

С.О. Пузік<sup>1</sup>  
 Б.О. Островський<sup>2</sup>  
 Д.А. Комар<sup>3</sup>

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ ВІД ЗАЛИШКІВ РІДКИХ НАФТОПРОДУКТІВ

Національний авіаційний університет  
 просп. Космонавта Комарова, 1, Київ, Україна, 03058  
 E-mails: <sup>1</sup>s.puzik@email.ua; <sup>2</sup>ostrovskiy166@mail.ru; <sup>3</sup>dakcar01@ukr.net

Установлено переваги бензину порівняно з іншими нафтопродуктами щодо доцільності їх дослідження. Виконано розрахунки тривалості вентиляції і зміни концентрації парів залишків бензину в газовому просторі вертикального резервуара місткістю 1000 м<sup>3</sup> (РВЗ-1000). Побудовано номограми для кількісного прогнозу наявності рідких залишків бензину А-95 та часу тривалості вентиляції РВЗ-1000 із залишками цього бензину.

**Ключові слова:** вентиляція; резервуар; рідкі залишки; А-95; ТС-1; РТ.

### Постановка проблеми

У процесі експлуатації резервуарів часто виникають негативні фактори, для усунення яких необхідно виконувати очищення і дегазацію резервуарів із застосуванням на них вогневих ремонтних робіт, які зазвичай вибухопожежо-небезпечні. Технологія зачищення резервуарів із залишками нафтопродуктів є однією найскладніших, трудомістких і відповідальних.

### Аналіз публікацій

Дослідження процесів конвективного масообміну показало, що не існує методики, яку можна було б використовувати для прогнозування пожежної безпеки процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів [2]. Тому необхідним є проведення спеціальних експериментальних досліджень. Під час вентиляції резервуарів з рідкими залишками процес вентиляції можна поділити на три періоди:

1) інтенсивна зміна концентрації  $C_1$  залишків рідких нафтопродуктів у газовому просторі резервуара;

2) постійне значення концентрації  $C_2$  залишків рідких нафтопродуктів до повного випаровування рідини;

3) процес дегазації зі зміною концентрації  $C_3$  залишків рідких нафтопродуктів до повного видалення парів з ємкості.

Рівняння для визначення концентрації  $C$  для всіх періодів такого процесу [1]:

$$C_1 = \frac{M_1}{L} + C_n - \left( \frac{M_1}{L} + C_n - C_0 \right) e^{-L/v\tau};$$

$$C_2 = \frac{M_2}{L} + C_n; \quad (1)$$

$$C_3 = C_0 + C_2 e^{-L/v\tau},$$

де  $V$  – об'єм резервуара, м<sup>3</sup>;

$\tau$  – час вентиляції, с;

$M$  – інтенсивність випаровування, кг/с;

$L$  – витрати повітря, м/с;

$0$  – індекс, що позначає початкові умови;

1, 2, 3 – індекси, що позначають періоди вентиляції;

$n$  – індекс, що позначає параметр припливного повітря.

**Мета роботи** – очищення резервуарів примусовою вентиляцією за способом повного випаровування рідких залишків нафтопродуктів, що прийнятне лише для резервуарів з-під світлих нафтопродуктів.

### Розрахунок процесу примусової вентиляції РВЗ-1000

Оскільки під час випаровування нафтопродуктів відбувається безперервна зміна їх властивостей, це зумовлює нестационарність періоду 2. Тому для розрахунків процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів рівняння (1) непридатне.

Для досліду були використані бензин А-95 і реактивні палива РТ і ТС-1.

З'ясовано, що бензини мають ряд переваг порівняно з іншими нафтопродуктами щодо доцільності їх дослідження:

1) найбільш ефективно застосування вентиляції як способу підготовки резервуарів до ремонту саме для цього класу нафтопродуктів, оскільки бензини є найбільш легкими нафтопродуктами з малим умістом смолистих речовин;

2) бензини характеризуються низькою температурою спалаху і високим тиском насичених

парів, що зумовлює особливу вибухопожежну небезпеку процесу вентиляції резервуара; тому пожежі і вибухи під час підготовки до ремонту відбуваються найчастіше на резервуарах з бензинами;

3) використання бензинів як неоднорідних багатокомпонентних речовин дозволяє скоротити тривалість експериментів, більш точно встановити характер зміни величин, що характеризують нестаціонарність процесу конвективного масообміну, зокрема тиску насичених парів, фракційного складу, молекулярної маси тощо.

Час, необхідний для випаровування 1 т бензину А-95 у резервуарі об'ємом 1000 м<sup>3</sup> за температури навколишнього середовища 20 °С і продуктивності вентиляторів 10000 м<sup>3</sup>/год, становить 12,4 год, палива РТ – 106 год, палива ТС – 115 год, а дизельного палива за умови подачі в резервуар чистого припливного повітря – 773 год. Значення концентрації насиченої пари дизельного палива марки ДТ «Л» значно нижче від граничної концентрації, тому є підстави зробити висновок про неможливість на практиці повного випаровування рідких залишків дизельного палива. Дегазувати резервуари з-під дизельних палив рекомендується лише після ретельного видалення рідких залишків.

Проведені дослідження дозволили розробити інженерний метод розрахунку тривалості вентиляції і зміни концентрації парів залишків світлих нафтопродуктів у газовому просторі резервуарів.

Для визначення кількості залишку нафтопродукту в резервуарі необхідно виконати газовий аналіз пароповітряної суміші, що видаляється з резервуара (рис. 1). Проби для газового аналізу можна відбирати в гумову камеру за допомогою ручного насоса або в газову піпетку. Перед початком продувки найбільш доцільно встановлювати стаціонарну систему відбору проб, що складається з Г-подібної трубки та магістралі. Г-подібна трубка встановлюється у вихлопному перетині світлового люка. Один кінець цієї трубки має бути напрямлений назустріч потоку пароповітряної суміші, що видаляється. До другого кінця трубки приєднується гумова або поліхлорвінілова (магістральна) трубка діаметром 5–10 мм, довжиною 30–50 м. Така система відбирання проб дозволяє виконувати газовий аналіз на землі безпосередньо з трубки без підйому людини на резервуар.

Проби необхідно відбирати в різні проміжки часу, а кількість проб на газовий аналіз має бути

не меншою від трьох [2]. Інтервали часу від початку продувки, які рекомендуються для відбору проб на резервуарах з бензином, наведено в таблиці.

**Інтервали часу для відбору проб для газового аналізу, год**

Продуктивність вентилятора, м <sup>3</sup> /год	Температура середовища, °С			
	-20	0	20	40
До 5000	6–10	5–10	4–10	4–10
5000–10000	5–8	4–8	4–7	3–7
10000–30000	3–5	3–5	2–5	2–5
30000–50000	2–3	1,5–3	1–3	1–3
50000	1–3	1–3	1–3	1–3

Ключ до номограми (рис. 1): з певної точки осі часу (осі абсцис) в I квадранті проводиться перпендикуляр до перетину з кривою зміни витрат повітря  $L$  у часі. З отриманої точки перетину проводиться лінія, паралельна осі абсцис (осі часу), у III квадрант до перетину з перпендикуляром, проведеним від осі концентрацій у III квадранті з точки, що відповідає значенню концентрації  $C$ . Отримана точка перетину на кривій динаміки концентрацій в III квадранті відповідає вихідній кількості рідкого залишку.

Після визначення кількості рідких залишків бензину за номограмою, зображеною на рис. 1, визначається час вентиляції за номограмою, наведеною на рис. 2.

Номограма для визначення часу вентиляції складається з двох квадрантів, що враховують вплив на тривалість продувки продуктивності вентилятора і температури навколишнього середовища (I квадрант), а також кількості рідких залишків (II квадрант).

Ключ до номограми (рис. 2): з точки на осі абсцис, що відповідає продуктивності вентилятора  $L$ , проводиться перпендикуляр до перетину з кривою динаміки часу для температури в I квадранті. Від точки перетину проводиться пряма, паралельна осі абсцис (осі продуктивності) до перетину з прямою, що відповідає вихідній кількості рідких залишків  $G_0$  у II квадранті. З цієї точки перетину опускається перпендикуляр на вісь ординат (вісь часу).

Саме для оцінювання горючості суміші і тривалості вентиляції на основі запропонованої методики розрахунку і виконано ці номограми.

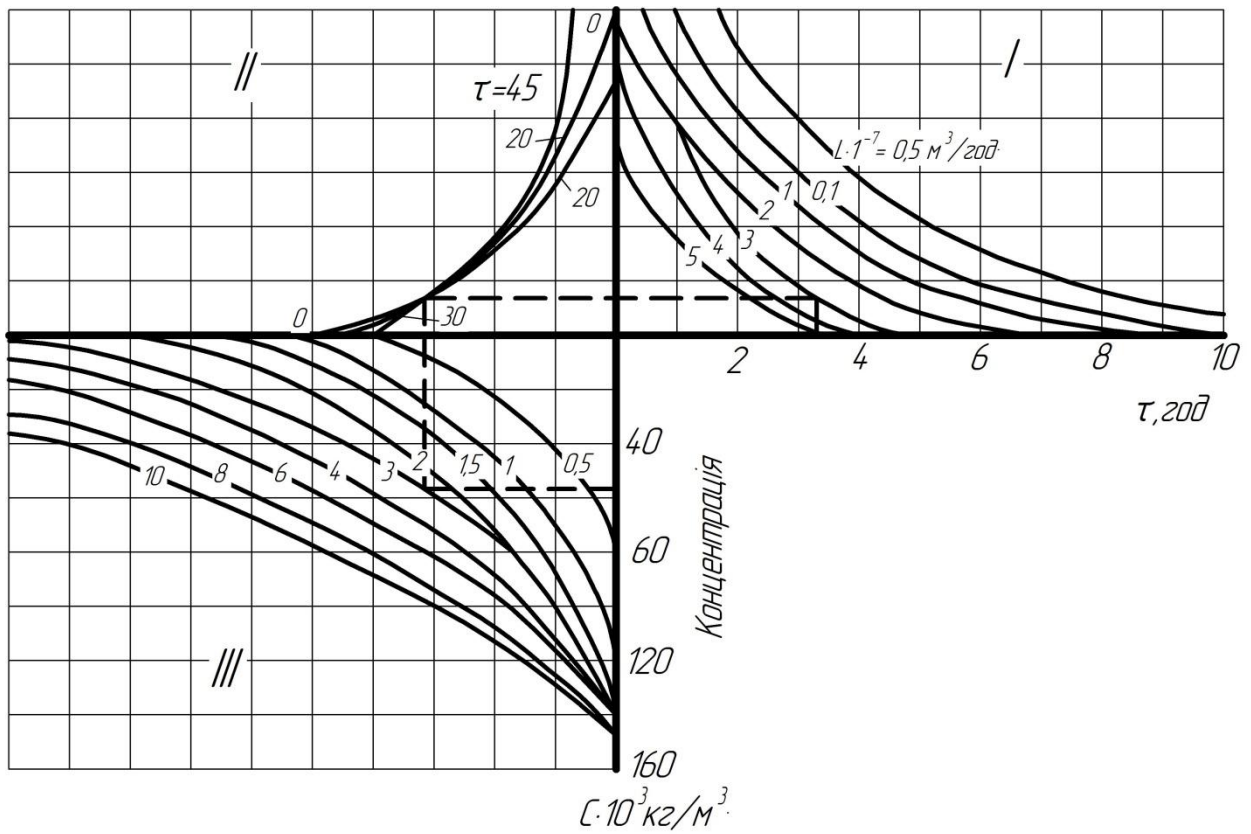


Рис. 1. Номограма для прогнозу кількості рідких залишків бензину А-95 у резервуарах РВ3-1000

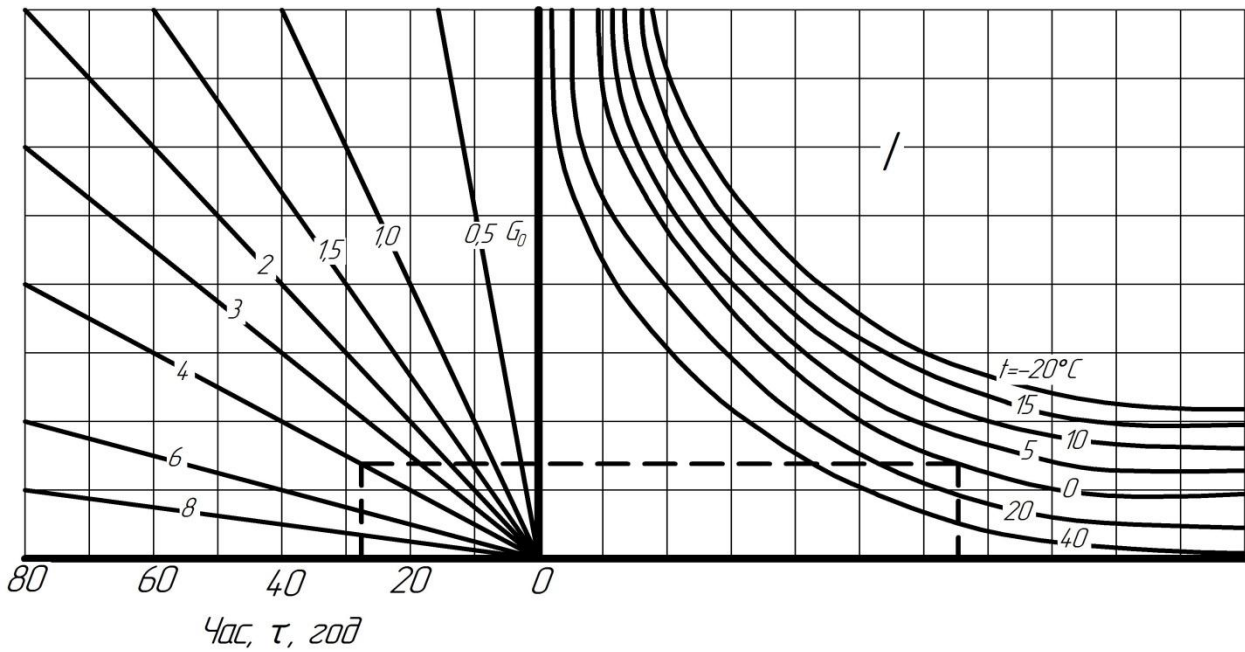


Рис. 2. Номограма для прогнозу часу вентиляції вертикальних сталевих резервуарів РВ3-1000

За допомогою номограм можна розрахувати час вентиляції з відомою і невідомою кількостями рідких залишків бензину в резервуарі РВЗ-3000 за умови випаровування нафтопродукту з водяної подушки.

Для прогнозування тривалості вентиляції резервуара з невідомою кількістю рідких залишків заздалегідь повинен бути виконаний газовий аналіз. За даними газового аналізу згідно з номограмою, зображеною на рис. 1, визначається кількість рідких залишків, а за номограмою, показаною на рис. 2, – час вентиляції за відомої кількості рідких залишків бензину.

Зниження середньооб'ємної концентрації в газовому просторі резервуара навіть до 5% від нижньої межі спалаху гарантує лише вибухобезпеку подальшого процесу, небезпека ж виникнення пожежі існуватиме до моменту повного випаровування нафтопродукту.

Оцінюючи горючість середовища, необхідно враховувати нерівномірність розподілу концентрацій, зокрема наявність зон біля стінок резервуара, де концентрація газового простору на 20–30% більша від середньооб'ємної.

### Висновки

Розроблено номограми для прогнозу кількості рідких залишків бензину А-95 та часу вентиляції РВЗ-1000 із залишками цього ж бензину. Показано, що більш небезпечні умови виникають під час підготовки резервуарів до вентиляції та в початковий період вентиляції. Тривалість вентиляції резервуара РВЗ-1000 із

залишками бензину А-95 у кількості 0,5 т за температури навколишнього середовища 20 °С і продуктивності вентилятора 10 000 м<sup>3</sup>/год становить приблизно 7 год до досягнення у газовому просторі концентрації, що дорівнює 10% від нижньої межі спалаху.

Отримані результати можуть бути взяті за основу для розроблення інструкції з дегазації резервуарів із залишками світлих нафтопродуктів перед вогневими ремонтними роботами.

### Література

1. Волков О.М. Исследования процесса вентиляции резервуаров с остатком нефтепродукта / О.М. Волков, Н.Ф. Шатров, А.Д. Шухатович // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. ЦНИИТ Нефтехим. – 1990. – № 2. – С. 25–27.

2. Пузик С.О. Технологічні процеси з ПММ / С.О. Пузик, Є.О. Баканов, В.І. Терьохін, В.Ф. Опанасенко. – К.: НАУ, 2002. – 265 с.

### References

1. Volkov, O.M.; Shatrov, N.F.; Shuhatovych, A.D. 1990. *Studies ventilation process rezervuarov with remnant nefteprodukta*. Transport and storage of petroleum and hydrocarbon raw materials. TSNYYT Neftehim. N 2: 25–27 (in Russian).

2. Puzik, S.O.; Bakanov, E.O.; Teriokhin, V.I.; Opanasenko, V.F. 2002. *Processes of fuel*. Kyiv, National Aviation University. 265 p. (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 19.04.2013.

**Пузик Сергій Олексійович** (1951). Кандидат технічних наук. Професор. Кафедра дистанційного навчання, Національний авіаційний університет, Київ, Україна. Освіта: Київський інститут інженерів цивільної авіації, Київ, Україна (1975). Напрямок наукової діяльності: очищення рідини. Кількість публікацій: 100. E-mail: s.puzik@email.ua

**Островський Богдан Олександрович** (1989). Аспірант. Національний авіаційний університет, Київ, Україна. Лабораторія паливно-мастильних матеріалів ННЦ АТБ ДМА. Освіта: Національний авіаційний університет (2012). Напрямок наукової діяльності: експлуатація об'єктів паливозабезпечення. Кількість публікацій: 10. E-mail: ostrovskiy166@yandex.ru

**Комар Дмитро Анатолійович** (1974). Інженер. Національний авіаційний університет, Київ, Україна. Освіта: Київський інститут інженерів цивільної авіації, Київ, Україна (1998). Напрямок наукової діяльності: експлуатація об'єктів паливозабезпечення. E-mail: dakcar01@ukr.net

**S. Puzick<sup>1</sup>, B. Ostrovskiy<sup>2</sup>, D. Komar<sup>3</sup>. Method of calculation of tanks forced ventilation from the remnants of liquid products**

National Aviation University, Kosmonavta Komarova avenue 1, Kyiv, Ukraine, 03680

E-mails: <sup>1</sup>s.puzik@email.ua; <sup>2</sup>ostrovskiy166@mail.ru; <sup>3</sup>dakcar01@ukr.net

The advantages of gasoline compared to other petroleum products in terms of feasibility of their research. Calculations of the duration of ventilation and changes in the concentration of vapors of gasoline remains in the gas space of the vertical tank with a capacity of 1000 m<sup>3</sup> (RUS-1000). Nomogram constructed for the quantitative forecast available liquid balances petrol A-95 and the time duration ventylyaiyi RUS-1000 from the remnants of the petrol.

**Keywords:** liquid residues; ventilation; tank; A-95; TS-1; RT.

**Puzik Sergiy** (1951). Candidate of Engineering. Professor.

Distant learning, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers, Kyiv, Ukraine (1975).

Research area: liquid cleaning.

Publications: 100.

E-mail: s.puzik@email.ua

**Ostrovsky Bogdan** (1989). Postgraduate student.

National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: National Aviation University, Kyiv, Ukraine (2012).

Research area: operation of the Fuel Supply.

Publications: 10.

E-mail: ostrovskiy166@yandex.ru

**Komar Dmitry** (1974). Engineer.

National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: Kyiv Institute of Civil Aviation, Kyiv, Ukraine (1998).

Research area: operation of Fuel Supply.

E-mail: dakcar01@ukr.net

**С.А. Пузик<sup>1</sup>, Б.А. Островский<sup>2</sup>, Д.А. Комар<sup>3</sup>. Методика расчета процесса принудительной вентиляции резервуаров от остатков жидких нефтепродуктов**

Национальный авиационный университет, просп. Космонавта Комарова, 1, Киев, Украина, 03058

E-mails: <sup>1</sup>s.puzik@email.ua; <sup>2</sup>ostrovskiy166@mail.ru; <sup>3</sup>dakcar01@ukr.net

Установлены преимущества бензина по сравнению с другими нефтепродуктами относительно целесообразности их исследования. Проведены расчеты продолжительности вентиляции изменения концентрации паров остатков бензина в газовом пространстве вертикального резервуара емкостью 1000 м<sup>3</sup> (РВЖ-1000). Построены номограммы для количественного прогноза наличия жидких остатков бензина А-95 и времени продолжительности вентиляции РВЖ-1000 с остатками этого бензина.

**Ключевые слова:** вентиляция; жидкие остатки; резервуар; А-95; РТ; ТС-1.

**Пузик Сергей Алексеевич** (1951). Кандидат технических наук. Профессор.

Кафедра дистанционного обучения, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Киевский институт инженеров гражданской авиации, Киев, Украина (1975).

Направление научной деятельности: очистка жидкостей.

Количество публикаций: 100.

E-mail: s.puzik@email.ua

**Островский Богдан Александрович** (1989). Аспирант.

Национальный авиационный университет, Киев, Украина. Лаборатория ГСМ ННЦ АТБ ГМА.

Образование: Национальный авиационный университет, Киев, Украина (2012).

Направление научной деятельности: эксплуатация объектов топливообеспечения.

Количество публикаций: 10.

E-mail: ostrovskiy166@yandex.ru

**Комар Дмитрий Анатольевич** (1974). Инженер.

Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Киевский институт инженеров гражданской авиации, Киев, Украина (1998).

Направление научной деятельности: эксплуатация объектов топливообеспечения.

E-mail: dakcar01@ukr.net