

Приложение 6 (справочное). Примеры расчета

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

1. Рассчитать вероятность возникновения пожара и взрыва в отделении компрессии

1.1. Данные для расчета

Отделение компрессии этилена расположено в одноэтажном производственном здании размерами в плане 20x12 м и высотой 10 м. Стены здания - кирпичные с ленточным остеклением. Перекрытие - из ребристых железобетонных плит. Освещение цеха - электрическое, отопление - центральное. Цех оборудован аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена (n), равной восьми.

В помещении цеха размещается компрессор, который повышает давление поступающего из магистрального трубопровода этилена с $11 \cdot 10^5$ до $275 \cdot 10^5$ Па. Диаметр трубопровода с этиленом равен 150 мм, температура этилена достигает 130°C . Здание имеет молниезащиту типа Б.

Нижний концентрационный предел воспламенения этилена ($C_{н.к.л.в}$) в смеси с воздухом равен 2,75%, поэтому в соответствии с [СНиП II-90-81](#): производство по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории А, то есть в цехе возможно возникновение как пожара, так и взрыва. По условиям технологического процесса возникновение взрывоопасной концентрации в объеме помещения возможно только в аварийных условиях, поэтому помещение по классификации взрывоопасных зон относится к классу В-1а.

Пожарная опасность отделения компрессии складывается из пожарной опасности компрессорной установки и пожарной опасности помещения. Пожарная опасность компрессора обусловлена опасностью возникновения взрыва этиленовоздушной смеси внутри аппарата.

Пожарная опасность помещения обусловлена опасностью возникновения пожара в цехе, а также опасностью возникновения взрыва этиленовоздушной смеси в объеме цеха при выходе этилена из газовых коммуникаций при аварии.

1.2. Расчет

Возникновение взрыва в компрессоре обусловлено одновременным появлением в цилиндре горючего газа, окислителя и источника зажигания.

По условиям технологического процесса в цилиндре компрессора постоянно обращается этилен, поэтому вероятность появления в компрессоре горючего газа равна единице

$$Q_x(ГВ) = Q_x(ГВ_1) = Q_x(\lambda_1) = 1.$$

Появление окислителя (воздуха) в цилиндре компрессора возможно при заклинивании всасывающего клапана. В этом случае в цилиндре создается разрежение, обуславливающее подсос воздуха через сальниковые уплотнения. Для отключения компрессора при заклинивании всасывающего клапана имеется система контроля давления, которая отключает компрессор через 10 с после заклинивания клапана. Обследование показало, что за год наблюдалось 10 случаев заклинивания клапанов. Тогда вероятность разгерметизации компрессора равна

$$Q_x(S_2) = \frac{K_6}{\tau_p} \sum_{i=1}^m \tau_i = \frac{1}{525600} \cdot \frac{10 \cdot 10}{60} = 3,2 \cdot 10^{-6}.$$

Анализируемый компрессор в течение года находился в рабочем состоянии 4000 ч, поэтому вероятность его нахождения под разрежением равна

$$Q_x(S_1) = \frac{K_6}{\tau_p} \sum_{i=1}^m \tau_i = \frac{1}{525600} \cdot 2000 \cdot 60 = 2,3 \cdot 10^{-1}.$$

Откуда вероятность подсоса воздуха в компрессор составит значение

$$Q_x(b_2) = Q_x(S_1) Q_x(S_2) = 2,3 \cdot 10^{-1} \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} = 7,4 \cdot 10^{-7}.$$

Таким образом, вероятность появления в цилиндре компрессора достаточного количества окислителя в соответствии с формулой (44) приложения 3 равна

$$Q_x(OK) = Q_x(OK_1) = Q_x(b_2) = 7,4 \cdot 10^{-7}.$$

Откуда вероятность образования горючей среды в цилиндре компрессора в соответствии с формулой (40) приложения 3 будет равна

$$Q_x(ГС) = Q_x(ГВ) Q_x(OK) = 1 \cdot 7,4 \cdot 10^{-7} = 7,4 \cdot 10^{-7}.$$

Источником зажигания этиленовоздушной смеси в цилиндре компрессора могут быть только искры механического происхождения, возникающие при разрушении узлов и деталей поршневой группы из-за потери прочности материала или при ослаблении болтовых соединений.

Статистические данные показывают, что за анализируемый период времени наблюдался один случай разрушения деталей поршневой группы, в результате чего в цилиндре компрессора в течение 2 мин наблюдалось искрение. Поэтому вероятность появления в цилиндре компрессора фрикционных искр, в соответствии с формулами (42 и 47) приложения 3, равна

$$Q_x(ТИ) = Q_x(ТИ_3) = Q_x(f_2) = \frac{K_6}{\tau_p} \sum_{i=1}^m \tau_i \frac{1}{525600} \cdot 2 = 3,8 \cdot 10^{-6}.$$

* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Оценим энергию искр, возникающих при разрушении деталей поршневой группы компрессора. Зная, что скорость движения этих деталей составляет 20 м·с⁻¹, а их масса равна 10 кг и более, найдем энергию соударения (E), Дж, по формуле

$$E = \frac{mv^2}{2} = 2000.$$

Известно, что фрикционные искры твердых сталей при энергиях соударения порядка 1000 Дж поджигают метановоздушные смеси с минимальной энергией зажигания 0,28 мДж.

Минимальная энергия зажигания этиленовоздушной смеси равна 0,12 мДж, а энергия соударения тел значительно превышает 1000 Дж, следовательно:

$$Q_x(B_3^1) = 1.$$

Тогда вероятность появления в цилиндре компрессора источника зажигания в соответствии с формулой (46) приложения 3 равна

$$Q_x(ИС) = Q_x(ТИ) Q_x(B) = 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 3,8 \cdot 10^{-6}.$$

Таким образом, вероятность взрыва этиленовоздушной смеси внутри компрессора будет равна

$$Q_x(BTA) = Q_x(ГС) Q_x(ИС) = 7,4 \cdot 10^{-7} \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} = 2,8 \cdot 10^{-12}.$$

Наблюдение за производством показало, что трижды за год ($m=3$) отмечалась разгерметизация коммуникаций с этиленом и газ выходил в объем помещения. Рассчитаем время образования взрывоопасной концентрации в локальном облаке, занимающем 5% объема цеха.

Режим истечения этилена из трубопровода при разгерметизации фланцевых соединений вычисляются из выражения

$$\frac{P_{атм}}{P_{раб}} = \frac{1 \cdot 10^5}{275 \cdot 10^5} = 0,00364 < v_{кр} = 0,528,$$

где $P_{атм}$ - атмосферное давление, Па;

$P_{раб}$ - рабочее давление в трубопроводах с этиленом, Па;

$v_{кр}$ - критическое отношение.

То есть истечение происходит со звуковой скоростью w , равной

$$w = 3,34 \sqrt{\frac{848}{M} T_{раб}} = 3,34 \sqrt{\frac{848}{28}} = 369.$$

Площадь щели F при разгерметизации фланцевого соединения трубопровода диаметром 150 мм и толщиной щели 0,5 мм равна

$$F = \pi d \delta = 1,2 \cdot 10^{-4}.$$

Расход этилена - g через такое отверстие будет равен

$$g = 369 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \cdot 0,00012 \text{ м}^2 = 0,044.$$

Тогда время образования локального взрывоопасного облака, занимающего 5% объема цеха при работе вентиляции, будет равно

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{3600}{8} \ln \left(\frac{g}{g - \frac{C_{в.к.п.в}}{100 \cdot 2 \cdot 3600}} \right) = \\ &= \frac{3600}{8} \ln \left(\frac{0,044}{0,044 - \frac{2,75 \cdot 8 \cdot 0,05 \cdot 2400}{100 \cdot 2 \cdot 3600}} \right) = 0,66 \end{aligned}$$

Учитывая, что из всей массы этилена, вышедшего в объем помещения, только 70% участвуют в образовании локального взрывоопасного облака, время образования этого облака и время его существования после устранения утечки этилена будет равно: $\tau_2 = \frac{\tau_1}{0,7} = 0,94$.

Время истечения этилена при имевших место авариях за анализируемый период времени было равно 4,5, 5 и 5,5 мин. Тогда общее время существования взрывоопасного облака, занимающего 5% объема помещения и представляющего опасность при взрыве для целостности строительных конструкций и жизни людей, с учетом работы аварийной вентиляции будет равно

$$\sum_{i=1}^3 \tau_i = m[(\tau_0 - \tau_2) + \tau_2] = m\tau_0 = 15.$$

Откуда вероятность появления в объеме помещения достаточного для образования горючей смеси количества этилена равна

$$Q_x(ГВ_в) = Q_x(ГВ_1) = Q_x(a_2) = \frac{K_6}{\tau_p} \sum_{i=1}^3 \tau_i = \frac{1,25}{525600} \cdot 15 = 3,6 \cdot 10^{-5}.$$

Учитывая, что в объеме помещения постоянно имеется окислитель, получим

$$Q_x(OK) = Q_x(OK_1) = Q_x(b_3) = 1.$$

Тогда вероятность образования горючей смеси этилена с воздухом в объеме помещения будет равна

$$Q_x(ГС_в) = Q_x(ГВ_в) Q_x(OK) = 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 3,6 \cdot 10^{-5}.$$

Основными источниками зажигания взрывоопасного этиленовоздушного облака в помещении могут быть электроприборы (в случае их несоответствия категории и группе взрывоопасной среды), открытый огонь (при проведении огневых работ), искры от удара (при различных ремонтных работах) и разряд атмосферного электричества.

Пожарно-техническим обследованием отделения компрессии установлено, что пять электросветильников марки ВЗГ в разное время в течение 120, 100, 80, 126 и 135 ч эксплуатировались с нарушением щелевой защиты.

Вероятность нахождения электросветильников в неисправном состоянии равна

$$Q_{\text{п}}(t_3) = \frac{K_6}{\tau_p} \sum_{i=1}^5 \tau_i = \frac{1,2}{525600} \cdot 33600 = 7,7 \cdot 10^{-2}$$

Так как температура колбы электролампочки мощностью 150 Вт равна 350 °С, а температура самовоспламенения этилена 540 °С, следовательно, нагретая колба не может быть источником зажигания этиленовоздушной смеси.

Установлено, что за анализируемый период времени в помещении 6 раз проводились газосварочные работы по 6, 8, 10, 4, 3 и 5 ч каждая. Поэтому вероятность появления в помещении открытого огня будет равна

$$Q_{\text{п}}(ТИ_4) = Q_{\text{п}}(t_2) = \frac{K_6}{\tau_p} \sum_{i=1}^6 \tau_i = \frac{1,4}{525600} \cdot 2160 = 5,8 \cdot 10^{-3}$$

Так как температура пламени газовой горелки и время ее действия значительно превышают температуру воспламенения и время, необходимое для зажигания этиленовоздушной смеси, получаем, что

$$Q_{\text{п}}(B_4^2) = 1$$

Ремонтные работы с применением искроопасного инструмента в помещении за анализируемый период времени не проводились.

Вычисляем вероятность появления в помещении разряда атмосферного электричества.

Помещение расположено в местности с продолжительностью грозовой деятельности 50 с·год⁻¹, поэтому $n = 6 \text{ км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. Отсюда, в соответствии с формулой (5)* приложения 3 число ударов молнии в здание равно

* Номер формулы соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

$$N_{y,ж} = (1 + 6H)(S + 6H) \cdot n \cdot 10^{-6} = 3,4 \cdot 10^{-2}$$

Тогда вероятность прямого удара молнии будет равна

$$Q_{\text{п}}(t_2) = 1 - e^{-N_{y,ж}} = 3,4 \cdot 10^{-2}$$

Вычисляем вероятность отказа исправной молниезащиты типа Б здания компрессорной по формуле (52) приложения 3

$$Q_{\text{п}}(t_1) = 1 - \beta_6 = 1 - 0,95 = 5 \cdot 10^{-2}$$

Таким образом, вероятность поражения здания молнией равна

$$Q_1(C_1) = Q_{\text{п}}(t_1) Q_{\text{п}}(t_2) = 1,7 \cdot 10^{-3}$$

Пожарно-техническим обследованием установлено, что защитное заземление, имеющееся в здании, находится в исправном состоянии, поэтому

$$Q_{\text{п}}(C_2) = 0, \quad Q_{\text{п}}(C_3) = 0$$

Тогда

$$Q_{\text{п}}(ТИ_1) = Q_{\text{п}}(t_1) = 1,7 \cdot 10^{-3}$$

Учитывая параметры молнии, получим

$$Q_{\text{п}}(B_1^2) = 1$$

Откуда

$$Q_{\text{п}}(ИЗ/ГС) = [Q_{\text{п}}(ТИ_1) + Q_{\text{п}}(ТИ_4)] Q_{\text{п}}(B_1^2) = (1,7 \cdot 10^{-3} + 5,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 = 7,5 \cdot 10^{-3}$$

Таким образом, вероятность взрыва этиленовоздушной смеси в объеме помещения будет равна:

$$Q(BO) = Q_{\text{п}}(ГС_1) Q_{\text{п}}(ИЗ/ГС) = 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 10^{-7}$$

Рассчитаем вероятность возникновения пожара в помещении компрессорной. Наблюдение за объектом позволило установить, что примерно 255 ч·год⁻¹ в помещении компрессорной, в нарушение правил пожарной безопасности, хранились разнообразные горючие материалы (ветошь, деревянные конструкции, древесные отходы и т.п.), не предусмотренные технологическим регламентом.

Поэтому вероятность появления в помещении горючих веществ равна

$$Q_{\text{п}}(ГБ_п) = Q_{\text{п}}(ГБ_4) = \frac{K_6}{\tau_p} \sum_{i=1}^1 \tau_i = \frac{1}{525600} \cdot 255 \cdot 60 = 2,6 \cdot 10^{-2}$$

Откуда вероятность образования в цехе пожароопасной среды равна

$$Q_{\text{п}}(ГС_п) = Q_{\text{п}}(ГБ_п) Q_{\text{п}}(OK) = 2,6 \cdot 10^{-2}$$

Из зафиксированных тепловых источников, которые могут появиться в цехе, источником зажигания для твердых горючих веществ является только открытый огонь и разряды атмосферного электричества. Поэтому вероятность возникновения в отделении компрессии пожара равна

$$Q(ПО) = Q(ГС_п) Q_{\text{п}}(ИЗ/ГС) = 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} = 1,9 \cdot 10^{-4}$$

Таким образом, вероятность того, что в отделении компрессии произойдет взрыв либо в самом компрессоре, либо в объеме цеха, составит значение

$$Q(БИ) = 1 - [1 - Q_{\text{к}}(БТА)][1 - Q(BO)] = 1 - (1 - 2,8 \cdot 10^{-12}) \times (1 - 2,7 \cdot 10^{-7}) = 2,7 \cdot 10^{-7}$$

Вероятность того, что в компрессорной возникнет пожар или взрыв, равна:

$$Q(ИЗ \text{ или } БЗ) = Q(БИ) + Q(ПО) = 2,7 \cdot 10^{-7} + 1,9 \cdot 10^{-4} = 1,9 \cdot 10^{-4}$$

1.3. Заключение

Вероятность возникновения в компрессорной взрыва равна $2,7 \cdot 10^{-7}$ в год, что соответствует одному взрыву в год в 3703704 аналогичных зданиях, а вероятность возникновения в нем или взрыва, или пожара равна $1,9 \cdot 10^{-4}$ в год, т.е. один пожар или взрыв в год в 5263 аналогичных помещениях.

2. Рассчитать вероятность возникновения пожара в резервуаре РВС-20000 НПС "торголи"

2.1. Данные для расчета

В качестве пожароопасного объекта взят резервуар с нефтью объемом 20000 м³. Расчет ведется для нормальной эксплуатации технически исправного резервуара.

Средняя рабочая температура нефти $T = 311 \text{ К}$. Нижний и верхний температурные пределы воспламенения нефти равны: $T_{\text{н.п.в}} = 249 \text{ К}$, $T_{\text{в.п.в}} = 265 \text{ К}$. Количество оборотов резервуара в год $\Pi_{\text{об}} = 24 \text{ год}^{-1}$. Время существования горючей среды в резервуаре при откачке за один оборот резервуара $\tau_{\text{отк}} = 10 \text{ ч}$ (исключая длительный простой). Радиус резервуара РВС=20000* $R = 22,81 \text{ м}$. Высота резервуара $H_p = 11,9 \text{ м}$. Число ударов молний $n = 6 \text{ км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. На резервуаре имеется молниезащита типа Б, поэтому $\beta_6 = 0,95$.

* Вероятно ошибка оригинала. Следует читать "РВС-20000". - Примечание изготовителя базы данных.

Число искроопасных операций при ручном измерении уровня $N_{y,г} = 1100 \text{ год}^{-1}$. Вероятность штиля (скорость ветра $u \leq 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), $Q_{\text{ш}} (u \leq 1) = 0,12$. Число включений электродвигателей $N_{y,з} = 40 \text{ год}^{-1}$. Число искроопасных операций при проведении техобслуживания резервуара $N_{т,о} = 24 \text{ год}^{-1}$. Нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения нефтяных паров в $C_{\text{н.к.п.в}} = 0,02\%$ (по объему), $C_{\text{в.к.п.в}} = 0,1\%$ (по объему). Производительность операции наполнения $g = 0,56 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Рабочая концентрация паров в резервуаре $C = 0,4\%$ (по объему). Продолжительность выброса богатой смеси $\tau_{\text{бог}} = 5 \text{ ч}$.

2.2. Расчет

Так как на нефтепроводах средняя рабочая температура жидкости (нефти) T выше среднемесячной температуры воздуха, то за расчетную температуру поверхностного слоя нефти принимаем T .

Из условия задачи видно, что $T > T_{\text{н.к.п.в}}$, поэтому при неподвижном уровне нефти вероятность образования горючей смеси внутри резервуара равна нулю $Q_{\text{в}}^{\text{н}}(TC) = 0$, а при откачке нефти равна

$$Q_{\text{в}}^{\text{от}}(TC) = \frac{N_{\text{об}} \cdot \tau_{\text{отк}}}{\tau_{\text{р}}} = \frac{24 \cdot 10}{8760} = 2,74 \cdot 10^{-2}$$

Таким образом, вероятность образования горючей среды внутри резервуара в течение года будет равна

$$Q_{\text{в}}(TC) = 1 - \prod_{i=1}^2 [1 - Q_i(TC)] = Q_{\text{в}}^{\text{н}}(TC) + Q_{\text{в}}^{\text{от}}(TC) = 2,74 \cdot 10^{-2}$$

Вычислим число попаданий молнии в резервуар по формуле (51) приложения 3

$$N_{\text{ум}} = (2R + 6H_{\text{р}})^2 \cdot \Pi_{\text{у}} \cdot 10^{-6} = (2 \cdot 22,81 + 6 \cdot 11,9)^2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 8,2 \cdot 10^{-2}$$

Тогда вероятность прямого удара молнии в резервуар в течение года, вычисленная по формуле (49) приложения 3, равна

$$Q_{\text{р}}(t_2) = 1 - e^{-N_{\text{ум}} \tau_{\text{р}}} = 1 - e^{-8,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1} = 7,9 \cdot 10^{-2}$$

Вычислим вероятность отказа молниезащиты в течение года при исправности молниеотвода по формуле (52) приложения 3.

$$Q_{\text{р}}(t_1) = (1 - \beta_6) = 1 - 0,95 = 5 \cdot 10^{-2}$$

Таким образом, вероятность поражения молнией резервуара, в соответствии с формулой (48) приложения 3, равна

$$Q_{\text{р}}(C_1) = Q_{\text{р}}(t_1) Q_{\text{р}}(t_2) = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 7,9 \cdot 10^{-2} = 3,9 \cdot 10^{-3}$$

Обследованием установлено, что имеющееся на резервуаре защитное заземление находится в исправном состоянии, поэтому вероятность вторичного воздействия молнии на резервуар и заноса в него высокого потенциала равна нулю $Q_{\text{в}}(C_2) = 0$ и $Q_{\text{р}}(C_3) = 0$.

Появление фрикционных искр в резервуаре возможно только при проведении искроопасных ручных операций при измерении уровня и отборе проб. Поэтому вероятность $Q_{\text{р}}(TH_3)$ в соответствии с формулами (49) и (55) приложения 3 равна

$$Q_{\text{р}}(TH_3) = Q_{\text{р}}(f_1) Q(OП) = (1 - e^{-N_{\text{ум}} \tau_{\text{р}}}) \cdot 1,52 \cdot 10^{-3} = \\ = (1 - e^{-11001}) \cdot 1,52 \cdot 10^{-3} = 1,52 \cdot 10^{-3}$$

В этой формуле $Q(OП) = 1,52 \cdot 10^{-3}$ - вероятность ошибки оператора, выполняющего операции измерения уровня.

Таким образом, вероятность появления в резервуаре какого-либо теплового источника в соответствии с приложением 3 равна

$$Q_{\text{р}}(TH) = Q_{\text{р}}(TH_1) + Q_{\text{р}}(TH_3) = 5,4 \cdot 10^{-3}$$

Полагая, что энергия и время существования этих источников достаточны для воспламенения горючей среды, т.е. $Q_{\text{р}}(B) = 1$, из приложения 3 получим

$$Q_{\text{р}}(ИЗ/ТС) = 5,4 \cdot 10^{-3}$$

Тогда вероятность возникновения пожара внутри резервуара в соответствии с формулой (38) приложения 3 равна

$$Q_{\text{в}}(ИП) = Q_{\text{р}}(ИЗ/ТС) Q_{\text{р}}(ТС) = 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2,74 \cdot 10^{-2} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

Из условия задачи следует, что рабочая концентрация паров в резервуаре выше верхнего концентрационного предела воспламенения, т.е. в резервуаре при неподвижном слое нефти находится негорючая среда. При наполнении резервуара нефтью в его окрестности образуется горючая среда, вероятность выброса которой можно вычислить по формуле (42) приложения 3

$$Q_{\text{о.р}}(БТС) = \frac{K_{\text{в}} N_{\text{об}} \tau_{\text{б.от}}}{\tau_{\text{р}}} = \frac{1 \cdot 24 \cdot 5}{8760} = 1,37 \cdot 10^{-2}$$

Во время тихой погоды (скорость ветра меньше $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) около резервуара образуется взрывоопасная зона, вероятность появления которой равна

$$Q_{\text{о.р}}(ТС) = Q_{\text{о.р}}(БТС) Q_{\text{ш}} (\mu < 1) = 1,37 \cdot 10^{-2} \cdot 0,12 = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

Диаметр этой взрывоопасной зоны равен

$$D = 2R + 10 \cdot H_{\text{р}} \left(\frac{g \cdot C_{\text{р}}}{C_{\text{н.к.п.в}} \cdot H_{\text{р}}^2} \right)^{0,86} = 2 \cdot 22,81 + 10 \cdot 11,9 \left(\frac{0,56 \cdot 0,4}{0,02 \cdot 11,9^2} \right)^{0,86} = 59$$

Определим число ударов молнии во взрывоопасную зону

$$V_{\text{ум}}^{\text{б.от}} = [D_3 + 6(H_{\text{р}} + 5)]^2 \cdot \pi \cdot 10^{-6} = [59 + 6(11,9 + 5)]^2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 1,5 \cdot 10^{-1}$$

Тогда вероятность прямого удара молнии в данную зону равна

$$Q_{\text{в.з}}(t_2) = 1 - e^{-N_{\text{ум}}^{\text{б.от}} \tau_{\text{р}}} = 1 - e^{-0,15} = 1,4 \cdot 10^{-1}$$

Так как вероятность отказа молниезащиты $Q_{\text{р}}(t_1) = 5 \cdot 10^{-2}$, то вероятность поражения молнией взрывоопасной зоны равна

$$Q_{\text{в.з}}(C_1) = Q_{\text{р}}(t_1) Q_{\text{в.з}}(t_2) = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,4 \cdot 10^{-1} = 7 \cdot 10^{-3}$$

Откуда $Q_{\text{в.з}}(TH_1) = 7 \cdot 10^{-3}$.

Вероятность появления около резервуара фрикционных искр равна

$$Q_{\text{в.з}}(TH_3) = Q(OП) Q_{\text{в.з}}(f_1) = 1,52 \cdot 10^{-3} [1 - e^{-(N_{\text{ум}} - N_{\text{от}}) \tau_{\text{р}}}] = \\ = 1,52 \cdot 10^{-3} [1 - e^{-(11001 + 24) \cdot 1}] = 1,52 \cdot 10^{-3}$$

Наряду с фрикционными искрами в окрестностях резервуара возможно появление электрических искр замыкания и размыкания контактов электродвигателей. Учитывая соответствие исполнения электродвигателей категории и группе взрывоопасной смеси, вероятность появления электрических искр вычислим по формулам (49) и (54) приложения 3

$$Q_{\text{в.з}}(TH_2) = Q_{\text{в.з}}(e_3) = 10^{-8} (1 - e^{-N_{\text{эл}} \tau_{\text{р}}}) = 10^{-8} (1 - e^{-401}) = 10^{-8}$$

Таким образом, вероятность появления около резервуара какого-либо теплового источника в соответствии с приложением 3 составит значение

$$Q_{\text{в.з}}(TH) = Q_{\text{в.з}}(TH_1) + Q_{\text{в.з}}(TH_3) + Q_{\text{в.з}}(TH_2) = \\ = 7 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-8} + 1,52 \cdot 10^{-3} = 8,5 \cdot 10^{-3}$$

* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Полагая, что энергия и время существования этих источников достаточны для зажигания горючей среды, из формулы (49) приложения 3 получим при

$$Q_{\text{в}} = 1$$

$$Q_{\text{в.з}}(ИЗ/ТС) = 8,5 \cdot 10^{-3}$$

Тогда вероятность возникновения взрыва в окрестностях резервуара в соответствии с формулой (39) приложения 3 равна

$$Q_{\text{ж}}(БП) = Q_{\text{о.р}}(ТС) Q_{\text{в.з}}(ИЗ/ТС) = 1,4 \cdot 10^{-4}$$

Откуда вероятность возникновения в зоне резервуара либо пожара, либо взрыва составит значение

$$Q(ИПБП) = 1 - [1 - Q_{\text{в}}(ИП)][1 - Q_{\text{ж}}(БП)] = Q_{\text{в}}(ИП) + Q(БП) = 2,9 \cdot 10^{-4}$$

* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

2.3. Заключение

Вероятность возникновения в зоне резервуара пожара или взрыва составляет $2,9 \cdot 10^{-4}$, что соответствует одному пожару или взрыву в год в массиве из 3448 резервуаров, работающих в условиях, аналогичных расчетному.

3. Определить вероятность воздействия ОФП на людей при пожаре в проектируемой 15-этажной гостинице при различных вариантах системы противопожарной защиты

3.1. Данные для расчета

В здании предполагается устройство вентиляционной системы противодымной защиты (ПДЗ) с вероятностью эффективного срабатывания $R_1=0,95$ и системы оповещения людей о пожаре (ОЛП) с вероятностью эффективного срабатывания $R_2=0,95$. Продолжительность пребывания отдельного человека в объекте в среднем $18 \text{ ч} \cdot \text{сут}^{-1}$ независимо от времени года. Статистическая вероятность возникновения пожара в аналогичных объектах в год равна $4 \cdot 10^{-4}$. В качестве расчетной ситуации принимаем случай возникновения пожара на первом этаже. Этаж здания рассматриваем как одно помещение. Ширина поэтажного коридора 1,5 м, расстояние от наиболее удаленного помещения этажа до выхода в лестничную клетку 40 м, через один выход эвакуируются 50 человек, ширина выхода 1,2 м. Нормативную вероятность Q_B^N принимаем равной $1 \cdot 10^{-6}$, вероятность $P_{ЭД}$ равной $1 \cdot 10^{-3}$.

3.2. Расчет

Оценку уровня безопасности определяем для людей, находящихся на 15-м этаже гостиницы (наиболее удаленном от выхода в безопасную зону) при наличии систем ПДЗ и ОЛП. Так как здание оборудовано вентиляционной системой ПДЗ, его лестничные клетки считаем незадымляемыми. Вероятность Q_B вычисляем по формуле (33) приложения 2

$$Q_B = 0,0004 \{1 - (1 - (1 - 0,95)(1 - 0,95))\} = 1 \cdot 10^{-6}.$$

Учитывая, что отдельный человек находится в гостинице 18 ч, то вероятность его присутствия в здании при пожаре принимаем равной отношению $\frac{18}{24}=0,75$. С учетом этого окончательное значение будет равно

$0,75 \cdot 10^{-6}$, что меньше Q_B^N . Условие формулы (2) приложения 2 выполняется, поэтому безопасность людей в здании на случай возникновения пожара обеспечена. Рассмотрим вариант компоновки противопожарной защиты без системы оповещения. При этом время блокирования эвакуационных путей $\tau_{БЛ}$ на этаже пожара принимаем равным 1 мин в соответствии с требованиями строительных норм и правил проектирования зданий и сооружений. Расчетное время эвакуации t_p , определенное в соответствии с теми же нормами, равно 0,47 мин. Время начала эвакуации $\tau_{НЭ}$ принимаем равным 2 мин. Вероятность эвакуации $P_{ЭД}$ для этажа пожара вычисляем по формуле (5) приложения 2

$$P_{ЭД} = \frac{1 - 0,47}{2} = 0,265$$

Вероятность Q_B вычисляем по формуле (3) приложения 2

$$Q_B = 0,0004 \{1 - (1 - (1 - 0,265)(1 - 0,001))\} (1 - 0,95) = 146 \cdot 10^{-7}.$$

Поскольку $Q_B > Q_B^N$, то условие безопасности для людей по формуле (2) приложения 2 на этаже пожара не отвечает требуемому и, следовательно, в рассматриваемом объекте не выполняется при отсутствии системы оповещения.

4. Определить категорию и класс взрывоопасной зоны помещения, в котором размещается технологический процесс с использованием ацетона

4.1. Данные для расчета

Ацетон находится в аппарате с максимальным объемом заполнения $V_{АП}$, равным $0,07 \text{ м}^3$, и в центре помещения над уровнем пола. Длина L_1 напорного и обводящего трубопроводов диаметром d $0,05 \text{ м}$ равна соответственно 3 и 10 м. Производительность q насоса $0,01 \text{ м}^3 \cdot \text{мин}^{-1}$. Отключение насоса автоматическое. Объем $V_{Д}$ помещения составляет 10000 м^3 ($48 \times 24 \times 8,7$). Основные строительные конструкции здания железобетонные, и предельно допустимый прирост давления $\Delta P_{ДПД}$ для них составляет 25 кПа . Кратность A аварийной вентиляции равна 10 ч^{-1} .

Скорость воздушного потока u в помещении при работе аварийной вентиляции равна $1,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Температура ацетона равна температуре воздуха и составляет 293 К . Плотность ρ ацетона $792 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

4.2. Расчет

Объем ацетона, м^3 , вышедшего из трубопроводов, составляет

$$V_{ТР} = q\tau + \frac{\pi d^2}{4} L_1 = 0,01 \cdot 2 + \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} \cdot 13 = 0,046,$$

где τ - время автоматического отключения насоса, равное 2 мин.

Объем поступившего ацетона, м^3 , в помещение

$$V_A = V_{ТР} + V_{АП} = 0,046 + 0,07 = 0,116.$$

Площадь разлива ацетона принимаем равной 116 м^2 .

Скорость испарения ($W_{ИСП}$), $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^2$, равна

* Вероятно ошибка оригинала. Следует читать " $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ". - Примечание изготовителя базы данных.

$$W_{ИСП} = 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \sqrt{58,08} \cdot 24,54 = 1,44 \cdot 10^{-3}.$$

Масса паров ацетона ($M_{П}$), кг , образующихся при аварийном разливе, равна

$$M_{П} = 1,44 \cdot 10^{-3} \cdot 116 \cdot 3600 = 601,3.$$

Следовательно, принимаем, что весь разлившийся ацетон, кг , за время аварийной ситуации, равное 3600 с, испарится в объем помещения, т.е.

$$m_{П} = 0,116 \cdot 792 = 91,9.$$

Стехиометрическая концентрация паров ацетона при $\beta=4$ равна

$$C_{СТ} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \text{ (по объему)}.$$

Концентрация насыщенных паров получается равной

$$C_{Н} = 100 \cdot \frac{24,54}{101,3} = 24,22 \text{ (по объему)}.$$

Отношение $C_{Н} / (1,9 \cdot C_{СТ}) > 1$, следовательно, принимаем $Z=0,3$.

Свободный объем помещения, м^3

$$V_{СВ} = 0,8 \cdot 10000 = 8000.$$

Время испарения, ч, составит

$$T = \frac{91900}{1,44 \cdot 116} = 550 = 0,153 \cdot *$$

* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Коэффициент получается равным

$$K = 10 \cdot 0,153 + 1 = 2,53.$$

Максимально возможная масса ацетона, кг

$$m_{\text{max}} = \frac{25 \cdot 4,91 \cdot 8000 \cdot 2,414 \cdot 2,53}{800 \cdot 100 \cdot 0,3} = 249,8.$$

Поскольку $m_{П} (91,9 \text{ кг}) < m_{\text{max}} (249,8 \text{ кг})$, то помещение в целом относится к невзрывопожароопасным.

Расстояния $X_{Н.К.Л.В}$, $Y_{Н.К.Л.В}$ и $Z_{Н.К.Л.В}$ составляют при уровне значимости $Q = 5 \cdot 10^{-2}$

$$X_{Н.К.Л.В} = Y_{Н.К.Л.В} = 1,1958 \cdot 48 \left(\frac{550}{3800} \ln \frac{1,27 \cdot 2,59}{2,91} \right)^{0,5} = 7,85;$$

$$Z_{Н.К.Л.В} = 0,3536 \cdot 8,7 \left(\frac{550}{3800} \ln \frac{1,27 \cdot 2,59}{2,91} \right)^{0,5} = 0,42,$$

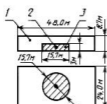
$$\text{где } C_0 = 24,22 \left(\frac{91,9 \cdot 100}{2,53 \cdot 24,22 \cdot 2,414 \cdot 8000} \right) = 2,59 \text{ (по объему)}.$$

4.3. Заключение

Таким образом, взрывобезопасные расстояния составляют соответственно $R_G > 7,85$ м и $Z_G > 3$ м.

Взрывоопасная зона с размерами $R_G \leq 7,85$ м и $Z_G \leq 3$ м относится к классу В-1а. Схематически взрывоопасная зона изображена на черт.9.

Черт.9. Схема взрывоопасной зоны



1 - помещение; 2 - аппарат; 3 - взрывоопасная зона

Черт.9

5. Определить категорию производства, в котором находится участок обработки зерна и циклон для определения зерновой пыли в системе вентиляции

5.1. Данные для расчета

Масса зерновой пыли, скапливающейся в циклоне, m_a , составляет 20000 г. Производительность циклона q по пыли составляет $100 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$. Время τ автоматического отключения циклона ρ не более 2 мин*. Свободный объем помещения $V_{св}$ равен 10000 м^3 . Остальные исходные данные: $m_x = 500 \text{ г}$; $\beta_1 = 1$; $\beta_2 = 0,6$; $n = 14$; $K_y = 0,6$; $K_I = 1$; $K_{в,з} = 1$; $K_{II} = 1$; $Q = 16700 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$; $T_0 = 300 \text{ К}$; $C_p = 1,0 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$; $T_0 = 300 \text{ К}$; $C_p = 1,0 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$; $\rho_v = 1,29 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$; $P_{доп} = 25 \text{ кПа}$; $P_0 = 101 \text{ кПа}$; $Z = 1,0$.

* Текст соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

5.2. Расчет

Масса отложившейся пыли к моменту очередной уборки, g , составит

$$m_{о.п} = \frac{500}{1 + 1 \cdot 0,6} \left[14 \cdot 1 \cdot 0,6 + \frac{1 - (1 - 0,6)^{14}}{0,6} \right] = 3146.$$

Расчетная масса пыли, g , участвующей в образовании взрывоопасной смеси, равна

$$m_p = m_{о.п} \cdot K_{в,з} + (m_a + q\tau) K_{II} = 23346.$$

Максимально возможную массу горючей пыли, kg , вычисляем по формуле

$$m_{max} = \frac{\Delta P_{доп} \cdot T_0 \cdot C_p \cdot \rho_v \cdot V_{св}}{R_0 Q Z} = 57,4.$$

5.3. Заключение

Значение m_p не превышает m_{max} , следовательно, помещение не относится к взрывопожароопасным.

6. Рассчитать вероятность возникновения пожара от емкостного пускорегулирующего аппарата (ПРА) для люминесцентных ламп на $W = 40 \text{ Вт}$ и $U = 220 \text{ В}$

6.1. Данные для расчета приведены в табл.13.

В результате испытаний получено:

Таблица 13

Температура оболочки в наиболее нагретом месте при работе в аномальных режимах, К			
Параметр	Длительный пусковой режим	Режим короткозамкнутым конденсатором	Длительный пусковой режим короткозамкнутым конденсатором
T	375	380	430
σ	6,80	5,16	7,38

6.2. Расчет

Расчет возникновения пожара от ПРА ведем по приложению 5, ПРА является составной частью изделия с наличием вокруг него горючего материала (компаунд, клеммная колодка); произведение вероятностей $Q(ПП) \times Q(НЗ)$ обозначим через $Q(a_i)$; тогда из приложения 5 можно записать

$$Q_a = Q(B) \left[\sum_{i=1}^k Q(a_i) \cdot Q(T_i) \right],$$

где Q_a - нормативная вероятность возникновения пожара при воспламенении аппарата, равная 10^{-6} ;

$Q(B)$ - вероятность воспламенения аппарата или выброса из него пламени при температуре поверхности ПРА (в наиболее нагретом месте), равной или превышающей критическую;

$Q(a_i)$ - вероятность работы аппарата в i -м (пожароопасном) режиме;

$Q(T_i)$ - вероятность достижения поверхностью аппарата (в наиболее нагретом месте) критической (пожароопасной) температуры, которая равна температуре воспламенения (самовоспламенения) изоляционного материала;

k - число пожароопасных аномальных режимов работы, характерное для конкретного исполнения ПРА.

Для оценки пожарной опасности проводим испытание на десяти образцах ПРА. За температуру в наиболее нагретом месте принимаем среднее арифметическое значение температур в испытаниях

$$T_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^{10} T_j}{10}.$$

Дополнительно определяем среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} (T_j - T_{cp})^2}{y}}.$$

Вероятность $(Q(T_i))$ вычисляем по формуле (156) приложения 5

$$Q(T_i) = 1 - \Theta_i,$$

где Θ_i - безразмерный параметр, значение которого выбирается по табличным данным, в зависимости от безразмерного параметра α_i в распределении Стьюдента.

Вычисляем (α_i) по формуле

$$\alpha_i = \frac{\sqrt{10}(T_k - T_{cp})}{\sigma},$$

где T_k - критическая температура.

Значение (T_k) применительно для ПРА вычисляем по формуле

$$T_k = \frac{\sum_{j=1}^{10} (T_{Tj} + T_{Tj})}{20},$$

где $T_{пj}, T_{вj}$ - температура j -го аппарата (в наиболее нагретом месте), соответственно, при появлении первого дыма и при "выходе" аппарата из строя (прекращении тока в цепи).

Значение $Q(B)$ вычисляем по формуле (155) приложения 5 при $n = 10$.

Значение критической температуры (T_K) составило 442,1 К, при этом из десяти испытуемых аппаратов у двух был зафиксирован выброс пламени ($m = 1$ $Q(B) = 0,36$).

Результаты расчета указаны в табл.14.

Таблица 14

Параметр*	Длительный пусковой режим ($i=1$)	Режим короткозамкнутым конденсатором ($i=2$)	Длительный пусковой режим короткозамкнутым конденсатором ($i=3$)
	0,06	0,1	0,006
	30,9	37,8	4,967
	1	1	0,99967
	0	0	0,00033

* Графа таблицы соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

6.3. Заключение

Таким образом, расчетная вероятность возникновения пожара от ПРА равна $Q_{п} = 1(0,06 \cdot 0 + 0,1 \cdot 0 + 0,006 \cdot 0,00033) \cdot 0,36 = 7,1 \cdot 10^{-7}$, что меньше $1 \cdot 10^{-6}$, т.е. ПРА пожаробезопасен.