

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ «БОЛЬШОГО ДЫХАНИЯ» РЕЗЕРВУАРА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ И НЕФТЕБАЗ

В статье представлена оценка потенциальной опасности «больших дыханий» резервуаров автозаправочных станций (АЗС) и нефтебаз. С этой целью была дана оценка концентраций паров бензина в резервуарах, оснащенных дыхательными клапанами, а также частоты, временных и объемных параметры выбросов паров бензина через дыхательную арматуру. При оценке радиуса поражения учтен возможный дрейф бензино-воздушного облака при слабом ветре. Сделан вывод о том, что проблема снижения экологической безопасности вблизи АЗС в мегаполисе актуальна.

Серьезную экологическую опасность представляют выбросы паров нефтепродукта из дыхательных систем автозаправочных станций и нефтебаз, которые классифицируют как «малые» и «большие» дыхания.

«Малые дыхания» резервуаров происходят вследствие изменения температуры в газовом пространстве емкости в течение суток. Днем скорость испарения нефтепродукта с ростом температуры увеличивается, возрастает и давление газовой смеси. При этом механический дыхательный клапан поддерживает избыточное давление в газовом пространстве резервуара не более предельного (2 кПа), открываясь кратковременно для выпуска паровоздушной смеси в атмосферу. Ночью температура снижается, давление в газовой части понижается, образуется разрежение. При достижении вакуума выше предельного (0,2 кПа) дыхательный клапан открывается и впускает воздух в газовое пространство резервуара. Днем газовое пространство насыщается парами нефтепродукта, и описанный процесс повторяется вновь. Легкие нефтепродукты, например бензин, интенсивно испаряются, их пары насыщают газовое пространство резервуара и поступают в атмосферу при срабатывании дыхательного клапана при «малых и больших дыханиях» резервуара.

Основные факторы, влияющие на интенсивность «малых дыханий» – интенсивность испарения и площадь зеркала испарения.

Интенсивность испарения жидкости определяется по формуле [2, 7]:

$$w_{\text{н}} = 10^{-6} \eta \sqrt{M} p_{\text{н}}, \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с}), \quad (1)$$

где η – коэффициент, учитывающий подвижность воздуха [2]. При отсутствии движения воздуха $\eta = 1$.

M – молярная масса вещества (для бензина усредненное содержание углерода и водорода определяется формулой C_7H_{13} , соответственно $M=97$ кг/кмоль);

$p_{\text{н}}$ – давление насыщения бензина, кПа, является характеристикой бензина, зависящей от температуры хранения, принимается из справочной литературы [3] или вычисляется по уравнению Антуана [7]:

$$p_{\text{н}} = 0,133 * 10^{A - B/(C+t)}, \text{ кПа}, \quad (2)$$

где A, B, C – коэффициенты Антуана;
 t – температура хранения бензина, °С.

Площадь зеркала испарения вертикальных и горизонтальных заглубленных и полузаглубленных резервуаров на АЗС зависит от их емкости и конструктивных особенностей и составляет от 4 до 10 м².

Интенсивность вытеснения бензино-воздушной смеси (БВС) при «малых дыханиях» на АЗС в летний период, полученная с учетом процессов испарения бензина по формулам (1; 2) и площади зеркала испарения, составляет от 0,1 до 0,15 м³/ч на 1 м³ объема резервуара.

В целях снижения выбросов паров бензина от «малых дыханий» резервуары размещают в грунте, где суточные колебания температуры, а следовательно, и суточные перепады давления насыщения бензина менее значительны. Для уменьшения площади испарения на АЗС широко применяются вертикальные резервуары.

«Большие дыхания» происходят при заполнении опорожненного резервуара, когда весь газовый объем резервуара вытесняется через дыхательный клапан в атмосферу.

Интенсивность вытеснения БВС, в основном, зависит от длительности заправки резервуара, которая определяется производительностью заправочных (сливных) насосов топливозаправщика. Длительность заполнения резервуара зависит от его емкости и времени слива бензина. Интенсивность вытеснения БВС при «больших дыханиях» резервуаров емкостью от 10 до 40 м³ составляет от 15 до 60 м³/ч. С учетом большой интенсивности и сравнительно малого времени «большие дыхания» можно рассмат-

ривать как залповые выбросы БВС, резко повышающие взрывоопасность АЗС.

Чтобы оценить массу паров бензина при выбросах от «больших дыханий», необходимо знать вытесняемый объем и концентрацию паров бензина в газовом пространстве в момент «большого дыхания». При каждом «большом дыхании» в атмосферу может вытесняться объем бензино-воздушной смеси, равный освобожденному объему резервуара. Остаток бензина в опорожненном резервуаре составляет не менее 20% от полного объема резервуара.

Для прогнозирования концентрации паров бензина в газовой полости резервуара достаточно оценить минимальные и максимальные ее значения. По закону Дальтона общее давление в замкнутом газовом объеме резервуара будет суммироваться из парциального давления воздуха (атмосферное давление 101,3 кПа) и парциального давления паров бензина (давление насыщения). Зная отношение парциального давления паров бензина к общему давлению, можно определить концентрацию паров бензина в БВС в газовой полости резервуара [1]. Данные о давлении насыщения приняты по Н.Б. Варгафтику [3], а также могут быть получены по уравнению Антуана [7].

Концентрация паров бензина в замкнутой (герметичной) газовой полости резервуара повышается за счет упругости паров и при длительном хранении достигает своего наибольшего значения, при этом в газовой полости устанавливается давление равное ($p_n + p_o$). В соответствии с законом Дальтона отношение объемов двух газов (воздуха и паров бензина) будет определяться их парциальными давлениями. Парциальное давление паров бензина при этом равно давлению насыщения, а парциальное давление воздуха – атмосферному давлению воздуха. С учетом изложенного, концентрацию паров бензина в газовом объеме можно определить по формуле:

$$c_n = 100 p_n / (p_n + p_o), \% \text{ об.},$$

где p_n – давление состояния насыщения при температуре хранения, кПа;

p_o – атмосферное давление воздуха, кПа.

Давление насыщения бензина и концентрация паров бензина в герметичной емкости, полученные для разных температур его хранения, представлены в табл. 1.

Максимальные значения концентрации паров бензина в газовой полости резервуара будут значительно выше табличных значений по

той причине, что при постоянном испарении бензина в резервуаре будут многочисленны «малые дыхания» (из дыхательного клапана), при каждом из них будет вытесняться порция более бедной смеси, находящаяся в верхней части газовой полости резервуара. Количество «малых дыханий» летом в дневное время в период между «большими дыханиями» будет измеряться сотнями, а объем каждого выброса будет составлять до 2% объема газовой полости. По данным, приведенным в СНиП 2.04.05-91 (табл. 2), объемная концентрация в БВС может в 2-3 раза превышать значения (табл. 1), которые могут установиться в абсолютно герметичном резервуаре.

При опорожнении резервуара в него через клапан поступает атмосферный воздух, который в процессе хранения насыщается парами бензина, и при новом наливе процесс «большого дыхания» повторяется вновь.

На крупных нефтебазах с большим грузооборотом каждый резервуар может заполняться и опорожняться до нескольких десятков раз в течение года, и потери от испарения могут стать весьма значительными. На автозаправочных станциях частота «больших дыханий» может превышать приведенные значения в десятки раз. Большинство АЗС г. Москвы заправляются с частотой 1 раз в 1-2 суток.

Плотность паров бензина ρ_n может быть определена из закона Авогадро с учетом поправки на температуру хранения:

$$\rho_n = \frac{M_{\mu}}{V_{\mu}} \frac{T_o}{T}, \text{ кг/м}^3, \quad (3)$$

где $M_{\mu} = 97$ – молярная среднефракционная масса паров бензина, кг/кмоль;

Таблица 1. Давление (кПа) насыщения бензина и концентрация (% об.) паров бензина в зависимости от температуры хранения бензина, устанавливающиеся в газовой полости абсолютно герметичного резервуара (без дыхательной системы)

Температура хранения бензина, °С	+30 (лето)	+5 (осень-весна, или при подземном хранении зимой)	-25 (при наземном хранении зимой)
Давление насыщения бензина, кПа	16,8	5,3	2
Концентрация паров бензина в газовой полости резервуара, % об.	15	5	2

Таблица 2. Объемная концентрация паров бензина в БВС в зависимости от среднесезонной температуры наружного воздуха

Наименование параметров	Лето	Весна-осень	Зима
Температура наружного воздуха, °С	30	5	-25
Концентрация паров бензина в БВС, % об.	20-35	5-15	2-12

$V_{\mu} = 22,4$ – молярный объем паров бензина, м³/кмоль;

$T_0 = 273$ – стандартная температура, К;

$T = (273+t)$ – температура хранения бензина, К;

t – температура хранения, °С.

При 30°С плотность бензина равна

$$\rho_{\mu} = \frac{M_{\mu} T_0}{V_{\mu} T} = \frac{97}{22,4} \frac{273}{303} = 3,9 \text{ кг/м}^3.$$

Масса паров бензина в газовом пространстве резервуара M_{Γ} будет пропорциональна объемной концентрации c_{μ} , объему газового пространства V_{Γ} и плотности ρ_{μ} , т. е.

$$M_{\Gamma} = \rho_{\mu} V_{\Gamma} C_{\mu} / 100, \text{ кг}, \quad (4)$$

где $V_{\Gamma} = 0,8V$;

V – объем резервуара, м³.

Результаты расчетов потерь бензина от одного «большого дыхания» резервуара приведены в табл. 3.

Количество «больших дыханий» на АЗС в крупном городе в течение суток может измеряться десятками и сотнями, поэтому «большие дыхания» представляют вред окружающей природной среде.

Потери бензина m_{μ} от «больших дыханий» можно представить в виде линейной зависимости вида

$$m_{\mu} = k_i V,$$

где V – объем резервуара, м³;

k_i – удельная масса БВС для i -го сезона, кг / м³ (табл. 4).

В открытом воздушном пространстве при неподвижной воздушной среде граница зоны загазованности с концентрацией, соответствующей нижнему концентрационному пределу распространения пламени, в зависимости от массы выброса паров бензина может быть определена по формуле [11, с. 20]:

$$R_{\text{нкп}} = 3,2 K^{1/2} (\rho_{\mu} / c_{\text{нкп}})^{0,8} (m_{\mu} / (\rho_{\mu} p_{\mu}))^{0,33}, \text{ м}$$

где $R_{\text{нкп}}$ – радиус зоны загазованности, м;

m_{μ} – масса поступивших при дыхании паров бензина, кг;

Таблица 3. Потери бензина от одного «большого дыхания» резервуаров

Емкость резервуара, м ³	Лето	Весна-осень	Зима	Лето (при использовании холодильной установки)
15	9–16	2,5–7,4	1,1–6,7	0,4–0,5
20	12–21	3,3–10	1,5–8,9	0,5–0,7
30	18–32	4,9–15	2,2–13	0,7–1,1
40	24–42	6,6–20	3,0–18	1,0–1,5
500	302–529	82–247	37–222	12–18

Таблица 4. Значения коэффициента k_i

Наименование показателя k_i	Лето	Весна-осень	Зима
Удельная масса БВС, k_i , кг/м ³	1,05	0,50	0,44

ρ_{μ} – плотность паров бензина, кг/м³;

p_{μ} – давление насыщенных паров бензина при расчетной температуре, кПа;

$c_{\text{нкп}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, % об. (для паров бензина $c_{\text{нкп}} = 0,75\%$ об.);

K – коэффициент ($K = T/3600$);

T – продолжительность поступления паров ЛВЖ в открытое пространство, с.

Для емкости 50 м³, заправка которой проходит 1800 с, получаем следующую величину радиуса распространения паров бензина при безветрии

$$R_{\text{нкп}} = 3,2 (1800/3600)^{1/2} (16,8/0,75)^{0,8} (50/(4 * 16,7))^{0,33} = 25 \text{ м}$$

Диаметр облака паровоздушной смеси будет равен $D_{\text{нкп}} = 2R_{\text{нкп}} = 50 \text{ м}$.

При слабом ветре возможен дрейф облака на расстояния до 150 м и сосредоточение его в приземной области, поскольку пары бензина тяжелее воздуха [12].

ВЫВОД. «Большие дыхания» резервуаров АЗС и нефтебаз могут представлять экологическую угрозу для населения и окружающей природной среды в радиусе до 175 м. Поэтому вопросы снижения экологического риска вблизи АЗС являются актуальными. В связи с этим необходим поиск новых технических решений, направленных на снижение потенциальной опасности «больших дыханий» резервуаров АЗС и нефтебаз.

Список использованной литературы:

1. Глинка Н. Л. Общая химия: Учебное пособие/ Под ред. А.И. Ермакова.– М.: Интеграл-Пресс, 2002.–728 с.
2. Сборник нормативных документов, регламентирующих нормы и правила пожарной безопасности.– М.:Альфа-ПРЕСС, 2003.– 545 с (с.439: Пособие по применению НПБ 105-95. «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности»).
3. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей.–М.: Наука, 1972.–720 с.
4. Справочник. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: в 2-х книгах/ Под ред. А.Н.Баратова.– М.:Химия, 1990.–кн.1-496 с., кн.2– 384 с.
5. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2. – ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2001.–224 с. (Методика расчета участвующей во взрыве массы вещества и радиусов зон разрушений– прил.2 к ПБ 09-170-97).

6. Безродный И. Ф., Гилегич А.Н., Меркулов В.А. и др. Тушение нефти и нефтепродуктов.-М.: ВНИИПО, 1996.-216 с. (Статистика аварий, описание сценариев взрывов).
7. Сучков В. П. Методические указания к изучению темы «Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» курса «Пожарная профилактика технологических процессов и производств».-М.: ВИПТШ, 1988.-86 с.
8. СНиП 2.11.03-93. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы.
9. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение.-М.:Химия, 1991.– 432 с.
10. Безопасность резервуаров и трубопроводов /В.А. Котляревский, А.А. Шаталов, Х. М. Ханухов – М.: Экономика и информатика, 2000. – 555 с., ил.
11. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования, методы контроля.
12. Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах/ Бодриков О.В., Елохин А. Н., Рязанцев Б.В. и др. –М.: МЧС России, 1994.