

Разработка новой технологии дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов

С.В. Гарбуз, А.А. Ковалёв

Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина

Paper received 26.11.15; Accepted for publication 15.12.15.

Аннотация. На примере резервуара РВС-5000 показана экологическая опасность процесса его дегазации, произведён расчет 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 улавливания паров углеводородов, для эффективной эксплуатации которых предложен новый, эжекторно-вихревой способ принудительной вентиляции резервуаров.

Ключевые слова: дегазация резервуаров, принудительная вентиляция, вредные вещества, экологическая опасность, способ дегазации

1. Введение

Ежегодно Украина потребляет более 20 млн. т. нефти и продуктов её переработки [1], что предполагает содержание достаточно большого резервуарного парка страны, при этом суммарный объём резервуаров хранения светлых нефтепродуктов составляет более 1,5 млн. т. [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 (от 1 до 2 раз в год). Самой сложной и экологически опасной технологической операцией выполняемой при выводе резервуаров с остатками нефтепродуктов из эксплуатации, является их дегазация [4]. При дегазации резервуара в атмосферный воздух поступает значительное количество углеводородных паров, вызывая следующие негативные последствия:

- Пары углеводородов высокотоксичны и оказывают отравляющее действие на организм человека и прилегающие экосистемы;
- Пары углеводородов легко воспламеняемы, вытеснение из резервуара значительного количества углеводородных паров повышает пожарную опасность процесса дегазации;
- Прямой экономический ущерб, вследствие потерь нефтепродукта при рассеивании паров углеводородов в атмосфере. Для уменьшения экономических потерь, действующие в Украине ВБН В.2.2-58.1-94, только рекомендуют применение на резервуарах установок для улавливания паров нефтепродуктов.

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.

2. 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 газовой 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/м^3 . 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 с различными интенсивностями подачи воздуха. Принудительная вентиляция применяется, 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].

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 [7-9]:

1. Захолаживание паровоздушной смеси в холодильниках с использованием жидкого азота до конденсации углеводородов в жидкую фазу.
2. Адсорбция углеводородов из смеси адсорбентом с последующей десорбцией.
3. Разделение паровоздушной смеси на аэрофобных мембранах, обладающих определенной селективностью.

Также рассматриваются возможности, при проведении дегазации, подачи во внутреннее пространство резервуара инертных газов [10], применение различных схем подачи и отведения воздуха [11,12].

3. Результаты исследования экологической опасности дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов

Оценку экологической опасности дегазации, проводимой путём принудительной вентиляции, произведём на примере резервуара РВС-5000 объемом 5000 м³ [13]. 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. ЭС изготовлен из органического стекла толщиной 3 мм в виде вертикального цилиндрического сосуда и конструктивно представляет собой сосуд, геометрически подобный РВС-5000. Масштаб ЭС равен 1:17 от промышленного резервуара РВС-5000. Исходные данные используемые в расчетах и данные проведенного эксперимента представлены в табл. 1.

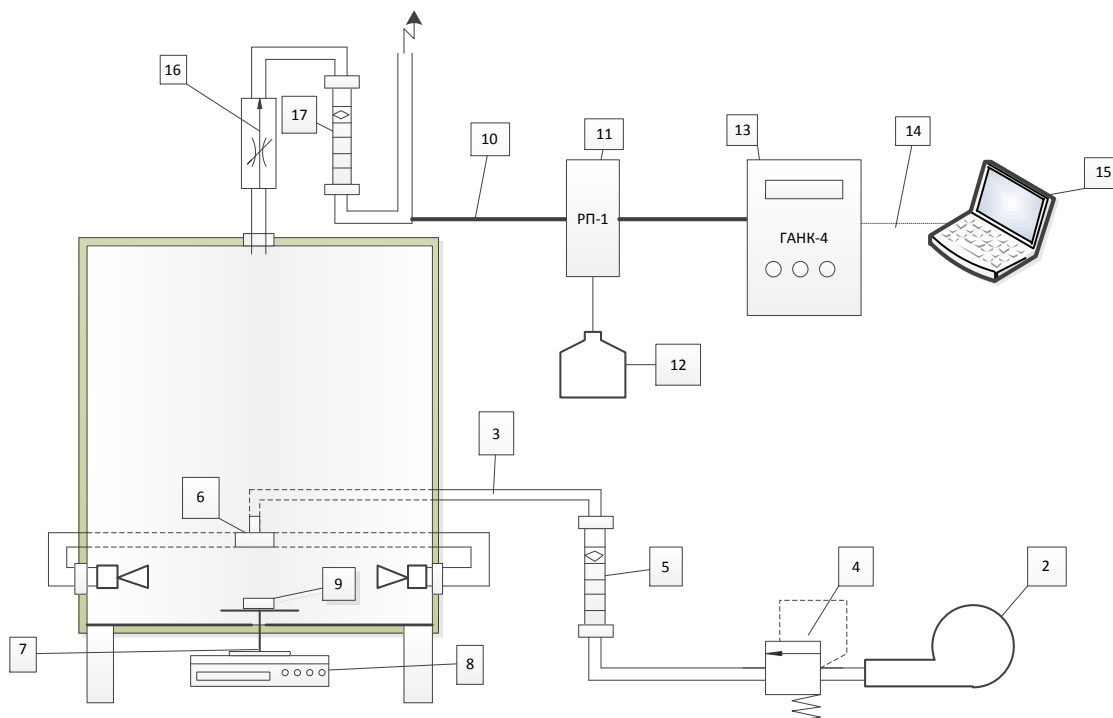


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – экспериментальный резервуар; 2 – вентилятор; 3 – линии подачи воздуха; 4 – клапан сброса избыточного давления воздуха; 5 – ротаметр; 6 – тройник; 7 – штатив; 8 – электронные весы «AND EK-1200i»; 9 – емкость с нефтепродуктом; 10 – поливиниловые 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

Таблица 1. Исходные расчётные данные и результаты эксперимента в пересчёте для резервуара РВС-5000

Параметр вентиляции и выбросов паров нефтепродуктов	Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3	Стадия 4	Стадия 5	Стадия 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.

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 табл. 2.

Таблица 2. Характеристики процесса принудительной вентиляции

Параметр вентиляции и выбросов паров нефтепродуктов	Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3	Стадия 4	Стадия 5	Стадия 6
Продолжительность вентиляции	54 ч.	17,2 ч.	11,5 ч.	2,75 ч.	1,3 ч.	4,4 ч.
Коэффициент η	0,30	0,40	0,47	0,46	0,55	0,64
Количество нефтепродуктов, удаляемых в атмосферу	1000 кг	250 кг	200 кг	25 кг	23,5 кг	1,0 кг
Выброс паров нефтепродуктов в секунду	5 г/с	4 г/с	3,5 г/с	2,5 г/с	1,48 г/с	0,06 г/с

Расчет максимального значения приземной концентрации вредного вещества при выбросе газовой смеси из резервуара произведём по формуле [14]:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{v_1 \cdot \Delta T}}, \quad (5)$$

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 тем

пературой 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 по 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 проделанных расчетов (табл. 3.) показывают экологическую опасность существующего процесса дегазации резервуаров для здоровья человека и прилежащих экосистем. При принудительной вентиляции резервуара РВС-5000 в атмосферный воздух поступает 1,5 т. паров нефтепродуктов.

Таблица 3. Приземные концентрации вредных веществ при дегазации резервуара

Параметр вентиляции и выбросов паров нефтепродуктов	Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3	Стадия 4	Стадия 5	Стадия 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						
1-й этап $C_m = \frac{200 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{16,9^2 \sqrt[3]{280}}$	0,67	-	-	-	-	-
2-й этап $C_m = \frac{200 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{16,9^2 \sqrt[3]{280}}$	-	0,43	-	-	-	-
3-й этап $C_m = \frac{200 \cdot 3,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{16,9^2 \sqrt[3]{830}}$	-	-	0,26	-	-	-
4-й этап $C_m = \frac{200 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{16,9^2 \sqrt[3]{1400}}$	-	-	-	0,15	-	-
5-й этап $C_m = \frac{200 \cdot 1,48 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{16,9^2 \sqrt[3]{2800}}$	-	-	-	-	0,07	-
6-й этап $C_m = \frac{200 \cdot 0,06 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{16,9^2 \sqrt[3]{11400}}$	-	-	-	-	-	0,014

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 сопротивления (перепада давлений) в данных установках, которое составляет 250-450 Па [15]. 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:

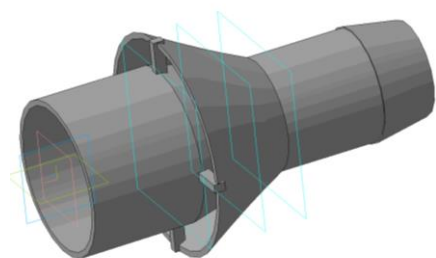


Рис. 2. Воздушный эжектор

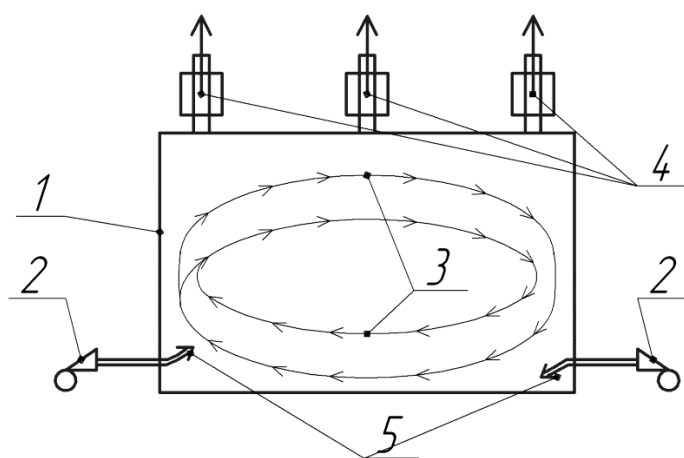


Рис. 3. Принципиальная схема эжекторно-вихревого способа дегазации резервуара
1 – Резервуар; 2 – Ветроудельные агрегаты; 3 – Воздушный поток внутри резервуара; 4 – Система улавливания паров; 5 – воздушные эжекторы

4. Обсуждение результатов исследования экологической опасности дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов

При совершенствовании действующих в Украине правил и регламентов технической эксплуатации резервуаров хранения нефтепродуктов в соответствии с общевропейскими и мировыми стандартами необходимо учитывать экологическую и пожарную опасности процесса дегазации, а также технико-экономическую эффективность дегазации.

Применение предложенного эжекторно-вихревого способа подачи приточного воздуха во внутреннее пространство резервуара позволит применить систему улавливания паров углеводородов, что позволит исключить негативное экологическое воздействие паров углеводородов, а также уменьшить уровень взрывопожароопасности принудительной вентиляции.

Дальнейшие экспериментальные исследования предложенного эжекторно-вихревого способа подачи приточного воздуха во внутреннее пространство резервуара позволят установить:

1. Зависимость потери массы одно и многокомпонентных жидкостей при существующей и предложенной схеме подачи приточного воздуха;

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.

2. Интенсивность испарения одно и многокомпонентных жидкостей в зависимости от подвижности воздуха над поверхностью испарения;
3. Концентрацию углеводородов во внутреннем пространстве резервуара при существующей и предложенной схеме подачи приточного воздуха.
4. Время необходимое для проведения дегазации, определив экономическую эффективность процесса.

5. 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 и предложен, 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» [Текст] – Государственный комитет статистики Украины. – Изд. офиц. – К. 2014. – 600 с.
2. Ларионов В.И. Оценка и обеспечение безопасности объектов хранения и транспортировки углеводородного сырья [Текст] / В.И. Ларионов – СПб.:ООО «Недра», 2004. –190 с.
3. Временная инструкция по дегазации резервуаров от паров нефтепродуктов методом принудительной вентиляции [Текст] Утв. Госкомнефтепродуктом РСФСР 08.09.1981 г. – Изд. офиц. – М.: Стройиздат. 1982. – 32 с.
4. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение [Текст] / М.В. Бесчастнов – М.: Химия, 1991. – 430 с.
5. Инструкция по зачистке резервуаров от остатков нефтепродуктов [Текст] Утв. Госкомнефтепродуктом СССР 10.11.89. – Изд. офиц. – М.: Стройиздат. 1990. –41 с.
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 [Текст] Official Journal L 365. 1994.
7. European Commission (2006). 'Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006.
8. AEAT (2001). Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU. Report No AEAT/ENV/R/0469 Is.2 – AEA Technology, Abingdon. 2001.
9. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 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. Canada. 1991
10. Yinchang, Li. Experimental study on inert replacement ventilation of oil vapor in oil tank [Текст] / Yinchang Li, Yang Du, Peili Zhang // Department of Petroleum Supply Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China.– 2012. – 45. – С. 546-551
11. Robinson, M. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks [Текст] / M. Robinson, D.B. Ingham // The Annals of Occupational Hygiene. – 1996. – 6. – С. 693–704
12. Fardell, P.J. The evaluation of an improved method of gas-freeing an aviation fuel storage tank [Текст] / P.J. Fardell, B.W. Houghton // Journal of Hazardous Materials. – 1976. – 1(3). – С. 237–251
13. Выбор технических средств для сокращения потерь нефтепродуктов от испарения из резервуаров и транспортных емкостей [Текст] : методическое пособие / И.С. Бронштейн, В.Ф. Вохмин, В.Е. Губин, П.Р. Ривкин. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1969.–182 с.
14. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [Текст] Утв. Гос. комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды 04.08.86. – Изд. офиц. – СПб.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ. 1986 – 79 с.
15. Кулагин А.В. Прогнозирование и сокращение потерь бензинов от испарения из горизонтальных подземных резервуаров АЗС [Текст] / А.В. Кулагин – Уфа, Спектр, 2003. – 154 с.

REFERENCES

1. Statistical Yearbook "Ukraine in numbers" [text] – The State Statistics Committee of Ukraine. – Ed. official. – K., 2014. – 600 p.
2. Larionov, V.I. Assessment and security of storage facilities and transportation of hydrocarbons [Text] / V.I. Larionov. – SPB. LLC "Nedra", 2004. -190 p.
3. Temporary instruction on degassing tank from the oil vapor by forced ventilation [Text] Approved by Goskomnefteprodukt of RSFSR 08.09.1981. – Ed. official. – M.: Sroyizdat. 1982. 32 p.
4. Beschastnov, M.V. Industrial explosions. Evaluation and prevention / M.V. Beschastnov – M.: Chemistry, 1991. – 430 p.
5. Guide to sweep reservoirs of oil residues [Text] Approved by Goskomnefteprodukt of USSR 10/11/89. – Ed. official. – M.: Sroyizdat. 1990 – 41 p.
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. 1994.
7. European Commission (2006). 'Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006.
8. AEAT (2001). Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU. Report No AEAT/ENV/R/0469 Is.2 – AEA Technology, Abingdon. 2001.
9. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Environmental Code of Practice for Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. Prepared by the National Task Force on Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks [Текст] – CCME. Canada. 1991
10. Yinchang, Li. Experimental study on inert replacement ventilation of oil vapor in oil tank [Текст] / Yinchang Li, Yang Du, Peili Zhang // Department of Petroleum Supply Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China.– 2012. – 45. – С. 546-551
11. Robinson, M. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks [Текст] / M. Robinson, D.B. Ingham // The Annals of Occupational Hygiene. – 1996. – 6. – С. 693–704
12. Fardell, P.J. The evaluation of an improved method of gas-freeing an aviation fuel storage tank [Текст] / P.J. Fardell, B.W. Houghton // Journal of Hazardous Materials. – 1976. – 1(3). – С. 237–251
13. The choice of means to reduce oil loss from evaporation from reservoirs and transport containers [Text]: handbook / I.S. Bronshteyn, V.F. Vohmin, V.E. Gubin, P.R. Rivkin. – M.: TsNIITЭнеftehim, 1969. – 182 p.
14. The method of calculating the concentration in the air of harmful substances in industrial emissions [Text]. Approved by State Committee of the USSR for Hydrometeorology and Environmental Control of 04.08.86. – Ed. official. – SPb.: Gidrometeoizdat. 1986 – 79 p.
15. Kulagin, A.V. Forecasting and reducing losses from gasoline evaporation from horizontal underground tanks of gas station [Text] / A.V. Kulagin. – Ufa, Spectrum, 2003. – 154 p.

Development of new technology degassing storage tank of light oil products

S.V. Garbuz, A.A. Kovalev

Abstract. For example, tank PBC-5000 is shown environmental hazard of degassing, calculation promoted of concentration of harmful substances (hydrocarbons) in the air for operating in Ukraine degassing method, at all stages. For example, international experience shows the necessity the introduction of hydrocarbon vapor recovery systems, for the effective operation of which offer a new ejector-vortex method of forced ventilation of tanks.

Keywords: degassing of tanks, forced ventilation, harmful substances, environmental hazards, a method of degassing