

**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. Поляков, 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, внесении 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, касающихся 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  $t_p$  (°С) в рассматриваемом помещении.

2.5. Из справочных данных [2; приложение 1] определяется молярная масса  $M$  (кг · кмоль<sup>-1</sup>) ГГ и удельная теплота сгорания  $H_T$  (Дж · кг<sup>-1</sup>).

2.6. Плотность ГГ  $\rho_r$  (кг · м<sup>-3</sup>) рассчитывается по формуле (А.2) [1].

2.7. Согласно п. А.1.4 [1] определяется свободный объем помещения  $V_{св}$  (м<sup>3</sup>).

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

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

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 ( $Z = 1,0$ )

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

- для метана ( $Z = 0,5$ )

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

- для этана ( $Z = 0,5$ )

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

- для пропана ( $Z = 0,5$ )

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

- для бутана ( $Z = 0,5$ )

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

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

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

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 ( $Z = 1,0$ )

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

- для метана ( $Z = 0,5$ )

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

- для этана ( $Z = 0,5$ )

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

- для пропана ( $Z = 0,5$ )

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

- для бутана ( $Z = 0,5$ )

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

2.12. Определяется категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности на основании полученного значения избыточного давления взрыва  $\Delta P$  (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] находят 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  $W$  ( $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ), указанных в п. А 2.7 [1], может быть рассчитана по формуле (А. 13) [1].

3.4. По табл. А. 2 [1] выбирается значение коэффициента  $\eta$ . 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 ( $\text{с}^{-1}$ ) 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  $M$  ( $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ) [2; приложения 1, 2]. По формуле (А. 13) [1] рассчитывается значение интенсивности испарения ЛВЖ и ГЖ  $W$  ( $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

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

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

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

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

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

- для бензина АИ-93 зимнего

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

- для гексана

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

- для м-ксилола

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

- для толуола

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

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

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

- для ацетона

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

- для этилового спирта

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

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

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

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

- для м-ксилола

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

- для гексана

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

- для бензина АИ-93 зимнего

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

- для дизельного топлива зимнего

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

- для толуола

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

- для диэтилового эфира (при  $t_p < t_{\text{кнп}} = 34,5 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура кипения диэтилового эфира)

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

- для ацетона

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

- для этилового спирта

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

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  $\frac{m_{\text{ж}}}{V_{\text{св}}}$  ( $m_{\text{ж}}$  – масса поступившей в помещение ЛВЖ) при значении  $Z = 0,3$ , при условии полного испарения с поверхности разлива (менее площади помещения), температуре  $t_p = 45 \text{ }^\circ\text{C}$  и отсутствии подвижности воздуха в помещении может быть рассчитано при указанных

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

- для ацетона:

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

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

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

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

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

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

- для бензина АИ-93 зимнего:

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

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

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

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

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

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

3.12. Определяется категория помещения по взрывопожарной 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

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

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 С, Н, N, О, Р, 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 количеств обращающихся в помещении веществ и материалов осуществляется в соответствии с требованиями п. 5.2 [1].



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

### 5.1. Помещения с горючими газами

#### *Пример 1*

1. Исходные данные.

1.1. Аккумуляторное помещение объемом  $V_n = 27,2 \text{ м}^3$  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  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  (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 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 ( $A \cdot \text{ч}$ ). 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:

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

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

$$V_{\text{н}} = \frac{1,036 \cdot 10^{-8}}{\rho_{\text{г}}} \cdot 4 \cdot [I_1 \cdot n_1 + I_2 \cdot n_2 + \dots + I_i \cdot n_i] \cdot 3600,$$

где  $\rho_{\text{г}}$  – 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

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

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

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

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

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

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

3. Расчет избыточного давления взрыва  $\Delta P$  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:

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

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  $V_{св} = 0,8 \cdot V_n = 0,8 \cdot 300 = 240 \text{ м}^3$ . 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]  $t_p = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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

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

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

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

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

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. Наращивание поликристалла кремния осуществляется методом восстановления тетрахлорида кремния в атмосфере водорода на двух установках с давлением в их реакторах  $P_1 = 200 \text{ кПа}$ . Водород подается к установкам от коллектора, расположенного за пределами участка, по трубопроводу из нержавеющей стали диаметром  $d = 0,02 \text{ м}$  (радиусом  $r = 0,01 \text{ м}$ ) под давлением  $P_2 = 300 \text{ кПа}$ . Суммарная длина трубопровода от автоматической задвижки с электроприводом, расположенной за пределами участка, до установок составляет  $L_1 = 15 \text{ м}$ . Объем реактора  $V = 0,09 \text{ м}^3$ . Температура раскаленных поверхностей реактора  $t = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Время автоматического отключения по паспортным данным  $T_a = 3 \text{ с}$ . Расход газа в трубопроводе  $q = 0,06 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . Размеры помещения  $L \times S \times H = 15,81 \times 15,81 \times 6 \text{ м}$ . Объем помещения  $V_n = 1500 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{св} = 0,8 \cdot 1500 = 1200 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 250 \text{ м}^2$ .

1.2. Молярная масса водорода  $M = 2,016 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Нижний концентрационный предел распространения пламени водорода  $C_{\text{НКПР}} = 4,1 \text{ \% (об.)}$ . Стехиометрическая концентрация водорода  $C_{\text{ст}} = 29,24 \text{ \% (об.)}$ . Максимальное давление взрыва водорода  $P_{\text{max}} = 730 \text{ кПа}$ . 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]:

$$\begin{aligned} V_a &= 0,01 \cdot 200 \cdot 0,09 = 0,18 \text{ м}^3; \\ V_{1r} &= 0,06 \cdot 120 = 7,2 \text{ м}^3; \\ V_{2r} &= 0,01 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot 0,01^2 \cdot 15 = 0,014 \text{ м}^3; \\ V_r &= 7,2 + 0,014 = 7,214 \text{ м}^3; \\ m &= (0,18 + 7,214) \cdot 0,0782 = 0,5782 \text{ кг}. \end{aligned}$$

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

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

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

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

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  $X_{HKПР}$ ,  $Y_{HKПР}$  и  $Z_{HKПР}$  составят:

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

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

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 (А.1) [1] составит:

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

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

## 5.2. Помещения с легковоспламеняющимися жидкостями

### Пример 4

#### 1. Исходные данные.

1.1. Помещение складирования ацетона. В помещении хранится десять бочек с объемом ацетона в каждой по  $V_a = 80 \text{ л} = 0,08 \text{ м}^3$ . Размеры помещения  $L \times S \times H = 12 \times 6 \times 6 \text{ м}$ . Объем помещения  $V_n = 432 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{св} = 0,8 \cdot 432 = 345,6 \text{ м}^3$ . 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  $C_2H_4O$ . Плотность ацетона (жидкости)  $\rho_{ж} = 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Температура вспышки ацетона  $t_{всп} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 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 (А.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  $P_n = 40,95 \cdot \text{кПа}$  ( $\lg P_n = 6,37551 - \frac{1281,721}{32 + 237,088} = 1,612306$ , откуда расчетное значение  $P_n = 40,95 \text{ кПа}$ ).

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

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

4. Расчетная площадь разлива содержимого одной бочки ацетона составляет:

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

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 (А.12) [1]:

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

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

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

1.2. Молярная масса дизельного топлива марки «З»  $M = 172,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Брутто-формула  $C_{12,343} H_{23,889}$ . Плотность жидкости при температуре  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rho_{ж} = 804 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Константы уравнения Антуана:  $A = 5,07828$ ;  $B = 1255,73$ ;  $C_a = 199,523$ . Температура вспышки  $t_{всп} > 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . 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  $C_{НКПР} = 0,6 \%$  (об.).

### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

Плотность паров дизельного топлива при  $t_p = 41 \text{ }^\circ\text{C}$

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

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

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

$$\begin{aligned} V_{\text{ж}} &= V_{\text{а}} + q \cdot T_{\text{а}} + \pi \cdot r_1^2 \cdot L_1 = 6,3 + 0,0015 \cdot 300 + 3,14 \times \\ &\times 0,0285^2 \cdot 10 = 6,776 \text{ м}^3 = 6776 \text{ л}; \\ F_{\text{н}} &= 1,0 \cdot 6776 = 6776 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

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

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

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

$$P_{\text{н}} = 0,72 \text{ кПа}.$$

5. Интенсивность испарения  $W$  дизельного топлива составит:

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

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

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

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

7.1. Средняя концентрация паров дизельного топлива  $C_{cp}$  в помещении составит:

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

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

7.2. Значение  $C_n$  будет равно:

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

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

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

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

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

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

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

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

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 (А.1) [1] составит:

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

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

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

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

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

$$S = F = 16 \text{ м}^2;$$

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

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 электромашиного цеха. В помещении находятся два бака для покрытия лаком БТ-99 полусухих катушек способом

окунания с подводными и отводящими трубопроводами. Размеры помещения  $L \times S \times H = 32 \times 10 \times 8$  м. Объем помещения  $V_{\text{п}} = 2560 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 2560 = 2048 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 320 \text{ м}^2$ . Объем каждого бака  $V_{\text{бак}} = 0,5 \text{ м}^3$ . Степень заполнения бака лаком  $\varepsilon = 0,9$ . Объем лака в баке  $V_{\text{л}} = \varepsilon \cdot V_{\text{бак}} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45 \text{ м}^3$ . Длина и диаметр подводного (напорного) трубопровода между баком и насосом  $L_1 = 10$  м и  $d_1 = 25 \text{ мм} = 0,025$  м соответственно. Длина и диаметр отводящего трубопровода между задвижкой и баком  $L_2 = 10$  м и  $d_2 = 40 \text{ мм} = 0,04$  м соответственно. Производительность насоса  $q = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . Время отключения насоса  $T_{\text{н}} = 300$  с. В каждый бак попеременно загружается и выгружается одновременно по 10 шт. полусных катушек, размещаемых в корзине. Открытое зеркало испарения каждого бака  $F_{\text{св.ж}} = 1,54 \text{ м}^2$ . Общая поверхность 10 шт. свежеекрасенных полусных катушек  $F_{\text{св.окр}} = 6,28 \text{ м}^2$ .

1.2. В лаке БТ-99 (ГОСТ 8017-74) в виде растворителей содержится 46 % (масс.) ксилола и 2 % (масс.) уайт-спирита. В общей массе растворителей содержится  $\varphi_1 = 95,83$  % (масс.) ксилола и  $\varphi_2 = 4,17$  % (масс.) уайт-спирита. Плотность лака БТ-99  $\rho_{\text{ж}} = 953 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Молярная масса ксилола  $M = 106,17 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ , уайт-спирита  $M = 147,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Химическая формула ксилола  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ , уайт-спирита  $\text{C}_{10,5}\text{H}_{21,0}$ . Плотность жидкости ксилола  $\rho_{\text{ж}} = 855 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , уайт-спирита  $\rho_{\text{ж}} = 760 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Температура вспышки ксилола  $t_{\text{всп}} = 29$  °С, уайт-спирита  $t_{\text{всп}} = 33$  °С. Нижний концентрационный предел распространения пламени ксилола  $C_{\text{НКПР}} = 1,1$  % (об.), уайт-спирита  $C_{\text{НКПР}} = 0,7$  % (об.). Теплота сгорания ксилола  $H_{\text{т}} = Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 43154 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,15 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ , уайт-спирита  $H_{\text{т}} = Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 43966 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} =$

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- для ксилола

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

$$P_n = 2,755 \text{ кПа};$$

- для уайт-спирита

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

$$P_n = 0,964 \text{ кПа}.$$

5. Интенсивность испарения  $W$  растворителя составит:

- по ксилолу

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

- по уайт-спириту

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

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

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

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

7.1. Средняя концентрация  $C_{\text{ср}}$  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  $C_n$  будет равно:

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

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

- для ксилола

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

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

- для уайт-спирита

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

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

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)  $m_n$  составит:

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

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:

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

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

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

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

11.6. Значение  $C_0$  будет равно:

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

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

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

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

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

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

11.8. Расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа, следовательно, помещение сушильно-пропиточного отделения электромашиного 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 принадлежности помещения к категориям В1–В4.

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

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

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

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

(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 электромашиного 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  $V_{\text{п}} = 432 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 432 = 345,6 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 72 \text{ м}^2$ . Температура гексана в емкости охлажденного гексана  $T_a = 50 \text{ }^\circ\text{C} = 323,2 \text{ К}$ . 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  $0 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$   $C_{ж} = 2514 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . 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:

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

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

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):

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

$$P_{n,1} = 33,18 \text{ кПа};$$

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

$$P_{n,2} = 54,13 \text{ кПа}.$$



3.3. Удельная теплота испарения гексана  $L_{\text{исп}}$  (Дж · кг<sup>-1</sup>) при температуре  $t_{p,2} = 50$  °С рассчитывается по формуле (А.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,  $V_r$  (м<sup>3</sup>) составит:

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

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

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

3.6. Расчетная площадь разлившегося гексана  $F_{\text{н}}$  (м<sup>2</sup>) составит:

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

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

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

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

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

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

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

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

7. Суммарная масса испарившегося гексана составит:

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

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

8. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  согласно формуле (16) Пособия будет равно:

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

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

### Пример 8

1. Исходные данные.

1.1. Помещение насосной диметилформамида (ДМФА). В помещении расположены три насоса, откачивающих ДМФА из расположенного вне пределов помещения сборника, в который ДМФА отбирается из отгонного куба низа ректификационной колонны при температуре  $T_1 = 130 \text{ }^\circ\text{C} = 403,2 \text{ К}$ . Температура нагретого ДМФА в сборнике  $T_a = 110 \text{ }^\circ\text{C} = 383,2 \text{ К}$ .

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  $V_{тр} = 0,02 \text{ м}^3 = 20 \text{ л}$ . Размеры помещения  $L \times S \times H = 18 \times 6 \times 6 \text{ м}$ . Площадь помещения  $F = 108 \text{ м}^2$ . Объем помещения  $V_n = 648 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{св} = 0,8 \cdot 648 = 518,4 \text{ м}^3$ .

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  $C_{ст} = 4,64 \text{ \% (об.)}$ . Плотность жидкости ДМФА при  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rho_{ж} = 950 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$  (с запасом для  $t = 110 \text{ }^\circ\text{C}$  при расчетах). Теплоемкость ДМФА принимаем с запасом для расчетов по гексану  $C_{ж} = 2514 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  (пример 7 Пособия). Температура вспышки ДМФА  $t_{всп} = 53 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура кипения ДМФА  $t_k = 153 \text{ }^\circ\text{C}$ . Теплоту сгорания  $Q_n^p = 45,105 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$  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  $t_{p,2} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$ . 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 в соответствии с требованиями [1] и данного Пособия.

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

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

при  $t_{p,2} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$

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

3.2. Давление насыщенных паров ДМФА при температуре  $t_{p,2} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$  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  $t_{p,2} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$  рассчитывается по формуле (А.15) [1]:

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

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

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

$$V_d = q \cdot \tau + V_{тр} = 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 120 + 0,02 = 0,0334 + 0,02 =$$

$$= 0,0534 \text{ м}^3 = 53,4 \text{ л};$$

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

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

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

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

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \cdot \frac{C_{ж} \cdot m_n}{L_{исп}} =$$

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

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 диметилформаида 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  $g$ :

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

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

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

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

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  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 8 \times 30 \cdot 10 = 1920 \text{ м}^3$ . В помещении расположен смеситель, представляющий собой цилиндрическую емкость со встроенным шнекообразным устройством равномерного перемешивания порошкообразных компонентов напитка, загружаемых через расположенное сверху входное отверстие. Единовременная загрузка дисперсного материала в смеситель составляет  $m_{\text{ан}} = m = 300 \text{ кг}$ . 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 са-  
харной 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        | ≤ 100 мкм | ≤ 200 мкм | ≤ 500 мкм | ≤ 1 000 мкм |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Массовая доля, % (масс.) | 5         | 10        | 40        | 100         |

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

##### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в помещении не обращаются горючие газы, жидкостноспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более  $28 \text{ °C}$ , а также вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, данное помещение 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 (А.4) [1], где коэффициент участия пыли во взрыве  $Z$  рассчитывается по формуле (А.16) [1] (для  $d^* \leq 200$  мкм  $F = 10\% = 0,1$ ) и составляет:

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

Отсюда получаем:

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

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  $V_{св} = 1000 \text{ м}^3$ . Ежедневная пылеуборка в поме-

щении позволяет пренебречь пылеотложениями на полу, стенах и других поверхностях ( $m_{вз} = 0$ ). Размещение мешков производится вручную складскими работниками. Максимальная высота подъема мешка не превышает 2 м.

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

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

- 1) прямым указанием величины:  $\rho_{ст} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;
- 2) указанием сведений о брутто-формуле химического состава вещества, например, в виде  $C_Y H_B O_K N_A$ . В таком случае расчет  $\rho_{ст}$  производится на основе химического уравнения окисления данного вещества воздухом до соответствующих продуктов взаимодействия ( $CO_2$ ,  $H_2O$  и  $N_2$ ) — по формуле

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

При наличии в брутто-формуле вещества других элементов, 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  $\rho_{ст}$  производится по формуле

$$\rho_{ст} = (\Delta m_x / \Delta m_o) \cdot M_o,$$

где  $M_o$  – масса кислорода в  $1 \text{ м}^3$  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  $28^\circ\text{C}$ , 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 нем обращаются только горючие пыли, для проверки возможности отнесения данного помещения к категории Б следует рассмотреть аварию, сопровождающуюся образованием облака горючей пыли, и произвести расчет избыточного давления взрыва.

Аварийная ситуация с образованием пылевоздушного облака может быть связана с разрывом тары (одного из мешков с мукой), в результате которого его содержимое ( $m_{ав} = 50 \text{ кг}$ ), поступаая 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

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

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

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

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

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

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

Для надежного выполнения расчета  $\Delta P$  целесообразно объяснить физический смысл использованной здесь формулы (А.17) [1]. Избыточное давление воздуха в помещении при горении взвеси объясняется тепловыделением реакции окисления дисперсного горючего кислородом воздуха. Поэтому в окончательном расчете давления взрыва присутствует общая масса сгоревшей в пылевоздушном облаке пыли  $m$  и теплотворная характеристика выгорания единичного количества пыли  $H_t$ . Понятно, что масса  $m$  не может превысить общую массу пыли в этом облаке ( $m_{вз} + m_{ав}$ ), которая записана в верхней строке формулы (А.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 (А.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]:

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

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

### 5.5. Помещения с горючими жидкостями

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

- в качестве расчетного выбирается наиболее неблагоприятный вариант аварии, при котором участвует аппарат, имеющий наибольшую пожарную нагрузку (ш. 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, промышленные и другие масла с температурой вспышки выше 61 °С)

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

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

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

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

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;  $Q_{ni}^p$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж · кг<sup>-1</sup>.

Низшая теплота сгорания для турбинного масла составляет 41,87 МДж · кг<sup>-1</sup>. Пожарная нагрузка будет равна:

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

Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки составляет 6–8 м<sup>2</sup>. 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  $l_{пр}$  должно удовлетворять неравенству

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

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

#### *Пример 12*

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

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

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

Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки будет составлять  $30 \text{ м}^2$ . 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 микроаналитических 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.

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

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

Минимальное расстояние  $H$  от поверхности пожарной нагрузки до покрытия составляет 6 м. Площадь размещения пожарной нагрузки  $S = 10 \text{ м}^2$ . 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  $M_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 113,2$ .

Расчетная температура  $t_p$ , °С:

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

Плотность жидкости,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ :

- сольвента  $\rho_{\text{C}_4\text{H}_{10}}^{\text{ж}} = 850$ .

Плотность газов и паров,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ :

- метана  $\rho_{\text{CH}_4}^{39^\circ\text{C}} = \frac{M}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = 0,6260$ ;

- сольвента  $\rho_{\text{C}_4\text{H}_{10}}^{39^\circ\text{C}} = 4,4182 (\rho_c)$ ;  $\rho_{\text{C}_4\text{H}_{10}}^{80^\circ\text{C}} = 3,9043$ .

Парциальное давление насыщенных паров при температуре  $39^\circ\text{C}$  [2],  $\text{кПа}$ :

- сольвента  $\lg P_{\text{н, C}_4\text{H}_{10}} = 6,2276 - \frac{1529,33}{226,679 + t_p}$ ;

$$P_{\text{н, C}_4\text{H}_{10}} = 3,0.$$

Интенсивность испарения при  $39^\circ\text{C}$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ :

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

#### 1.4. Пожароопасные свойства [2].

Температура вспышки,  $^\circ\text{C}$ :

- сольвента  $t_{\text{всп}} = 21$ .

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

- метана  $C_{\text{НКПР, CH}_4} = 5,28$ ;

- сольвента  $C_{\text{НКПР, C}_4\text{H}_{10}} = 1,0$ .

Стехиометрическая концентрация, % (об.):

- метана  $C_{\text{ст, CH}_4} = 9,36$ ;

- сольвента  $C_{\text{ст, C}_4\text{H}_{10}} = 1,80 (C_{\text{ст, c}})$ .

#### 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  $V_{\text{п}} = 264,7 \cdot 30,54 \cdot 15,75 = 127322,0 \text{ м}^3$ .

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  $H$ :

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

1.5.6. Объемы встроенных помещений на отметке 6,500:

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

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

- 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  $V_{1-5, \text{встр}}$ :

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

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

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

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

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

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

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

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

- помещения (отм. 7,800, оси Ф-Х):

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

- тамбур (отм. 3,74, ось В/1):

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

- 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 встроенными помещениями:

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

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

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

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

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  $\delta_r = 15$  мкм;

- эмаль МЛ-152  $\delta_3 = 20$  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  $\varphi_{r, \text{фл}} = 67$  % (масс.);

- эмаль МЛ-152  $\varphi_3 = 78$  % (масс.).

1.5.15. Расход растворителя на единицу площади окрашиваемых поверхностей тракторов:

- сольвент (грунт ФЛ-03К)  $G_{r, \text{фл}} = 2,66 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ ;

- сольвент (эмаль МЛ-152)  $G_{рз} = 3,276 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ .

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. Обоснование расчетных вариантов аварии.

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

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

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

2.1.2. Масса газа  $m_{\text{CH}_4}$ , поступающего из трубопроводов диаметром  $d_r = 0,219$  м и общей длиной участков трубопроводов  $L_r = 1152$  м, согласно пп. А.1.2 в) и А.2.4 [1] составит:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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  $d_{бко} = d_{бкл} = 0,04 \text{ м}$  и длиной  $(L_{бко} + L_{бкл}) = 312 \text{ м}$ , составит:

$$m_{бк} = K_n \cdot n_{рз} \cdot \tau_a + [V_{бк} + 0,785 \cdot (d_{бко}^2 \cdot L_{бко} + d_{бко}^2 \cdot L_{бкл})] \cdot \rho_э \times \\ \times \rho_{с,н,н}^* = 2 \cdot 0,007413 \cdot 300 + [0,06 + 0,785 \cdot (0,04^2 \cdot 156 + \\ + 0,04^2 \cdot 156)] \cdot 0,78 \cdot 850 = 304,04 \text{ кг}.$$

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

$$F_{н,бк} = \frac{m_{бк} \cdot 100}{\Phi_3 \cdot \rho_{C_{н,3}H_{11}}} = \frac{304,04 \cdot 1000}{0,78 \cdot 850} = 458,6 \text{ м}^2.$$

2.2.3. Масса растворителя  $m_{р66}$  (кг), испаряющегося со свободной поверхности бассейна коагуляции и с поверхности разлившейся эмали МЛ-152 из красконагнетательного бака, будет равна:

$$m_{р66} = m_{р6} + W_c \cdot F_{н,бк} \cdot T_a = 26,0658 + 3,1919 \cdot 10^{-5} \cdot 458,6 \times 3600 = 78,7628 \text{ кг}.$$

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

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

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

$$m_{п,р} = m_{р66} + m_{рк} = 78,7628 + 74,836 = 153,5988 \text{ кг}.$$

2.3. Разгерметизация красконагнетательного бака, остановка конвейера.

2.3.1. Масса растворителя  $m_{р66}$  (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:

$$F_{г0} = 260 \text{ м}^2;$$

$$m_{гэ0} = K_n \cdot G_{рфл} \cdot F_{г0} \cdot \delta_r = 2 \cdot 2,66 \cdot 10^{-3} \cdot 260 \cdot 15 = 20,7480 \text{ кг};$$

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

$$F_{гс} = 227,5 \text{ м}^2;$$

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

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

$$F_{э0} = 305,5 \text{ м}^2;$$

$$m_{э0э} = K_n \cdot G_{рз} \cdot F_{э0} \cdot \delta_3 = 2 \cdot 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 305,5 \cdot 20 = 40,0327 \text{ кг};$$

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

$$F_{эсэ} = 500,5 \text{ м}^2;$$

$$m_{эсэ} = G_{рз} \cdot F_{эсэ} \cdot \delta_3 = 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 500,5 \cdot 20 = 32,7928 \text{ кг};$$

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

$$F_{эос} = 533 \text{ м}^2;$$

$$m_{эос} = K_n \cdot G_{рз} \cdot F_{эос} \cdot \delta_3 = 2 \cdot 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 533 \cdot 20 = 69,8443 \text{ кг};$$

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

$$F_{эсс} = 1092 \text{ м}^2;$$

$$m_{эсс} = G_{рз} \cdot F_{эсс} \cdot \delta_3 = 3,276 \cdot 10^{-3} \cdot 1092 \cdot 20 = 71,5478 \text{ кг}.$$

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

2.4.1. Масса газа  $m_{\text{СН}_4}$ , 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:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(P_{\max} - P_0) \cdot 100}{V_{\text{св}} \cdot K_{\text{н}}} \cdot \left[ \frac{m_{\text{CH}_4} \cdot Z_{\text{г}}}{\rho_{\text{CH}_4} \cdot C_{\text{ст, CH}_4}} + \frac{m_{\text{рб}} \cdot Z_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}^{39^\circ\text{C}} \cdot C_{\text{ст, с}}} + \right. \\ &+ \left. \frac{(m_{\text{эс}} + m_{\text{гз}} + m_{\text{эз}}) \cdot Z_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}^{80^\circ\text{C}} \cdot C_{\text{ст, с}}} \right] = \frac{799 \cdot 100}{89813 \cdot 3} \cdot \left[ \frac{107,97 \cdot 0,5}{0,626 \cdot 9,36} + \right. \\ &+ \left. \frac{26,0658 \cdot 0,3}{4,4182 \cdot 1,8} + \frac{(53,3726 + 8,1236 + 13,3398) \cdot 0,3}{3,9043 \cdot 1,8} \right] = \\ &= 0,2965 \cdot (9,2135 + 0,9833 + 3,1946) = 3,97 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

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:

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

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:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(P_{\max} - P_0) \cdot Z_{\text{п}}}{V_{\text{св}} \cdot K_{\text{н}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст,с}}} \cdot \left[ \frac{m_{\text{р66}}}{\rho_{\text{с}}^{39^{\circ}\text{C}}} + \right. \\ &+ \left. \frac{(m_{\text{гзо}} + m_{\text{гэс}} + m_{\text{зоэ}} + m_{\text{эсэ}} + m_{\text{эос}} + m_{\text{эсс}})}{\rho_{\text{с}}^{80^{\circ}\text{C}}} \right] = \\ &= \frac{799 \cdot 0,3 \cdot 100}{89813 \cdot 3 \cdot 1,8} \cdot \left[ \frac{78,7628}{4,4182} + \right. \\ &+ \left. \frac{(20,7480 + 9,077 + 40,0327 + 32,7928 + 69,8443 + 71,5478)}{3,9043} \right] = \\ &= 0,04942 \cdot (17,8269 + 62,5062) = 3,97 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(P_{\max} - P_0) \cdot 100}{V_{\text{св}} \cdot K_{\text{н}}} \cdot \left[ \frac{m_{\text{CH}_4} \cdot Z_{\text{г}}}{\rho_{\text{CH}_4} \cdot C_{\text{ст,CH}_4}} + \frac{m_{\text{р6}} \cdot Z_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}^{39^{\circ}\text{C}} \cdot C_{\text{ст,с}}} + \right. \\ &+ \left. \frac{(m_{\text{гзо}} + m_{\text{гэс}} + m_{\text{зоэ}} + m_{\text{эсэ}} + m_{\text{эос}} + m_{\text{эсс}}) \cdot Z_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}^{80^{\circ}\text{C}} \cdot C_{\text{ст,с}}} \right] = \end{aligned}$$



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

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

### Пример 19

#### 1. Исходные данные.

1.1. Помещение отделения консервации и упаковки станков. В помещении производится обезжиривание поверхностей станков в водном растворе тринатрийфосфата с синтанолом ДС-10, обезжиривание отдельных деталей станков уайт-спиритом и обработка поверхностей станков (промасливание) индустриальным маслом И-50. Размеры помещения  $L \times S \times H = 54,0 \times 12,0 \times 12,7$  м. Объем помещения  $V_n = 8229,6 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{св} = 0,8 \cdot 8229,6 = 6583,7 \text{ м}^3 \approx 6584 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 648 \text{ м}^2$ . Обезжиривание станков раствором тринатрийфосфата ( $m_1 = 20,7$  кг) с синтанолом ДС-10 ( $m_2 = 2,36$  кг) осуществляется в ванне размером  $L_1 \times S_1 \times H_1 = 1,5 \times 1,0 \times 1,0$  м ( $F_1 = 1,5 \text{ м}^2$ ). Отдельные детали станков обезжириваются в вытяжном шкафу размером  $L_2 \times S_2 \times H_2 = 1,2 \times 0,8 \times 2,85$  м ( $F_2 = 0,96 \text{ м}^2$ ) уайт-спиритом, который хранится в шкафу в емкости объемом  $V_2 = 3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$  (суточная норма). Обработка поверхностей станков производится в ванне с индустриальным маслом И-50 размером  $L_3 \times S_3 \times H_3 = 1,15 \times 0,9 \times 0,72$  м ( $F_3 = 1,035 \text{ м}^2$ ,  $V_3 = 0,7452 \text{ м}^3$ ) при температуре  $t = 140$  °С. Масса

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

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

## 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  $\rho_n = \frac{147,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 35)} = 5,8240$  кг · м<sup>-3</sup>. Длительность испарения по п. А.1.2 е) [1]  $T = 3600$  с.

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

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

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

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

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

$$P_{\text{н}} = 0,87 \text{ кПа}.$$

5. Интенсивность испарения  $W$  уайт-спирита составит:

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

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

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

7. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  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  $t = 150^\circ\text{C}$  могут выделять в воздух летучие продукты термоокислительной деструкции, содержащие органические кислоты, карбонильные соединения, оксид углерода. При этом на 1 т сырья выделяется 1,7 кг газообразных продуктов (в пересчете на уксусную кислоту).

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

Производительность насоса с диатермическим маслом (аллотерм-1)  $n_1 = 170 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,0472 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 71,5 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ . Всего в системе циркуляции диатермического масла находится  $m_4 = 15$  т масла. Максимальная длина подводящих и отводящих трубопроводов с диатермическим маслом между ручными задвижками и смесителями  $L_1 = 19$  м, диаметр  $d_1 = 150 \text{ мм} = 0,15$  м. Производительность насоса, подающего смесь в пропиточную ванну,  $n_2 = 10 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,00278 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 2,78 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$  (по битуму с полипропиленом  $2,5 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ), а отводящего смесь в смесители из ванн  $n_3 = 5 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,00139 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 1,39 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$  (по битуму с полипропиленом  $1,25 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ). Максимальная длина подводящих и отводящих трубопроводов со смесью между ручными задвижками и смесителями  $L_2 = 15$  м, диаметр  $d_2 = 150 \text{ мм} = 0,15$  м. Производительность насоса, перекачивающего битум из резервуара, расположенного в другом помещении, в смесители,  $n_4 = 25 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1} = 0,007 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} = 7 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ . Максимальная длина подводящего трубопровода между ручной задвижкой и смесителем  $L_3 = 20$  м, диаметр  $d_3 = 150 \text{ мм} = 0,15$  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  $H_{\text{T}} = Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 50460 - 8,545 \cdot \rho_{\text{ж}} = 41915 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 41,92 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ , аллотерма-1  $H_{\text{T}} = Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 50460 - 8,545 \cdot 1514 = 37523 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 37,52 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ , полипропилена  $H_{\text{T}} = Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 44000 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 44,0 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

## 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  $m_{\text{п}}$  ( $K_{\text{г}} = 1,0$ ;  $K_{\text{у}} = 0,7$ ) 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  $m_{\text{пр}}$  в массе  $m_{\text{см}}$  составит, при соотношении битума, полипропилена и талька 8:1:1:

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

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

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

3. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  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  $Q_n^p = 41,92 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

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 —  $F_{A,Б} = 550 \text{ м}^2$ .

## 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 —  $F_{A,Б} = 1400 \text{ м}^2$ . 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 категорий В1–В3 составляет  $F_{В} = 8000 \text{ м}^2$ .

##### 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  $F_{А,Б} = 180 \text{ м}^2$ , категорий В1–В3 –  $F_{В} = 5000 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3 –  $F_{А,Б,В} = 5180 \text{ м}^2$ .

##### 2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б составляет 1,5 % площади всех помещений здания и не превышает  $200 \text{ м}^2$ . Согласно пп. 6.2 и 6.4 здание не относится к категории А или Б. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1–В3 составляет 43,17 % площади всех помещений здания, что более 5 %. Согласно п. 6.6 [1] здание относится к категории В.

#### Пример 27

##### 1. Исходные данные.

Производственное двухэтажное здание. Общая площадь помещений здания  $F = 20000 \text{ м}^2$ . Площадь помещений категорий А и Б составляет  $F_{А,Б} = 900 \text{ м}^2$ , категорий В1–В3 –  $F_{В} = 4000 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3 –  $F_{А,Б,В} = 4900 \text{ м}^2$ . Помещения категории А, Б, В1–В3 оборудованы установками автоматического пожаротушения.

## 2. Определение категории здания.

Суммарная площадь помещений категорий А и Б, оборудованных установками автоматического пожаротушения, составляет 4,5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания и 1000 м<sup>2</sup>. Согласно пп. 6.3 и 6.5 [1] здание не относится к категориям А или Б. Суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1–В3 составляет 24,5 % и не превышает 25 % площади всех помещений здания, но более 3500 м<sup>2</sup>. Согласно п. 6.7 [1] здание относится к категории В.

### 5.8.4. Здания категории Г

#### Пример 28

##### 1. Исходные данные.

Производственное шестизэтажное здание. Общая площадь помещений здания  $F = 30000$  м<sup>2</sup>. Помещения категорий А и Б в здании отсутствуют. Площадь помещений категорий В1–В3 составляет  $F_{В} = 1800$  м<sup>2</sup>, категории Г –  $F_{Г} = 2000$  м<sup>2</sup>, суммарная площадь помещений категорий В1–В3, Г –  $F_{В,Г} = 3800$  м<sup>2</sup>.

##### 2. Определение категории здания.

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

#### Пример 29

##### 1. Исходные данные.

Производственное четырехэтажное здание. Общая площадь помещений здания  $F = 16000$  м<sup>2</sup>. Площадь помещений категорий А и Б составляет  $F_{А,Б} = 800$  м<sup>2</sup>, помещений

категорий В1–В3 –  $F_B = 1500 \text{ м}^2$ , помещений категории Г –  $F_G = 3000 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3 –  $F_{A, Б, В} = 2300 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3, Г –  $F_{A, Б, В, Г} = 5300 \text{ м}^2$ . 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 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, В1–В3, 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, В1–В3, Г, где помещения категорий А, Б, В1–В3 оборудованы установками автоматического пожаротушения, составляет 31,12 % площади всех помещений здания, что более 25 % и  $5000 \text{ м}^2$ . 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  $F_{A, Б} = 600 \text{ м}^2$ , категорий В1–В3 –  $F_B = 1000 \text{ м}^2$ , категории Г –  $F_G = 200 \text{ м}^2$ , категорий В4 и Д –  $F_{B4, Д} = 6200 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3 –  $F_{A, Б, В} = 1600 \text{ м}^2$ , суммарная категорий А, Б, В1–В3, Г –  $F_{A, Б, В, Г} = 1800 \text{ м}^2$ . 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 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  $F_{В} = 1000 \text{ м}^2$ , категории Г –  $F_{Г} = 200 \text{ м}^2$ , категорий В4 и Д –  $F_{В4, Д} = 23800 \text{ м}^2$ , суммарная категорий В1–В3, Г –  $F_{В, Г} = 1200 \text{ м}^2$ .

#### 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-

мещений здания. Согласно пп. 6.8 и 6.10 [1] здание не относится к категориям А, Б, В и Г. Следовательно, оно относится к категории Д.

### *Пример 32*

#### 1. Исходные данные.

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

#### 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<sup>-1</sup> = 11,1111 кг · с<sup>-1</sup>, температура газа  $t_r = 60$  °С.

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

$$m_1 = G \cdot \tau + 0,01 \cdot 0,785 \cdot d_{\text{тп}_1}^2 \cdot L_1 \cdot P \cdot \rho_r = 11,1111 \cdot 120 + 0,01 \times \\ \times 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 700 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 1333,3 + 5284,5 = 6617,8 \text{ кг};$$

$$m_2 = G \cdot \tau + 0,01 \cdot 0,785 \cdot d_{\text{тп}_2}^2 \cdot L_2 \cdot P \cdot \rho_r = 1333,3 + 0,01 \cdot 0,785 \times \\ \times 0,5^2 \cdot 75 \cdot 2500 \cdot 1,5387 = 1333,3 + 566,2 = 1899,5 \text{ кг};$$

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

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 (В.14) и (В.15) [1] составит:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3} \right) = \\ &= 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 6677^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 6677^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 6677}{30^3} \right) = \\ &= 101 \cdot (0,488 + 1,114 + 1,236) = 101 \cdot 2,838 = 287 \text{ кПа}; \\ m_{\text{пр}} &= \frac{Q_{\sigma}}{Q_0} \cdot m \cdot Z = \frac{45,604 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 6617,8 \cdot 0,1 = 6677 \text{ кг}. \end{aligned}$$

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 сжиженного 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  $V_{\text{ж}} = 9850 \text{ м}^3$  с массой  $m_{\text{ж}} = 5,5948 \cdot 10^6 \text{ кг}$ .

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

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

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

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  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 (В.2), (В.3) [1]:

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

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

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

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

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

$$F_{и} = F = 5184 \text{ м}^2;$$

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

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

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

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

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

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

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]:

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

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

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

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

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

6. Пожарный риск  $P(a)$  (год<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) емкости под давлением с последующим истечением для всех размеров утечек при различных диаметрах  $d$  (м) истечения представлена в табл. П.1.1 [7] и соответственно составляет:

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Расход пропилена  $G$  (кг · с<sup>-1</sup>) через различные диаметры истечения составляет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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 (В.14) и (В.15) [1] составит:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_1 &= P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{\text{нр1}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{нр1}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{нр1}}}{r^3} \right) = \\
 &= 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 1940,7^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1940,7^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1940,7}{30^3} \right) = 118,8 \text{ кПа};
 \end{aligned}$$

$$m_{\text{нр1}} = \frac{Q_{\text{ср}}}{Q_0} \cdot m_1 \cdot Z = \frac{45,604 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 1923,5 \cdot 0,1 = 1940,7 \text{ кг};$$

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

$$m_{\text{нр2}} = 1,009 \cdot 1924,2 = 1941,4 \text{ кг};$$

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

$$m_{\text{нр3}} = 1,009 \cdot 1926,7 = 1944 \text{ кг};$$



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Q_{a1} = 0,962, Q_{a2} = 0,962, Q_{a3} = 0,963, Q_{a4} = 0,963, Q_{a5} = 0,966, \\ Q_{a6} = 0,996.$$

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

$$P(a) = Q_{a1} \cdot Q_1 + Q_{a2} \cdot Q_2 + Q_{a3} \cdot Q_3 + Q_{a4} \cdot Q_4 + Q_{a5} \cdot Q_5 + \\ + Q_{a6} \cdot Q_6 = 0,962 \cdot 4,0 \cdot 10^{-5} + 0,962 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} + 0,963 \times \\ \times 6,2 \cdot 10^{-6} + 0,963 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} + 0,966 \cdot 1,7 \cdot 10^{-6} + \\ + 0,996 \cdot 3,0 \cdot 10^{-7} = 3,848 \cdot 10^{-5} + 0,962 \cdot 10^{-5} + 5,971 \cdot 10^{-6} + \\ + 3,659 \cdot 10^{-6} + 1,642 \cdot 10^{-6} + 2,988 \cdot 10^{-7} = 5,967 \cdot 10^{-5}.$$

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

## 6.2. Наружные установки

### с легковоспламеняющимися жидкостями

#### Пример 37

##### 1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Склад ацетона. Представляет собой группу из 8 горизонтальных резервуаров объемом  $10 \text{ м}^3$  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  $Q_{сг} = 31360 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 31,36 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . 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

$$\rho_{п} = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 37)} = 2,815 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}. \text{ Константы}$$

уравнения Антуана  $A = 6,37551$ ,  $B = 1281,721$ ,  $C_a = 237,088$ .

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

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

$$P_{н} = 50,03 \text{ кПа}.$$

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

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

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  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:

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

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:

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

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

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

### Пример 38

#### 1. Исходные данные.

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

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

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  $C_{НКПР} = 0,61 \%$  (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 сгорании смеси горючих паров дизельного топлива с воздухом в открытом пространстве принимается разгерметизация резервуара АЦ, разлив поступившего из резервуара АЦ дизельного топлива на горизонтальную поверхность, испарение дизельного топлива с поверхности разлива и поступление паров дизельного топлива в окружающее пространство.

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

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

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

4. Горизонтальный размер зоны  $R_{\text{НКПР}}$ , ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени  $S_{\text{НКПР}}$ , согласно формуле (В.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 (В.14) и (В.15) [1] составит:

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

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

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 (В.23) [1]:

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

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

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

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

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

5. По табл. П.4.2 и формуле (П.4.2) [6] для получения значения пробит-функции определяем условную вероятность поражения человека  $Q_d = 1,42 \cdot 10^{-7}$ .

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

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

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



ния не превышает одну миллионную ( $10^{-6}$ ) в год на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки для автоцистерны не относится к категории БН.

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

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

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

$$F = F_{\text{н}} = 900 \text{ м}^2;$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

10. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (В.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  $q$  (кВт  $\cdot$  м<sup>-2</sup>) при горении пролива жидкости по формуле (В.24) [1]:

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

12. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает 4 кВт  $\cdot$  м<sup>-2</sup> 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  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ °С} = 553,2 \text{ К} (T_{\text{а}})$ .

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  $t_{\text{всп}} > 170 \text{ °С}$ . Удельная теплота сгорания масла-теплоносителя АМТ-300 равна  $Q_{\text{сг}} = 42257 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 42,257 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Плотность жидкости при  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ °С}$  составляет  $\rho_{\text{ж}} = 794 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Теплоемкость теплоносителя при  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ °С}$  равна  $C_{\text{ж}} = 2480 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана  $A = 6,12439$ ,  $B = 2240,001$ ,  $C_{\text{а}} = 167,85$ .

1.3. Давление насыщенных паров теплоносителя  $P_{\text{н}}$  при начальной температуре нагретого теплоносителя  $t_{\text{ж}} = 280 \text{ °С} = 553,2 \text{ К} (T_{\text{а}})$  составляет:

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

$$P_{\text{н}} = 13,26 \text{ кПа.}$$

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

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

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

## 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  $m_n$  (кг), поступившей в окружающее пространство, составляет:

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

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

$$\begin{aligned} m &= 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \cdot \frac{C_{ж} \cdot m_n}{L_{исп}} = \\ &= 0,02 \cdot \sqrt{312,9} \cdot 13,26 \cdot \frac{2480 \cdot 27790}{209427} = 1543,8 \text{ кг.} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta P &= 101 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 1443,3^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 1443,3^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 1443,3}{30^3} \right) = 97,7 \text{ кПа;} \\ m_{пр} &= \frac{42,257 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 1543,8 \cdot 0,1 = 1443,3 \text{ кг.} \end{aligned}$$

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

тельно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка емкости-накопителя горячего масла-теплоносителя АМТ-300 относится к категории БН.

### Пример 41

#### 1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Система водно-гликолевого обогрева. Резервуар хранения отработанного этиленгликоля расположен на открытой площадке. Объем этиленгликоля в емкости  $V_{\text{ж}} = 3,0 \text{ м}^3$ . 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  $t_{\text{ж}} = 120 \text{ }^\circ\text{C} = 393,2 \text{ К} (T_{\text{в}})$ .

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  $t_{\text{всп}} = 111 \text{ }^\circ\text{C}$ . Удельная теплота сгорания этиленгликоля  $Q_{\text{сг}} = 19329 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 19329 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Плотность жидкости при  $t_{\text{ж}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $\rho_{\text{ж}} = 987 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Теплоемкость жидкости при  $t_{\text{ж}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$  составляет  $C_{\text{ж}} = 2820 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана  $A = 8,13754$ ,  $B = 2753,183$ ,  $C_{\text{в}} = 252,009$ . Абсолютная максимальная температура воздуха в данном районе (г. Ноглики, Сахалинская обл.) [3] составляет  $t_{\text{п}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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

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

$$P_n = 5,45 \text{ кПа.}$$

1.4. Теплота испарения этиленгликоля  $L_{исп}$  согласно формуле (А.15) [1] будет равна:

$$L_{исп} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot 2753,183 \cdot 393,2^2}{(393,2 + 252,009 - 273,2)^2 \cdot 62,068} = 950118 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  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  $m_{л}$ , поступившей в окружающее пространство, составляет:

$$m_{л} = (V_{ж} + V_{тр}) \cdot \rho_{ж} = (3,0 + 0,2) \cdot 987 = 3158,4 \text{ кг.}$$

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

$$m = 0,02 \cdot \sqrt{62,068} \cdot 5,45 \cdot \frac{2820 \cdot 3158,4}{950118} = 8,05 \text{ кг.}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$H = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{M}{\rho_v \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 24,73 \cdot \left( \frac{0,04}{1,138 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 24,73}} \right) = 252 \text{ м};$$

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

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

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} = \frac{2 \cdot 252}{24,73} = 2,04;$$

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

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

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

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



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

$$= \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1}{2,43} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{2,04}{\sqrt{2,43^2-1}} \right) - \frac{2,04}{2,43} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{2,43-1}{2,43+1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2,28}{\sqrt{2,28^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,28+1) \cdot (2,43-1)}{(2,28-1) \cdot (2,43+1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times$$

$$\times [0,412 \cdot \operatorname{arctg} 0,921 - 0,840 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,646 - 1,113 \cdot \operatorname{arctg} 1,034 \}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,3066 + 0,2681] = 0,1830;$$

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

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

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

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

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

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

9. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (В.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 (В.24) [1]:

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

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

11. Расчетная интенсивность теплового излучения не превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии  $30 \text{ м}$  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  $100 \text{ мкм}$ ) в количестве до  $5000 \text{ кг}$ . Теплота сгорания древесной пыли  $H_f = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Критический размер частиц взрывоопасной взвеси древесной

пыли  $d^* = 250$  мкм. Стехиометрическая концентрация принимается равной  $\rho_{ст} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . В объеме фильтра возможно образование взрывоопасного облака древесной пыли при взвихрении отложений пыли (сорвавшихся со стенок бункера) поступающим в бункер потоком запыленного воздуха.

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

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

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

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

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

3) результатами экспериментального измерения убыли массы кислорода  $\Delta m_O$  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  $\rho_{ст}$  производится по формуле

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

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

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

Поскольку в рассматриваемой установке не присутствуют горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °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 аэрозвеси совпадает с объемом бункера  $V_{ав} = 30 \text{ м}^3$ .

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 (А.16) [1] и составляет:

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

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

$$m = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{вз} + m_{ав} \\ \rho_{ст} \cdot V_{ав} / Z \end{array} \right.$$

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

Для надежного выполнения расчета  $\Delta P$  целесообразно объяснить физический смысл использованной здесь формулы (А.17) [1]. Избыточное давление воздуха в помещении при горении взвеси объясняется тепловыделением реакции окисления дисперсного горючего кислородом воздуха. Поэтому в окончательном расчете давления взрыва присутствует общая масса сгоревшей в пылевоздушном облаке пыли  $m$  и теплотворная характеристика выгорания единичного количества пыли  $H_T$ . Понятно, что масса  $m$  не может превысить общую массу пыли в этом облаке ( $m_{вз} + m_{ав}$ ), которая записана в верхней строке формулы (А. 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 она не должна превосходить величину  $\rho_{ст} \cdot V_{ав}$ , фигурирующую в нижней строке формулы (А. 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  $m_{\text{пр}}$ , кг, определяют по формуле (B.21) [1]:

$$m_{\text{пр}} = m \cdot Z \cdot H_T/H_{T0} = 15 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^7/4,52 \cdot 10^6 = 4,9 \text{ кг.}$$

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

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

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:  $Q = 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .  
Дополнительная информация: насыпная плотность древесной пыли составляет  $\rho_n = 300 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , 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  $28^\circ\text{C}$ , 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]:

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

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

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

где  $V = (17500/\Delta P)^{8,4} + (290/i)^{9,3} = (17500/5600)^{8,4} + (290/11,7)^{9,3} = 9,3 \cdot 10^{12}$ .

5. По табл. Г.1 [1] для полученного значения пробит-функции определяем условную вероятность поражения человека:  $Q_d < 0,001$ .

6. Пожарный риск  $P(a)$  ( $\text{год}^{-1}$ ) 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  $V_n = 30$  м<sup>3</sup>. 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:  $H = R = (3 \cdot V_n / \pi)^{1/3} = (3 \cdot 30 / 3,14)^{1/3} = 3$  м.

10. В соответствии с формулой (В.24) [1] интенсивность теплового излучения  $q$ , кВт · м<sup>-2</sup>, при горении твердых материалов рассчитывают по формуле

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

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт · м<sup>-2</sup>;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

В соответствии с примечанием к табл. В.1 допускается принимать  $E_f = 40$  кВт · м<sup>-2</sup>.

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

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

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  $S_{\text{max}} = \pi \cdot R^2$ ;  $r_{\text{min}} = r - R$ . Таким образом,

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

Согласно формуле (В.34) [1]

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

Объединяя результаты оценок, получим:

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

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 (В.27) [1]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
& \times \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} = \\
& = \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1}{1,62} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{1,8}{\sqrt{1,62^2-1}} \right) - \frac{1,8}{1,62} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{1,62-1}{1,62+1}} \right) - \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - \frac{2,12}{\sqrt{2,12^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12+1) \cdot (1,62-1)}{(2,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times \\
& \times [0,617 \cdot \operatorname{arctg} 1,412 - 1,111 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,486 - 1,134 \cdot \operatorname{arctg} 0,812 \}] = \\
& = 0,3185 \cdot [0,5890 + 0,3193] = 0,2893; \\
F_{\text{н}} & = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{B-\frac{1}{S}}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{A-\frac{1}{S}}{\sqrt{A^2-1}} \times \right. \\
& \quad \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \left. \right] = \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1,12-\frac{1}{1,62}}{\sqrt{1,12^2-1}} \times \right. \\
& \quad \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(1,12+1) \cdot (1,62-1)}{(1,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) - \frac{2,12-\frac{1}{1,62}}{\sqrt{2,12^2-1}} \times \\
& \quad \times \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12+1) \cdot (1,62-1)}{(2,12-1) \cdot (1,62+1)}} \right) \left. \right] = 0,3185 \cdot [0,997 \cdot \operatorname{arctg} 2,045 -
\end{aligned}$$

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

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

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (В.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 (В.24) [1]:

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

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

7. Расчетная интенсивность теплового излучения превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки хранения индустриального масла в металлических бочках относится к категории ВН.

### Пример 45

#### 1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Трансформатор, расположенный на открытой площадке. Объем трансформаторного масла в трансформаторе  $V_{\text{ж}} = 1,0 \text{ м}^3$ . Под трансформатором размещен поддон-маслосборник объемом  $V_{\text{м}} = 1,2 \text{ м}^3$ . Площадь поддона  $F = 20 \text{ м}^2$ .

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

## 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 (В.27) [1]:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F_v = \frac{1}{3,14} \cdot \left[ \frac{1}{11,88} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{3,33}{\sqrt{11,88^2 - 1}} \right) - \frac{3,33}{11,88} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{11,88 - 1}{11,88 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{6,45}{\sqrt{6,45^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(6,45 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(6,45 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times \\ \times [0,084 \cdot \operatorname{arctg} 0,281 - 0,280 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,919 - 1,012 \cdot \operatorname{arctg} 1,074 \}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,0230 + 0,0246] = 0,0152;$$

$$F_H = 0,3185 \cdot \left[ \frac{5,98 - \frac{1}{11,88}}{\sqrt{5,98^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(5,98 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(5,98 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{6,45 - \frac{1}{11,88}}{\sqrt{6,45^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(6,45 + 1) \cdot (11,88 - 1)}{(6,45 - 1) \cdot (11,88 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \times \\ \times [1,000 \cdot \operatorname{arctg} 1,088 - 0,999 \cdot \operatorname{arctg} 1,074] = \\ = 3,185 \cdot [0,8275 - 0,8202] = 0,002325; \\ F_q = \sqrt{0,0152^2 + 0,002325^2} = 0,0154.$$

5. Определяем коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  по формуле (В.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 (В.24) [1]:

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

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

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения не превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной

установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка трансформатора с трансформаторным маслом, расположенного на открытой площадке, не относится к категории ВН и относится к категории ДН.

### 6.6. Наружные установки с твердыми горючими веществами и материалами

#### Пример 46

##### 1. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Склад для хранения пиломатериалов в штабелях на открытой площадке. Площадь хранения (размещения) пиломатериалов  $F = 1000 \text{ м}^2$ .

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

##### 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]:

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

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



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

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

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

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

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

$$F_v = 0,3185 \cdot \left[ \frac{1}{1,68} \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{1,82}{\sqrt{1,68^2 - 1}} \right) - \frac{1,82}{1,68} \cdot \left[ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{1,68 - 1}{1,68 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2,12}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(2,12 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) \right] \right] = 0,3185 \times \\ \times [0,595 \cdot \operatorname{arctg} 1,348 - 1,083 \cdot \{ \operatorname{arctg} 0,504 - 1,134 \cdot \operatorname{arctg} 0,841 \}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,5549 + 0,3532] = 0,2892;$$

$$F_H = 0,3185 \cdot \left[ \frac{1,14 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{1,14^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(1,14 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(1,14 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{2,12 - \frac{1}{1,68}}{\sqrt{2,12^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,12 + 1) \cdot (1,68 - 1)}{(2,12 - 1) \cdot (1,68 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \times$$

$$\begin{aligned} & \times [0,995 \cdot \operatorname{arctg} 1,969 - 0,816 \cdot \operatorname{arctg} 0,841] = \\ & = 0,3185 \cdot [1,0954 - 0,5706] = 0,6171; \end{aligned}$$

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

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  $t_p = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При расчете интенсивности теплового излучения при горении пластиковых поддонов на складе принимается горение на площади их размещения  $F = 200 \text{ м}^2$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F_v = 0,3185 \cdot \left[ \frac{1}{3,75} \cdot \arctg \left( \frac{2,31}{\sqrt{3,75^2 - 1}} \right) - \frac{2,31}{3,75} \left\{ \arctg \left( \frac{\sqrt{3,75 - 1}}{\sqrt{3,75 + 1}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2,72}{\sqrt{2,72^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \frac{\sqrt{(2,72 + 1) \cdot (3,75 - 1)}}{\sqrt{(2,72 - 1) \cdot (2,72 + 1)}} \right) \right\} \right] = 0,3185 \times$$

$$\times [0,267 \cdot \arctg 0,639 - 0,616 \cdot \{ \arctg 0,761 - 1,075 \cdot \arctg 1,264 \}] = \\ = 0,3185 \cdot [0,1518 + 0,3186] = 0,1498;$$

$$\begin{aligned}
 F_n &= 0,3185 \cdot \left[ \frac{2,01 - \frac{1}{3,75}}{\sqrt{2,01^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,01 + 1) \cdot (3,75 - 1)}{(2,01 - 1) \cdot (3,75 + 1)}} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{2,72 - \frac{1}{3,75}}{\sqrt{2,72^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(2,72 + 1) \cdot (3,75 - 1)}{(2,72 - 1) \cdot (3,75 + 1)}} \right) \right] = 0,3185 \times \\
 &\quad \times [1,000 \cdot \operatorname{arctg} 1,314 - 0,970 \cdot \operatorname{arctg} 1,119] = \\
 &\quad = 0,3185 \cdot [0,9203 - 0,8162] = 0,0332; \\
 F_q &= \sqrt{0,1498^2 + 0,0332^2} = 0,1534.
 \end{aligned}$$

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

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 0,5 \cdot 16)] = 0,9847.$$

6. Вычисляем интенсивность теплового излучения  $q$  при горении твердых горючих материалов согласно формуле (В.24) [1]:

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

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

7. Рассчитанная интенсивность теплового излучения превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки складирования пластиковых поддонов относится к категории 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 (В.27) [1]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 & - \frac{4,36 - \frac{1}{7,5}}{\sqrt{4,36^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{(4,36 + 1) \cdot (7,5 - 1)}{(4,36 - 1) \cdot (7,5 + 1)}} \right) = 0,3185 \times \\
 & \times [1,000 \cdot \operatorname{arctg} 1,143 - 0,996 \cdot \operatorname{arctg} 1,104] = \\
 & = 0,3185 \cdot [0,8520 - 0,8314] = 0,0066; \\
 & F_q = \sqrt{0,0323^2 + 0,0066^2} = 0,033.
 \end{aligned}$$

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]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau = 40 \cdot 0,033 \cdot 0,9820 = 1,3 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2};$$

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

5. Рассчитанная интенсивность теплового излучения не превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на расстоянии 30 м от наружной установки, следовательно, согласно п. 7.3 и табл. 2 [1] наружная установка открытой площадки складирования пластиковых поддонов относится к категории ДН.

Значения показателей пожарной опасности некоторых индивидуальных веществ

| № п/п | Вещество          | Химическая формула                            | Молярная масса, кг · моль <sup>-1</sup> | Температура вспышки, °С | Температура самовоспламенения, °С | Константы уравнения Актуана |                     |                    | Температурный интервал температурной конст. Уравнения Актуана, °С | Нижний критический предел распространения пламени С <sub>л</sub> · % (об.) | Характеристика вещества | Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup> |
|-------|-------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|       |                   |                                               |                                         |                         |                                   | A                           | B                   | C <sub>1</sub>     |                                                                   |                                                                            |                         |                                          |
| 1     | Амилцетат         | 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     | n-Амилловый 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                                                                       | ГТ                      | 18585                                    |
| 5     | Анлилин           | 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                                                                        | ГТ<br>(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<br>6,10906          | 902,275<br>1252,776 | 178,099<br>225,178 | -20+6<br>-7+80                                                    | 1,43                                                                       | ЛВЖ                     | 40576                                    |
| 11    | 1,3-Бутадиеп      | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>                 | 54,091                                  | -                       | +430                              | -                           | -                   | -                  | -                                                                 | 2,0                                                                        | ГТ                      | 44573                                    |
| 12    | n-Бутан           | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                | 58,123                                  | -69                     | +405                              | 6,00525                     | 968,098             | 242,555            | -130+0                                                            | 1,8                                                                        | ГТ                      | 45713                                    |
| 13    | 1-Бутен           | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>                 | 56,107                                  | -                       | +384                              | -                           | -                   | -                  | -                                                                 | 1,6                                                                        | ГТ                      | 45317                                    |
| 14    | 2-Бутен           | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>                 | 56,107                                  | -                       | +324                              | -                           | -                   | -                  | -                                                                 | 1,8                                                                        | ГТ                      | 45574                                    |
| 15    | n-Бутилцетат      | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub> | 116,16                                  | +29                     | +330                              | 6,25205                     | 1430,418            | 210,745            | 59+126                                                            | 1,35                                                                       | ЛВЖ                     | 28280                                    |
| 16    | втор-Бутилцетат   | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub> | 116,16                                  | +19                     | +410                              | -                           | -                   | -                  | -                                                                 | 1,4                                                                        | ЛВЖ                     | 28202                                    |
| 17    | n-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                                    |

| № п/п | Вещество            | Химическая формула               | Молярная масса, кг · моль <sup>-1</sup> | Температура вспышки, °С | Температура самовоспламенения, °С | Константы уравнения Антуана |                      |                    | Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С | Нижний температурный предел распространения пламени С <sub>нижн</sub> , % (об.) | Характеристика вещества | Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup> |
|-------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|       |                     |                                  |                                         |                         |                                   | A                           | B                    | C <sub>1</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    | Изопропилбензол     | 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    | Изопропиловый 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-Ксилол            | 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-Ксилол            | 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-Ксилол            | 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     | CН <sub>2</sub> O                | 32,04                                   | +6                      | +440                              | 7,3527                      | 1660,454             | 245,818            | -10+90                                                         | 6,98                                                                            | ЛВЖ                     | 23839                                    |
| 45    | Метилпропидкетон    | 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>6</sub> H <sub>12</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<br>6,7978           | 3123,337<br>2206,690 | 243,569<br>245,127 | 0+80<br>80+159                                                 | 0,9                                                                             | ГГВ                     | 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<br>(ВВ)              | 27696                                    |



| № п/п | Вещество             | Химическая формула                            | Молярная масса, кг · моль <sup>-1</sup> | Температура вспышки, °С | Температура самовоспламенения, °С | Константы уравнения Антуана |                      |                    | Температурный интервал значе- ний кон- стант уравнения Ан- туана, °С | Нижний концен- трационный предел распространения пламени С <sub>нижн.</sub> · % (об.) | Характеристика вещества | Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup> |
|-------|----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|       |                      |                                               |                                         |                         |                                   | A                           | B                    | C                  |                                                                      |                                                                                       |                         |                                          |
| 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    | n-Гексадекан         | C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>               | 226,44                                  | +128                    | +207                              | 5,91242                     | 1656,405             | 136,869            | 105+287                                                              | 0,47                                                                                  | ГЖ<br>(ПВ)              | 44312                                    |
| 21    | n-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    | n-Гексилловый спирт  | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O              | 102,17                                  | +60                     | +285                              | 6,17894<br>7,23663          | 1293,831<br>1872,743 | 152,631<br>202,666 | 52+157<br>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<br>(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>8</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    | Диэтиламин           | 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    | Диэтиловый 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    | n-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                                    |

| № п/п | Вещество          | Химическая 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 концентрационный предел распространения пламени Снкр, % (об.) | Характеристика вещества | Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup> |
|-------|-------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------|----------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|       |                   |                                               |                                          |                         |                                   | A                           | B        | C <sub>1</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 (15Г · м <sup>-3</sup> )                                         | ГТВ                     | -                                        |
| 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                                                                  | ГТ                      | 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                                                                  | ГТ                      | 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                                                                  | ГТ                      | 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    | Этилцеллозольв    | 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                                    |

| № п/п | Вещество             | Химическая формула                           | Молярная масса, кг · моль <sup>-1</sup> | Температура вспышки, °С | Температура самовоспламенения, °С | Константы уравнения Антуана |          |         | Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С | Нижний температурный предел распространения пламени С <sub>плг</sub> , % (об.) | Характеристика вещества | Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup> |
|-------|----------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------|---------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|       |                      |                                              |                                         |                         |                                   | A                           | B        | C       |                                                                |                                                                                |                         |                                          |
| 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>8</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    | Серовуглерод         | 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    | Тетрагидрофуран      | 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-Триметилпентан | 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                                    |

## 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, °С | Температура самовоспламенения, °С | Константы уравнения Антуана |         |                | Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С | Нижний концентральный предел распространения пламени С <sub>актр.</sub> , % (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>7,267</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>6,911</sub> H <sub>12,168</sub>  | 95,3                                     | -37                     | -                                 | 4,26511                     | 695,019 | 223,220        | -60÷90                                                         | 1,1                                                                               | ЛВЖ                     | 43641                                    |
| 5     | Дизельное топливо «З» (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                                    |

| № 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 концентрационный предел распространения пламени С <sub>нижн.</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><br>S <sub>0,04</sub>                    | 303,9                                    | >+13<br>5               | +270                              | 6,88412                     | 2524,17  | 174,010        | 164+343                                                        | 0,29                                                                              | ГЖ                      | 43111                                    |
| 13    | Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)                                                                       | C <sub>22,25</sub> H <sub>33,48</sub><br>S <sub>0,34</sub> N <sub>0,07</sub>  | 312,9                                    | >+17<br>0               | +290                              | 6,12439                     | 2240,001 | 167,85         | 170+376                                                        | 0,2                                                                               | ГЖ                      | 42257                                    |
| 14    | Масло АМТ-300 Т (ТУ 38101243-72)                                                                  | C <sub>19,04</sub> H <sub>24,58</sub><br>S <sub>0,196</sub> N <sub>0,04</sub> | 260,3                                    | >+18<br>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><br>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><br>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><br>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><br>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><br>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, °С | Температура самовоспламенения, °С | Константы уравнения Антуана |          |                | Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С | Нижний концентрационный предел распространения пламени С <sub>НКПР</sub> , % (об.) | Характеристика вещества | Теплота сгорания, кДж · кг <sup>-1</sup> |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------|----------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|       |                                                                                                                                                                             |                                                             |                                          |                         |                                   | A                           | B        | C <sub>1</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><br>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 (МРТУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат – 9, ксилол – 21,5, толуол – 21,5, этиловый спирт – 16, н-бутиловый спирт – 3, этилцеллозольв – 13, этилацетат – 16) | C <sub>4,791</sub> H <sub>8,318</sub><br>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-бутилацетат – 18, ксилол – 25, толуол – 25, н-бутиловый спирт – 15, этилцеллозольв – 17)                                          | C <sub>5,962</sub> H <sub>9,779</sub><br>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                                    |

**Значения низшей теплоты сгорания  
твердых горючих веществ и материалов**

| Вещества и материалы                                                      | Низшая теплота сгорания $Q_n^P$ ,<br>МДж · кг <sup>-1</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Бумага:                                                                   |                                                             |
| разрыхленная                                                              | 13,40                                                       |
| книги, журналы                                                            | 13,40                                                       |
| книги на деревянных стеллажах                                             | 13,40                                                       |
| Древесина (бруски, $W = 14\%$ )                                           | 13,80                                                       |
| Древесина (мебель в жилых и административных зданиях, $W = 8 \div 10\%$ ) | 13,80                                                       |
| Кальций (стружка)                                                         | 15,80                                                       |
| Канифоль                                                                  | 30,40                                                       |
| Кинопленка триацетатная                                                   | 18,80                                                       |
| Капрон                                                                    | 31,09                                                       |
| Карболитовые изделия                                                      | 26,90                                                       |
| Каучук СКС                                                                | 43,89                                                       |
| Каучук натуральный                                                        | 44,73                                                       |
| Каучук хлоропреновый                                                      | 27,99                                                       |
| Краситель жировой 5С                                                      | 33,18                                                       |
| Краситель 9-78Ф п/э                                                       | 20,67                                                       |
| Краситель фталоцианотен 4 «З» М                                           | 13,76                                                       |
| Ледерин (кожзаменитель)                                                   | 17,76                                                       |
| Линкруст поливинилхлоридный                                               | 17,08                                                       |
| Линолеум:                                                                 |                                                             |
| масляный                                                                  | 20,97                                                       |
| поливинилхлоридный                                                        | 14,31                                                       |
| поливинилхлоридный двухслойный                                            | 17,91                                                       |
| поливинилхлоридный на войлочной основе                                    | 16,57                                                       |
| поливинилхлоридный на тканевой основе                                     | 20,29                                                       |
| Линопор                                                                   | 19,71                                                       |
| Магний                                                                    | 25,10                                                       |
| Мипора                                                                    | 17,40                                                       |

## Окончание таблицы

| Вещества и материалы                                       | Нижшая 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 $\rho = 190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ | 16,75                                                    |
| Хлопок разрыхленный                                        | 15,70                                                    |
| Лен разрыхленный                                           | 15,70                                                    |
| Хлопок + капрон (3:1)                                      | 16,20                                                    |



### Значения критических плотностей падающих лучистых потоков

| Материалы                                                                                            | $q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Древесина (сосна влажность 12 %)                                                                     | 13,9                             |
| Древесно-стружечные плиты<br>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,<br>ГОСТ 9590-76                                               | 19,0                             |
| Декоративный бумажно-слоистый пластик,<br>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-волоконная, ГОСТ 8904-81                                                             | 13,0                             |
| Плитка древесно-стружечная, ГОСТ 10632-77                                                            | 12,0                             |
| Плитка древесно-стружечная с отделкой<br>«Полиплен», ГОСТ 21-29-94-81                                | 12,0                             |
| Плитка древесно-волоконная с лакокрасочным<br>покрытием под ценные породы дерева,<br>ГОСТ 8904-81    | 12,0                             |
| Плитка древесно-волоконная с лакокрасочным<br>покрытием под ценные породы дерева,<br>ТУ 400-1-199-80 | 16,0                             |
| Винилискожа обивочная пониженной<br>горючести, ТУ 17-21-488-84                                       | 30,0                             |
| Винилискожа, ТУ 17-21-473-84                                                                         | 32,0                             |

## Продолжение таблицы

| Материалы                                                                 | $q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Кожа искусственная «Теза», ТУ 17-21-488-84                                | 17,9                             |
| Кожа искусственная «ВИК-ТР»,<br>ТУ 17-21-256-78                           | 20,0                             |
| Кожа искусственная «ВИК-Т» на ткани 4ЛХ,<br>ТУ 17-21-328-80               | 20,0                             |
| Стеклопластик на полиэфирной основе,<br>ТУ 6-55-15-88                     | 14,0                             |
| Лакокрасочные покрытия<br>РХО, ТУ 400-1-120-85                            | 25,0                             |
| Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе,<br>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,<br>ТУ 21-29-107-83                       | 12,0                             |
| Линолеум рулонный на тканевой основе                                      | 12,0                             |
| Линолеум ПВХ, ТУ 480-1-237-86:<br>с применением полотна, ТУ 17-14-148-81  | 7,2                              |
| с применением полотна,<br>ТУ 17-РСФСР-18-17-003-83                        | 6,0                              |
| на подоснове «Неткол»                                                     | 9,0                              |
| Дорожка прутковая чистшерстяная,<br>ТУ 17-Таджикская ССР-463-84           | 9,0                              |
| Покрытие ковровое, прошивное,<br>ОСТ 17-50-83, арт. 5867                  | 22,0                             |
| Покрытие ковровое для полов рулонное<br>«Ворсолон», ТУ 21-29-12-72        | 5,0                              |
| Покрытие ковровое иглопробивное<br>«Мистра-1», ТУ 17-Эстонская ССР-266-80 | 6,0                              |
| Покрытие ковровое иглопробивное<br>«Мистра-2», ТУ 17-Эстонская ССР-266-80 | 5,0                              |
| Покрытие ковровое иглопробивное «Авистра»                                 | 12,0                             |
| Покрытие ковровое иглопробивное «Вестра»,<br>ТУ 17-Эстонская ССР-551-86   | 5,0                              |

Окончание таблицы

| Материалы                                                                                         | $q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Покрытие ковровое типа А,<br>ТУ 21-29-35 арт. 10505                                               | 4,0                              |
| Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)                                                   | 7,0                              |
| Легковоспламеняющиеся, горючие и трудногорючие<br>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<br>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<br>веществами и материалами .....                           | 124 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Значения показателей пожарной<br>опасности некоторых индивидуальных веществ .....         | 131 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Значения показателей пожарной<br>опасности некоторых смесей и технических продуктов ..... | 136 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Значения низшей теплоты сгорания<br>твердых горючих веществ и материалов .....            | 139 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Значения критических плотностей<br>падающих лучистых потоков .....                        | 141 |
| Литература .....                                                                                        | 144 |

## ***Уважаемые читатели!***

**В соответствии с Правилами разработки и введения в действие нормативных документов по пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России издает и распространяет:**

- комплекты документов, необходимых для получения лицензии на проведение работ и (или) оказание услуг в области пожарной безопасности;
- нормативные, методические и справочные документы Государственной противопожарной службы МЧС России;
- научно-технический журнал «Пожарная безопасность».

### **Кроме того, институт готов выполнить заявки:**

- на проведение экспертизы документов по пожарной безопасности;
- на абонентное обслуживание по поставкам новой литературы в области пожарной безопасности.

### **Телефоны для справок:**

(495) 521-78-59 • 524-81-55 • 521-94-70

[www.vniipo.ru](http://www.vniipo.ru)

*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