

С. А. ШЕВЦОВ, д-р техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: shevtsov_sa@vigps.ru)

Д. В. КАРГАШИЛОВ, канд. техн. наук, начальник кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: kargashil@mail.ru)

С. В. ПОТЕХА, курсант факультета инженеров пожарной безопасности, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

И. А. БЫКОВ, курсант факультета инженеров пожарной безопасности, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

УДК 614.841.12

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ “БОЛЬШИХ ДЫХАНИЙ” НАЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Проведена оценка пожарной опасности “больших дыханий” наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов численными методами. Найдена вероятность воспламенения взрывоопасной смеси бензина с кислородом воздуха в окрестности резервуара при его заполнении нефтепродуктом. Определена масса паров бензина, вытесняемых из резервуара за одно “большое дыхание” в результате его испарения. Спрогнозированы параметры волны давления и радиус зоны поражения пожара-вспышки при воспламенении паровоздушной взрывоопасной концентрации при возникновении источника зажигания вблизи резервуара с нефтепродуктом. Определена условная вероятность поражения человека (оператора), находящегося в непосредственной близости от объекта защиты, в течение года с учетом реализации пожароопасной ситуации.

Ключевые слова: пожаровзрывоопасность; хранение нефтепродуктов; испарение нефтепродуктов; наземный резервуар; “большое дыхание”; взрывоопасная концентрация; волна давления; пожар-вспышка; поражение человека; индивидуальный пожарный риск.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.43-51

Процесс заполнения и хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарах всегда сопровождается выбросом легких газообразных углеводородов в атмосферу [1, 2]. Проблема потерь нефтепродуктов от испарения носит комплексный характер и связана с большими финансовыми потерями, ухудшением качества нефтепродуктов, экологической опасностью и возникновением пожаровзрывоопасных ситуаций на предприятиях хранения и переработки нефтепродуктов [3–5].

В России средняя частота возникновения пожаров с серьезными последствиями по отраслям нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности составляет приблизительно 12 пожаров в год. Наиболее опасным считается наземное хранение углеводородов: в наземных резервуарах типа РВС происходит 93,3 % пожаров и аварий, из них в резервуарах с бензином — 53,8 % [6].

Одной из причин возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций на предприятиях хранения и переработки нефтепродуктов является воспламенение паровоздушных взрывоопасных концентраций (ВОК), образующихся вблизи резервуаров при их “больших дыханиях”. “Большое дыхание” представляет собой процесс вытеснения всего газового объема из резервуара через дыхательный клапан в атмосферу, который происходит при заполнении опорожненного резервуара нефтепродуктом. С учетом большой интенсивности и сравнительно малого времени “большие дыхания” можно рассматривать как залповые выбросы паровоздушной смеси, в результате которых могут образовываться взрывоопасные концентрации, что резко повышает взрывоопасность на нефтебазах.

Примером подобной аварии может служить пожар на АЗС по ул. Крымский Вал (г. Москва), про-

исшедший в 1997 г. при сливе топлива из топливозаправщика в емкости АЗС. Причиной пожара явилась искра от топливозаправщика, которая вызвала возгорание паровоздушной смеси в результате “большого дыхания” емкости при заправке. Затем огонь распространился на емкости с бензином. Для ликвидации пожара были привлечены 53 пожарных и 16 единиц техники [7].

Пожарная опасность “больших дыханий” резервуаров с нефтепродуктом является областью научных интересов многих специалистов отрасли и описана в работах [8–12].

Цель работы — оценка пожарной опасности хранения нефтепродуктов в резервуарах типа РВС при их заполнении.

Постановка задачи: численными методами определить вероятность воспламенения паровоздушной смеси вблизи резервуара с бензином, в результате которого будет нанесен вред жизни или здоровью человека (оператора, контролирующего процесс заполнения резервуара), находящегося в непосредственной близости от объекта защиты.

Исходные данные и допущения. В работе приняты следующие исходные данные: вместимость резервуара $V_{рез} = 3000 \text{ м}^3$; высота $H_p = 12 \text{ м}$, радиус $R_p = 9,5 \text{ м}$; высота корпуса крыши $h_k = 1 \text{ м}$ (ГОСТ 31385–2008); количество оборотов емкости в год $n_{об} = 24 \text{ год}^{-1}$. Продолжительность выброса паровоздушной смеси принимаем $\tau_{ПВС} = 6,4 \text{ ч}$, так как она соответствует времени полного заполнения резервуара, опорожненного на 80 %, что, в свою очередь, зависит от производительности насоса G , которую принимаем равной $375 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,104 \text{ м}^3/\text{с}$). Считаем, что на резервуаре установлена молниезащита типа Б, следовательно вероятность ее безотказной работы $\beta = 0,95$ [13]. Местонахождение — Воронежская область, где вероятность шторма $Q_{шт} = 0,14$ (ГОСТ 31385–2008), частота ударов молнии $N = 4 \text{ км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ [13]. Технологическая среда — бензин АИ-93 (летний); его средняя рабочая температура $t_p = 40,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (что соответствует максимальной температуре в Воронежской области в июле [14]); нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР} = 0,76 \%$, верхний концентрационный предел распространения пламени $C_{ВКПР} = 5,16 \%$, нижний температурный предел распространения пламени $T_{НТПР} = -36 \text{ }^\circ\text{C}$; верхний температурный предел распространения пламени $T_{ВТПР} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$; константы Антуана $A = 4,12311$, $B = 664,976$, $C_A = 221,695$; молярная масса $M_6 = 0,0982 \text{ кг/моль}$ [15–17]. Частота искроопасных операций при ручном измерении уровня $N_{з.у} = 1000 \text{ год}^{-1}$, включений электродвигателей резервуара $N_{эл} = 40 \text{ год}^{-1}$, искроопасных операций при проведении техобслуживания резервуара, связанного с применением металлического, шлифовального

и другого искроопасного инструмента, $N_{ТО} = 24 \text{ год}^{-1}$. Характеристика рабочего места — место оператора, контролирующего процесс наполнения резервуара, на открытом пространстве на расстоянии $r = 14 \text{ м}$ от центра РВС.

Алгоритм решения задачи. Найдем вероятность возникновения воспламенения в окрестности резервуара в соответствии с ГОСТ 12.1.004–91*. Из анализа исходных данных следует, что концентрация паров бензина в резервуаре выше верхнего концентрационного предела распространения пламени, т. е. в резервуаре при неподвижном слое легковоспламеняющейся жидкости находится негорючая среда. При заполнении резервуара бензином в его окрестности образуется горючая среда, вероятность выброса которой $Q_{выбр}$ определяется по формуле

$$Q_{выбр} = \frac{n_{об} \tau_{ПВС}}{\tau_{раб}} = \frac{1 \cdot 24 \cdot 6,4}{8760} = 17,5 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где $\tau_{раб}$ — анализируемый период времени, ч.

Во время шторма около резервуара образуется зона ВОК паровоздушной смеси [18], вероятность появления которой

$$Q_{ВОК} = Q_{выбр} Q_{шт} = 17,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14 = 2,45 \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

Диаметр этой взрывоопасной зоны D (м) по ГОСТ 12.1.004–91* составляет:

$$D = 2R_p + 10H_p \left(\frac{G C_{раб}}{C_{НКПР} H_p^2} \right)^{0,86} = 2 \cdot 9,5 + 10 \cdot 12 \cdot \left(\frac{0,104 \cdot 27,5}{0,76 \cdot 12^2} \right)^{0,86} = 24,22 \text{ м}, \quad (3)$$

где $C_{раб}$ — рабочая концентрация паров бензина в резервуаре [17], %;

$$C_{раб} = \frac{P_H}{P_H + P_0} \cdot 100 \% = \frac{38,5}{38,5 + 101,3} \cdot 100 \% = 27,5 \%, \quad (4)$$

P_H — давление насыщенных паров бензина в резервуаре при рабочей температуре [17], кПа;

$$P_H = 10^{\frac{A - B}{t_p + C_A}} = 10^{\frac{4,12311 - 664,976}{40,5 + 221,695}} = 38,5 \text{ кПа}; \quad (5)$$

P_0 — атмосферное давление воздуха, кПа; $P_0 = 101,3 \text{ кПа}$.

Частота ударов молнии во взрывоопасную зону

$$N_{у.м}^{ВОК} = (D + 6(H_p + 5))^2 N \cdot 10^{-6} = (24,22 + 6 \cdot (12 + 5))^2 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,064. \quad (6)$$

Вероятность прямого удара молнии $Q_{y.m}$ в данную зону составляет:

$$Q_{y.m} = 1 - e^{-N_{y.m}^{Вок} \tau} = 1 - e^{-0,064 \cdot 1} = 0,06, \quad (7)$$

где τ — продолжительность периода наблюдения, лет; $\tau = 1$ год.

Вычислим вероятность отказа молниезащиты $Q_{o.m}$ в течение года при исправности молниеотвода:

$$Q_{o.m} = 1 - \beta = 1 - 0,95 = 0,05. \quad (8)$$

Тогда вероятность поражения молнией

$$Q_m = Q_{y.m} Q_{o.m} = 0,06 \cdot 0,05 = 3 \cdot 10^{-3}. \quad (9)$$

Будем считать, что имеющееся на резервуаре защитное заземление находится в исправном состоянии, поэтому вероятность вторичного воздействия молнии на взрывоопасную зону вблизи резервуара и заноса в нее высокого потенциала равна нулю. Следовательно, вероятность разряда атмосферного электричества $Q_{a.з}$ в зоне резервуара составит:

$$Q_{a.з} = Q_m = 3 \cdot 10^{-3}. \quad (10)$$

Примем, что из всего многообразия фрикционных искр вблизи резервуара может образоваться искра из-за ошибки оператора, производящего операции измерения уровня или применяющего вблизи резервуара металлический и другой искроопасный инструмент.

Тогда вероятность появления около резервуара фрикционных искр $Q_{ф.и}$ составит:

$$Q_{ф.и} = Q_{ош} Q_{п.о} = 1,52 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 1,52 \cdot 10^{-3}, \quad (11)$$

где $Q_{ош}$ — вероятность ошибки оператора, производящего операции измерения уровня и техобслуживания резервуара; $Q_{ош} = 1,52 \cdot 10^{-3}$ (по ГОСТ 12.1.004–91*);

$Q_{п.о}$ — вероятность проведения операции измерения уровня и техобслуживания резервуара, связанных с применением вблизи резервуара металлического, шлифовального и другого искроопасного инструмента;

$$Q_{п.о} = 1 - e^{-(N_{з.у} + N_{то}) \tau} = 1 - e^{-(1000 + 24) \cdot 1} = 1. \quad (12)$$

Вероятность появления электрических искр $Q_{э.и}$ при замыкании и размыкании контактов электродвигателей определяем по формуле

$$Q_{э.и} = Q_3 Q_{с.з} = 10^{-8} \cdot 1 = 10^{-8}, \quad (13)$$

где Q_3 — вероятность несоответствия электрооборудования резервуара категории и группе горючей среды в течение года; если принять, что исполнение электродвигателей резервуара соответствует категории и группе взрывоопасной смеси, то $Q_3 = 10^{-8}$ (ГОСТ 12.1.004–91*);

$Q_{с.з}$ — вероятность срабатывания электрооборудования резервуара;

$$Q_{с.з} = 1 - e^{-N_{эл} \tau} = 1 - e^{-40 \cdot 1} = 1. \quad (14)$$

Таким образом, общая вероятность появления во взрывоопасной зоне вблизи резервуара какого-либо источника зажигания будет составлять:

$$Q_{и.з} = Q_{a.з} + Q_{ф.и} + Q_{э.и} = 3 \cdot 10^{-3} + 1,52 \cdot 10^{-3} + 10^{-8} = 4,52 \cdot 10^{-3}. \quad (15)$$

Предположим, что энергии и времени существования этих источников зажигания достаточно для воспламенения горючей среды. Тогда вероятность возникновения воспламенения в окрестности резервуара определим по формуле

$$Q_{воспл} = Q_{Вок} Q_{и.з} = 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot 4,52 \cdot 10^{-3} = 11 \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

При сгорании облака паровоздушной смеси возможны два сценария развития пожара — пожар-вспышка и взрыв [19, 20].

Найдем условную вероятность поражения человека, находящегося вблизи резервуара, волной давления, образовавшейся в результате взрыва паровоздушной смеси ВОК, в соответствии с [21].

Масса паров бензина, вытесняемых из резервуара за одно “большое дыхание”, $m_{п}$ (кг) составит [21]:

$$m_{п} = \rho_{п} V_{п} P_{п} / P_0, \quad (17)$$

где $\rho_{п}$ — плотность паров бензина, кг/м³;

$$\rho_{п} = \frac{M_6}{V_0 (1 + 0,00367 t_p)} = \frac{98,2}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 40,5)} = 3,815 \text{ кг/м}^3; \quad (18)$$

$V_{п}$ — геометрический объем паровоздушного пространства резервуара, м³;

$$V_{п} = 0,8 V_{рез} + \pi R_{рез}^2 \frac{1}{3} h_k = 0,8 \cdot 300 + 3,14 \cdot 9,5^2 \cdot 1/3 \cdot 1 = 2294,5 \text{ м}^3. \quad (19)$$

Тогда

$$m_{п} = 3,815 \cdot 2294,5 \cdot 38,5/101,3 = 3327 \text{ кг.}$$

Массу паров бензина, содержащихся в облаке с концентрацией между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени, $m_{Вок}$ (кг) примем

$$m_{Вок} = m_{п} Z = 2290 \cdot 0,1 = 332,7 \text{ кг}, \quad (20)$$

где Z — коэффициент участия паров бензина в горении [20].

Найдем величину удельного энерговыделения $E_{уд}$ (Дж/кг) при горении бензина по формуле

$$E_{уд} = \alpha E_{уд0} = 1 \cdot 44 \cdot 10^6 = 44 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}, \quad (21)$$

где α — корректирующий параметр для бензина [20];

$E_{уд0}$ — удельная теплота сгорания для типичных углеводородов, Дж/кг [20].

Определим стехиометрический коэффициент k при кислороде в реакции сгорания для легкого бензина с химической формулой $C_{7,024}H_{13,708}$ [17]:

$$k = n_C + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_O}{2} = 7,024 + \frac{13,708}{4} = 10,45, \quad (22)$$

где n_C, n_H, n_O, n_x — число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле бензина соответственно.

Определим стехиометрическую концентрацию паров бензина:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84k} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 10,45} = 1,94 \%. \quad (23)$$

Концентрацию горючего в смеси C_r (%) примем равной НКПР, т. е. $C_r = C_{НКПР} = 0,76 \%$.

Найдем плотность воздуха ρ_B (кг/м³) при расчетной температуре и атмосферном давлении:

$$\rho_B = \frac{M_B}{V_0(1 + 0,00367t_p)} = \frac{28,98}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 40,5)} = 1,126 \text{ кг/м}^3, \quad (24)$$

где M_B — молярная масса воздуха, кг/кмоль; V_0 — мольный объем, м³/кмоль.

При определении эффективного энергозапаса горючей смеси учитываем, что облако расположено на поверхности земли, так как плотность паров бензина при прочих равных условиях выше, чем плотность воздуха. Так как $C_r \leq C_{ст}$, эффективный энергозапас горючей смеси

$$E = 2m_{ВОК} E_{уд} = 2 \cdot 332,7 \cdot 44 \cdot 10^6 = 29,278 \cdot 10^9 \text{ Дж}. \quad (25)$$

Так как бензин относится к веществам 3-го класса горючести [21], видимую скорость распространения фронта пламени паровоздушной смеси u_p (м/с) определим по формуле

$$u_p = k_1 m_{ВОК}^{1/6} = 43 \cdot 332,7^{1/6} = 133 \text{ м/с}, \quad (26)$$

где k_1 — константа, равная 43 [21].

Видимая скорость распространения фронта пламени меньше максимальной скорости распространения фронта пламени паровоздушной смеси для веществ 3-го класса горючести (300 м/с [21]), поэтому для расчетов примем $u_p = 300$ м/с.

Безразмерное расстояние от центра облака r_x считаем по формуле

$$r_x = \frac{r}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{1/3}} = \frac{14}{\left(\frac{29,278 \cdot 10^9}{101325}\right)^{1/3}} = 0,21. \quad (27)$$

Так как $r_x < 0,34$, далее для расчетов принимаем $r_x = 0,34$ [21]. Тогда величину безразмерного давления p_x определим из выражения

$$p_x = \frac{u^2}{C_0^2} \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left(\frac{0,83}{r_x} - \frac{0,14}{r_x^2} \right) = \frac{300^2}{340^2} \frac{7 - 1}{7} \left(\frac{0,83}{0,34} - \frac{0,14}{0,34^2} \right) = 1,44, \quad (28)$$

где σ — степень расширения продуктов сгорания для газопаровоздушных смесей [21];

C_0 — скорость звука в воздухе, м/с.

Безразмерную величину импульса фазы сжатия I_x найдем из соотношения

$$I_x = \frac{u}{C_0} \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left(1 - 0,4 \frac{u}{C_0} \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \left(\frac{0,06}{r_x} + \frac{0,01}{r_x^2} - \frac{0,0025}{r_x^3} \right) = \frac{300}{340} \frac{7 - 1}{7} \left(1 - 0,4 \frac{300}{340} \frac{7 - 1}{7} \right) \times \left(\frac{0,06}{0,34} + \frac{0,01}{0,34^2} - \frac{0,0025}{0,34^3} \right) = 0,105. \quad (29)$$

Избыточное давление Δp (кПа) определим по формуле

$$\Delta p = p_x p_0 = 1,44 \cdot 101325 = 145,9 \text{ кПа}. \quad (30)$$

Размерную величину импульса фазы сжатия I^+ найдем по формуле

$$I^+ = \frac{I_x P_0^{2/3} E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,105 \cdot 101325^{2/3} \cdot (29,278 \cdot 10^9)^{1/3}}{340} = 2069 \text{ Па} \cdot \text{с}. \quad (31)$$

Для определения условной вероятности поражения человека, находящегося вблизи резервуара, волной давления используем пробит-функцию вида

$$P_r = 5,0 - 5,74 \ln S, \quad (32)$$

где $S = \frac{4,2}{\bar{P}} + \frac{1,3}{\bar{i}}$;

$$\bar{P} = \frac{\Delta p}{p_0} = \frac{145,9 \cdot 10^3}{101325} = 1,44;$$

$$\bar{i} = \frac{I^+}{P_0^{1/2} m^{1/3}} = \frac{2069}{101325^{1/2} \cdot 70^{1/3}} = 1,58;$$

m — масса тела человека, принимаемая равной 70 кг.

Тогда

$$S = \frac{4,2}{1,44} + \frac{1,3}{1,58} = 3,74,$$

а пробит-функция

$$P_r = 5,0 - 5,74 \ln 3,74 = -2,57.$$

Значение условной вероятности поражения человека, находящегося вблизи резервуара на открытом пространстве при взрыве паровоздушной смеси, определим по табл. П4.2 из [21]: $Q_{возд.взр} = 0$.

Поскольку радиус зоны поражения R_F (м) при пожаре-вспышке практически совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания [21] и равен

$$R_F = \frac{1,2D}{2} = \frac{1,2 \cdot 24,22}{2} = 14,5 \text{ м}, \quad (33)$$

для оператора, находящегося вблизи резервуара (на расстоянии 14 м, что меньше $R_F = 14,5$ м), условная вероятность поражения $Q_{\text{возд.всп}} = 1$ [20].

Анализируя данные, приведенные в приложении 3 [20] и табл. 2.4 [22], можно сделать вывод, что вероятность взрыва намного ниже вероятности пожара-вспышки при сгорании облака паровоздушной смеси и в среднем ее можно оценить как 6 взрывов на 100 воспламенений паровоздушной смеси. Используя вышеуказанные данные, примем вероятность взрыва и вероятность пожара-вспышки.

Поскольку взрыв не несет вреда жизни и здоровью человека, условную вероятность поражения человека при сгорании облака паровоздушной смеси в режиме пожара-вспышки при условии, что оператор будет всегда находиться вблизи резервуара при его наполнении, найдем по формуле

$$Q = Q_{\text{воспл}} Q_{\text{всп}} Q_{\text{возд.всп}} = 11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,94 \cdot 1 = 10,34 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}. \quad (34)$$

Выводы

Высокое значение условной вероятности поражения человека в результате воспламенения паровоздушной смеси, образовавшейся вблизи резервуара вследствие его наполнения из-за испарения нефтепродукта, связано с тем, что расчеты велись по наиболее неблагоприятному сценарию развития пожароопасной ситуации [21]. На современных объектах организация хранения нефтепродуктов реализуется в соответствии с правилами ведения технологических процессов, которые предусматривают в обязательном порядке меры, снижающие вероятность аварии при “больших дыханиях” [23].

Тем не менее расчетное значение условной вероятности поражения человека в результате воспламенения паровоздушной смеси, полученное по действующим методикам, доказывает высокую пожаровзрывоопасность “больших дыханий” при наполнении резервуаров нефтепродуктом, что, несомненно, отразится на величине индивидуального пожарного риска [24], которая учитывает все сценарии развития пожароопасных ситуаций.

Таким образом, для снижения данной вероятности необходимо предусмотреть инженерно-технические решения, позволяющие уменьшить или совсем исключить выброс паровоздушной смеси при осуществлении операций наполнения резервуара нефтепродуктом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abdelmajeed M. A., Onsa M. H., Rabah A. A.* Management of evaporation losses of gasoline's storage tanks // Sudan Engineering Society Journal. — 2009. — Vol. 55, No. 52. — P. 39–43. URL: https://www.researchgate.net/profile/Mahmoud_Onsa/publication/274376940_management_of_evaporation_losses_of_gasoline's_storage_tanks/links/551ce7e30cf20d5fbde55ec3.pdf (дата обращения: 10.10.2016).
2. *Данилов В. Ф., Шурыгин В. Ю.* К вопросу о решении проблемы потерь нефтепродуктов от испарения // Успехи современного естествознания. — 2016. — № 3. — С. 141–145.
3. *Рыженко В. Ю.* Нефтяная промышленность России: состояние и проблемы // Перспективы науки и образования. — 2014. — № 1(7). — С. 300–308.
4. *Carmine Difiglio.* Oil, economic growth and strategic petroleum stocks // Energy Strategy Reviews. — 2014. — Vol. 5. — P. 48–58. DOI: 10.1016/j.esr.2014.10.004.
5. *Gay J., Shepherd O., Thyden M., Whitman M.* The health effects of oil contamination: a compilation of research. — Worcester, Massachusetts : Worcester Polytechnic Institute, 2015. — 211 p. URL: https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/-project-121510-203112/unrestricted/Health_Effects_of_Oil_Contamination_-_Final_Report.pdf (дата обращения: 10.10.2016).
6. *Тугунов П. И., Новоселов Н. Ф., Коршак А. А., Шаммазов А. М.* Типовые расчеты при проектировании нефтебаз и нефтепроводов : учебное пособие для вузов. — Уфа : ООО “ДизайнПолиграф-Сервис”, 2002. — 658 с.
7. Исследование и разработка технических решений по повышению безопасности автозаправочных станций. URL: <http://www.bashexpert.ru/konkurs/2008/one/proekt3.pdf> (дата обращения: 11.10.2016).
8. *Гладкая Л. А., Козий И. С.* Исследование и расчет вероятности возникновения пожара в резервуаре сбора товарной нефти // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. — 2007. — № 36. — С. 40–42.

9. *Липский В. К., Спириденко Л. М., Бондарчук А. И.* Нормы естественной усадки нефти и нефтепродуктов стальных резервуаров // *Литье и металлургия*. — 2012. — № 3(67). — С. 334–336.
10. *Александров А. А.* Оценка экологической опасности “большого дыхания” резервуара автозаправочных станций и нефтебаз // *Вестник Оренбургского государственного университета*. — 2005. — № 4 — С. 104–107.
11. *Березина И. С., Головчун С. Н.* Анализ методик расчета процесса испарения светлых нефтепродуктов при перевозке, хранении и сливно-наливных операциях // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. — 2008. — № 6(47). — С. 188–191.
12. *Кузнецова С. А.* Пожаробезопасность при эксплуатации резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2005. — 22 с.
13. РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений : утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.1987. URL: <http://files.stroyinf.ru/data1/2/2794/> (дата обращения: 10.10.2016).
14. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*. — Введ. 01.01.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения: 10.10.2016).
15. *Куанг Ф. Х.* Обеспечение безопасной откачки светлых нефтепродуктов из горящих вертикальных стальных резервуаров : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2015. — 142 с.
16. *Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2-х ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.
17. *Шебеко Ю. Н., Смолин И. М., Молчадский И. С., Полетаев Н. Л., Зотов С. В., Колосов В. А., Малкин В. Л., Смирнов Е. В., Гордиенко Д. М.* Пособие по применению НПБ 105–95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности” при рассмотрении проектно-сметной документации. — М. : ВНИИПО, 1998. — 119 с.
18. *Захарова М. И.* Анализ и оценка риска аварий резервуаров и газопроводов при низких температурах : дис. ... канд. техн. наук. — Якутск : Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова, 2015. — 140 с.
19. *Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Хабибов М. У.* Особенности проектирования резервуарных установок сжиженных углеводородных газов в системах автономного газоэнергоснабжения с учетом оценки пожарного риска // *Пожарная безопасность*. — 2016. — № 3. — С. 150–155.
20. *Гордиенко Д. М., Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Кириллов Д. С., Трунева В. А., Гилетич А. Н., Комков П. М.* Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. — М. : ВНИИПО, 2012. — 242 с.
21. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404 (в ред. приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649). URL: <http://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 10.10.2016).
22. *Болодьян И. А., Шебеко Ю. Н., Карпов В. Л., Макеев В. И., Некрасов В. П., Пономарев А. А., Строгонов В. В., Гордиенко Д. М., Лагозин А. Ю., Григорьева А. В., Кириллов Д. С., Дешевых Ю. И., Гилетич А. Н., Макеев А. А.* Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. — М. : ВНИИПО, 2006. — 97 с.
23. Руководство по безопасности для нефтебаз и складов нефтепродуктов : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26.12.2012 № 777. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902389568> (дата обращения: 10.10.2016).
24. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.10.2016).

Материал поступил в редакцию 18 октября 2016 г.

Для цитирования: *Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Потеха С. В., Быков И. А.* Оценка пожарной опасности “больших дыханий” наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов численными методами // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 43–51. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.43-51.

ASSESSMENT OF THE FIRE HAZARD OF "BIG RESPIRATIONS" OF LAND RETENTION TANKS OF OIL PRODUCTS BY NUMERICAL METHODS

SHEVTSOV S. A., Doctor of Technical Sciences, Senior Lecture of Fire Safety of Technological Processes Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: shevtsov_sa@vigps.ru)

KARGASHILOV D. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Safety of Technological Processes Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: kargashil@mail.ru)

POTEKHA S. V., Cadet of Engineers of Fire Safety Faculty, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

БЫКОВ И. А., Cadet of Engineers of Fire Safety Faculty, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

ABSTRACT

An assessment of fire danger of storage of oil products in land RVS tanks at implementation of "big respirations" is given. Parameters of the explosive zone near the tank with gasoline formed as a result of his filling are determined. It is established dependence of probability of ignition of explosive mix of gasoline with air oxygen in the neighborhood of the tank from probability of her education at the corresponding climatic conditions in the set region and probability of manifestation in an explosive zone of a source of the ignition sufficient for ignition of the combustible environment as which categories of atmospheric electricity, manifestation of frictional sparks, and electric sparks of short circuit were considered. The mass of vapors of gasoline which is forced out from the tank for one "big respiration" as a result of his evaporability and also mass of the vapors of gasoline which are contained in a cloud with concentration between the lower and top concentration limits of distribution of a flame is determined. Fire flash defeat zone radius, excessive pressure and impulse of pressure of explosion of steam-air mix in open space, and also extent of their influence on life and health of the person are determined. The probability of the scenario which implementation will constitute danger to the operator controlling process of filling of the tank gasoline is predicted. Value of conditional probability of defeat of the person who is near the tank taking into account realization of a fire-dangerous situation within a year is found that will affect the size of individually fire risk which considers all scenarios of development of fire-dangerous situations. Therefore, for reduction of value of the received probability it is necessary to provide the technical decisions allowing to lower or exclude the emission of steam-air mix connected with an evaporability of oil products at implementation of operations of filling the tank.

Keywords: explosive fire hazard; storage of oil products; evaporation of oil products; land tank; "big respiration"; explosive concentration; pressure wave; fire flash; defeat of the person; individual fire risk.

REFERENCES

1. Abdelmajeed M. A., Onsa M. H., Rabah A. A. Management of evaporation losses of gasoline's storage tanks. *Sudan Engineering Society Journal*, 2009, vol. 55, no. 52, pp. 39–43. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Mahmoud_Onsa/publication/274376940_management_of_evaporation_losses_of_gasoline's_storage_tanks/links/551ce7e30cf20d5fbde55ec3.pdf (Accessed 10 October 2016).
2. Danilov V. F., Shurygin V. Yu. To the question about ways to solve the problem of evaporation loss of oil products. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* (Advances in Current Natural Sciences), 2016, no. 3, pp. 141–145 (in Russian).

3. Ryzhenko V. Yu. Russian oil industry: state and problems. *Perspektivy nauki i obrazovaniya* (Perspectives of Science and Education), 2014, no. 1(7), pp. 300–308 (in Russian).
4. Carmine Difiglio. Oil, economic growth and strategic petroleum stocks. *Energy Strategy Reviews*, 2014, vol. 5, pp. 48–58. DOI: 10.1016/j.esr.2014.10.004.
5. Gay J., Shepherd O., Thyden M., Whitman M. *The health effects of oil contamination: a compilation of research*. Worcester, Massachusetts, Worcester Polytechnic Institute, 2015. 211 p. Available at: https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/-project-121510-203112/unrestricted/Health_Effects_of_Oil_Contamination_-_Final_Report.pdf (Accessed 10 October 2016).
6. Tugunov P. I., Novoselov N. F., Korshak A. A., Shammazov A. M. *Standard calculations at projection of oil depots and oil pipelines*. Manual for higher education institutions. Ufa, LLC DizaynPoligraf-Service Publ., 2002. 658 p. (in Russian).
7. *Research and development of technical solutions on increase in safety of gas stations* (in Russian). Available at: <http://www.bashexpert.ru/konkurs/2008/one/proekt3.pdf> (Accessed 11 October 2016).
8. Gladkaya L. A., Koziy I. S. Research and calculation of probability of occurrence of fire in the tank of gathering stock-tank oil. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta* (*Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*), 2007, no. 36, pp. 40–42 (in Russian).
9. Lipskiy V. K., Spiridenok L. M., Bondarchuk A. I. Norms of natural decrease of oil and oil products of steel tanks. *Litye i metallurgiya* (*Foundry Production and Metallurgy*), 2012, no. 3(67), pp. 334–336 (in Russian).
10. Alexandrov A. A. Estimation of ecological danger of tankys “big breath” of gasoline stations and petroleum storage depot. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* (*Vestnik of the Orenburg State University*), 2005, no. 4, pp. 104–107 (in Russian).
11. Berezina I. S., Golovchun S. N. Analysis of calculation procedures of the process of evaporation of light mineral oil at transportation, storage and oil cargo operations. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* (*Vestnik of Astrakhan State Technical University*), 2008, no. 6(47), pp. 188–191 (in Russian).
12. Kuznetsova S. A. *Fire safety at operation of tanks for storage of oil and oil products*. Abstr. cand. tech. sci. diss. Ufa, Ufa State Oil Technical University Publ., 2005. 22 p. (in Russian).
13. *Regulating document 34.21.122–87. Instruction on the structure of lightning protection of buildings and constructions* (in Russian). Available at: <http://files.stroyinf.ru/data1/2/2794/> (Accessed 10 October 2016).
14. *Set of rules 131.13330.2012. Building climatology. The updated edition of Construction Norms and Regulations 23-01–99** (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (Accessed 10 October 2016).
15. Kuang F. Kh. *Ensuring safe pumping of refined oils from the burning vertical steel tanks*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 142 p. (in Russian).
16. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting*. Reference book. 2nd ed. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.; part II, 774 p. (in Russian).
17. Shebeko Yu. N., Smolin I. M., Molchadskiy I. S., Poletaev N. L., Zotov S. V., Kolosov V. A., Malkin V. L., Smirnov E. V., Gordienko D. M. *Grant on application of NFB 105–95 “Determination of categories of rooms and buildings on a fire and explosion and fire hazard” by consideration of design and budget documentation*. Moscow, VNIPO Publ., 1998. 119 p. (in Russian).
18. Zakharova M. I. *The analysis and assessment of risk of failures of tanks and gas pipelines at low temperatures*. Cand. tech. sci. diss. Yakutsk, Institute of Physics and Technology Problems of the North named V. P. Larionov Publ., 2015. 140 p. (in Russian).
19. Shevtsov S. A., Kargashilov D. V., Habibov M. U. Design features of tank installations with liquefied hydrocarbon gases in the autonomous gas and energy supply systems considering fire risk assessment. *Pozharnaya bezopasnost* (*Fire Safety*), 2016, no. 3, pp. 150–155 (in Russian).
20. Gordienko D. M., Shebeko Yu. N., Shebeko A. Yu., Kirillov D. S., Truneva V. A., Giletich A. N., Komkov P. M. *Grant by definition of estimated values of fire risk for production objects*. Moscow, VNIPO Publ., 2012. 242 p. (in Russian).
21. *Technique of definition of estimated values of fire risk on production objects. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (ed. on 14.12.2010 No. 649)* (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/196118/> (Accessed 10 October 2016).

22. Bolodyan I. A., Shebeko Yu. N., Karpov V. L., Makeev V. I., Nekrasov V. P., Ponomarev A. A., Stroganov V. V., Gordienko D. M., Lagozin A. Yu., Grigoryeva A. V., Kirillov D. S., Deshevykh Yu. I., Gile-tich A. N., Makeev A. A. *Management according to fire risk for industrial enterprises*. Moscow, VNIPO Publ., 2006. 97 p. (in Russian).
23. *Management on safety for petroleum storage depots and warehouses of oil products. Order of Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision on 12.26.2012 No. 777* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902389568> (Accessed 10 October 2016).
24. *Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016)* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 8 November 2016).

For citation: Shevtsov S. A., Kargashilov D. V., Potekha S. V., Bykov I. A. Assessment of the fire hazard of “big respirations” of land retention tanks of oil products by numerical methods. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 43–51. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.43-51.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 104 с. : ил.



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru