

В.И. Юрьев

(Академия ГПС МЧС России; e-mail: pbtp_bakalavr@mail.ru)

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ "ДЫХАНИЙ" РЕЗЕРВУАРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ С БЕНЗИНОМ

Проведена аналитическая оценка пожарной опасности "большого и малого дыханий" резервуаров типа РВС в резервуарных парках.

Ключевые слова: резервуар типа РВС, взрывоопасная концентрация, "большое и малое дыхания".

V.I. Yuriev

ASSESSMENT OF FIRE HAZARD OF "BREATHING" OF VERTICAL STEEL TANKS WITH GASOLINE

The analytical estimation of fire hazard of in-breathing and out-breathing of vertical steel tanks in the tank farms was carried out.

Key words: vertical steel tanks, explosive concentration, in-breathing and out-breathing.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 2 мая 2016 г.

В последние годы в результате увеличения автопарка России резко возросла потребность в продуктах переработки нефти (бензина, керосина, дизельного топлива). Поэтому количество и объём резервуарных парков хранения нефти и нефтепродуктов постоянно увеличивается.

На территориях резервуарных парков располагаются различные типы резервуаров, преобладающее большинство из которых составляют резервуары типа РВС – резервуар вертикальный стальной со стационарной крышей без понтона. Как правило, такие резервуары рассчитывают на внутреннее избыточное давление – не более 2000 Па и относительное разрежение в газовом пространстве – не более 250 Па.

Серьёзную пожарную и экологическую опасность представляют **выбросы паров нефтепродуктов** из дыхательных систем резервуаров, которые классифицируют как "малые" и "большие" дыхания.

Легкие фракции нефтепродукта, например, бензина, интенсивно испаряются, пары насыщают газовое пространство резервуара и поступают в атмосферу при срабатывании дыхательного клапана при "малых дыханиях" резервуара.

"Малые дыхания" резервуара происходят вследствие изменений температуры в его газовом пространстве в течение суток. В светлое время суток под воздействием солнечной радиации ускоренному прогреву подвергаются главным образом поверхность крыши и "сухая" (выше уровня разлива) часть резервуара. Вследствие лучистого теплообмена от этих поверхностей происходит нагрев и тепловое расширение **паровоздушной смеси (ПВС)** в газовом пространстве, а также нагрев поверхностного слоя хранимого продукта (перегрев его может достигать 15-20 °С, по сравнению с температурой основной массы

жидкости). Эти оба обстоятельства приводят к увеличению давления газовой смеси в резервуаре. При достижении предельного избыточного давления в резервуаре, предохранительный клапан кратковременно открывается, стравливая ПВС в атмосферу.

В тёмное время суток температура снижается, давление в газовой части резервуара понижается, образуется разрежение. При достижении разрежения в газовом пространстве выше предельного, вакуумный клапан открывается и в газовое пространство резервуара впускает воздух. Днём газовое пространство снова дополнительно насыщается парами нефтепродукта и описанный процесс повторяется.

Основными факторами, влияющими на массовую скорость выброса паров при "малых дыханиях" РВС, являются интенсивность испарения бензина и площадь зеркала испарения:

$$G = W F, \quad (1)$$

где G – массовая скорость выброса паров бензина при "малых дыханиях" резервуара, $кг/с$;

W – интенсивность испарения бензина, $кг/с \cdot м^2$;

F – площадь зеркала испарения, $м^2$.

Интенсивность испарения бензина W определяется по формуле:

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} \cdot p_n$$

где η – коэффициент, зависящий от скорости и температуры конвективного потока над поверхностью испарения в резервуаре, принимается по [2];

M – молярная масса вещества (для бензина АИ-95 $C_{7,024}H_{13,706}$, соответственно, $98,2$ $кг/кмоль$);

p_n – давление насыщенного пара при расчётной температуре жидкости t_p , $кПа$.

Величину p_n можно определить по уравнению Антуана:

$$\lg p_n = A - \frac{B}{(t_p + C_A)};$$

где A , B и C_A – константы уравнения Антуана, зависящие от свойств жидкости [3, 4];

t_p – расчётная температура жидкости, $^{\circ}C$.

Площадь зеркала испарения зависит от ёмкости и конструктивных особенностей резервуара (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что площадь зеркала испарения, в зависимости от объёма РВС, изменяется в пределах – от 85 до 2892 $м^2$. Массовая скорость выброса паровоздушной смеси при "малых дыханиях" из резервуара в летний период, полученная по формуле (1), в зависимости от площади зеркала испарения, изменяется в пределах от 0,14 до 4,72 $м^3/ч$.

На практике для снижения выброса паров бензина при "малых дыханиях" резервуары окрашивают светоотражающими красками (белая, серебристая), что обеспечивает снижение перепада температур хранимой жидкости.

Площадь зеркала испарения в зависимости от объёма РВС

Номинальный объём РВС, м ³	Диаметр РВС, м	Высота стенки РВС, м	Максимальная вместимость РВС, м ³	Площадь зеркала испарения жидкости в РВС, м ²
1000	10,43	12	974,01	85,39
2000	15,18	12	2063,19	180,89
3000	18,98	12	3225,43	282,78
5000	22,80	12	4654,41	408,07
5000	20,92	15	4898,11	343,55
10000	28,50	18	10908,77	637,61
10000	34,20	12	10472,42	918,17
20000	39,90	18	21381,19	1249,73
20000	47,40	12	20116,45	1763,71
30000	45,60	18	27926,45	1632,3
40000	56,90	18	43482,10	2541,52
50000	60,70	18	49483,84	2892,33

"Большое дыхание" обусловлено заполнением или опорожнением резервуара. Во время заполнения внутреннее газовое пространство вытесняется через дыхательную арматуру в атмосферу, образуя в резервуарном парке зоны взрывоопасных концентраций. Во время опорожнения – наоборот, в резервуар поступает воздух, что может также привести к образованию взрывоопасной концентрации внутри резервуара.

Массовая скорость выброса ПВС определяется производительностью насосов, осуществляющих закачку. Для оценки суммарной массы вытесненных паров бензина при "большом дыхании" необходимо знать объём жидкости, поступившей в резервуар при закачке, и концентрацию паров нефтепродукта в газовом пространстве резервуара. С учётом сравнительно небольшого отрезка времени вытеснение смеси – "большие дыхания" – можно рассматривать как залповые выбросы ПВС, резко повышающие пожарную и экологическую опасность резервуарных парков.

Для оценки опасности образования взрывоопасной концентрации в газовом пространстве резервуара необходимо знать её значения при различной температуре.

В соответствии с законом Дальтона, общее давление в замкнутом газовом объёме резервуара будет складываться из парциального давления паров бензина (давление насыщения) и парциального давления воздуха ($p_n + p_p$). Зная отношение парциального давления паров бензина к общему давлению, можно определить концентрацию паров нефтепродукта [5]. Давление насыщенного пара (p_n) определяется по уравнению Антуана, атмосферное давление принимается равным 101,3 кПа. Отношение объёмов воздуха и паров бензина будет определяться их парциальными давлениями. Парциальное давление паров бензина равно давлению насыщения, а парциальное давление воздуха – атмосфер-

ному давлению воздуха. Таким образом, концентрацию паров бензина в газовом объёме можно определить по формуле:

$$\varphi_{II} = 100 p_n / (p_n + p_p),$$

где p_n – давление насыщенного пара испарившейся жидкости при рабочей температуре, *кПа*;

p_p – атмосферное давление воздуха, *кПа*.

Однако, в соответствии с требованием норм [1], предохранительные клапаны начинают срабатывать (сравливать внутреннее избыточное давление при достижении 2 *кПа* и всасывать воздух при достижении 0,25 *кПа* относительно разрежения в газовом пространстве резервуара). Поэтому целесообразно пользоваться следующей зависимостью:

$$\varphi_{II} = \frac{p_n}{p_p},$$

где φ_{II} – концентрация насыщенных паров при рабочей температуре жидкости;

p_n – давление насыщенного пара испарившейся жидкости при рабочей температуре, *кПа*;

p_p – атмосферное давление воздуха, *кПа*.

Принимаем давление среды в резервуаре, соответственно, в начале и конце "дыхания" *кПа*:

$$p_1 = p_2 = p_p.$$

Плотность пара ЛВЖ ρ_n (*кг/м³*) [2] при расчётной температуре t_p , вычисляют по формуле:

$$\rho_n = \frac{M}{V_0 (1 + 0,00367 t_p)},$$

где M – молярная масса, *м³/кмоль*;

V_0 – мольный объём, равный 22,413 *м³/кмоль*;

t_p – расчётная температура, *°C* [6].

Массу паров жидкости m_n (*кг/цикл*), выходящих из оборудованного дыхательным устройством аппарата за один цикл "большого и малого дыхания", определяем таким образом:

$$m_n = \left[\frac{p_1 V_1}{273 + t_1} (1 - \varphi_{n1}) - \frac{p_2 V_2}{273 + t_2} (1 - \varphi_{n2}) \right] \frac{\bar{\varphi}_n}{1 - \bar{\varphi}_n} \frac{M_n}{R},$$

где p_1 и p_2 – давление среды в аппарате соответственно в начале и в конце дыхания, *Па*;

V_1 и V_2 – объём паровоздушного пространства соответственно в начале и в конце "дыхания", *м³*;

φ_{n1} и φ_{n2} – концентрация насыщенного пара жидкости при температуре паровоздушной смеси t_1 и t_2 , об. доли;

$\bar{\varphi}_n = (\varphi_{n1} + \varphi_{n2})/2$ – средняя концентрация насыщенного пара, об. доли;

$R = 8314,31$ *Дж/(кмоль·К)* – универсальная газовая постоянная;

M_n – молекулярная масса вещества.

Объём паровоздушного пространства соответственно в начале и в конце "большого дыхания" определяют по формулам:

$$V_1 = \pi R^2 h (1 - \varepsilon_2);$$

$$V_2 = \pi R^2 h (1 - \varepsilon_1),$$

где R – радиус резервуара, м;

h – высота резервуара, м;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – степень заполнения в начале и в конце "большого дыхания".

Результаты расчётов потерь бензина от одного "большого дыхания" резервуара типа РВС приведены в табл. 2 (в примерах учтено влияние метеорологических условий на размеры взрывоопасных зон).

Максимальные размеры взрывоопасных зон можно определить по методике [7]:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33},$$

где $m_{\text{п}}$ – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство из резервуара, кг;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность паров бензина при расчётной температуре, кг/м³;

$C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени паров бензина, % об.

Результаты дальнейших расчётов (радиус $R_{\text{НКПР}}$, диаметр $D_{\text{НКПР}}$, высота $Z_{\text{НКПР}}$ зоны взрывоопасной концентрации, м) от цикла "большого дыхания" резервуара приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номинальный объём РВС, м ³	Масса паров, выходящих при "большом дыхании" $m_{\text{п, б.д.}}$, кг/цикл	Масса паров, выходящих при "малом дыхании" $m_{\text{п, м.д.}}$, кг/цикл	Радиус $R_{\text{НКПР}}$ зоны взрывоопасной концентрации при "большом дыхании", м	Диаметр $D_{\text{НКПР}}$ зоны взрывоопасной концентрации при "большом дыхании", м	Высота $Z_{\text{НКПР}}$ зоны взрывоопасной концентрации при "большом дыхании", м
1000	1136,95	22,982	49,970	99,940	1,665
2000	2408,35	48,682	64,026	128,051	2,134
3000	3764,99	76,106	74,198	148,395	2,473
5000	5433,03	109,823	83,744	167,487	2,791
5000	5717,49	115,574	85,166	170,332	2,839
10000	12733,65	257,399	110,923	221,846	3,854
10000	12224,31	247,103	109,439	218,878	3,648
20000	24957,96	504,501	138,505	277,011	4,617
20000	23481,65	474,659	135,746	271,493	4,525
30000	32598,15	658,941	151,266	302,532	5,042
40000	50756,05	1025,985	175,065	350,129	5,835
50000	57761,79	1167,600	182,696	365,392	6,089

При оценке опасности загазованности территории резервуарного парка необходимо учитывать также, что есть вероятность (особенно при незначительном движении воздуха) дрейфа облака на селитебную территорию при его сосредоточении в приземной области, так как пары бензина в 3-4 раза тяжелее воздуха.

Таким образом, проведенным анализом установлено, что наибольшую пожарную и экологическую опасность в резервуарных парках при хранении бензина представляют "большие дыхания" резервуаров типа РВС. Установлено, что радиус зоны взрывоопасной концентрации для резервуаров больших объёмов могут достигать до 183 м. Поэтому вопросы снижения пожарной и экологической опасностей вблизи предприятий, на которых используются РВС, являются актуальными.

Литература

1. **ГОСТ Р 152910-2008.** Государственный стандарт. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов.
2. **СП 12.13130.2009.** Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
3. **Баратов А.Н., Корольченко А.Я.** Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник. Ч.1. М.: Химия, 1990. 496 с
4. **СТО Газпром РД 1.2-138-2005.** Методика оценки пожаровзрывоопасности систем местных отсосов. М.: ООО "ИРЦ Газпром, 2005. 61 с.
5. **Глинка Н.Л.** Общая химия: учебное пособие. М.: Интеграл-Пресс, 2002. 728 с.
6. **СП 131.13330.2012.** Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*. М.: Минрегион России, 2012. 109 с.
7. **Приказ** МЧС России № 404 от 10 июля 2009 г. "Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах".