особенностей технологии, под площадью пожарной нагрузки понимается площадь поверхности зеркала ГЖ в аппарате, площадь разлива ГЖ из аппарата, ограниченная бортиками, поддонами, площадь, занимаемая оборудованием, сливными емкостями и т. п.

#### *Пример 11*

Цех разделения, компрессии воздуха и компрессии продуктов разделения воздуха. Машинное отделение. В помещении находятся горючие вещества (турбинные, индустриальные и другие масла с температурой вспышки выше 61 °C),

которые обращаются в центробежных и поршневых компрессорах. Количество масла в компрессоре составляет 15 кг. Количество компрессоров 5. Температура нагрева масел в компрессорах менее температур их вспышек.

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

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

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

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;  $Q_{hi}^p$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки,  $\text{МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Низшая теплота сгорания для турбинного масла составляет 41,87  $\text{МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Пожарная нагрузка будет равна:

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

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

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

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

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

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

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

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

### Пример 12

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

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

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

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

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

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

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

Определим, выполняется ли условие

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

После подстановки численных значений получим:

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

Так как  $Q = 50244$  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  $26 \text{ м}^2$ . В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки  $S = 26 \text{ м}^2$ . Удельная пожарная нагрузка составит:

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

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

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

Определим, выполняется ли условие

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

После подстановки численных значений получим:

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

Так как  $Q = 50244$  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  $130 \text{ м}^2$ . В соответствии с п. Б.2 [1] принимаем площадь размещения пожарной нагрузки  $S = 130 \text{ м}^2$ . Удельная пожарная нагрузка составит:

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

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

## 5.6. Помещения с твердыми горючими веществами и материалами

### Пример 15

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

Согласно исходным данным площадь размещения пожарной нагрузки в каждом ряду составляет 57,6 м<sup>2</sup>.

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

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

Низшая теплота сгорания для картона составляет 13,4 МДж · кг<sup>-1</sup>. 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<sup>2</sup>. 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 микронализитических весов, два стула. В лаборатории можно выделить один участок площадью  $10 \text{ м}^2$ , 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  $13,8 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Пожарная нагрузка будет равна:

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

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

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

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

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

### Пример 17

Помещение гаража. Основную пожарную нагрузку автомобиля составляет резина, топливо, смазочные масла, искусственные полимерные материалы. Среднее значение количества этих материалов для грузового автомобиля следующее: резина – 118,4 кг, дизельное топливо – 120 кг, 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<sup>-1</sup>, резина – 33,52 МДж · кг<sup>-1</sup>, дизельное топливо – 43,59 МДж · кг<sup>-1</sup>, пенополиуретан – 24,3 МДж · кг<sup>-1</sup>, полиэтилен – 47,14 МДж · кг<sup>-1</sup>, полихлорвинил – 14,31 МДж · кг<sup>-1</sup>, картон – 13,4 МДж · кг<sup>-1</sup>, искусственная кожа – 17,76 МДж · кг<sup>-1</sup>. Пожарная нагрузка будет равна:

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

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

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

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

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

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

После подстановки численных значений получим:

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

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

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

### Пример 18

#### 1. Исходные данные.

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

#### 1.2. Используемые вещества и материалы:

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

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

Молярная масса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ :

- метана  $M_{\text{CH}_4} = 16,04$ ;
- сольвента  $M_{\text{C}_8\text{H}_{11}} = 113,2$ .

Расчетная температура  $t_p$ ,  $^{\circ}\text{C}$ :

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

Плотность жидкости, кг · м<sup>-3</sup>:

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

Плотность газов и паров, кг · м<sup>-3</sup>:

- метана  $\rho_{CH_4}^{39^{\circ}C} = \frac{M}{22,413 \cdot (1+0,00367 \cdot t_p)} = 0,6260$ ;

- сольвента  $\rho_{C_{8,5}H_{11}}^{39^{\circ}C} = 4,4182 (\rho_c)$ ;  $\rho_{C_{8,5}H_{11}}^{80^{\circ}C} = 3,9043$ .

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

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

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

Интенсивность испарения при 39 °C, кг · м<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup>:

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

#### 1.4. Пожароопасные свойства [2].

Температура вспышки, °C:

- сольвента  $t_{всп} = 21$ .

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

- метана  $C_{НКПР, CH_4} = 5,28$ ;

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

Стехиометрическая концентрация, % (об.):

- метана  $C_{ст, CH_4} = 9,36$ ;

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

1.5. Размеры помещений и параметры технологического процесса.

1.5.1. Общие размеры цеха:  $L = 264,7$  м,  $S = 30,54$  м,  $H = 15,75$  м. Объем помещения  $V_n = 264,7 \cdot 30,54 \cdot 15,75 = 127322,0$  м<sup>3</sup>.

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

1.5.3. Площади встроенных помещений:

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

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

1.5.4. Площадь окрасочного пролета без встроенных помещений:

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

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

$$V_{6\text{вп}} = 7194,97 \cdot 15,75 = 113320,78 \text{ м}^3.$$

1.5.6. Объемы встроенных помещений на отметке 6,500:

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

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

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

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

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

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

- венткамера (отм. 6,500, оси Р/1-У):

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

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

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

- суммарный объем встроенных помещений:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- помещения (отм. 7,800, оси Ф-Х):

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

- тамбур (отм. 3,74, ось В/1):

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

- ПСУ (отм. 3,040, оси К-К/1):

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

- общий объем над встроеннымыми помещениями:

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

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

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

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

1.5.10. Объем помещения окрасочного участка малярно-сдаточного цеха:

$$V_{\text{п}} = V_1 + V_{1-6, \text{пер}} + V_6 = 109622,11 + 1984,01 + 659,95 = 112266,07 \text{ м}^3.$$

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

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

1.5.12. Толщина слоя лакокрасочных материалов:

- грунт ФЛ-03  $\delta_r = 15 \text{ мкм}$ ;
- эмаль МЛ-152  $\delta_3 = 20 \text{ мкм}$ .

1.5.13. Расход лакокрасочных материалов:

- грунт ФЛ-03К  $G_{r, \text{фл}} = 3,97 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ ;
- эмаль МЛ-152  $G_3 = 4,2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ .

1.5.14. Содержание горючих растворителей в лакокрасочных материалах:

- грунт ФЛ-03К  $\varphi_{r, \text{фл}} = 67 \text{ \% (масс.)}$ ;
- эмаль МЛ-152  $\varphi_3 = 78 \text{ \% (масс.)}$ .

1.5.15. Расход растворителя на единицу площади окрашиваемых поверхностей тракторов:

- сольвент (грунт ФЛ-03К)  $G_{\text{рфл}} = 2,66 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ ;
- сольвент (эмаль МЛ-152)  $G_{\text{р3}} = 3,276 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ .

1.5.16. Производительность конвейера по площади нанесения лакокрасочных материалов:

- линия окрашивания тракторов в серийном исполнении:

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

- линия окрашивания тракторов в экспортном исполнении:

$$n_{k,3} = 101,8 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}^{-1} = 1,70 \text{ м}^2 \cdot \text{мин}^{-1} = 0,0283 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}.$$

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

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

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

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

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

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

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

## 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  $P_{CH_4} = 178,4 \text{ кПа}$ :

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

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

$$m_{CH_4} = 0,19844 \cdot 300 + 0,01 \cdot 3,14 \cdot 178,4 \cdot \frac{0,219^2}{4} \cdot 1152 \times 0,626 = 107,97 \text{ кг.}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2. Разгерметизация красконагнетательного бака при работающем конвейере.

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

$$m_{бк} = K_u \cdot n_{pз} \cdot \tau_a + [V_{бк} + 0,785 \cdot (d_{бко}^2 \cdot L_{бко} + d_{бкп}^2 \cdot L_{бкп})] \cdot \phi_з \times \times \rho_{C_{8,5}H_{11}}^* = 2 \cdot 0,007413 \cdot 300 + [0,06 + 0,785 \cdot (0,04^2 \cdot 156 + 0,04^2 \cdot 156)] \cdot 0,78 \cdot 850 = 304,04 \text{ кг.}$$

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

$$F_{и,бк} = \frac{m_{бк} \cdot 100}{\Phi_3 \cdot \rho_{C_{8,5}H_{11}}^*} = \frac{304,04 \cdot 1000}{0,78 \cdot 850} = 458,6 \text{ м}^2.$$

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

$$m_{pбб} = m_{pб} + W_c \cdot F_{и,бк} \cdot T_a = 26,0658 + 3,1919 \cdot 10^{-5} \cdot 458,6 \times 3600 = 78,7628 \text{ кг.}$$

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

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

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

$$m_{n,p} = m_{pбб} + m_{pk} = 78,7628 + 74,836 = 153,5988 \text{ кг.}$$

2.3. Разгерметизация красконагнетательного бака, остановка конвейера.

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

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

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

$$F_{\text{ро}} = 260 \text{ м}^2;$$

$$m_{\text{рэо}} = K_{\text{и}} \cdot G_{\text{пфл}} \cdot F_{\text{ро}} \cdot \delta_{\text{р}} = 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-3} \cdot 260 \cdot 15 = 20,7480 \text{ кг};$$

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

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

$$m_{\text{рэс}} = G_{\text{пфл}} \cdot F_{\text{рс}} \cdot \delta_{\text{р}} = 2,66 \cdot 10^{-3} \cdot 227,5 \cdot 15 = 9,0772 \text{ кг};$$

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

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

$$m_{\text{зо}} = K_{\text{и}} \cdot G_{\text{пз}} \cdot F_{\text{зо}} \cdot \delta_{\text{з}} = 2 \cdot 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 305,5 \cdot 20 = 40,0327 \text{ кг};$$

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

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

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

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

$$F_{\text{зос}} = 533 \text{ м}^2;$$

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

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

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

$$m_{\text{зсс}} = G_{\text{пз}} \cdot F_{\text{зсс}} \cdot \delta_{\text{з}} = 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 1092 \cdot 20 = 71,5478 \text{ кг.}$$

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

2.4.1. Масса газа  $m_{\text{CH}_4}$ , 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  $\Delta P$  для различных вариантов аварийных ситуаций проводится согласно формуле (А.1) [1].

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

$$\begin{aligned} \Delta P = & \frac{(P_{\max} - P_0) \cdot 100}{V_{\text{cb}} \cdot K_{\text{h}}} \cdot \left[ \frac{m_{\text{CH}_4} \cdot Z_{\text{r}}}{\rho_{\text{CH}_4} \cdot C_{\text{ct}, \text{CH}_4}} + \frac{m_{\text{pб}} \cdot Z_{\text{n}}}{\rho_{\text{c}}^{39 \text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot C_{\text{ct}, \text{c}}} + \right. \\ & \left. + \frac{(m_{\text{ec}} + m_{\text{r3}} + m_{\text{зз}}) \cdot Z_{\text{n}}}{\rho_{\text{c}}^{80 \text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot C_{\text{ct}, \text{c}}} \right] = \frac{799 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \cdot \left[ \frac{107,97 \cdot 0,5}{0,626 \cdot 9,36} + \right. \\ & \left. + \frac{26,0658 \cdot 0,3}{4,4182 \cdot 1,8} + \frac{(53,3726 + 8,1236 + 13,3398) \cdot 0,3}{3,9043 \cdot 1,8} \right] = \\ & = 0,2965 \cdot (9,2135 + 0,9833 + 3,1946) = 3,97 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

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

3.2. Разгерметизация красконагнетательного бака при работающем конвейере:

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

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

3.3. Разгерметизация красконагнетательного бака, остановка конвейера:

$$\Delta P = \frac{(P_{\max} - P_0) \cdot Z_n}{V_{cb} \cdot K_h} \cdot \frac{100}{C_{ct,c}} \cdot \left[ \frac{m_{p66}}{\rho_c^{39 \text{ } ^\circ\text{C}}} + \right. \\ \left. + \frac{(m_{r30} + m_{r3c} + m_{303} + m_{3c3} + m_{30c} + m_{3cc})}{\rho_c^{80 \text{ } ^\circ\text{C}}} \right] = \\ = \frac{799 \cdot 0,3 \cdot 100}{89813 \cdot 3 \cdot 1,8} \cdot \left[ \frac{78,7628}{4,4182} + \right. \\ \left. + \frac{(20,7480 + 9,077 + 40,0327 + 32,7928 + 69,8443 + 71,5478)}{3,9043} \right] = \\ = 0,04942 \cdot (17,8269 + 62,5062) = 3,97 \text{ кПа.}$$

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:

$$\Delta P = \frac{(P_{\max} - P_0) \cdot 100}{V_{cb} \cdot K_h} \cdot \left[ \frac{m_{CH_4} \cdot Z_r}{\rho_{CH_4} \cdot C_{ct,CH_4}} + \frac{m_{p6} \cdot Z_n}{\rho_c^{39 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot C_{ct,c}} + \right. \\ \left. + \frac{(m_{r30} + m_{r3c} + m_{303} + m_{3c3} + m_{30c} + m_{3cc}) \cdot Z_n}{\rho_c^{80 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot C_{ct,c}} \right] =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{799 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \cdot \left[ \frac{107,97 \cdot 0,5}{0,626 \cdot 9,36} + \frac{26,0658 \cdot 0,3}{4,4182 \cdot 1,8} + \right. \\
 &+ \left. \frac{(20,7480 + 9,0772 + 40,0327 + 32,7928 + 69,8443 + 71,5478) \cdot 0,3}{3,9043 \cdot 1,8} \right] = \\
 &= 0,2965 \cdot (9,2135 + 0,9833 + 10,4177) = 6,11 \text{ кПа.}
 \end{aligned}$$

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 обезжикивание поверхностей станков в водном растворе тринатрийфосфата с синтанолом ДС-10, обезжикивание 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  $V_{\text{п}} = 8229,6 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 8229,6 = 6583,7 \text{ м}^3 \approx 6584 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 648 \text{ м}^2$ . Обезжикивание станков раствором тринатрийфосфата ( $m_1 = 20,7 \text{ кг}$ ) с синтанолом ДС-10 ( $m_2 = 2,36 \text{ кг}$ ) осуществляется в ванне размером  $L_1 \times S_1 \times H_1 = 1,5 \times 1,0 \times 1,0 \text{ м}$  ( $F_1 = 1,5 \text{ м}^2$ ). Отдельные детали станков обезжикиваются в вытяжном шкафу размером  $L_2 \times S_2 \times H_2 = 1,2 \times 0,8 \times 2,85 \text{ м}$  ( $F_2 = 0,96 \text{ м}^2$ ) уайт-спиритом, который хранится в шкафу в емкости объемом  $V_a = 3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$  (суточная норма). Обработка поверхностей станков производится в ванне с индустриальным маслом И-50 размером  $L_3 \times S_3 \times H_3 = 1,15 \times 0,9 \times 0,72 \text{ м}$  ( $F_3 = 1,035 \text{ м}^2$ ,  $V_3 = 0,7452 \text{ м}^3$ ) при температуре  $t = 140^\circ\text{C}$ . 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. Тринатрийfosфат – 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  $t_{\text{всп}} > 33$  °С, индустриального масла И-50  $t_{\text{всп}} = 200$  °С, синтанола ДС-10  $t_{\text{всп}} = 247$  °С. Плотность жидкости при температуре  $t = 25$  °С: уайт-спирита  $\rho_{\text{ж}} = 790$  кг · м $^{-3}$ , индустриального масла И-50  $\rho_{\text{ж}} = 903$  кг · м $^{-3}$ , синтанола ДС-10  $\rho_{\text{ж}} = 980$  кг · м $^{-3}$ . Теплота сгорания уайт-спирита  $H_t = Q_h^p = 43,966$  МДж · кг $^{-1} = 4,397 \cdot 10^7$  Дж · кг $^{-1}$ , индустриального масла И-50 по формуле Басса  $Q_h^p = 50460 - 8,545 \cdot \rho_{\text{ж}} = 50460 - 8,545 \cdot 903 = 42744$  кДж · кг $^{-1} = 42,744$  МДж · кг $^{-1}$ , упаковочной бумаги  $Q_h^p = 13,272$  МДж · кг $^{-1}$ , древесины обшивочных досок  $Q_h^p = 20,853$  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]  $t_p = 35$  °С. Плотность паров уайт-спирита при  $t_p = 35$  °С  $\rho_{\text{п}} = \frac{147,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 35)} = 5,8240$  кг · м $^{-3}$ . Длительность испарения по п. А.1.2 е) [1]  $T = 3600$  с.

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

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

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

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

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

$$P_{\text{и}} = 0,87 \text{ кПа.}$$

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  $\Delta P$  согласно формуле (22) Пособия составит:

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

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

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

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

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

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

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

10. Удельная пожарная нагрузка превышает  $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Помещение отделения консервации и упаковки станков согласно табл. Б.1 [1] относится к категории В1.

### *Пример 20*

#### 1. Исходные данные.

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

Полипропилен и его сополимеры в процессе переработки при его нагревании выше температуры  $t = 150$  °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  $V_{\text{п}} = 10368$  м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 10368 = 8294,4$  м<sup>3</sup>. Площадь помещения  $F = 864$  м<sup>2</sup>.

Производительность насоса с диатермическим маслом (аллотерм-1)  $n_1 = 170$  м<sup>3</sup> · ч<sup>-1</sup> = 0,0472 м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup> = 71,5 кг · с<sup>-1</sup>. 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<sup>3</sup> · ч<sup>-1</sup> = 0,00278 м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup> = 2,78 кг · с<sup>-1</sup> (по битуму с полипропиленом 2,5 кг · с<sup>-1</sup>), а отводящего смесь в смесители из ванн  $n_3 = 5$  м<sup>3</sup> · ч<sup>-1</sup> = 0,00139 м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup> = 1,39 кг · с<sup>-1</sup> (по битуму с полипропиленом 1,25 кг · с<sup>-1</sup>). 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<sup>3</sup> · ч<sup>-1</sup> = 0,007 м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup> = 7 кг · с<sup>-1</sup>. 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  $n_5 = 1,65 \text{ т} \cdot \text{ч}^{-1}$ . Доли выделяющейся в объеме помещения пыли, оседающей на труднодоступных и доступных для уборки поверхностях, соответственно  $\beta_1 = 0,2$  и  $\beta_2 = 0,8$ .

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2. Разгерметизация трубопровода на участке между смесителем и задвижкой перед насосом, перекачивающим

смесь из ванны в смеситель. Расчет проводим в соответствии с п. А.1.2 [1] и исходными данными.

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

$$m_{\text{см}} = \left( V_a + q \cdot T_a + \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot L_2 \right) \cdot \rho_{\text{ж}} = (15 + 0,00139 \cdot 300 + \frac{\pi}{4} \cdot 0,15^2 \cdot 15) \cdot 1000 = 15682 \text{ кг.}$$

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

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

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

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

3. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для двух расчетных вариантов аварии определяем по формулам (22) и (43) Пособия.

3.1. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  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  $\Delta P$  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  $V_a = 10 \text{ м}^3$  каждый и в двух смесителях объемом  $V_a = 15 \text{ м}^3$  каждый. При этом количество циркулирующего диатермического масла не принимается во внимание. Также для упрощения расчет проведем с использованием единой теплоты сгорания для всех компонентов и веществ по битуму, равной  $Q_h^p = 41,92 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

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

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

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

$$S = F = 864 \text{ м}^2;$$

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

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

## 5.8. Примеры расчетов категорий зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

### 5.8.1. Здания категории А

#### Пример 21

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

2. Определение категории здания.

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

#### Пример 22

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

2. Определение категории здания.

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

### 5.8.2. Здания категории Б

#### Пример 23

1. Исходные данные.

Производственное шестиэтажное здание. Общая площадь помещений здания  $F = 32000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений

категории А составляет  $F_A = 150 \text{ м}^2$ , категории Б –  $F_B = 400 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А и Б –  $F_{A,B} = 550 \text{ м}^2$ .

## 2. Определение категории здания.

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

### Пример 24

#### 1. Исходные данные.

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

##### 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  $F = 12000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категорий А и Б составляет  $F_{\text{A},\text{B}} = 180 \text{ м}^2$ , категорий В1–В3 –  $F_{\text{B}} = 5000 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3 –  $F_{\text{A},\text{B},\text{B}} = 5180 \text{ м}^2$ .

##### 2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б составляет 1,5 % площади всех помещений здания и не превышает 200 м<sup>2</sup>. 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  $F = 20000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категорий А и Б составляет  $F_{\text{A},\text{B}} = 900 \text{ м}^2$ , категорий В1–В3 –  $F_{\text{B}} = 4000 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3 –  $F_{\text{A},\text{B},\text{B}} = 4900 \text{ м}^2$ . 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 4,5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и  $1000 \text{ м}^2$ . 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  $3500 \text{ м}^2$ . 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  $F = 30000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В1–В3 составляет  $F_{\text{В}} = 1800 \text{ м}^2$ , категории Г –  $F_{\text{Г}} = 2000 \text{ м}^2$ , суммарная площадь помещений категорий В1–В3, Г –  $F_{\text{В, Г}} = 3800 \text{ м}^2$ .

##### 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  $F = 16000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категорий А и Б составляет  $F_{\text{А, Б}} = 800 \text{ м}^2$ , помещений

категорий B1–B3 –  $F_B = 1500 \text{ м}^2$ , помещений категории Г –  $F_G = 3000 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, B1–B3 –  $F_{A, B, B} = 2300 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, B1–B3, Г –  $F_{A, B, B, G} = 5300 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А, Б, B1–B3 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  $1000 \text{ м}^2$ . Согласно пп. 6.3 и 6.5 [1] здание не относится к категории А или Б. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, B1–B3, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 14,38 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и  $3500 \text{ м}^2$ . Согласно п. 6.7 [1] здание не относится к категории В. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, B1–B3, Г, где помещения категорий А, Б, B1–B3 оборудованы установками автоматического пожаротушения, составляет 31,12 % площади всех помещений здания, что более 25 % и  $5000 \text{ м}^2$ . 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  $F = 8000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категорий А и Б составляет  $F_{A, B} = 600 \text{ м}^2$ , категорий B1–B3 –  $F_B = 1000 \text{ м}^2$ , категорий Г –  $F_G = 200 \text{ м}^2$ , категорий B4 и Д –  $F_{B4, D} = 6200 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, B1–B3 –  $F_{A, B, B} = 1600 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, B1–B3, Г –  $F_{A, B, B, G} = 1800 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А, Б, B1–B3 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<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>. 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  $F = 25000 \text{ м}^2$ . Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В1–В3 составляет  $F_{\text{B}} = 1000 \text{ м}^2$ , категории Г –  $F_{\text{Г}} = 200 \text{ м}^2$ , категорий В4 и Д –  $F_{\text{B4, D}} = 23800 \text{ м}^2$ , суммарная категорий В1–В3, Г –  $F_{\text{B, Г}} = 1200 \text{ м}^2$ .

#### 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-

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

#### 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  $L_2 = 75 \text{ м}$  (длина отводящего трубопровода) от факела и  $L_1 = 700 \text{ м}$  (длина подводящего трубопровода) от наружной установки пропиленового холодильного цикла. На участках начала и конца подводящих и отводящих трубопроводов установлены автоматические задвижки (время срабатывания задвижек  $\tau = 120 \text{ с}$ ). Диаметр подводящего и отводящего трубопроводов  $d_{\text{тр1}} = d_{\text{тр2}} = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м}$ . Объем емкости-сепаратора  $V_a = 50 \text{ м}^3$ .

Давление газа  $P = P_1 = P_2 = 2500$  кПа, расход газа  $G = 40000$  кг · ч $^{-1}$  = 11,1111 кг · с $^{-1}$ , температура газа  $t_r = 60$  °C.

1.2. Молярная масса пропилена  $M = 42,08$  кг · кмоль $^{-1}$ . Химическая формула C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>. Удельная теплота сгорания пропилена  $Q_{cr} = 45604$  кДж · кг $^{-1}$  = 45,604 · 10<sup>6</sup> Дж · кг $^{-1}$ . Плотность пропилена при  $t_r = 60$  °C составит:

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

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

$$m_1 = G \cdot \tau + 0,01 \cdot 0,785 \cdot d_{tp_1}^2 \cdot L_1 \cdot P \cdot \rho_r = 11,1111 \cdot 120 + 0,01 \times 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 700 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 1333,3 + 5284,5 = 6617,8 \text{ кг};$$

$$m_2 = G \cdot \tau + 0,01 \cdot 0,785 \cdot d_{tp_2}^2 \cdot L_2 \cdot P \cdot \rho_r = 1333,3 + 0,01 \cdot 0,785 \times 0,5^2 \cdot 75 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 1333,3 + 566,2 = 1899,5 \text{ кг};$$

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

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

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

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3} \right) = \\ &= 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 6677^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 6677^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 6677}{30^3} \right) = \\ &= 101 \cdot (0,488 + 1,114 + 1,236) = 101 \cdot 2,838 = 287 \text{ кПа}; \\ m_{\text{пр}} &= \frac{Q_{\text{ср}}}{Q_{\text{o}}} \cdot m \cdot Z = \frac{45,604 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 6617,8 \cdot 0,1 = 6677 \text{ кг.}\end{aligned}$$

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

### Пример 34

#### 1. Исходные данные.

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

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

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

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

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

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  при сгорании смеси горючего газа с воздухом в открытом

пространстве принимается разгерметизация трубопровода между изотермическим резервуаром хранения этилена и установленными в обваловании отсечными клапанами на подводящих и отводящих трубопроводах и выход сжиженного и газообразного этилена в окружающее пространство с разливом сжиженного этилена внутри обвалования.

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

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

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

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

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

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

$$F_u = F = 5184 \text{ м}^2;$$

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

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

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

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

$$\Delta P = 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 178655^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 178655^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 178655}{30^3} \right) = \\ = 101 \cdot (1,442 + 9,754 + 33,084) = 101 \cdot 44,28 = 4472 \text{ кПа};$$

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

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  $Q = 6,2 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

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

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

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

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

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

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

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

6. Пожарный риск  $P(a)$  ( $\text{год}^{-1}$ ) 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:

$$\begin{aligned}d_1 &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_1 = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}; \\d_2 &= 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_2 = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}; \\d_3 &= 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_3 = 6,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \\d_4 &= 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_4 = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \\d_5 &= 100 \cdot 10^{-3} \text{ м}, Q_5 = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \\&\text{полное разрушение, } Q_6 = 3,0 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.\end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned}G_1 &= 0,785 \cdot d_1^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,005^2 \cdot 56,617 = 1,1111 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}; \\G_2 &= 0,785 \cdot d_2^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,0125^2 \cdot 56,617 = 6,9444 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}; \\G_3 &= 0,785 \cdot d_3^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,0025^2 \cdot 56,617 = 0,0278 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}; \\G_4 &= 0,785 \cdot d_4^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,05^2 \cdot 56,617 = 0,1111 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}; \\G_5 &= 0,785 \cdot d_5^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,1^2 \cdot 56,617 = 0,4444 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}; \\G_6 &= 0,785 \cdot d_{\text{тр1}}^2 \cdot G_{\text{ист}} = 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 56,617 = 11,1111 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}.\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
m_1 &= G_1 \cdot \tau + 0,01 \cdot V_a \cdot P \cdot \rho_r = 11,1111 \cdot 10^{-3} \cdot 120 + \\
&+ 0,01 \cdot 50 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 0,13 + 1923,4 = 1923,5 \text{ кг}; \\
m_2 &= 6,9444 \cdot 10^{-3} \cdot 120 + 1923,4 = 1924,2 \text{ кг}; \\
m_3 &= 0,0278 \cdot 120 + 1923,4 = 1926,7 \text{ кг}; \\
m_4 &= 0,1111 \cdot 120 + 1923,4 = 1976,7 \text{ кг}; \\
m_5 &= 0,4444 \cdot 120 + 1923,4 = 1976,7 \text{ кг}; \\
m_6 &= 11,1111 \cdot 120 + 1923,4 = 3256,7 \text{ кг}.
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\Delta P_1 &= P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{np1}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np1}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np1}}{r^3} \right) = \\
&= 101 \cdot \frac{0,8 \cdot 1940,7^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1940,7^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1940,7}{30^3} = 118,8 \text{ кПа}; \\
m_{np1} &= \frac{Q_{cr}}{Q_0} \cdot m_1 \cdot Z = \frac{45,604 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 1923,5 \cdot 0,1 = 1940,7 \text{ кг}; \\
\Delta P_2 &= 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 19414^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 19414^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 19414}{30^3} \right) = 118,9 \text{ кПа}; \\
m_{np2} &= 1,009 \cdot 1924,2 = 1941,4 \text{ кг}; \\
\Delta P_3 &= 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 1944^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1944^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1944}{30^3} \right) = 119 \text{ кПа}; \\
m_{np3} &= 1,009 \cdot 1926,7 = 1944 \text{ кг};
\end{aligned}$$

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

$$m_{np4} = 1,009 \cdot 1936,7 = 1954 \text{ кг} ;$$

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

$$m_{np5} = 1,009 \cdot 1976,7 = 1994 \text{ кг} ;$$

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

$$m_{np6} = 1,009 \cdot 3256,7 = 3286 \text{ кг.}$$

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

$$i_1 = \frac{123 \cdot m_{np1}^{0,66}}{r} = \frac{123 \cdot 1940,7^{0,66}}{30} = 606,5 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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  $10 \text{ м}^3$  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  $F_{об} = F_и = 14 \cdot 17,6 = 246,4 \text{ м}^2$  ( $F_и$  – площадь испарения,  $\text{м}^2$ ). Высота обвалования  $H_{об} = 1,5 \text{ м}$ .

1.2. Молярная масса ацетона  $M = 58,08 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Химическая формула  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ . Температура вспышки  $t_{всп} = -18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Удельная теплота сгорания ацетона  $Q_{ср} = 31360 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 31,36 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Плотность жидкости  $\rho_ж = 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Пермь) [3] составляет  $t_p = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Плотность паров ацетона при  $t_p = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет  $\rho_п = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,815 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Константы уравнения Антуана  $A = 6,37551$ ,  $B = 1281,721$ ,  $C_a = 237,088$ .

1.3. Давление насыщенных паров ацетона  $P_n$  (кПа) при расчетной температуре  $t_p = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$  составит:

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

$$P_n = 50,03 \text{ кПа.}$$

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

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

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  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  $\Delta P$  (кПа) взрыва на расстоянии  $r = 30$  м от наружной установки склада ацетона согласно формулам (В.14) и (В.15) составит:

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

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

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 автозаправки (АЗС), используемой для заполнения подземных резервуаров дизельным топливом. Объем дизельного топлива в АЗС  $V_{\text{ж}} = 6 \text{ м}^3$ . Площадка не имеет ограждения.

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

Плотность жидкости  $\rho_{ж} = 815 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Тула) [3] составляет  $t_p = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Плотность паров дизельного топлива при  $t_p = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$  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  $A = 5,07818$ ,  $B = 1255,73$ ,  $C_a = 199,523$ . Нижний концентрационный предел распространения пламени  $C_{нкпр} = 0,61 \text{ \% (об.)}$ .

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

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

$$P_n = 0,62 \text{ кПа.}$$

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

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  при горении 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  $F_n$ , определяется согласно п. В.1.3 г) и формуле (В.8) [1] из выражений:

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

$$F_u = 0,15 \cdot V_u \cdot 1000 = 0,15 \cdot 6000 = 900 \text{ м}^2.$$

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

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

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

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

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

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:

$$d_1 = 0,025 \text{ м}, Q_1 = 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot \text{год}^{-1};$$

$$d_2 = 0,1 \text{ м}, Q_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{год}^{-1};$$

$$\text{полное разрушение}, Q_3 = 5,0 \cdot 10^{-6} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Частота реализации в течение года рассматриваемого сценария аварии для всех размеров утечек составляет  $Q = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ .

2. В соответствии с расчетами из примера 38 величина избыточного давления взрыва  $\Delta P$  на расстоянии  $r = 30 \text{ м}$  от наружной установки равна 11,2 кПа.

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

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

4. Определяем величину пробит-функции  $\text{Pr}$  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]:

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

$$F = F_u = 900 \text{ м}^2;$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
F_v &= \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} \right] = \\
&= \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1}{1,77} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{1,86}{\sqrt{1,77^2 - 1}} \right) - \frac{1,86}{1,77} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{1,77-1}{1,77+1}} \right) - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{2,14}{\sqrt{2,14^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,14+1) \cdot (1,77-1)}{(2,14-1) \cdot (1,77+1)}} \right) \right\} \right] = \\
&= 0,3185 \cdot [0,56 \cdot \operatorname{arctg} 1,274 - 1,051 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,527 - \\
&\quad - 1,131 \cdot \operatorname{arctg} 0,875 \}] = 0,3185 \cdot [0,5115 + 0,3447] = \\
&= 0,3185 \cdot 0,8562 = 0,2727;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_h &= \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{B - \frac{1}{S}}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \right. \\
&\quad \left. - \frac{A - \frac{1}{S}}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] = \\
&= \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1,17 - \frac{1}{1,77}}{\sqrt{1,17^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(1,17+1) \cdot (1,77-1)}{(1,17-1) \cdot (1,77+1)}} \right) - \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{2,14 - \frac{1}{1,77}}{\sqrt{2,14^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,14 + 1) \cdot (1,77 - 1)}{(2,14 - 1) \cdot (1,77 + 1)}} \right) = \\
 & = 0,3185 \cdot [0,996 \cdot \operatorname{arctg} 1,884 - 0,832 \cdot \operatorname{arctg} 0,875] = \\
 & = 3,185 \cdot [1,078 - 0,598] = 0,3185 \cdot 0,48 = 0,1529; \\
 F_q & = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,2727^2 + 0,1529^2} = 0,3126.
 \end{aligned}$$

10. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (B.34) [1]:

$$\begin{aligned}
 \tau & = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \\
 & = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 33,86)] = 0,9909.
 \end{aligned}$$

11. Вычисляем интенсивность теплового излучения  $q$  ( $\text{kВт} \cdot \text{м}^{-2}$ ) при горении пролива жидкости по формуле (B.24) [1]:

$$\begin{aligned}
 q & = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 25 \cdot 0,3126 \cdot 0,9909 = 7,74 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}; \\
 E_f & = 25 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (табл. B.1 [1])}.
 \end{aligned}$$

12. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки 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  $V_{\text{ж}} = 30 \text{ м}^3$ . На подводящих и отводящих трубопроводах установлены автоматические задвижки. Объем масла-теплоносителя АМТ-300, поступающего при аварийной разгерметизации емкости из подводящих и отводящих трубопроводов, составляет  $V_{\text{тр}} = 5 \text{ м}^3$ . Площадка не имеет ограждения. Температура нагрева теплоносителя  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ }^{\circ}\text{C} = 553,2 \text{ K}$  ( $T_a$ ).

1.2. Молярная масса масла-теплоносителя АМТ-300 составляет  $M = 312,9 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Химическая формула  $\text{C}_{22,25}\text{H}_{33,48}\text{S}_{0,34}\text{N}_{0,07}$ . Температура вспышки  $t_{\text{всп}} > 170 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Удельная теплота сгорания масла-теплоносителя АМТ-300 равна  $Q_{\text{ср}} = 42257 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 42,257 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Плотность жидкости при  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет  $\rho_{\text{ж}} = 794 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Теплоемкость теплоносителя при  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $C_{\text{ж}} = 2480 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана  $A = 6,12439$ ,  $B = 2240,001$ ,  $C_a = 167,85$ .

1.3. Давление насыщенных паров теплоносителя  $P_h$  при начальной температуре нагретого теплоносителя  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ }^{\circ}\text{C} = 553,2 \text{ K}$  ( $T_a$ ) составляет:

$$\lg P_h = 6,12439 - \frac{2240,001}{t_{\text{ж}} + 167,85} = 6,12439 - \frac{2240,001}{280 + 167,85};$$

$$P_h = 13,26 \text{ кПа.}$$

1.4. Теплота испарения теплоносителя  $L_{\text{исп}}$  ( $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ) согласно формуле (А.15) [1] будет равна:

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

$$= \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 2240,001 \cdot 553,2^2}{(553,2 + 167,85 - 273,2)^2 \cdot 312,9} = 209427 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  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  $m_{\text{н}}$  (кг), поступившей в окружающее пространство, составляет:

$$m_{\text{н}} = (V_{\text{ж}} + V_{\text{тр}}) \cdot \rho_{\text{ж}} = (30 + 5) \cdot 794 = 27790 \text{ кг.}$$

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

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{C_{\text{ж}} \cdot m_{\text{н}}}{L_{\text{исп}}} = \\ = 0,02 \cdot \sqrt{312,9} \cdot 13,26 \cdot \frac{2480 \cdot 27790}{209427} = 1543,8 \text{ кг.}$$

5. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  на расстоянии  $r = 30$  м от наружной установки емкости-накопителя масла-теплоносителя АМТ-300 согласно формулам (B.14) и (B.15) [1] составит:

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

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

6. Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа на расстоянии 30 м от наружной установки, 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-гликолового обогрева. Резервуар хранения отработанного этиленгликоля расположен на открытой площадке. Объем этиленгликоля в емкости  $V_{\text{ж}} = 3,0 \text{ м}^3$ . На подводящих и отводящих трубопроводах установлены автоматические задвижки. Объем этиленгликоля, поступающего при аварийной разгерметизации резервуара из подводящих и отводящих трубопроводов, составляет  $V_{\text{тр}} = 0,2 \text{ м}^3$ . Площадка не имеет ограждения. Температура поступающего в резервуар хранения этиленгликоля  $t_{\text{ж}} = 120^\circ\text{C} = 393,2 \text{ K}$  ( $T_a$ ).

1.2. Молярная масса этиленгликоля  $M = 62,068 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Химическая формула  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ . Температура вспышки  $t_{\text{всп}} = 111^\circ\text{C}$ . Удельная теплота сгорания этиленгликоля  $Q_{\text{ср}} = 19329 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 19329 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Плотность жидкости при  $t_{\text{ж}} = 120^\circ\text{C}$  равна  $\rho_{\text{ж}} = 987 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Теплоемкость жидкости при  $t_{\text{ж}} = 120^\circ\text{C}$  составляет  $C_{\text{ж}} = 2820 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана  $A = 8,13754$ ,  $B = 2753,183$ ,  $C_a = 252,009$ . Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Ноглики, Сахалинская обл.) [3] составляет  $t_p = 37^\circ\text{C}$ .

1.3. Давление насыщенных паров этиленгликоля  $P_{\text{н}}$  при начальной температуре жидкости  $t_{\text{ж}} = 120^\circ\text{C} = 393,2 \text{ K}$  ( $T_a$ ) составляет:

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

$$P_n = 5,45 \text{ кПа.}$$

1.4. Температура 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  $\Delta P$  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  $m_n$ , поступившей в окружающее пространство, составляет:

$$m_n = (V_k + V_{tp}) \cdot \rho_k = (3,0 + 0,2) \cdot 987 = 3158,4 \text{ кг.}$$

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  $\Delta P$  на расстоянии  $r = 30 \text{ м}$  от наружной установки резервуара хранения отработанного этиленгликоля согласно формулам (В.14) и (В.15) [1] составит:

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

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

6. Избыточное давление взрыва на расстоянии 30 м от наружной установки не превышает 5 кПа, следовательно,

согласно табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки для резервуара хранения отработанного этиленгликоля не относится к категории БН.

7. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории БН.

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

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

$$F = F_u = 0,15 \cdot 1000 \cdot (V_{\text{ж}} + V_{\text{пп}}) = 0,15 \cdot 1000 \cdot (3 + 0,2) = 480 \text{ м}^2;$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= 0,3185 \cdot [0,3066 + 0,2681] = 0,1830;$$

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

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

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

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

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

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

9. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (B.34) [1]:

$$\begin{aligned}\tau &= \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \\ &= \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 24,73)] = 0,9877.\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}q &= E_f \cdot F_q \cdot \tau = 19 \cdot 0,2017 \cdot 0,9877 = 3,78 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}, \\ E_f &= 19 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (табл. B.1 [1] по нефти).}\end{aligned}$$

11. Расчетная интенсивность теплового излучения не превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка резервуара хранения отработанного этиленгликоля, расположенного на открытой площадке, не относится к категории ВН и относится к категории ДН.

#### 6.4. Наружные установки с горючими пылями

##### Пример 42

###### 1. Исходные данные.

1.1. Приемный бункер аспирационной системы цеха шлифовки изделий из древесины объемом  $30 \text{ м}^3$  выполнен из фильтрующей ткани и расположен под навесом на открытой территории предприятия.

1.2. В бункере накапливается мелкодисперсная древесная пыль (размер частиц менее 100 мкм) в количестве до 5000 кг. Теплота сгорания древесной пыли  $H_t = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Критический размер частиц взрывоопасной взвеси древесной

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

1) прямым указанием величины:  $\rho_{ct} = 0,25$  кг · м<sup>-3</sup>;

2) указанием сведений о брутто-формуле химического состава вещества, например, в виде С<sub>у</sub>Н<sub>в</sub>О<sub>к</sub>Н<sub>а</sub>. В таком случае расчет  $\rho_{ct}$  производится на основе химического уравнения окисления данного вещества воздухом до соответствующих продуктов взаимодействия (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub>) – по формуле

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

При наличии в брутто-формуле вещества других атомов, например S, P, Al, в расчете должны учитываться дополнительные продукты окисления SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

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

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

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

где  $M_O$  – масса кислорода в 1 м<sup>3</sup> воздуха; допускается принимать  $M_O = 0,24$  кг · м<sup>-3</sup>.

## 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  $V_{ab} = 30 \text{ м}^3$ .

3. Ввиду отсутствия сведений о частоте возникновения рассмотренной аварийной ситуации оказывается невозможным оценить величину пожарного риска. В соответствии с п. 7.3 [1] в этом случае допускается использовать критерии отнесения установки к категории БН по величине расчетного избыточного давления  $\Delta P$  при сгорании пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки.

Ниже приводится расчет  $\Delta P$ .

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

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

5. Расчетную массу взвешенной пыли  $m$  (кг), участвующей в развитии аварийной ситуации, определяют по формуле (B.17) [1]:

$$m = \min \left\{ \frac{m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}}{\rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ав}} / Z} \right\}.$$

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  $\Delta P$  целесообразно объяснить физический смысл использованной здесь формулы (A.17) [1]. Избыточное давление воздуха в помещении при горении взвеси объясняется тепловыделением реакции окисления дисперсного горючего кислородом воздуха. Поэтому в окончательном расчете давления взрыва присутствует общая масса сгоревшей в пылевоздушном облаке пыли  $m$  и теплотворная характеристика выгорания единичного количества пыли  $H_{\text{т}}$ . 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 (A. 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 (A. 17) [1]. Добавим, что поправка  $(1/Z)$  к указанной величине обусловлена спецификой расчета  $\Delta P$ , куда масса сгоревшей пыли фактически входит в виде комплекса  $m \cdot Z$ .

6. Приведенную массу горючей пыли  $m_{np}$ , кг, определяют по формуле (B.21) [1]:

$$m_{np} = m \cdot Z \cdot H_t / H_{t0} = 15 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^7 / 4,52 \cdot 10^6 = 4,9 \text{ кг.}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta P = P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right) = \\ = 101,3 \cdot (0,8 \cdot 4,9^{0,33} / 30 + 3 \times \\ \times 4,9^{0,66} / 30^2 + 5 \cdot 4,9 / 30^3) = 5,6 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

8. Поскольку  $\Delta P$  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<sup>-1</sup>. Дополнительная информация: насыпная плотность древесной пыли составляет  $\rho_h = 300 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , угол естественного откоса для отложения древесной пыли составляет  $\alpha = 45^\circ$ , массовая скорость выгорания отложения древесной пыли составляет  $0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ; плотность воздуха  $\rho_a = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

В рассматриваемой установке не присутствуют горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °C, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом. По этой причине данная установка не относится к категории АН.

В установке присутствуют горючие пыли. По этой причине необходимо исследовать возможность отнесения данной установки к категории 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  $\Delta P$  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]:

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

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

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

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

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

7. Поскольку  $P(a) < 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ , рассматриваемая наружная установка не относится в категории БН.

8. Таким образом, рассматриваемая наружная установка не относится к категориям АН и БН. В соответствии с требованиями п. 7.2 [1] рассмотрим возможность отнесения данной наружной установки к категории ВН. В установке присутствует только горючая пыль, и ответ на вопрос о принадлежности установки к категории ВН в 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  $V_n = 30 \text{ м}^3$ . Такое количество пыли при просыпании на землю образует объект в виде конуса (угол откоса равен  $\alpha = 45^\circ$ ) с высотой  $H$ , равной радиусу основания  $R$ .

Приравнивая объем конуса к начальному объему пыли, получим:

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

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

10. В соответствии с формулой (В.24) [1] интенсивность теплового излучения  $q$ ,  $\text{kBt} \cdot \text{м}^{-2}$ , при горении твердых материалов рассчитывают по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau,$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени,  $\text{kBt} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

В соответствии с примечанием к табл. В.1 допускается принимать  $E_f = 40 \text{ кBt} \cdot \text{м}^{-2}$ .

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

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

где  $S_{\max}$  – максимально возможная площадь проекции тела, имеющего форму пламени вокруг горящего объекта;  $r_{\min}$  –

минимальное расстояние от пламени до точки, удаленной на расстояние  $r = 30$  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

$$H = 42 \cdot d \cdot [M/(\rho_{\text{в}} \cdot g^{0,5} \cdot d^{0,5})]^{0,61} = \\ = 42 \cdot 6 \cdot [0,01/1,2 \cdot 9,8^{0,5} \cdot 6^{0,5}] = 3,84 \text{ м.}$$

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,

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

Согласно формуле (B.34) [1]

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - R)] = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 3)] = 0,98.$$

Объединяя результаты оценок, получим:

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

11. Поскольку  $q < 4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , в соответствии с критерием п. 7.3 [1] рассматриваемая наружная установка не относится к категории ВН.

12. В соответствии с требованиями п. 7.2 [1] рассмотрим возможность отнесения данной наружной установки к категории ГН. Поскольку в установке не присутствуют негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном и

(или) расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и (или) пламени, а также не присутствуют горючие газы, жидкости и (или) твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива, данная установка не относится к категории ГН.

13. Поскольку рассматриваемая наружная установка не относится к категориям АН, БН, ВН и ГН, данную установку в соответствии с требованиями п. 7.2 [1] и табл. 2 следует отнести к категории ДН.

## 6.5. Наружные установки с горючими жидкостями

### *Пример 44*

#### 1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Открытая площадка хранения индустриального масла И-5А в металлических бочках. Объем жидкости в 40 бочках  $V_{ж} = 7,2 \text{ м}^3$ . Площадка не имеет ограждения.

1.2. Индустриальное масло И-5А – горючая жидкость. Температура вспышки  $t_{всп} > 118 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Плотность жидкости при  $t_{ж} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $\rho_{ж} = 888 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Владимир) [3] составляет  $t_p = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении металлических бочек с индустриальным маслом И-5А принимается его разлив из бочек на горизонтальную поверхность и горение на поверхности разлива. Площадь разлива жидкости  $F = 1080 \text{ м}^2$ .

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

4. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности  $F_q$ , входящих в формулу (B.27) [1]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
& \times \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} = \\
& = \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1}{1,62} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{1,8}{\sqrt{1,62^2-1}} \right) - \frac{1,8}{1,62} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{1,62-1}{1,62+1}} \right) - \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - \frac{2,12}{\sqrt{2,12^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12+1) \cdot (1,62-1)}{(2,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times \\
& \times [0,617 \cdot \operatorname{arctg} 1,412 - 1,111 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,486 - 1,134 \cdot \operatorname{arctg} 0,812 \}] = \\
& = 0,3185 \cdot [0,5890 + 0,3193] = 0,2893; \\
F_n & = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{B - \frac{1}{S}}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{A - \frac{1}{S}}{\sqrt{A^2-1}} \times \right. \\
& \quad \left. \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] = \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1,12 - \frac{1}{1,62}}{\sqrt{1,12^2-1}} \times \right. \\
& \quad \left. \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(1,12+1) \cdot (1,62-1)}{(1,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) - \frac{2,12 - \frac{1}{1,62}}{\sqrt{2,12^2-1}} \times \right. \\
& \quad \left. \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12+1) \cdot (1,62-1)}{(2,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) \right] = 0,3185 \cdot [0,997 \cdot \operatorname{arctg} 2,045 -
\end{aligned}$$

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

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

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (B.34) [1]:

$$\begin{aligned}\tau &= \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \\ &= \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 37,1)] = 0,9920.\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}q &= E_f \cdot F_q \cdot \tau = 13 \cdot 0,3406 \cdot 0,9920 = 4,39 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}; \\ E_f &= 13 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (табл. B.1 [1] по нефти).}\end{aligned}$$

7. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает 4 кВт · м<sup>-2</sup> 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  $V_k = 1,0 \text{ м}^3$ . Под трансформатором размещен поддон-маслосборник объемом  $V_m = 1,2 \text{ м}^3$ . Площадь поддона  $F = 20 \text{ м}^2$ .

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении трансформатора с трансформаторным маслом принимается разлив трансформаторного масла в поддон-маслосборник и горение на поверхности жидкости в поддоне-маслосборнике площадью  $F = 20 \text{ м}^2$ .

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

4. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности  $F_q$ , входящих в формулу (B.27) [1]:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F_v = \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1}{11,88} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{3,33}{\sqrt{11,88^2 - 1}} \right) - \frac{3,33}{11,88} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{11,88 - 1}{11,88 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{6,45}{\sqrt{6,45^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(6,45 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(6,45 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times$$

$$\times [0,084 \cdot \operatorname{arctg} 0,281 - 0,280 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,919 - 1,012 \cdot \operatorname{arctg} 1,074 \}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,0230 + 0,0246] = 0,0152;$$

$$F_u = 0,3185 \cdot \left[ \frac{5,98 - \frac{1}{11,88}}{\sqrt{5,98^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(5,98 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(5,98 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{6,45 - \frac{1}{11,88}}{\sqrt{6,45^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(6,45 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(6,45 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \times$$

$$\times [1,000 \cdot \operatorname{arctg} 1,088 - 0,999 \cdot \operatorname{arctg} 1,074] = \\ = 3,185 \cdot [0,8275 - 0,8202] = 0,002325;$$

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

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (B.34) [1]:

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

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

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

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

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения не превышает 4 кВт · м<sup>-2</sup> на расстоянии 30 м от наружной

установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка трансформатора с трансформаторным маслом, расположенного на открытой площадке, не относится к категории ВН и относится к категории ДН.

## 6.6. Наружные установки с твердыми горючими веществами и материалами

### Пример 46

#### 1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Склад для хранения пиломатериалов в штабелях на открытой площадке. Площадь хранения (размещения) пиломатериалов  $F = 1000 \text{ м}^2$ .

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

#### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении пиломатериалов на складе принимается горение на площади их размещения  $F = 1000 \text{ м}^2$ .

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F_v = 0,3185 \cdot \left[ \frac{1}{1,68} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{1,82}{\sqrt{1,68^2 - 1}} \right) - \frac{1,82}{1,68} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{1,68 - 1}{1,68 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2,12}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(2,12 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times$$

$$\times [0,595 \cdot \operatorname{arctg} 1,348 - 1,083 \cdot \{\operatorname{arctg} 0,504 - 1,134 \cdot \operatorname{arctg} 0,841\}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,5549 + 0,3532] = 0,2892;$$

$$F_h = 0,3185 \cdot \left[ \frac{1,14 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{1,14^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(1,14 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(1,14 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{2,12 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(2,12 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \times$$

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

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

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

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

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 35,7)] = 0,9915.$$

6. Вычисляем интенсивность теплового излучения  $q$  при горении твердых горючих материалов согласно формуле (В.24) [1]:

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

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

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка склада хранения пиломатериалов на открытой площадке относится к категории ВН.

### Пример 47

1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Открытая площадка складирования пластиковых поддонов. Площадь хранения (размещения) пластиковых поддонов  $F = 200 \text{ м}^2$ .

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

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении пластиковых поддонов на складе принимается горение на площади их размещения  $F = 200 \text{ м}^2$ .

3. В соответствии с пп. 7.2 и 7.3 [1] проведем проверку наружной установки на принадлежность к категории ВН.

4. Проведем оценку параметров углового коэффициента облученности  $F_q$ , входящих в формулу (B.27) [1]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\times [0,267 \cdot \operatorname{arctg} 0,639 - 0,616 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,761 - 1,075 \cdot \operatorname{arctg} 1,264 \}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,1518 + 0,3186] = 0,1498;$$

$$\begin{aligned}
 F_h &= 0,3185 \cdot \left[ \frac{2,01 - \frac{1}{3,75}}{\sqrt{2,01^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,01+1) \cdot (3,75-1)}{(2,01-1) \cdot (3,75+1)}} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{2,72 - \frac{1}{3,75}}{\sqrt{2,72^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,72+1) \cdot (3,75-1)}{(2,72-1) \cdot (3,75+1)}} \right) \right] = 0,3185 \times \\
 &\quad \times [1,000 \cdot \operatorname{arctg} 1,314 - 0,970 \cdot \operatorname{arctg} 1,119] = \\
 &= 0,3185 \cdot [0,9203 - 0,8162] = 0,0332; \\
 F_q &= \sqrt{0,1498^2 + 0,0332^2} = 0,1534.
 \end{aligned}$$

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (B.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 (B.24) [1]:

$$\begin{aligned}
 q &= E_f \cdot F_q \cdot \tau = 40 \cdot 0,1534 \cdot 0,9847 = 6,04 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}; \\
 E_f &= 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (примечание к табл. В.1 [1])}.
 \end{aligned}$$

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки складирования пластиковых поддонов относится к категории ВН.

#### Пример 48

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F_v = 0,3185 \cdot \left[ \frac{1}{7,5} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{2,85}{\sqrt{7,5^2 - 1}} \right) - \frac{2,85}{7,5} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{7,5 - 1}{7,5 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{4,36}{\sqrt{4,36^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(4,36 + 1) \cdot (7,5 - 1)}{(4,36 - 1) \cdot (7,5 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times$$

$$\times [0,133 \cdot \operatorname{arctg} 0,383 - 0,380 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,874 - 1,027 \cdot \operatorname{arctg} 1,104 \}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,0486 + 0,0528] = 0,0323;$$

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

$$\begin{aligned}
 & - \frac{4,36 - \frac{1}{7,5}}{\sqrt{4,36^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(4,36+1) \cdot (7,5-1)}{(4,36-1) \cdot (7,5+1)}} \right) \Bigg] = 0,3185 \times \\
 & \times [1,000 \cdot \arctg 1,143 - 0,996 \cdot \arctg 1,104] = \\
 & = 0,3185 \cdot [0,8520 - 0,8314] = 0,0066; \\
 & F_q = \sqrt{0,0323^2 + 0,0066^2} = 0,033.
 \end{aligned}$$

3. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  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]:

$$\begin{aligned}
 q &= E_f \cdot F_q \cdot \tau = 40 \cdot 0,033 \cdot 0,9820 = 1,3 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}; \\
 E_f &= 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ (примечание к табл. В.1 [1])}.
 \end{aligned}$$

5. Рассчитанная интенсивность теплового излучения не превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки складирования пластиковых поддонов относится к категории ДН.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молекулярная масса, кг · кмоль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °C	Температура само- воспламенения, °C	Константы уравнения Антуана			Температурный ин- тервал значений кон- стант уравнения Ан- туана, °C	Нижний концен- трационный предел распространения пламени Сникт, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>a</sub>				
1	Амилацетат	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130,196	+43	+290	6,29350	1579,510	221,365	25+147	1,08	ЛВЖ	29879
2	Амилен	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,134	<-18	+273	5,91048	1014,294	229,783	-60+100	1,49	ЛВЖ	45017
3	н-Амиловый спирт	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88,149	+48	+300	6,3073	1287,625	161,330	74+157	1,46	ЛВЖ	38385
4	Аммиак	NH <sub>3</sub>	17,03	-	+650	-	-	-	-	15,0	ГГ	18585
5	Анилин	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93,128	+73	+617	6,04622	1457,02	176,195	35+184	1,3	ГЖ	32386
6	Ацетальдегид	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,053	-40	+172	6,31653	1093,537	233,413	-80+20	4,12	ЛВЖ	27071
7	Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,038	-	+335	-	-	-	-	2,5	ГГ (ВВ)	49965
8	Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58,08	-18	+535	6,37551	1281,721	237,088	-15+93	2,7	ЛВЖ	31360
9	Бензиловый спирт	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,15	+90	+415	-	-	-	-	1,3	ГЖ	-
10	Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	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 <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54,091	-	+430	-	-	-	-	2,0	ГГ	44573
12	н-Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	-69	+405	6,00525	968,098	242,555	-130+0	1,8	ГГ	45713
13	1-Бутен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,107	-	+384	-	-	-	-	1,6	ГГ	45317
14	2-Бутен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,107	-	+324	-	-	-	-	1,8	ГГ	45574
15	н-Бутилацетат	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116,16	+29	+330	6,25205	1430,418	210,745	59+126	1,35	ЛВЖ	28280
16	втор- Бутилацетат	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116,16	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛВЖ	28202
17	н-Бутиловый спирт	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> 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 <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °C	Температура само- вспышки, °C	Константы уравнения Антуана			Температурный ин- тервал значений кон- стант уравнения Ан- туана, °C	Нижний концен- трационный предел распространения пламени СнКII, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>a</sub>				
18	Винилхлорид	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	62,499	-	+470	6,0161	905,008	239,475	-65÷-13	3,6	ГГ	18496
19	Водород	H <sub>2</sub>	2,016	-	+510	-	-	-	-	4,12	ГГ	119841
20	н-Гексадекан	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226,44	+128	+207	5,91242	1656,405	136,869	105÷287	0,47	ГЖ (ТГВ)	44312
21	н-Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,177	-23	+233	5,99517	1166,274	223,661	-54÷69	1,24	ЛВЖ	45105
22	н-Гексиловый спирт	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> 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 <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,203	-4	+223	6,07647	1295,405	219,819	60÷98	1,07	ЛВЖ	44919
24	Гидразин	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	32,045	+38	+132	7,99805	2266,447	266,316	84÷112	4,7	ЛВЖ (ВВ)	14644
25	Глицерин	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	92,1	+198	+400	8,177393	3074,220	214,712	141÷263	2,6	ГЖ	16102
26	Декан	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142,28	+47	+230	6,52023	1809,975	227,700	17÷174	0,7	ЛВЖ	44602
27	Дивиниловый эфир	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	70,1	-30	+360	-	-	-	-	1,7	ЛВЖ	32610
28	N,N-Диметил- формамид	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ON	73,1	+53	+440	6,15939	1482,985	204,342	25÷153	2,35	ЛВЖ	-
29	1,4-Диоксан	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88,1	+11	+375	6,64091	1632,425	250,725	12÷101	2,0	ЛВЖ	-
30	1,2-Дихлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,96	+9	+413	6,78615	1640,179	259,715	-24÷83	6,2	ЛВЖ	10873
31	Дизтиламин	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N	73,14	-14	+310	6,34794	1267,557	236,329	-33÷59	1,78	ЛВЖ	34876
32	Дизтиловый эфир	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74,12	-41	+180	6,12270	1098,945	232,372	-60÷35	1,7	ЛВЖ	34147
33	н-Додекан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170,337	+77	+202	7,29574	2463,739	253,884	48÷214	0,63	ГЖ	44470
34	Изобутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	-76	+462	5,95318	916,054	243,783	-159÷12	1,81	ГГ	45578
35	Изобутилен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,11	-	+465	-	-	-	-	1,78	ГГ	45928

Продолжение таблицы

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °C	Температура само- вспышки, °C	Константы уравнения Антуана			Температурный ин- тервал значений кон- стант уравнения Ан- туана, °C	Нижний концен- трационный предел распространения пламени Сникса, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>4</sub>				
36	Изобутиловый спирт	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74,12	+28	+390	7,83005	2058,392	245,642	-9÷116	1,8	ЛВЖ	36743
37	Изопентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,15	-52	+432	5,91799	1022,551	233,493	-83÷28	1,36	ЛВЖ	45239
38	Изопропил-бензол	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120,20	+37	+424	6,06756	1461,643	207,56	2,9÷152,4	0,88	ЛВЖ	46663
39	Изопропил-ловый спирт	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	60,09	+14	+430	7,51055	1733,00	232,380	-26÷148	2,23	ЛВЖ	34139
40	м-Ксиол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+28	+530	6,13329	1461,925	215,073	-20÷220	1,1	ЛВЖ	52829
41	о-Ксиол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+31	+460	6,28893	1575,114	223,579	-3,8÷144,4	1,0	ЛВЖ	41217
42	п-Ксиол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	-8,1÷138,3	1,1	ЛВЖ	41207
43	Метан	CH <sub>4</sub>	16,04	-	+537	5,68923	380,224	264,804	-182÷-162	5,28	ГГ	50000
44	Метиловый спирт	CH <sub>4</sub> O	32,04	+6	+440	7,3527	1660,454	245,818	-10÷90	6,98	ЛВЖ	23839
45	Метилпропиленкетон	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86,133	+6	+452	6,98913	1870,4	273,2	-17÷103	1,49	ЛВЖ	33879
46	Метилэтилкетон	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72,107	-6	-	7,02453	1292,791	232,340	-48÷80	1,90	ЛВЖ	-
47	Нафталин	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	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 <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	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 <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,05	-18	+430	-	-	-	-	3,2	ГГ (ВВ)	27696

## Продолжение таблицы

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг · кмоль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °C	Температура само- вспышки, °C	Константы уравнения Антуана			Температурный ин- тервал значений кон- стант уравнения Ан- туана, °C	Нижний концен- трационный предел распространения пламени Снип, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>z</sub>				
51	н-Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,230	+14	+215	6,09396	1379,556	211,896	-14÷126	0,9	ЛВЖ	44787
52	н-Пентадекан	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	212,42	+115	+203	6,0673	1739,084	157,545	92÷270	0,5	ГЖ	44342
53	н-Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,150	-44	+286	5,97208	1062,555	231,805	-50÷36	1,47	ЛВЖ	45350
54	γ-Пиколин	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93,128	+39	+578	6,44382	1632,315	224,787	70÷145	1,4	ЛВЖ	36702
55	Пиридин	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	79,10	+20	+530	5,91684	1217,730	196,342	-19÷116	1,8	ЛВЖ	35676
56	Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,096	-96	+470	5,95547	813,864	248,116	-189÷-42	2,3	ГГ	46353
57	Пропилен	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,080	-	+455	5,94852	786,532	247,243	-107,3÷-47,1	2,4	ГГ	45604
58	н-Пропиловый спирт	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	60,09	+23	+371	7,44201	1751,981	225,125	0÷97	2,3	ЛВЖ	34405
59	Сероводород	H <sub>2</sub> S	34,076	-	+246	-	-	-	-	4,3	ГГ	-
60	Сероуглерод	CS <sub>2</sub>	76,14	-43	+102	6,12537	1202,471	245,616	-15÷80	1,0	ЛВЖ	14020
61	Стирол	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	104,14	+30	+490	7,06542	2113,057	272,986	-7÷146	1,1	ЛВЖ	43888
62	Тетрагидро- фуран	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72,1	-20	+250	6,12008	1202,29	226,254	23÷100	1,8	ЛВЖ	34730
63	н-Тетрадекан	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	198,39	+103	+201	6,40007	1950,497	190,513	76÷254	0,5	ГЖ	44377
64	Толуол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	-26,7÷110,6	1,27	ЛВЖ	40936
65	н-Тридекан	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	184,36	+90	+204	7,09388	2468,910	250,310	59÷236	0,58	ГЖ	44424
66	2,2,4-Триметил- пентан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,230	-4	+411	5,93682	1257,84	220,735	-60÷175	1,0	ЛВЖ	44647
67	Уксусная кислота	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60,05	+40	+465	7,10337	1906,53	255,973	-17÷118	4,0	ЛВЖ	13097
68	н-Ундекан	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	156,31	+62	+205	6,80501	2102,959	242,574	31÷197	0,6	ГЖ	44527
69	Формальдегид	CH <sub>2</sub> O	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 · моль <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °C	Температура само- вспышки, °C	Константы уравнения Антуана			Температурный ин- тервал значений кон- стант уравнения Ан- туана, °C	Нижний концен- трационный предел распространения пламени СнКир, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>s</sub>				
70	Фталевый ангидрид	C <sub>8</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub>	148,1	+153	+580	7,12439	2879,067	277,501	134÷285	1,7 (15 г · м <sup>-3</sup> )	ГГВ	-
71	Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112,56	+29	+637	6,38605	1607,316	235,351	-35÷132	1,4	ЛВЖ	27315
72	Хлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	64,51	-50	+510	6,11140	1030,007	238,612	56÷12	3,8	ГГ	19392
73	Циклогексан	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,16	-17	+259	5,96991	1203,526	222,863	6,5÷200	1,3	ЛВЖ	43833
74	Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,069	-	+515	-	-	-	-	2,9	ГГ	52413
75	Этилацетат	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88,10	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	15÷75,8	2,0	ЛВЖ	23587
76	Этилбензол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,16	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	-9,8÷136,2	1,0	ЛВЖ	41323
77	Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,05	-	+435	-	-	-	-	2,7	ГГ	46988
78	Этиленгликоль	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	62,068	+111	+412	8,13754	2753,183	252,009	53÷198	4,29	ГЖ	19329
79	Этиловый спирт	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46,07	+13	+400	7,81158	1918,508	252,125	-31÷78	3,6	ЛВЖ	30562
80	Этилцелло- зольв	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	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 <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °C	Температура самовоспламенения, °C	Коэффициенты уравнения Антуана			Температурный интервал значений коэффициентов уравнения Антуана, °C	Нижний концен- трационный предел рас- пространения пламени Сжкп, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>a</sub>				
1	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	C <sub>7,26</sub> H <sub>14,796</sub>	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 <sub>6,991</sub> H <sub>13,108</sub>	97,2	-36	-	4,19500	682,876	222,066	-60÷85	1,08	ЛВЖ	44239
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>7,024</sub> H <sub>13,706</sub>	98,2	-36	-	4,12311	664,976	221,695	-60÷95	1,06	ЛВЖ	43641
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67)	C <sub>6,91</sub> H <sub>12,168</sub>	95,3	-37	-	4,26511	695,019	223,220	-60÷90	1,1	ЛВЖ	43641
5	Дизельное топливо «3» (ГОСТ 305-73)	C <sub>12,343</sub> H <sub>23,889</sub>	172,3	>+35	+225	5,07818	1255,73	199,523	40÷210	0,61	ЛВЖ	43590
6	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-73)	C <sub>14,511</sub> H <sub>29,120</sub>	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 <sub>13,595</sub> H <sub>26,860</sub>	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 <sub>10,914</sub> H <sub>21,832</sub>	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 <sub>11,054</sub> H <sub>21,752</sub>	154,7	>+40	+236	5,12496	1223,85	203,341	40÷190	0,66	ЛВЖ	43692
10	Ксилол (смесь изомеров) (ГОСТ 9410-60)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	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 <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концен- трационный предел рас- пространения пламени С <sub>НКПР</sub> , % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>a</sub>				
11	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛВЖ	43966
12	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-62)	C <sub>21,74</sub> H <sub>42,28</sub> S <sub>0,04</sub>	303,9	>+13 5	+270	6 88412	2524,17	174,010	164÷343	0,29	ГЖ	43111
13	Масло АМГ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C <sub>22,25</sub> H <sub>33,48</sub> S <sub>0,34</sub> N <sub>0,07</sub>	312,9	>+17 0	+290	6,12439	2240,001	167,85	170÷376	0,2	ГЖ	42257
14	Масло АМГ-300 Т (ТУ 38101243-72)	C <sub>19,04</sub> H <sub>24,58</sub> S <sub>0,196</sub> N <sub>0,04</sub>	260,3	>+18 9	+334	5,62020	2023,77	164,09	171÷396	0,2	ГЖ	41778
15	Растворитель Р-4 (н-бутил- ацетат – 12, толуол – 62, ацетон – 26)	C <sub>5,452</sub> H <sub>7,606</sub> O <sub>0,535</sub>	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 <sub>6,231</sub> H <sub>7,798</sub> C <sub>0,223</sub>	86,3	-4	-	6,27853	1415,199	244,752	-15÷100	1,38	ЛВЖ	43154
17	Растворитель Р-5 (н-бутил- ацетат – 30, ксилол – 40, ацетон – 30)	C <sub>5,309</sub> H <sub>8,655</sub> O <sub>0,897</sub>	86,8	-9	-	6,30343	1378,851	245,039	-15÷100	1,57	ЛВЖ	43154
18	Растворитель Р-12 (н-бутил- ацетат – 30, ксилол – 10, толуол – 60)	C <sub>6,837</sub> H <sub>9,217</sub> O <sub>0,515</sub>	99,6	+10	-	6,17297	1403,079	221,483	0÷100	1,26	ЛВЖ	43154
19	Растворитель М (н-бутил- ацетат – 30, этилацетат – 5, этиловый спирт – 60, изобутиловый спирт – 5)	C <sub>2,761</sub> H <sub>7,147</sub> O <sub>1,187</sub>	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 <sup>-1</sup>	Температура вспышки, °C	Температура самовоспламенения, °C	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант урав- нения Антуана, °C	Нижний концен- трационный предел рас- пространения пламени C <sub>нкп</sub> , % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup>
						A	B	C <sub>a</sub>				
20	Растворитель РМЛ (ТУКУ 467-56) (толуол – 10, этиловый спирт – 64, н-бутиловый спирт – 10, этилцеллозольв – 16)	C <sub>2,645</sub> H <sub>6,810</sub> O <sub>1,038</sub>	55,24	+10	+374	8,69654	2487,728	290,920	0÷50	2,85	ЛВЖ	40936
21	Растворитель РМЛ-218 (МРГУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат – 9, ксиол – 21,5, толуол – 21,5, этиловый спирт – 16, н-бутиловый спирт – 3, этилцеллозольв – 13, этилацетат – 16)	C <sub>4,791</sub> H <sub>8,318</sub> O <sub>0,974</sub>	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-бутил- ацетат – 18, ксиол – 25, толуол – 25, н-бутиловый спирт – 15, этилцеллозольв – 17)	C <sub>5,962</sub> H <sub>9,779</sub> O <sub>0,845</sub>	94,99	+16	+367	6,83653	1699,687	241,00	0÷50	1,25	ЛВЖ	43154
23	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-52)	C <sub>10,5</sub> H <sub>21,0</sub>	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛВЖ	43966

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Значения низшей теплоты сгорания  
твердых горючих веществ и материалов

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания $Q_n^p$ , МДж · кг <sup>-1</sup>
<b>Бумага:</b>	
разрыхленная	13,40
книги, журналы	13,40
книги на деревянных стеллажах	13,40
<b>Древесина (брюски, <math>W = 14\%</math>)</b>	13,80
<b>Древесина (мебель в жилых и административных зданиях, <math>W = 8\div10\%</math>)</b>	13,80
<b>Кальций (стружка)</b>	15,80
<b>Канифоль</b>	30,40
<b>Кинопленка триацетатная</b>	18,80
<b>Капрон</b>	31,09
<b>Карболитовые изделия</b>	26,90
<b>Каучук СКС</b>	43,89
<b>Каучук натуральный</b>	44,73
<b>Каучук хлоропреновый</b>	27,99
<b>Краситель жировой 5С</b>	33,18
<b>Краситель 9-78Ф п/э</b>	20,67
<b>Краситель фталоцианотен 4 «З» М</b>	13,76
<b>Ледерин (кожзаменитель)</b>	17,76
<b>Линкруст поливинилхлоридный</b>	17,08
<b>Линолеум:</b>	
масляный	20,97
поливинилхлоридный	14,31
поливинилхлоридный двухслойный	17,91
поливинилхлоридный на войлочной основе	16,57
поливинилхлоридный на тканевой основе	20,29
<b>Линопор</b>	19,71
<b>Магний</b>	25,10
<b>Мипора</b>	17,40

Окончание таблицы

Вещества и материалы	Низшая теплота сгорания $Q_n^p$ , МДж · кг <sup>-1</sup>
Натрий металлический	10,88
Органическое стекло	27,67
Полистирол	39,00
Резина	33,52
Текстолит	20,90
Торф	16,60
Пенополиуретан	24,30
Волокно штапельное	13,80
Волокно штапельное в кипе 40 × 40 × 40 см	13,80
Полиэтилен	47,14
Полипропилен	45,67
Хлопок в тюках $\rho = 190$ кг · м <sup>-3</sup>	16,75
Хлопок разрыхленный	15,70
Лен разрыхленный	15,70
Хлопок + капрон (3:1)	16,20

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

**Значения критических плотностей  
падающих лучистых потоков**

Материалы	$q_{kp}$ , кВт · м <sup>-2</sup>
Древесина (сосна влажность 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты плотностью 417 кг·м <sup>-3</sup>	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	$q_{kp}$ , кВт · м <sup>-2</sup>
Кожа искусственная «Теза», ТУ 17-21-488-84	17,9
Кожа искусственная «ВИК-ТР», ТУ 17-21-256-78	20,0
Кожа искусственная «ВИК-Т» на ткани 4ЛХ, ТУ 17-21-328-80	20,0
Стеклопластик на полиэфирной основе, ТУ 6-55-15-88	14,0
Лакокрасочные покрытия РХО, ТУ 400-1-120-85	25,0
Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе, ТУ 21-29-11-72	12,0
Линолеум ПВХ однослойный, ГОСТ 14632-79	10,0
Линолеум алкидный, ГОСТ 19247-73	10,0
Линолеум ПВХ марки ТТН-2, ТУ 21-29-5-69	12,0
Линолеум ПВХ на тканевой основе, ТУ 21-29-107-83	12,0
Линолеум рулонный на тканевой основе	12,0
Линолеум ПВХ, ТУ 480-1-237-86:	
с применением полотна, ТУ 17-14-148-81	7,2
с применением полотна, ТУ 17-РСФСР-18-17-003-83	6,0
на подоснове «Неткол»	9,0
Дорожка прутковая чистошерстяная, ТУ 17-Таджикская CCP-463-84	9,0
Покрытие ковровое, прошивное, ОСТ 17-50-83, арт. 5867	22,0
Покрытие ковровое для полов рулонное «Ворсолон», ТУ 21-29-12-72	5,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Мистра-1», ТУ 17-Эстонская CCP-266-80	6,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Мистра-2», ТУ 17-Эстонская CCP-266-80	5,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Авистра»	12,0
Покрытие ковровое иглопробивное «Вестра», ТУ 17-Эстонская CCP-551-86	5,0

*Окончание таблицы*

Материалы	$q_{kp}$ , $\text{kBt} \cdot \text{m}^{-2}$
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