

УДК 66.083.2, 66-971, 614.849

С.В. Гарбуз, Н.Н. Удянский

Національний університет громадянської захисту України

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ДЕГАЗАЦИИ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

На примере резервуара РВС-5000 показана экологическая опасность процесса его дегазации, произведён расчёт концентрации вредных веществ (углеводородов) в атмосферном воздухе для действующего в Украине способа дегазации, на всех его стадиях. На примере международного опыта, показана необходимость внедрения установок для улавливания паров углеводородов, для эффективной эксплуатации которых предложен новый, эжекторно-вихревой способ принудительной вентиляции резервуаров.

Ключевые слова: дегазация резервуаров, вредные вещества, экологическая опасность.

Постановка проблемы

Ежегодно Украина потребляет более 20 млн. т. нефти и продуктов её переработки [1], что предполагает содержание достаточно большого резервуарного парка страны. Установлено, что на 1 тонну добываемой или перерабатываемой нефти необходимый объём хранения должен составлять 0,4-0,5 м². [2].

Для надёжной и безопасной эксплуатации резервуаров хранения нефтепродуктов, согласно действующим в Украине правилами технической эксплуатации резервуаров хранения нефтепродуктов и руководством по их ремонту [3], резервуары выводятся их эксплуатации для проведения плановых, внеплановых и капитальных ремонтных работ, а также для проведения периодической очистки. Металлические резервуары подвергаются периодической зачистке в следующие сроки:

1. не менее 2 раз в год – для топлив реактивных двигателей, авиационных бензинов, авиационных масел и их компонентов, прямогонных бензинов;
2. не менее 1 раза в год – для присадок к смазочным маслам и масел с присадками;
3. не менее 1 раза в два года – для остальных масел, автомобильных бензинов, дизельных топлив, парафинов и других аналогичных им по физико-химическим свойствам нефтепродуктов.
4. от 2 раз в год до 1 раза в два года (по условиям сохранения качества нефтепродукта) – для мазутов, моторных топлив и других, аналогичных по свойствам нефтепродуктов

Самой сложной и экологически опасной технологической операцией выполняемой при выводе резервуаров с остатками нефтепродуктов из эксплуатации, является их дегазация. [4].

Для повышения экологической безопасности населения в районах размещения резервуаров хранения нефтепродуктов, необходимо установить

концентрацию вредных веществ (углеводородов) в атмосферном воздухе при существующем способе дегазации резервуаров и обосновать организационно-технические меры, направленные на снижение экологической опасности дегазации резервуаров.

Анализ последних достижений и публикаций

В Украине дегазация резервуаров хранения светлых нефтепродуктов в большинстве случаев осуществляется принудительной вентиляцией внутреннего газового пространства. Согласно действующим в Украине правилам проведения дегазации резервуаров [5], при выбросе газозооной смеси из резервуара, наибольшая концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы (C_m) не должна превышать максимальной разовой предельно допустимой концентрации C_m ПДК, которая составляет 5 мг/м³. Для поддержания концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы в рамках ПДК, экологически опасный процесс дегазации «растягивают» от 2 до 4 суток, разделяя его на 6 стадий:

- 1-я стадия – естественная вентиляция с открытым световым люком;
- 2-я стадия – естественная вентиляция с открытыми световыми люками;
- 3-я стадия – принудительная вентиляция с подачей воздуха 3000 м³/ч;
- 4-я стадия – принудительная вентиляция с подачей воздуха 5000 м³/ч;
- 5-я стадия – принудительная вентиляция с подачей воздуха 10000 м³/ч;
- 6-я стадия – принудительная вентиляция с подачей воздуха 40000 м³/ч.

Принудительная вентиляция резервуаров хранения нефтепродуктов путём подачи атмосферного воздуха применяется только после снижения концентрации паров нефтепродуктов в резервуаре ниже 0,5 нижнего предела воспламенения (НПВ), поэтому на 1 и 2 стадиях применяется естественная вентиляция.

Несмотря на отсутствие залпового выброса вредных веществ (углеводородов) в атмосферный воздух, опасность для здоровья человека и прилегающих экосистем обусловлена продолжительным временем воздействия относительно малых выбросов, учёт которых обязателен при оценке экологической опасности дегазации, например, в Европейском союзе (ЕС), где согласно директиве 94/63/ЕС введены нормативы на улавливание паров углеводородов. К 2000 году все АЗС, а к 2004 г. все резервуарные парки нефтебаз, терминалы загрузки светлых нефтепродуктов (в том числе и автоцистерны) эксплуатируемые в странах ЕС были оснащены системами улавливания паров, обеспечивающих полноту улавливания от 98% углеводородов [6].

Постановка задачи и её решение

Для оценки экологической опасности дегазации резервуаров хранения нефтепродуктов, требуется определить концентрацию вредных веществ (углеводородов) в атмосферном воздухе при различных режимах дегазации и на основании полученных данных обосновать организационно-технические мероприятия, направленные на снижение экологической опасности дегазации.

Оценку экологической опасности дегазации, проводимой путём принудительной вентиляции, произведём на примере резервуара РВС-5000 объемом 5000 м³ [7].

Необходимость определения скорости выхода газовой среды и концентрации паров нефтепродуктов (углеводородов) до начала и после окончания процесса принудительной вентиляции, потребовала создания экспериментального стенда (ЭС), схема которого представлена на рис. 1. Исходные данные используемые в расчетах и данные проведенного эксперимента представлены в таблице 1.

ЭС изготовлен из органического стекла толщиной 3мм. в виде вертикального цилиндрического сосуда и конструктивно представляет собой сосуд, геометрически подобный РВС-5000. Масштаб ЭС равен 1:17 от промышленного резервуара РВС-5000.

Таблица 1

Исходные расчётные данные и результаты эксперимента в пересчёте для резервуара РВС-5000

Параметр вентиляции и выбросов паров нефтепродуктов на стадиях 1-6					
Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 6
Вместимость резервуара V = 5000 м ³					
Концентрация паров нефтепродуктов до начала вентиляции C ₁ (C>0,5 НПВ)					
300 г/м ³	100 г/м ³	50 г/м ³	10 г/м ³	5 г/м ³	0,3 г/м ³
Концентрация паров нефтепродуктов после вентиляции C ₂					
100 г/м ³	50 г/м ³	10 г/м ³	5 г/м ³	0,3 г/м ³	0,1 г/м ³
Количество газоотводных труб					
1	1	1	1	1	2
Диаметр устья трубы					
0,16 м	0,25 м	0,25 м	0,25 м	0,25 м	0,25 м
Высота трубы					
14,9 + 2 = 16,9 м (14,9 м - высота резервуара; 2 м - высота газоотвода)					
Производительность вентиляции Q					
500 м ³ /ч	1000 м ³ /ч	3000 м ³ /ч	5000 м ³ /ч	10000 м ³ /ч	40000 м ³ /ч
0,14 м ³ /ч	0,28 м ³ /ч	0,83 м ³ /ч	1,4 м ³ /ч	2,8 м ³ /ч	11,1 м ³ /ч
Скорость выхода газовой среды v					
5,6 м/с	5,6 м/с	16,8 м/с	28 м/с	50 м/с	50 м/с

Расчет продолжительности каждого этапа вентиляции произведём по формуле:

$$\tau = \frac{V}{q \cdot \eta} \cdot \ln \frac{C_1}{C_2} \quad (1)$$

где: V - вместимость резервуара (5000 м³);
q - производительность вентиляции м³/ч;
C₁, C₂, г/м³ - концентрация паров нефтепродуктов до и после вентиляции;
η - коэффициент учитывающий условия выхода газовой смеси.

Коэффициент η для каждого этапа вентиляции произведём по формуле:

$$\eta = 0,54 \cdot \left(\frac{q}{v} \right) \cdot 0,132 \quad (2)$$

где: q – производительность вентиляции;
v – скорость выхода газовой смеси.

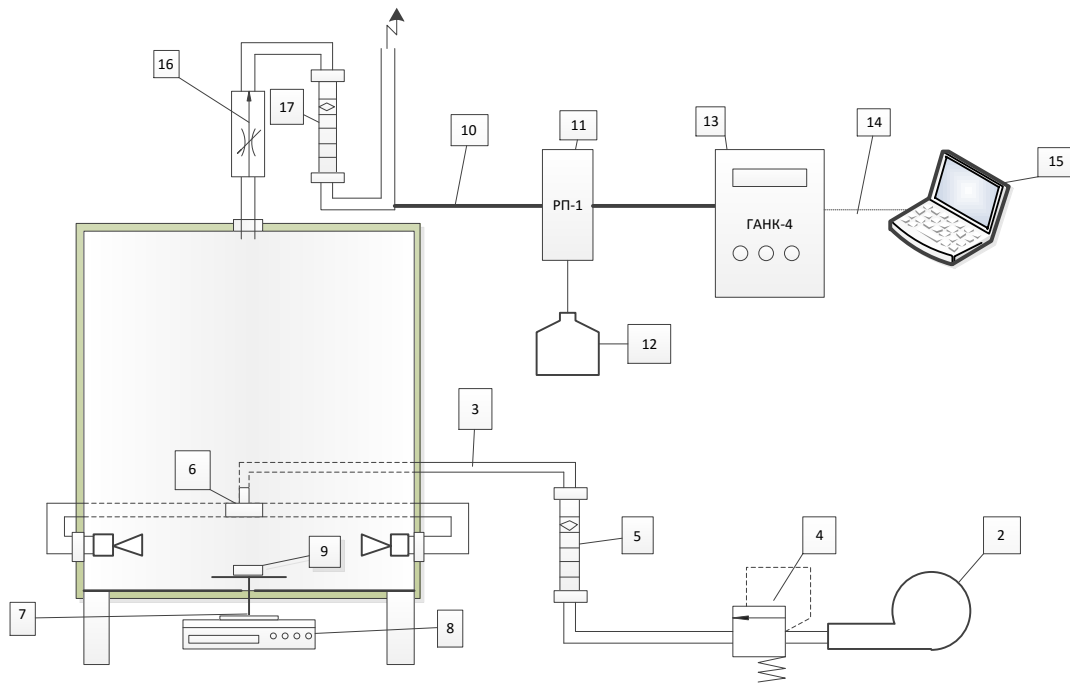


Рис. 1 Принципиальная схема экспериментальной установки

1 – экспериментальный резервуар;

2 – воздуходувный вентилятор;

3 – линии подачи воздуха;

4 – клапан сброса избыточного давления воздуха;

5 – ротаметр;

6 – тройник; 7 – штатив;

8 – электронные весы «AND EK-1200i»;

9 – емкость с нефтепродуктом;

10 – поливиниловые трубки для отбора проб на газовый анализ; 11 – разбавитель (РП-1);

12 – сорбционный фильтр (ФС-1);

13 – газоанализатор универсальный «ГАНК-4»;

14 – кабель для подключения к ПЭВМ; 15 – ПЭВМ;

16 – регулируемая заслонка на линии удаления паров (имитация фильтра);

17 – ротаметр; 18 – воздушные эжекторы.

Количество нефтепродуктов, удаляемых в атмосферу для каждого этапа вентиляции произведём по формуле:

$$M = \frac{V \cdot (C_1 - C_2)}{1000} \quad (3)$$

где: V - вместимость резервуара (5000 м³);

q - производительность вентиляции м³/ч;

C₁, C₂, г/м³ - концентрация паров нефтепродуктов до и после вентиляции;

Выброс паров нефтепродуктов в секунду для каждого этапа вентиляции произведём по формуле:

$$m = \frac{M}{3600 \cdot \tau} \quad (4)$$

где: M – количество нефтепродуктов, удаляемых в атмосферу на каждом этапе вентиляции;

τ – продолжительности этапа вентиляции.

Результаты расчета значений формул 1-4 представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Стадия вентиляции	Параметр вентиляции и выбросов паров нефтепродуктов			
	τ	η	M	m
1	54 ч.	0,30	1000 кг	5
2	17,2 ч.	0,40	250 кг	4
3	11,5 ч.	0,47	200 кг	3,5
4	2,75 ч.	0,46	25 кг	2,5
5	1,3 ч.	0,55	23,5 кг	1,48
6	4,4 ч.	0,64	1,0 кг	0,06

Расчет максимального значения приземной концентрации вредного вещества при выбросе газовой среды из резервуара произведём по формуле [7,8]:

$$C_1 = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{v_1 \cdot \Delta T}} \quad (\text{мг/м}^3) \quad (5)$$

где: A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (для Европы принимается равным 200);

M - масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (для газообразных вредных веществ принимается равным 1);

m - коэффициент учитывающий условия выхода газовой смеси из устья источника выброса (для выбросов из резервуаров m = 1);

H - высота источника выброса над уровнем земли, м;

v₁ - расход газовой смеси, м/с;

ΔT - разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_г и температурой окружающего атмосферного воздуха T_в, °C (ΔT = 1);

η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, η = 1;

Расход газовой смеси определим формуле:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w_0, \quad (6)$$

где: D – диаметр устья источника выброса, м;

w₀ – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с.

Результаты расчета максимальных значений приземных концентрации вредных веществ представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Приземные концентрации вредных веществ при дегазации резервуара

Параметр вентиляции и выбросов паров нефтепродуктов					
Стадии					
1	2	3	4	5	6
Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества при выбросе газовой смеси из резервуара					
0,67 мг/м ³	0,43 мг/м ³	0,26 мг/м ³	0,15 мг/м ³	0,07 мг/м ³	0,014 мг/м ³
Масса вредного вещества M					
5,0	4,0	3,5	2,5	1,48	0,06
Расход газовой смеси, v ₁					
5,6 м/с	5,6 м/с	16,8 м/с	28 м/с	50 м/с	50 м/с
Максимальное значение приземной концентрации паров бензина, мг/м ³					
0,67	-	-	-	-	-
-	0,43	-	-	-	-
-	-	0,26	-	-	-
-	-	-	0,15	-	-
-	-	-	-	0,07	-
-	-	-	-	-	0,014

Результаты проделанных расчетов показывают экологическую опасность существующего процесса дегазации резервуаров для здоровья человека и прилегающих экосистем. При принудительной

вентиляции резервуара РВС-5000 в атмосферный воздух поступает 1,5 т. паров нефтепродуктов.

В странах Европейского союза, США, Канаде и Японии законодательно ограничены выбросы паров углеводородов из резервуаров на уровне 98-99%. Эксплуатируемые в данных странах резервуары оснащены различными типами установок для улавливания паров углеводородов. Наибольшее распространение, в данных странах, получили установки для улавливания паров основанные на следующих принципах работы [9-11]:

1. Захлаживание паровой смеси в холодильниках с использованием жидкого азота до конденсации углеводородов в жидкую фазу.

2. Адсорбция углеводородов из смеси адсорбентом с последующей десорбцией.

3. Разделение паровой смеси на азеотропных мембранах, обладающих определенной селективностью.

Использование установок улавливания паров углеводородов из резервуаров в сочетании с действующим в Украине технологическим регламентом проведения дегазации резервуара, путём принудительной вентиляции, не представляется возможным, ввиду наличия аэродинамического сопротивление (перепада давлений) в данных установках, которое составляет 250 - 450 Па [12,13]. Наличие аэродинамического сопротивления установки улавливания паров углеводородов, не позволяет организовать 1 и 2 стадии естественной вентиляции резервуара.

Учитывая необходимость применения фильтрационной системы для улавливания паров углеводородов из резервуаров и повышения общей эффективности принудительной вентиляции резервуаров, предложен принципиально новый, эжекторно-вихревой способ подачи приточного воздуха во внутреннее пространство резервуара, суть которого заключается в следующем:

1. Для интенсификации конвективного массообмена и степени перемешивания внутреннего и подаваемого воздуха с парами нефтепродукта, подача воздуха осуществляется с использованием воздушного эжектора, который устанавливается внутри резервуара, на внутреннем фланце люка-лаза (рис 2).

2. Для создания постоянной подвижности воздуха во внутреннем пространстве резервуара, путём закручивания подаваемого и имеющегося в резервуаре воздуха вдоль его стенок, предложено при проведении принудительной вентиляции резервуара, подачу воздуха осуществлять с двух осисимметричных (противоположных) сторон резервуара (рис 3). При этом для создания кругового движения воздуха, воздушные эжекторы размещены под углом к внутренней стенке резервуара.

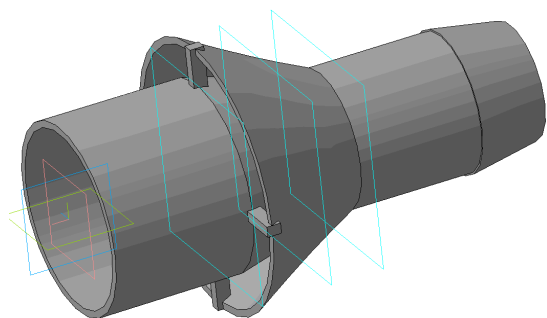


Рис 2. Воздушный эжектор

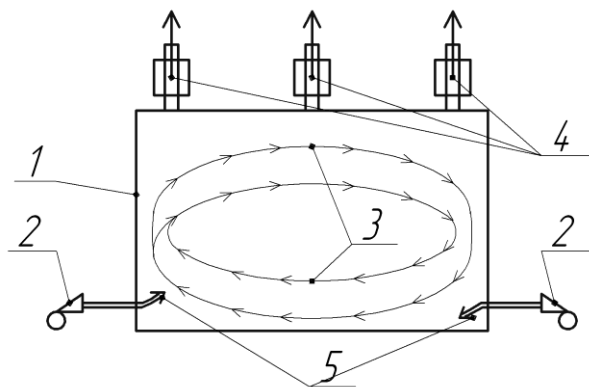


Рис. 3 Принципиальная схема эжекторно-вихревого способа подачи приточного воздуха во внутреннее пространство резервуара

- 1 – Резервуар; 2 – Воздуходувные агрегаты; 3 – Тип воздушных потоков внутри резервуара; 4 – Система фильтрации исходящего воздуха; 5 – Воздушные эжекторы.

Выводы

1. Для повышения экологической безопасности дегазации резервуаров обоснована необходимость применения фильтрующих систем при дегазации резервуаров.

2. Разработан экспериментальный стенд геометрически подобный промышленному резервуару РВС-5000, который позволил оценить экологическую опасность процесса принудительной вентиляции, а также изучить закономерности процесса вентиляции резервуаров с остатками нефтепродуктов.

3. Разработан новый эжекторный способ подачи воздуха во внутреннее пространство резервуаров на основании, которого создана новая технология принудительной вентиляции резервуаров.

Литература

1. Статистический ежегодник «Украина в цифрах». – К.: Государственный комитет статистики Украины, 2014. – X. – 2012. – 600 с.

2. Ларионов В.И. Оценка и обеспечение безопасности объектов хранения и транспортировки углеводородного сырья. – СПб.: ООО «Недра», 2004. - 190 с.
3. Временная инструкция по дегазации резервуаров от паров нефтепродуктов методом принудительной вентиляции. – М.: Госкомнефтепродуктом РСФСР, 1981 г.
4. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991. - 430 с.
5. Инструкция по зачистке резервуаров от остатков нефтепродуктов РД-112-РСФСР-021-89
6. EU (1994). European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations. Official Journal L 365, 31.12.1994.
7. Выбор технических средств для сокращения потерь нефтепродуктов от испарения из резервуаров и транспортных емкостей: методическое пособие / И.С. Бронштейн, В.Ф. Вохмин, В.Е. Губин, П.Р. Ривкин; ЦНИИТЭнефтехим – Москва, 1969.-182 с.
8. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). – СПб.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ , 1997 г.
9. European Commission (2006). 'Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006.
10. AEAT (2001). 'Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU'. Report No AEAT/ENV/R/0469 Issue 2, dated August 2001. AEA Technology, Abingdon.
11. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (1991). Environmental Code of Practice for Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. Prepared by the National Task Force on Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. CCME-EPC/TRE-30E, CCME, Canada.
12. Кулагин А.В. Прогнозирование и сокращение потерь бензинов от испарения из горизонтальных подземных резервуаров АЗС. –Уфа, 2003.
13. Автозаправочные станции: Практическое пособие - 1-е изд. – М.: Издательство «Учет», 2003. - 464 с.

References

1. Statystycheskyy ezhehodnyk «Ukrayna v tsyfrakh» (2012).– К.: Hosudarstvennyy komytet statystyki Ukrainy 2014, 600.
2. Ларионов В.И. (2014). Otsenka i obespechenie bezopasnosti ob'ektov khraneniia i transportirovki uhlevodorodnoho syr'ia. – SPB.:ООО «Недра», 190.
3. Vremennaja instrukcija po degazacii rezervuarov ot parov nefteproduktov metodom prinuditel'noj ventiljacii (1981). М.: Goskomnefteproduktom RSFSR.
4. Beschastnov M.V. (1991). Promyshlennye vzryvy. Ocenka i preduprezhdenie. – М.: Himija, 430.
5. Instrukcija po zachistke rezervuarov ot ostatkov nefteproduktov RD-112-RSFSR-021-89
6. EU (1994). European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations. Official Journal L 365, 31.12.1994.

7. Bronshtejn I.S., Vohmin V.F., Gubin V.E., Rivkin P.R. (1969). Vybor tehnikeskih sredstv dlja sokrashhenija poter' nefteproduktov ot isparenija iz rezervuarov i transportnyh emkostej. *Metodicheskoe posobie CNIITJenftehim*. Moskva, 182.
8. Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednyh veshhestv, sodержashhihsja v vybrosah predpriyatij (OND-86) (1997). SPB.: GIDROMETEIOIZDAT.
9. European Commission (2006). 'Integrated Pollution Prevention and Conon Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006.
10. АЕАТ (2001). 'Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU'. Report No АЕАТ/ENV/R/0469 Issue 2, dated August 2001. АЕА Technology, Abingdon.
11. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (1991). Environmental Code of Practice for Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. Prepared

by the National Task Force on Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. CCME-EPC/TRE-30E, CCME, Canada.

12. Kulagin A.V. (2003). Prognozirovanie i sokrashhenie poter' benzinov ot isparenija iz gorizonta'nyh podzemnyh rezervuarov AZS. Ufa.

13. Avtozapravochnye stancii: Prakticheskoe posobie (2003)- 1-e izd. M.: Izdatel'stvo «Uchet», 464.

Автор: ГАРБУЗ Сергей Викторович
адъютант, капитан службы гражданской защиты,
Национальный университет гражданской защиты
Украины.

Автор: УДЯНСКИЙ Николай Николаевич
канд. техн. наук, доцент, Национальный
университет гражданской защиты Украины.

ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ДЕГАЗАЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ

С.В. Гарбуз, Н.Н. Удянський

На прикладі резервуара РВС-5000 показана екологічна небезпека процесу його дегазациї, проведений розрахунок концентрації шкідливих речовин (вуглеводнів) в атмосферному повітрі для чинного в Україні способу дегазациї, на всіх його стадіях. На прикладі міжнародного досвіду, показана необхідність впровадження установок для уловлювання парів вуглеводнів, для ефективної експлуатації яких запропоновано новий, Ежекторний-вихровий спосіб примусової вентиляції резервуарів.

Ключові слова: дегазация резервуарів, шкідливі речовини, екологічна небезпека.

ENVIRONMENTAL SAFETY OF OIL STORAGE TANK DEGASIFICATION

S.V. Harbuz, N.N. Udyans'kyu

On the example of the storage tank PBC-5000 the environmental hazards of the process of its degasification was shown, the concentration of harmful substances (hydrocarbons) in ambient air for the functional in Ukraine method of degasification was calculated, at all its stages. On the example of international experience the need to implement systems to capture vapor hydrocarbons, for effective performance of which new ejector-way rotational mechanical ventilation tanks were offered, was shown.

Keywords: degasification of storage tanks, harmful substances, environmental danger.