

**УДК 504.054**

*Н.Н. Удянский, кандидат технических наук, доцент, Начальник факультета гражданской защиты Национального университета гражданской защиты Украины, Харьков*

*С.В.Гарбуз, преподаватель, кафедры пожарной и техногенной безопасности объектов и технологий Национального университета гражданской защиты Украины, Харьков*

*Б.Д. Халмурадов, кандидат медицинских наук, доцент, кафедры безопасности жизнедеятельности Национального авиационного университета, Киев*

## **ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДИ ИСПАРЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДЕГАЗАЦИИ РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ**

**Abstract:** *The article examines cases of the adverse ecological impact on the environment of emissions from tanks of oil residues during their airing before the repairs or other types of preparatory works, as well as before the changing of the class of petroleum products.*

**Keywords :** *Influence on ecology, oil products, degassing*

**Аннотация:** *В статье рассматриваются случаи неблагоприятного экологического воздействия на окружающую среду выбросов из цистерн нефтяных остатков при их проветривании до ремонта или других видов подготовительных работ, а также до смены класса нефтепродуктов.*

**Ключевые слова:** *Влияние на экологию, нефтепродукты, дегазацию*

**Постановка проблемы.** Обсуждение проблемы загрязнения атмосферного воздуха - одной из самых острых экологических проблем современности, в современной научной и публицистической литературе ведется достаточно распространено как отечественными так и зарубежными учеными. С этой проблемы вытекает научная задача по обеспечению устойчивой фильтрации (очистки) выбросов из резервуаров с остатками нефтепродуктов при их

проветривания перед ремонтными, профилактическими и другими видами работ или при изменении класса нефтепродуктов в них хранятся, с минимальной количественной составляющей попадания вредных веществ в атмосферу.<sup>1</sup> И так основная проблема заключается в минимизации экологически вредных выбросов в атмосферу из резервуаров с остатками нефтепродуктов.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Обсуждение этой проблемы в современной научной и публицистической литературе ведется достаточно широким кругами как отечественными так и зарубежными учеными

По проблеме органично вытекает научная задача по обеспечению устойчивой фильтрации (очистки) выбросов из резервуаров с остатками нефтепродуктов при их проветривания перед ремонтными, профилактическими и другими видами работ или при изменении класса нефтепродуктов в них хранятся, с минимальной количественной составляющей попадания вредных веществ в атмосферу.

*Постановка задачи и ее решения.* Основным фактором экологического воздействия на окружающую среду для аэроэкологической оценки считают формирование облака загрязненного воздуха.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований относительных значений скоростей воздуха во внутреннем пространстве резервуара и частиц, испарившихся из жидкостей при одинаковых расходах воздуха.

**Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований относительных значений скоростей воздуха во внутреннем пространстве резервуара**

Номера схем подачи воздуха	Относительная скорость воздуха	Частицы, которые испарившись из жидкости			
		вода	Дизельное топливо	бензин А-92/95	толуол
инновационная	2,4	0,08	0,08	0,63	0,7
навстречу	1,8	0,01	0,01	0,35	0,32
традиционная	1	0,02	0,02	0,25	0,11
смешанная	1,9	0,01	0,01	0,34	0,15

<sup>1</sup> Матеріали впровадження нового механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря / за ред. С.С.Куруленка. – К.: ДЕІ Мінприроди України, 2007. – 216 с.

Из данных табл. 1 видно, что при эжекторного-вихревом (предложенном инновационном) способе подачи воздуха во внутреннее пространство резервуара относительная скорость в 2,4 раза выше, чем при организации подачи приточного воздуха традиционным способом. При этом доля жидкости, испарившейся больше в 4 раза для воды и дизтоплива, в 2,52 - для бензинов, в 6,3 - для толуола при одинаковом расходе воздуха.<sup>2</sup> Мною предложена методика оценки динамики изменения концентрации паров в резервуаре при истечении свободных струй воздуха. Для определения динамики изменения концентрации паров в резервуаре при конвективном массообмена проводились лабораторные эксперименты.

Для исследований была выбрана однокомпонентная жидкость - толуол и многокомпонентные нефтепродукты - дизельное топливо и бензины. Для «чистоты» эксперимента исследования по потере массы жидкостями при принудительной вентиляции резервуара проводились также на воде.

Перед проведением экспериментов с помощью анемометра замерялась скорость потоков воздуха внутри резервуара.

Для определения концентрации <sup>3</sup> примесей взрывоопасных веществ в газовом пространстве вентилируемого резервуара необходимо знать интенсивность испарения (поток массы) нефтепродукта, находящегося в середине резервуара. Математическую обработку данных проводим в виде зависимости:

$$\pi_p = f(Re, Pr, \pi_d, \mu), \quad (1)$$

где  $\pi_p = \frac{j_l}{\rho v}$  – учитывающий поперечный поток массы.

В работе В.П. Назаров установил эмпирическую формулу для резервуаров:

$$\pi_p = 0,065 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_d \cdot \theta^2 \cdot \pi_d \cdot \mu^{0,5}, \quad (2)$$

<sup>2</sup> Гарбуз С.В. Підвищення безпеки примусової вентиляції резервуарів зберігання світлич нафтопродуктів / С.В. Гарбуз // Технологический аудит и резервы производства. — 2015. — № 6. — С. 67–72.

<sup>3</sup> Волков О.М. Моделирование процессов вентиляции резервуаров / О.М. Волков, В.П. Назаров, Н.Ф. Шатров // Труды ВИПТШ МВД СССР. — М., 1979. — С. 53–61.

Интенсивность испарения в той же работе он определяет как:

$$M_0 = 0,065 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot F_u \cdot F_0}{V} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_d \cdot \pi_d \cdot \mu^{0,5}, \quad (3)$$

$$Pr_d = \frac{v}{D_t}, \quad (4)$$

$$D_t = D_0 \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^n, \quad (5)$$

где  $D_0$  - значение коэффициента диффузии,  $m^2 / c$ ;  $T$  - температура окружающего воздуха,  $K$ ;  $n$  - показатель степени, принимаемый справочной литературы.

Относительные экспериментальные интенсивности испарений исследуемых жидкостей в схемах вентиляции экспериментального стенда рассчитаны в виде в зависимости от коэффициента диффузии  $D_t$  и числа подобия Прандтля. Результаты представлены на рис. 1-2.

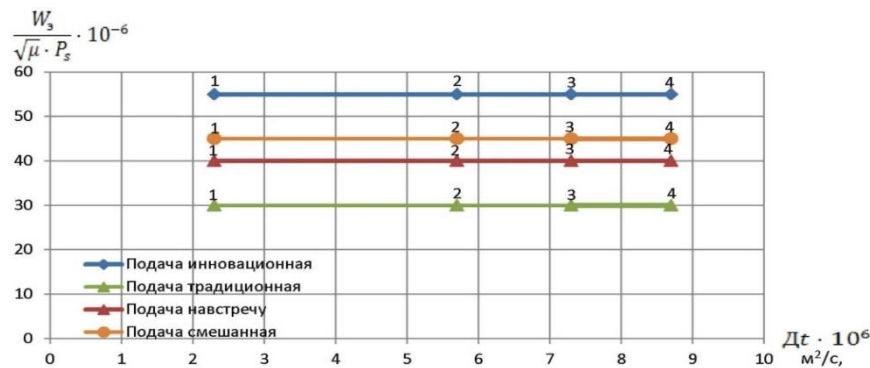


Рис. 1 - Зависимость относительной интенсивности испарения от коэффициента диффузии:  
1 - вода; 2 - дизтопливо; 3 - бензины; 4 - толуол

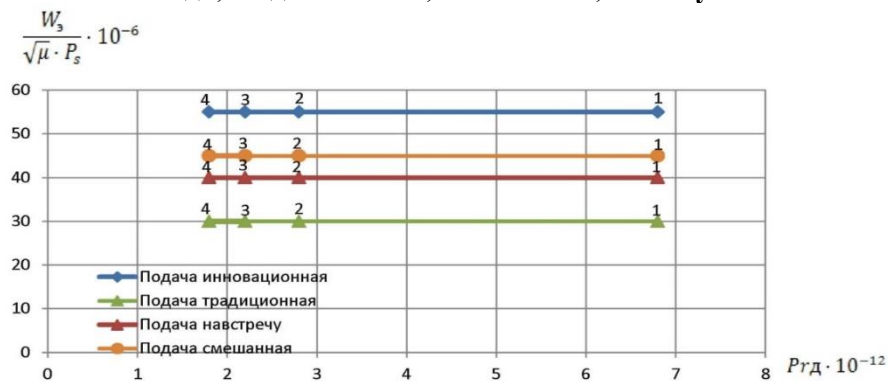


Рис. 2 - Зависимость относительной интенсивности испарения от числа Прандтля диффузного:  
1 - вода; 2 - дизтопливо; 3 - бензины; 4 - толуол

Концентрацию насыщенных паров определяем как:

$$\pi_{\text{д}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_0}, \quad (6)$$

Давление насыщенных паров определяем из уравнения Антуана:

$$P_{\text{с}} = 10^{A - \left(\frac{B}{C+t}\right)}, \quad (7)$$

Относительную молекулярную массу:

$$\mu^{0,5} = \left(\frac{M}{M_{\text{п}}}\right)^{0,5}, \quad (8)$$

Плотность и коэффициент кинематической вязкости воздуха:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{353}{T_{\text{п}}}, \quad (9)$$

$$v = [14,7 + 0,09 \cdot (T_{\text{п}} - 283)] \cdot 10^{-6}, \quad (10)$$

Число Рейнольдса определяем по стандартной формуле:

$$Re = \frac{\omega \cdot l}{v}, \quad (11)$$

где  $l$  – характерный линейный размер объекта,  $l = \frac{V}{F_0}$ ,

Общая площадь поверхностей резервуара:

$$F_{\text{з}} = F_{\text{дн}} + F_{\text{д}} + F_{\text{б.п.}}, \quad (12)$$

где  $F_{\text{дн}}$  – площадь дна,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{д}}$  – площадь крыши,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{б.п.}}$  – площадь боковой поверхности,  $\text{м}^2$ .

Среднюю подвижность воздуха в резервуаре определяется по формуле В.М.

Эльтермана:

$$\omega = 0,7 \cdot \varepsilon_{\text{п}}^{1/3} \cdot \left(\frac{V}{F_0}\right)^{1/3}, \quad (13)$$

где  $\varepsilon_{\text{п}}$  – энергия приточной струи;  $V$  – объем резервуара,  $\text{м}^3$ ;  $F_0$  – общая площадь поверхности резервуара,  $\text{м}^2$ .

Энергия приточной струи:

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{f_{\text{п}} \cdot v_{\text{п}}^3}{2V}, \quad (14)$$

де  $f_{\text{п}}$  – площадь приточного отверстия,  $\text{м}^2$ ;  $v_{\text{п}}$  – скорость подачи воздуха в приточный отверстие,  $\text{м/с}$ .

Скорость подачи воздуха и площадь приточного отверстия соответственно:

$$v_{\text{п}} = \frac{q}{f_{\text{п}}}, \quad (15)$$

$$f_{\text{п}} = 0,785 \cdot d_{\text{пр.от.}}^2, \quad (16)$$

где  $d_{\text{пр.от.}}$  – диаметр приточного отверстия,  $\text{м}$ .

Интенсивность испарения равна:

$$W = \frac{M_0}{F_u}, \quad (17)$$

Коэффициент неравномерности распределения концентраций определяется по формуле 20:

$$\eta = 0,48 \cdot \left(\frac{q}{V}\right)^{0,132}, \quad (18)$$

Согласно существующих методик интенсивность испарения определяется как:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \sqrt{\mu} \cdot P_s, \quad (19)$$

А масса жидкости, испарилась, как:

$$m = W \cdot F_u \cdot T, \quad (20)$$

<sup>4</sup> Результаты, полученные в ходе эксперимента, а именно - средней интенсивности испарения по однокомпонентной жидкости толуол и многокомпонентной жидкости бензины А-92 /95, представлены на рис. 3, 4.

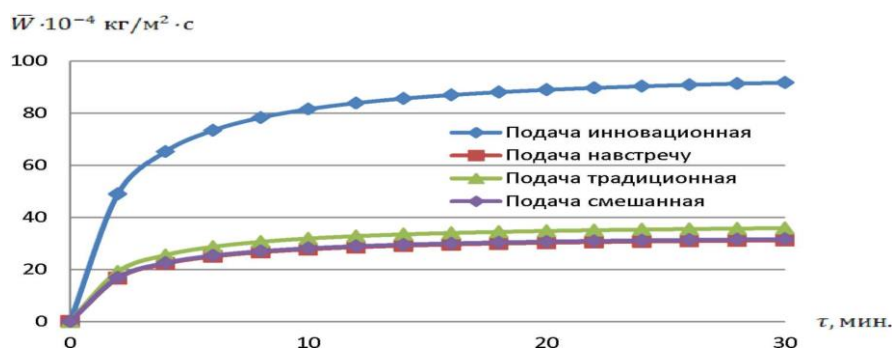


Рис. 3 – График среднего значения интенсивности испарения толуола

<sup>4</sup> Батурин В.В. Аэрация промышленных зданий / В.В. Батурин, В.М. Эльтерман. — М. : Госстройиздат, 1963. — 2-е изд. — 317 с.

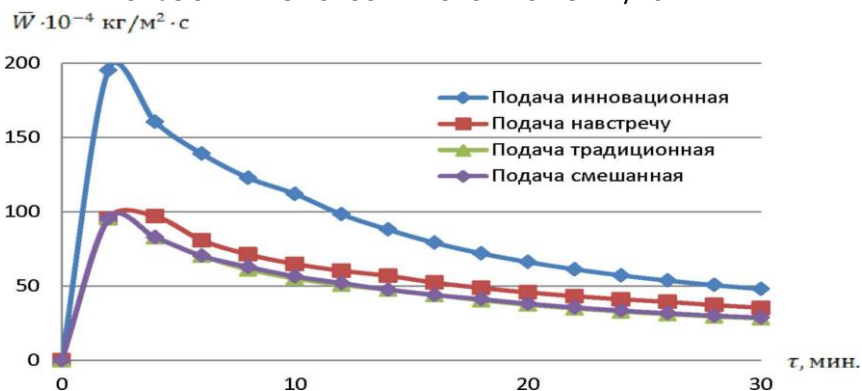


Рис. 4 – График среднего значения интенсивности испарения бензинов А-92/95

Результаты расчетов и полученные экспериментальные значения средней подвижности воздуха при различных способах подачи приточных струй во внутреннем пространстве резервуаров приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Средняя подвижность воздуха внутри резервуаров

Схема подачи струи приточного воздуха	Экспериментальный резервуар		Экспериментальный полупромышленный стенд	
	$\omega$ расчеты	$\omega$ эксперимент	$\omega$ расчеты	$\omega$ эксперимент
инновационная	0,55	2,9	0,23	0,88
навстречу	0,60	3,5	0,21	0,70
традиционная	0,50	2,7	0,11	0,42
смешанная	0,57	3	0,22	0,74

Из полученных результатов следует, что при вентилировании резервуаров с остатками однокомпонентных жидкостей, значение интенсивности испарения во времени стремятся к стационарности.<sup>5</sup> При вентиляции резервуаров с остатками многокомпонентных жидкостей для всех схем подачи воздуха экспериментальные интенсивности испарений меняются во времени в зависимости от изменения свойств этих жидкостей, то есть процесс массообмена не является стационарным.

Результаты исследований показали, что определенные в ходе эксперимента

<sup>5</sup> Теверовский Е.Н. О диффузии и коагуляции частиц аэрозоля в турбулентном потоке в атмосфере / Е.Н. Темеровский // Новые идеи в области изучения аэрозолей. — М. : Изд-во АН СССР, 1949. — С. 108–115.

скорости воздуха значительно выше, чем скорости воздуха рассчитаны по формуле (13). Это требует корректировки расчетных формул.

Сложность компонентного состава нефтепродуктов определяет сложность протекания процессов конвективного массообмена. В процессе испарения нефтепродуктов происходит непрерывное изменение свойств газовой (паровой) и жидкой фаз, изменение давления насыщенных паров, молекулярной массы, вязкости, фракционного состава, других свойств. Постоянная смена во времени свойств нефтепродуктов обуславливает нестационарность процесса конвективного массообмена. Результаты исследований по изменению свойств нефтепродуктов в процессе испарения достаточно подробно описаны в работе В.П. Назарова. При расчетах потерь нефтепродуктов от испарений давление насыщенного пара обычно определяют по выведенной им же формуле :

$$P_s = P_{so} e^{-KG}, \quad (21)$$

где  $P_{so}$  – выходное давление насыщенных паров;  $K$  коэффициент, зависящий от свойств жидкости.  $K$  для бензинов составляет:

$$K \approx 0,188(t_{20} - t_{пк}) \approx 0,376(t_{10} - t_{пк}), \quad (22)$$

Молекулярная масса нефтепродуктов увеличивается в процессе его испарения. Для бензинов молекулярную массу можно определить с помощью эмпирических формул:

$$\mu = 45 + 0,6t_{пк}, \quad (23)$$

$$\mu = 50 + \frac{6000}{P_{20}}, \quad (24)$$

---

<sup>6</sup> Назаров В.П. Экспериментальное исследование пожаровзрывоопасности при очистке и дегазации / В.П. Назаров, В.А. Демничев, В.И. Попов, Х.М. Муслимов // Исследование пожарной опасности материалов, конструкций, промышленных объектов, проблемы противопожарной защиты : сб. науч. тр. ВИПТШ МВД СССР. — М., 1990. — С. 100–103.



где  $t_{\text{пк}}$  – температура начала кипения бензина;  $P_{20}$  – давление насыщенных паров при температуре 20 °С.

В.П. Назаров установил, что формула (21) вполне приемлема для расчетов процесса полного испарения нефтепродуктов. Результаты его исследований позволяют сделать вывод о возможности использования эмпирических формул для расчетов молекулярной массы и давления насыщенных паров. Путем подстановки значений температуры выкипания той или иной доли бензина рассчитываем необходимые данные по потерям нефтепродуктов:

$$P_s = a \cdot e^{b(t-t_{\text{пк}})}. \quad (25)$$

Сравнение данных расчетов молекулярной массы по формуле (23) для бензина с данными эксперимента по определению изменения молекулярной массы в процессе испарения, проведенные В. П. Назаровым, показали, что данные опытов и расчетов согласуются. Опираясь на проведенные исследования В. П. Назарова,<sup>7</sup> можно сделать вывод о корректности использования при обработке опытных данных по конвективному массообмену и формулы (23), а по потерям нефтепродуктов  $P_s$  - формулы (21).

Непрерывное изменение свойств бензина в процессе выпаривания обуславливает уменьшение коэффициента массопереноса, движущей силы массопереноса и диффузных цифр  $Pr_D$ ,  $Nu_D$ ,  $\pi_D$ ,  $\pi_P$ .

Опираясь на работ в ходе исследования установлено, что наиболее резко в процессе испарения бензина меняются движущая сила массопереноса и чисел

подобия  $\pi_D$  и  $\pi_P$ . Весьма незначительно изменяются отношение  $\frac{\phi_{\text{ГП}}}{\phi_s}$  и диффузное число  $Pr_D$ . Изменение движущей силы массопереноса и цифр  $\pi_D$  и  $\pi_P$  подчиняются экспоненциальному закону.

---

<sup>7</sup> Назаров В.П. Исследование массообмена при дегазации подземных горизонтальных резервуаров автозаправочных станций / В.П. Назаров, З.Г. Беляев, К.Б. Паносевич, М.С. Шум // Пожарная профилактика и математическая статистика в пожарной охране : сб. науч. тр. ВИПТШ МВД СССР. — М., 1984. — С. 31–41.

В процессе испарения нефтепродуктов увеличивается плотность, вязкость, и поверхностное натяжение. В исследовании установлено, что при испарении 90% объема бензина его кинематическая вязкость повышается на 15%, а поверхностное натяжение на 10%. А плотность бензина в процессе его испарения увеличивается не более чем на 10%.

**Вывод.** Таким образом, результаты теоретических и экспериментальных исследований доказали, что в процессе испарения меняется давление насыщенных паров и молекулярная масса нефтепродукта.

### Литература

1. Матеріали впровадження нового механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря / за ред. С.С.Куруленка. – К.: ДЕІ Мінприроди України, 2007. – 216 с.

2. Гарбуз С.В. Підвищення безпеки примусової вентиляції резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів / С.В. Гарбуз // Технологический аудит и резервы производства. — 2015. — № 6. — С. 67–72.

3. Волков О.М. Моделирование процессов вентиляции резервуаров / О.М. Волков, В.П. Назаров, Н.Ф. Шатров // Труды ВИПТШ МВД СССР. — М., 1979. — С. 53–61.

4. Батурич В.В. Аэрация промышленных зданий / В.В. Батурич, В.М. Эльтерман. — М. : Госстройиздат, 1963. — 2-е изд. — 317 с.

5. Теверовский Е.Н. О диффузии и коагуляции частиц аэрозоля в турбулентном потоке в атмосфере / Е.Н. Темеровский // Новые идеи в области изучения аэрозолей. — М. : Изд-во АН СССР, 1949. — С. 108–115.

6. Назаров В.П. Экспериментальное исследование пожаровзрывоопасности при очистке и дегазации / В.П. Назаров, В.А. Демничев, В.И. Попов, Х.М. Муслимов // Исследование пожарной опасности материалов, конструкций, промышленных объектов, проблемы противопожарной защиты : сб. науч. тр. ВИПТШ МВФ СССР. — М., 1990. — С. 100–103.