МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ГАРБУЗ Сергій Вікторович**

УДК 502.172:621.6.033(043.3)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ**

21.06.01– екологічна безпека

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Суми – 2018

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі пожежної та техногенної безпеки об'єктів і технологій Національного університету цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

**Науковий керівник –**  кандидат медичних наук, доцент

**Халмурадов Батир Данатарович**,

 Національний авіаційний університет

Міністерства освіти і науки України,

 доцент кафедри цивільної та промислової безпеки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент

 **Третьяков Олег Вальтерович,**

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

Міністерства освіти і науки України,

 професор кафедри водопостачання, водовідведення та очистки вод;

доктор технічних наук, професор

**Семчук Ярослав Михайлович,**

Івано-Франківський національний

технічний університет нафти і газу

Міністерства освіти і науки України,

завідувач кафедри безпеки життєдіяльності.

Захист відбудеться 29 червня 2018 р. об 1100 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientific-council/5367.html

Автореферат розісланий 25 травня 2018 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 І. Ю. Аблєєва

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Об'єкти нафтогазового комплексу (НГК) України, зокрема резервуари для зберігання нафтопродуктів, становлять підвищену екологічну небезпеку для навколишнього природного середовища (НПС). Ємності, наповнені нафтопродуктами, навіть за штатної експлуатації, відносяться до джерел неконтрольованих викидів парогазоповітряних сумішей та проливів нафтопродуктів із подальшим виникненням пожеж і вибухів. Актуальною проблемою на сьогодні є зниження негативного впливу на довкілля та мінімізація ризику для населення під час роботи з такими екологічно небезпечними джерелами техногенного навантаження на довкілля.

Особливої уваги заслуговує питання забезпечення захисту людей і територій від впливу небезпечних факторів, які можуть виникнути при надзвичайних ситуаціях на складах нафти та нафтопродуктів. Задача підвищення екологічної безпеки при очищенні й ремонті резервуарів актуальна не тільки для нафтової, нафтопереробної й нафтохімічної промисловості, а й для інших галузей народного господарства, що споживають нафтопродукти та мають резервуари для їхнього зберігання.

У зв’язку з цим виникає необхідність розроблення та обґрунтування науково-практичних підходів до проведення екологічно безпечної передремонтної підготовки нафтових резервуарів, що дозволить контролювати викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря відповідно до нормативів шкідливого впливу.

Вирішенню цієї проблеми присвячені роботи таких вітчизняних та закордонних науковців: В. П. Назаров, А. А. Тарасенко, О. О. Кіршев, А. А. Коршак, О. М. Ларін, С. Ю. Назаренко.

Проблема підготовки резервуарів зберігання нафтопродуктів й нафти до очищення, ремонту, реконструкції й демонтажу вимагає подальшого глибокого вивчення, про що свідчать пожежі й вибухи на резервуарах у період підготовчих і ремонтних робіт. Розв'язання цього питання дозволить вирішити як екологічні аспекти проблеми – за рахунок зниження техногенного навантаження на довкілля, так і економічні – внаслідок подовження строку експлуатації вже існуючих сховищ.

Таким чином, актуальним завданням є розробка та обґрунтування екологічно безпечного способу видалення залишків нафтопродуктів з резервуарів, очищення викидів забруднюючих речовин за рахунок вловлювання парів вуглеводнів, згідно з вимогами нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основні завдання дисертаційної роботи щодо постановки задачі екологічних досліджень, методів і засобів їх розв’язання відповідають Постанові Верховної Ради України «Про основні напрями державної політики України в сфері охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», Стратегії екологічної політики України на період до 2020 року та Концепції Загальнодержавної програми поводження з відходами на 2013–2020 рр.

Основні дослідження роботи проводилися у рамках виконання плану науково-дослідних робіт кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗ України) за тематикою «Дослідження імовірності появи джерел запалювання електричного походження у пароповітряному просторі резервуарів із нафтопродуктами» згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (державний реєстраційний номер 0114U002235), в якій автор приймав участь у якості відповідального виконавця.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки територій у зоні впливу нафтозберігаючих об’єктних комплексів за рахунок застосування інноваційного ежекторно-вихрового способу подачі повітря під час проведення примусової вентиляції резервуарів, та абсорбційно-конденсаційної установки для очищення викидів забруднюючих речовин.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі завдання:

* провести аналіз стану забезпечення мінімізації екологічного впливу пожежовибухонебезпеки вогневих ремонтних робіт на резервуарах із залишками нафтопродуктів;
* розробити експериментальний та напівпромисловий стенди для дослідження технології вентиляції резервуарів із забезпеченням зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище;
* запропонувати методологічні підходи до розроблення інформаційної моделі поширення в атмосферному повітрі забруднюючих речовин, що містяться у викидах із резервуарів із залишками нафтопродуктів;
* на підставі експериментальних досліджень підтвердити теоретичні закономірності процесу примусової вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів;
* дослідити вплив способів подачі припливного повітря на інтенсивність масообміну та ефективність і екологічну безпечність вентиляції резервуарів;
* розробити та обґрунтувати абсорбційно-конденсаційну установку для уловлювання сконцентрованих нафтопродуктів, що дозволить очистити викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря до рівня встановлених нормативів;
* оцінити рівень зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище при впровадженні розробленого способу подачі повітря під час проведення примусової вентиляції.

*Об’єкт дослідження* – техногенне навантаження на навколишнє природне середовище при проведенні підготовчих ремонтних робіт на резервуарах зберігання нафтопродуктів.

*Предмет дослідження* – підвищення рівня екологічної безпеки під час проведення вентиляції вертикальних циліндричних резервуарів із залишками нафтопродуктів.

**Методи дослідження.** Експериментальні дослідження дисертаційної роботи проводилися із застосуванням газового аналізу – для встановлення якісного та кількісного складу газових сумішей на виході з резервуарів, при використанні сучасної контрольно-вимірювальної апаратури.

Обробку експериментальних даних та ідентифікацію виконаних експериментів існуючим теоретичним моделям здійснювали за допомогою комп’ютерної техніки, використовуючи пакет програм Microsoft Excel, Harvard ChartXL 3.0, ALOHA® 5.4.4, що разом з вищенаведеними методами аналізу дало змогу коректно обґрунтувати основні теоретичні положення та висновки. У дисертаційній роботі використані загальні та спеціальні методи наукового дослідження: аналізу, порівняння і синтезу; класифікації і ранжування; математичної статистики; методи математичного моделювання; методи системного аналізу, критеріального аналізу та аналізу ієрархій, методи теорії ймовірностей.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

* уперше з метою зниження техногенного навантаження на довкілля на комплексах зберігання нафтових вуглеводнів теоретично розроблено та обґрунтовано застосування екологічно безпечного способу дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів;
* уперше для підвищення рівня екологічної безпеки на основі розробленої інформаційної моделі забруднення атмосфери викидами нафтопродуктів обґрунтовано принципово новий спосіб подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара, що дає змогу контролю техногенного навантаження на довкілля;
* уперше науково обґрунтовано та експериментально підтверджено умови подачі повітря ежекторним способом під час проведення примусової вентиляції резервуарів, що дозволило скоротити тривалість дегазації та підвищити ефективність очищення пароповітряної суміші;
* удосконалено підходи до екологічно безпечного вловлювання та очищення концентрованих пароповітряних сумішей нафтових вуглеводнів на основі абсорбційно-конденсаційного методу, що дозволяє витримати нормативи шкідливих впливів на атмосферу;
* отримала подальший розвиток методика розрахунку та оцінки рівня техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом моделювання та прогнозування зон активного забруднення викидами пароповітряних вуглеводневих сумішей.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено технологічну схему процесу очищення резервуарів з залишками нафтопродуктів, розроблено, спроектовано та сконструйований стенд-резервуар з ежекторно-вихровим способом подачі припливного повітря в його простір, що дозволяє закручувати не тільки подаване повітря, але й саму рідину по напрямку руху повітря. У результаті такого руху процес перемішування подаваного повітря з газом у резервуарі збільшується, внаслідок чого процес випаровування рідини протікає набагато швидше, що забезпечує також зменшення екологічно небезпечного впливу.

Розроблено та запатентовано спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів.

Результати дисертаційної роботи у частині дослідно-промислових випробувань розробленого способу дегазації резервуарів були передані до ДО «Комбінат» Світанок» для використання у технологічних інструкціях з виведення резервуарів із експлуатації при проведенні регламентних робіт, їх підготовки до технічного діагностування, зачищення та виконання ремонтних робіт (акт впровадження від 21.11.2017 р.).

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри пожежної та техногенної безпеки об’єктів та технологій факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту при викладанні дисципліни «Промислова безпека сучасних виробничих технологій» (акт впровадження від 15.11.2017 р.).

**Особистий внесок здобувача** полягає у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень проектування технічного засобу/стенду; обробки отриманих результатів та їх аналізу; розробленні та обґрунтуванні абсорбційно-конденсаційної установки для уловлювання нафтопродуктів на виході в атмосферне повітря по завершенні вентиляції; оцінці зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря за рахунок впровадження ежекторно-вихрового способу подачі повітря під час примусової вентиляції резервуарів.

Внесок автора у роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 13 Міжнародних та Всеукраїнських науково-практичних конференціях: VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) (г. Минск, Республика Беларусь, Государственное учреждение образования «Командно-инженерный институт», 2014 г.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (м. Харків, НУЦЗУ, 2014 р.); Международной научно-практической конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности-2015» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2015 г.); 12-ому міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 2015 р.); VI Международной научно-практической конференции (г. Кокшетау, КТИ МЧС Республики Казахстан, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (г. Гомель, Республика Беларусь, 2016 г.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки» (м. Харків, НУЦЗУ, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (м. Харків, НУЦЗУ, 2016 р.); Международной научно - практической конференции (г. Кокшетау, РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан», 2017 г.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Авіа-2017» (м. Київ, НАУ, 2017 р.); 19-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (м. Київ, 2017 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів (м. Львів, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2017 р.); VII Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 2017 р.).

**Публiкацiї.** За результатами дисертації опубліковано 23 наукові праці, у т. ч. 9 статей, з них 8 статей у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, з яких 2 статті індексуються міжнародними наукометричними базами даних, 1 стаття у спеціалізованому закордонному виданні, 13 тез доповідей конференцій, отримано патент на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 177 сторінок, з яких 135 сторінок основного тексту. Дисертаційна робота містить 9 таблиць та 47 рисунків, 128 найменувань списку використаних джерел на 15 сторінках та 8 додатків на 14 сторінках.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи; сформульовано мету, завдання досліджень; відображено наукову новизну, підсилену теоретичними розробками в плані аналізу завдань математичного моделювання; подано практичну цінність отриманих результатів та особистий внесок здобувача.

**Перший розділ** присвячений огляду сучасного стану проблематики екологічно-безпечної експлуатації об’єктів зберігання нафтопродуктів, зокрема на етапі проведення передремонтних і ремонтних робіт та за умови виникнення нештатної ситуації. Проблема техногенного навантаження на навколишнє середовище під час зберігання вуглеводневої сировини і підвищення рівня екологічної безпеки процесу дегазації резервуарів шляхом примусової вентиляції, висвітлюється у працях таких провідних українських та зарубіжних фахівців: В. П. Назаров, А. А. Тарасенко, О. О. Кіршев, А. А. Коршак, О. М. Ларін, С. Ю. Назаренко.

Забезпечення захисту людей і територій від впливу екологічно небезпечних факторів, які можуть виникнути за умови штатної експлуатації, при проведенні регламентних робіт та при виникненні аварійних ситуацій на складах нафти і нафтопродуктів є першочерговим завданням екологічної безпеки об’єктів нафтогазового комплексу. Резервуари зберігання нафтопродуктів, які є джерелами неконтрольованих викидів пароповітряних сумішей (ППС), парогазоповітряних сумішей (ПГПС) та проливів нафтопродуктів із подальшим виникненням пожеж і вибухів, обумовлюють посилення техногенного навантаження на довкілля. При цьому, найбільш екологічно небезпечними вважаються резервуарні парки зберігання світлих нафтопродуктів, що обґрунтовується високою леткістю та вибухопожежонебезпечністю зазначеної групи вуглеводнів.

Щорічно Україна споживає більше 20 млн. тонн нафти та продуктів її переробки, що передбачає експлуатацію досить великого резервуарного парку країни. Встановлено, на 1 тонну нафти, що добувається або переробляється, обсяг, необхідний для зберігання, повинен становити 0,4 – 0,5 м3. Дослідження та аналіз джерел екологічного впливу при експлуатації резервуарів указують, що резервуари вертикальні стальні (РВС), призначені для зберігання нафтопродуктів, навіть при штатній експлуатації відносяться до екологічно небезпечних об’єктів.

Таким чином, зниження техногенного навантаження на довкілля є першочерговою еколого-економічною задачею підвищення рівня екологічної безпеки під час експлуатації резервуарів з нафтопродуктами. Проведення регламентних робіт із забезпеченням екологічної та вибухопожежної безпеки є одним із базових завдань управління екологічною безпекою резервуарних парків.

На основі проведених досліджень, спрямованих на вирішення досить актуальної науково-практичної задачі ідентифікації базових причин та оцінки ризику виникнення аварій на РВС, встановлено, що недосконалість процесу вентиляції резервуарів є однією із найбільш суттєвих причин розвитку надзвичайних екологічно небезпечних ситуацій техногенного характеру. Систематизація результатів застосування способів підготовки резервуарів до вогневих (ремонтних) робіт, а також вивчення й детальний аналіз наукової літератури, присвяченої закономірностям турбулентного переносу парів нафтопродуктів і конвективного масообміну в газовому просторі резервуарів при вентиляції, дозволив зробити висновок про необхідність експериментальної розробки й створення спеціального стенда для подальшого більш детального дослідження нових способів примусової вентиляції резервуарів.

Встановлено, утилізація вловлених під час примусової вентиляції парів нафтопродуктів є актуальним еколого-економічним завданням як з точки зору дотримання нормативів шкідливих впливів на атмосферне повітря, так і використання їх у якості товарного продукту.

**У другому розділі** надано обґрунтування можливостей і еколого-економічної доцільності дослідження об’єктів екологічної небезпеки для НПС і методів уникнення ризиків, методик проведення експериментів і визначення математичних методів обробки даних, аналізу та оцінки отриманих результатів.

Вивчення закономірностей турбулентного переносу парів нафтопродуктів і конвективного масообміну в газовому просторі резервуарів при їхньому вентилюванні проводилося на спеціально створеному стенді. Основний його конструктивний елемент – циліндрична посудина.

У ході проведення досліджень розроблено два лабораторні стенди, а саме експериментальний резервуар (ЕР) та експериментальний напівпромисловий стенд (ЕНПС).

Експериментальний резервуар призначений для визначення рухливості повітря при різних схемах його подачі у внутрішній простір резервуара, швидкості випаровування й втрати маси досліджуваних рідин, визначення концентрацій летких речовин при вентиляції резервуара. ЕР виготовлений з органічного скла товщиною 3 мм у вигляді вертикальної циліндричної посудини, установленої на рівну поверхню витяжної шафи лабораторії. Масштаб ЕР до промислового резервуара РВС-5000 становив 1:17.

Експериментальний напівпромисловий стенд призначений для визначення рухливості повітря при різних схемах його подачі у внутрішньому просторі резервуара, швидкості випаровування й втрати маси досліджуваних рідин. Його резервуар виготовлений із полікарбонату у вигляді вертикальної циліндричної посудини, яка встановлена на спеціально підготовлену рівну горизонтальну поверхню – дерев'яний щит, обшитий фрагментами гіпсоволоконного листа. Масштаб установки до промислового резервуара РВС-5000 – 1:10.

Дослідженню підлягали чотири способи подачі припливного повітря: зустрічний, традиційний, змішаний та інноваційний, з метою визначення найбільш ефективного та доцільного згідно з вимогами та нормативами екологічної безпеки.

Для підвищення ефективності вентиляції резервуарів на ЕР та ЕНПС розроблений і застосований принципово новий ежекторно-вихровий спосіб подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуарів.

Принципова схема розробленої експериментальної установки подана на рис. 1.

1 – резервуар (ЕР); 2 – повітродувний пристрій (вентилятор); 3 – лінії подачі повітря; 4 – клапан скидання надлишкового тиску повітря; 5 – ротаметр; 6 – трійник; 7 – штатив; 8 – електронні ваги «AND EK-1200i»; 9 – ємність із нафтопродуктом;

10 – полівінілові трубки для відбору проб на газовий аналіз; 11 – розріджувач (РП-1); 12 – сорбційний фільтр (ФС-1); 13 – газоаналізатор універсальний «ГАНК-4»;

14 – кабель для підключення до ПЕОМ; 15 – ПЕОМ; 16 – регульована заслінка на лінії видалення парів; 17 – ротаметр; 18 – повітряні ежектори

Рисунок 1 – Принципова схема експериментальної установки

При різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара проводилося вимірювання рухливості припливного повітря й втрати маси рідин у різних точках резервуара. У якості горючих речовин (ГР) і легкозаймистих рідин (ЛЗР) використовувалося дизельне паливо, бензини А-92 та А-95, толуол.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2 – Схема розташування точок виміру рухливості повітря й втрати маси рідин при вентиляції експериментальних резервуарів |

У процесі експерименту проводилися виміри втрати маси по центру резервуара для таких ГР і ЛЗР: дизельне паливо, бензини А-92 та А-95, толуол, октан, гексан. Для точності й вірогідності вимірів втрати маси при вентиляції ЕНПС і ЕР експеримент проводився також на воді.

Схема розташування точок виміру рухливості припливного повітря й втрати маси експериментальних рідин на ЕР і ЕНПС подана на рис. 2. Під час дослідів на ЕР викид газоповітряної суміші здійснювався через світлові люки. Для моделювання системи вловлювання парів вуглеводнів був створений повітряний опір виходу газоповітряної суміші.

По закінченню кожної серії дослідів проводився злив залишків рідини з ємностей, їх промивання, просушування та дегазація. Усі серії дослідів проводилися в лабораторії й на відкритому майданчику за температури повітря 26 °С. Температура припливного повітря у внутрішній простір резервуарів також становила tП = 26 °С.

Таким чином, запропоновано принципово новий екологічно безпечний ежекторно-вихровий спосіб подачі приточного повітря в простір резервуара, що дозволяє закручувати не тільки подаване повітря в резервуарі, але й саму рідину за напрямком руху повітря.

**Третій розділ** присвячений моделюванню ежекторного способу подачі повітря у внутрішній простір резервуара. На підставі проведених теоретичних досліджень встановлено, що на процеси масообміну під час вентиляції резервуарів значно впливає спосіб подачі повітря та ступінь перемішування його з рідинами, які залишилися всередині ємностей. Враховуючи цю закономірність, для підвищення екологічної безпеки, продуктивності та інтенсифікації процесу вентиляції резервуарів, запропоновано новий ежекторний спосіб подачі повітря у внутрішній простір резервуарів, який дозволяє суттєво збільшити ступінь перемішування нафтопродукту з повітрям.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3 – Повітряний ежектор |

Головним відмінним елементом, що використовується при ежекторному способі подачі повітря, є новий конструктив повітряного ежектора (рис. 3), який встановлюється усередині резервуара на внутрішньому фланці люка-лазу, і являє собою частину ежекторної вентиляційної установки.

Описано модель роботи ежекторної вентиляційної установки (рис. 4) з розподілом витрат повітря й тисків при її роботі.



Рисунок 4 – Розподіл витрат повітря й тисків при роботі ежекторної установки

За позитивний напрямок руху повітря приймається рух праворуч. Тобто витрата q ежектируючого потоку, Q-q ежектуємого потоку та Q загального потоку мають позитивний знак

Запропоновано проводити математичне моделювання ежекції на основі закону збереження імпульсу. Специфіка даного методу моделювання полягає в тому, що втрати енергії при змішуванні ежектируючого й ежектуємого потоків повітря визначаються умовою збереження загальної кількості руху при цьому змішуванні та не вимагають залучення жодних експериментальних залежностей.

Ежекційний напір Δ Р є напором еквівалентного вентилятора, якщо він цілком співпадає з опором повітряного простору резервуара, і визначається за формулою:



, (1)

де Δ*Р* – ежекційний напір, Па; *Q* – витрата загального потоку, кг/с; *ρ* – щільність повітря, кг/м3; *S* – перетин камери змішування, м2; *F* – перетин виробітку, м2; *Q-q* – витрата ежектуємого потоку, кг/с; *f* – перетин струменя, м2; *q* – витрата ежектируючого потоку, кг/с.

Отримана залежність (1) для напору Δ Р, створюваного вентиляційною установкою, може бути використана при розв'язанні конкретних завдань, у рівняннях яких Δ Р буде відігравати роль напору еквівалентного вентилятора.

. (2)

З рішення (2) випливає, що концентрація забруднювача експоненціально зменшується. За час  концентрація у кожній точці зменшується в e раз. Подальше дослідження рішення (2) зручно провести в моделі простої початкової умови, коли в початковий момент часу маса забруднювача M0 знаходиться у малому об’ємі, який міститься на початку координат. Така початкова умова апроксимується дельта-функцією з множником M0 , тобто

. (3)

Підставляння (3) у (2) дає

. (4)

Згідно з рішенням (4) у певний фіксований момент часу t характерна область, в якій буде помітна кількість забруднювача, що лишився, визначається розміром Lз, при якому показник другої експоненти порядку одиниці, тобто

 або . (5)

При цьому у всіх точках простору зменшення концентрації забруднювача за рахунок розпаду визначається множником .

Рівняння  із заданими початковими та граничними умовами дозволяє прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та у часі практично для будь-яких можливих ситуацій.

Таким чином, оцінено вплив геометричних характеристик отворів для проведення примусової вентиляції в резервуарах на інтенсивність випаровування залишків світлих нафтопродуктів.

На основі розробленої інформаційної моделі розповсюдження забруднення атмосфери викидами з резервуарів із залишками нафтопродуктів прогнозовано та оцінено межі розповсюдження екологічної кризової ситуації у навколишньому середовищі.

**Четвертий розділ** присвячений експериментальному дослідженню екологічно безпечного процесу вентиляції резервуарів. При різних способах подачі припливного повітря в простір експериментальних резервуарів проводилися виміри втрати маси ГР та ЛЗР. Для точності вимірів втрати маси при вентиляції експериментальних резервуарів експеримент проводився також на воді. Результати досліджень свідчать про те, що зміни відносних значень втрати маси для однокомпонентних рідин, що досліджувались (а саме – вода, толуол, октан та гексан) у вентильованих резервуарах є лінійними.

Результати досліджень зміни відносних значень втрати маси для багатокомпонентних рідин (бензини, дизельне паливо) подані на рис. 5 та рис. 6.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 5 – Дослідження втрати маси бензинів А-92/95 при різних схемах подачі припливного повітря | Рисунок 6 – Дослідження втрати маси дизельного палива при різних схемах подачі припливного повітря |

Результати цих досліджень свідчать про те, що зміни відносних значень втрати маси для багатокомпонентних рідин (а саме – дизельне паливо та бензини) у вентильованих резервуарах не є лінійними. При цьому швидкість зміни відносних значень втрати маси для запропонованого ежекторно-вихрового способу подачі повітря для всіх досліджуваних рідин суттєво вище, ніж при інших способах організації вентиляції.

На підставі отриманих у дисертаційній роботі даних стає очевидним, що способи вентиляції внутрішнього простору резервуара мають істотне значення. На рис. 7 показана загальна діаграма втрати маси досліджуваними рідинами за 1 годину вентиляції при використанні різних способів подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара за даними лабораторних експериментів, що були проведені в рамках дисертаційного дослідження.

Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випаровувалися з рідин при однакових витратах повітря, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випаровувалися з рідин при однакових витратах повітря

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номери схем подачі повітря | Відносна швидкість повітря | Частки, що випаровувалися з рідини |
| вода | дизпаливо | бензини А-92/95 | толуол |
| 1 – інноваційна  | 2,4 | 0,08 | 0,08 | 0,63 | 0,7 |
| 2 – назустріч  | 1,8 | 0,01 | 0,01 | 0,35 | 0,32 |
| 3 – традиційна  | 1 | 0,02 | 0,02 | 0,25 | 0,11 |
| 4 – змішана  | 1,9 | 0,01 | 0,01 | 0,34 | 0,15 |



Рисунок 7 – Залежність втрати маси рідинами за 1 годину вентиляції, отримана експериментальним шляхом

Дані табл. 1 свідчать, що при ежекторно-вихровому способі подачі повітря у внутрішній простір резервуара відносна швидкість в 2,4 рази вища, ніж при організації подачі припливного повітря традиційним способом. При цьому частка рідини, що випаровувалася, більша в 4 рази для води й дизпалива, в 2,52 – для бензинів, й в 6,3 – для толуолу при однаковій витраті повітря.

На основі проведених досліджень встановлено причини підвищення (або зниження) ефективності вентиляції при зміні способу подачі повітря. З дослідів випливає, що на процес масообміну при вентиляції резервуара швидкість і рухливість повітря впливає не значно. При практично однаковій рухливості повітря в резервуарі значний вплив на масообмін має спосіб подачі повітря й ступінь перемішування його з рідинами.

Процес дегазації можна прискорити не стільки збільшенням кількості подаваного повітря, скільки вдосконалюванням способу подачі повітря. Застосування ежекторно-вихрового способу перемішування повітря дозволяє скоротити час дегазації, а отже, і час підготовки резервуарів до ремонту. Одночасно скорочуються енергетичні витрати, тому що для одержання еквівалентного ефекту, в порівнянні із прототипами, потрібно нагнітати меншій об’єм повітря. Підвищується коефіцієнт корисної дії (ККД) вентиляції. Підвищення ККД означає зниження енергетичних (отже, матеріальних) витрат на підготовку резервуара до ремонту.

У таблиці 2 представлені розрахунки коефіцієнта ефективності у формулу інтенсивності випаровування М, для кожної із досліджуваних схем подачі припливного повітря.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта ефективності випаровування

|  |  |
| --- | --- |
| Схема подачі струменя припливного повітря | Коефіцієнт ефективності АО |
| вода | дизпаливо | бензиниА-92/95 | толуол |
| 1 – інноваційна  | 4 | 4 | 2,52 | 6,36 |
| 2 – назустріч  | 0,5 | 0,5 | 1,4 | 2,9 |
| 3 – традиційна  | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 – змішана  | 0,5 | 0,5 | 1,36 | 1,36 |

Таким чином, на основі проведених експериментальних досліджень процесу примусової вентиляції резервуарів зберігання нафтопродуктів визначено, що за інноваційного способу подачі повітря у внутрішній простір ємності коефіцієнт ефективності випаровування вуглеводнів становить від 2,52 для бензину до 6,36 для толуолу, що значно перевищує відповідні значення для інших схем подачі струменя припливного повітря. Тому обґрунтовано високий рівень ефективності та екологічної безпеки запропонованого способу дегазації резервуарів, що дозволяє за короткі проміжки часу максимально очистити ємність та створити вибухопожежобезпечні умови проведення вогневих ремонтних робіт.

**П’ятий розділ** присвячено оцінці зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря при інноваційному способі вентиляції резервуарів. Для зниження викидів парів вуглеводнів в атмосферу при проведенні дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів необхідно скоротити час її проведення. Поставлена задача вирішується за рахунок того, що під час примусової вентиляції подачу атмосферного повітря здійснюють з протилежних сторін резервуара через два поворотні повітряні ежектори, встановлені на внутрішніх фланцях люків-лазів першого поясу, механізми повороту яких дозволяють змінювати напрями струменів повітря, що усуває застійні зони всередині резервуарів різних форм та розмірів та створює висхідні повітряні потоки, причому перше перемішування внутрішнього парогазового середовища з повітрям, що подається в резервуар, відбувається в камері змішування повітряного ежектора, а друге у внутрішньому об'ємі резервуара з використанням маневруючих струменів повітря, що виходять з дифузорів повітряних ежекторів (рис. 8).



1 – резервуар; 2 – технологічний залишок нафтопродукту; 3 – повітродувні агрегати; 4 – заземлені повітропроводи; 5 – шиберно-поворотні пристрої; 6 – фланці люків-лазів; 7 – поворотні повітропроводи; 8 – повітряні ежектори; 9 – обертальновисхідний повітряний потік всередині резервуару; 10 – фільтрувальні елементи; 11 – зовнішні фланці світлових люків

Рисунок 8 – Принципова технологічна схема процесу дегазації резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів

Таким чином, використання запропонованого способу дегазації резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів дозволяє скоротити час проведення дегазації резервуарів різних форм та розмірів за рахунок інтенсифікації перемішування внутрішнього парогазового середовища з атмосферним повітрям, а наявність фільтрувальних елементів уловлювання парів нафтопродуктів дозволяє усунути шкідливі викиди в атмосферу.

На основі проведеного літературного аналізу рівня екологічної безпеки технологій та установок для уловлювання легких фракцій вуглеводнів, що використовуються на об’єктах НГК, обрано абсорбційно-конденсаційний метод очистки ППС від нафтопродуктів. Поєднання методів очистки ємностей, абсорбції та утилізації уловлених відходів дозволяє досягти високої ефективності зниження техногенного навантаження на НПС.

Розроблена технологія, що ґрунтується на обраному методі, включає у себе пристрій, до складу якого входить патрубок із вбудованим конічним завихрувачем і охолоджувальною обичайкою, що забезпечує активну конденсацію парів вуглеводнів (рис. 9).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 9 – Принципова технологічна схема очистки пароповітряної суміші |

Принцип дії заключається в уловлюванні парів у відцентровому полі. Пари, що надходять з резервуара (ємності для зберігання вуглеводнів), проходять через патрубок 1, і поступають у відцентровий конічний завихрувач 2, при цьому на корпусі 3 відбувається їх охолодження охолоджувачем 4, конденсуються на ньому і стікають через збірник 5 і патрубок 6 у резервуар. Конічний завихрувач дозволяє забезпечити рух практично всього закрученого потоку пари до обичайки з високою швидкістю, що й обумовлює повне уловлювання вуглеводневих парів. Розроблена установка застосовується на резервуарах АЗС, нафтосховищах тощо.

Для оцінки зони небезпеки, що визначається впливом резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів під час їх природної вентиляції з метою дегазації на етапі передремонтних робіт, використовували метод, запропонований U.S. Environmental Protection Аgency. Центром Office of Emergency Management, EPA, розроблений програмний продукт ALOHA® 5.4.4, який застосовується для розрахунку розподілення концентрацій при випаровуванні забруднювальних речовин унаслідок їх надходження до НПС за різних умов.

Всі припущення щодо масштабів випаровування у процесі оцінки ризику орієнтуємо на найгірші наслідки. Ранжування ступеня забруднення проводили за концентраціями бази даних концентрацій Acute Exposure Guideline Levels. Проведено розрахунок зони забруднення та рівнів концентрації під час дегазації резервуара об’ємом 5000 м3. Результати відображені на рисунках 8 та 9. Наведено три зони на основі значення ГДК для бензину або ізооктану, що дорівнює 5 мг/м3. Ці зони пофарбовані в три різних кольори: червоний, помаранчевий та жовтий відповідно до зменшення рівня небезпеки. Текстова інформація на екрані програми вказує на розміри визначених небезпечних зон:

- червоний: 1,2 кілометра – (5 мг/м3);

- помаранчевий: 1,6 кілометра – (3 мг/м3;

- жовтий: 2,9 кілометра – (1 мг/м3).

На рисунку 10 відображена зона активного забруднення атмосферного повітря парами бензину. У випадку перебування населення у червоній зоні існує реальна небезпека гострих токсичних ефектів.

|  |  |
| --- | --- |
| мг/м3кмВітер> 5 мг/м3> 3 мг/м3> 1 мг/м3напрямок вітру  | км |
| Рисунок 10 – Забруднення від парів бензину під час природної вентиляції резервуарів | Рисунок 11 – Концентрація парів бензину на відстані 1 кілометру у напрямку на південний захід |

На рис. 11 показана швидкість зміни концентрації парів бензину на відстані 1 км від місця розташування резервуара для зберігання цього нафтопродукту під час вентиляції без очищення паро-повітряної суміші, що надходить до атмосферного повітря.

хвилин

Запропонована абсорбційно-конденсаційна технологія уловлювання легких фракцій вуглеводнів з пароповітряної суміші, що виділяється з резервуару в атмосферне повітря під час проведення примусової вентиляції з ежекторно-вихровим способом подачі повітря, розроблена у цілях реалізації природоохоронного заходу. Проект спрямований на зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок, по перше, мінімізації вмісту нафтових вуглеводнів у викидах відповідно до нормативних вимог екологічної безпеки, по друге, дотримання принципів раціонального природокористування, за рахунок використання вловлених нафтопродуктів у якості товарного продукту. Ефективність пропонованого заходу, направленого на підвищення екологічної безпеки, визначається як відношення одержаного позитивного результату від його впровадження до загальних витрат, необхідних для його реалізації.

Розмір відшкодування збитків за наднормативний викид забруднювальної речовини в атмосферне повітря розраховується на основі розміру мінімальної заробітної плати, установленої на час виявлення порушення, помноженої на коефіцієнт 1,1, з урахуванням регулювальних коефіцієнтів і показника відносної небезпечності кожної забруднювальної речовини.

На основі вхідних даних встановлено розмір відшкодування збитків За, завданих атмосфері у результаті наднормативних викидів парів бензину в атмосферне повітря від одного резервуара РВС-5000, що складає 1,904 тис. грн.

Еколого-економічний ефект загальний від впровадження розробленої ресурозберігаючої технології становить 2,112 тис. грн.

**ВИСНОВКИ**

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, поставлено і розв’язано актуальна наукову задачу щодо підвищення рівня екологічної безпеки об’єктів НГК та інших комплексів зберігання нафтопродуктів шляхом розробки та обґрунтування технічних рішень проведення передремонтної підготовки резервуарів для зберігання вуглеводнів.

1. На основі вивчення стану екологічного впливу вибухопожежонебезпеки вогневих ремонтних робіт на резервуарах із залишками нафтопродуктів виявлено, що підготовка резервуарів до очищення, ремонту, реконструкції й демонтажу є екологічно небезпечними операціями, які потребують удосконалення існуючих технологічних схем вентиляції резервуарів як одного з найбільш доступних, технологічно легко здійсненних методів підготовки до вогневих робіт з метою зниження екологічно шкідливого впливу на довкілля.

2. Запропоновано теоретико-методичні підходи до розв’язання завдання розрахунку концентрацій викидів забруднюючих речовин із резервуарів з залишками нафтопродуктів, новий підхід до врахування у розрахунках седиментації та еволюції хмари забруднюючих частинок у полі тяжіння від цих резервуарів.

3. Обґрунтовано принципову схему та конструктивне рішення побудови експериментального напівпромислового стенду, який дозволяє провести багатостороннє дослідження екологічної небезпеки технологічного процесу підготовки резервуарів із залишками нафтопродуктів до вогневих робіт різноманітними методами їх примусової вентиляції, що дозволило розробити методику проведення дослідів та оцінки точності результатів вимірювання.

4. Розроблено і застосовано принципово новий ежекторно-вихровий спосіб подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара, який покращує результат провітрювання в порівнянні з існуючими методами.

5. Експериментальними дослідженнями підтверджені встановлені теоретичні закономірності процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів; методика моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин, а також процесів дегазації.

6. Експериментально доведено, що при моделюванні процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин припустиме використання однакових методик з урахуванням коефіцієнту ефективності при розрахунку швидкості випарювання. Визначено вплив способу подачі припливного повітря на інтенсивність масообміну та запропоновано найбільш екологічно небезпечний спосіб вентиляції, який забезпечується за рахунок інтенсивного перемішування подаваного повітря з парами нафтопродуктів у резервуарі.

7. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень запропонована методика розрахунків процесу дегазації при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуарів, яка орієнтована на зниження впливу викидів на довкілля.

8. Оцінено зону активного забруднення при здійсненні примусової вентиляції з традиційною подачею повітря, використовуючи програмне забезпечення для моделювання дисперсії забруднюючих речовин. Встановлено, що при примусовій дегазації резервуару РВС-5000 1,5 тони парів нафтопродуктів потрапляють в атмосферне повітря, створюючи зону гострого токсичного впливу розміром 1,2 км.

**список опублікованих праць за темою дисертації**

***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:***

1. Гарбуз С. В. Повышение экологической безопасности принудительной вентиляции резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 6(4). С. 67–72.
2. Гарбуз С. В., Ковалёв А. А., Титаренко А. В. Оценка экологической опасности выбросов паров нефтепродуктов при эксплуатации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. *Вісник НТУ “ХПІ»*. 2015. №52(1161). С. 146–152.

*Здобувачем проведено натурний експеримент з оцінки концентрацій парів бензину і дизельного палива в приземному шарі атмосфери при «великому диханні» резервуара РВС-5000.*

1. Гарбуз С. В., Удянский Н. Н. Экологическая опасность дегазации резервуаров хранения нефтепродуктов. *Комунальне господарство міст*. 2015. Вип. 124. С. 43–48.

*Здобувачем проаналізовано ефективність застосування фільтруючих систем при дегазації резервуарів з метою підвищення екологічної безпеки процесу.*

1. Ларин А. Н., Гарбуз С. В., Ковалёв А. А. К вопросу создания нового экологически безопасного процесса принудительной вентиляции резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2015. № 10–11. С. 204–216.

*Здобувачем обґрунтовано необхідність впровадження установок уловлювання парів вуглеводнів та умови їх ефективної експлуатації.*

1. Гарбуз С. В. Системний підхід до зниження екологічної небезпеки вентиляції резервуарів з нафтопродуктами. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків : НТУ "ХПІ"*, 2016. № 7 (1179). С. 106–118.
2. Адаменко М. І., Гарбуз С. В. Інформаційна модель розповсюдження забруднення атмосфери викидами із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків : НТУ "ХПІ"*, 2016. № 17 (1189). С. 115–121.

*Здобувачем надано комплекс математичних розрахунків для різних видів екологічного впливу об’єктів нафтогазового комплексу на атмосферу.*

1. Роянов О. М., Гарбуз С. В. Визначення впливу характеристик резервуарів на інтенсивність випаровування світлих нафтопродуктів під час проведення в них примусової вентиляції. *Проблемы пожарной безопасности. Харьков: Национальний университет гражданской защиты Украини*, 2017. Вып. 42. С. 110–114.

*Здобувачем оцінено вплив геометричних характеристик отворів для проведення примусової вентиляції в резервуарах на інтенсивність випаровування залишків світлих нафтопродуктів.*

1. Гарбуз С. В., Ковалёв А. А. Разработка новой технологии дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences Budapest*. 2015. № III (8), (73). С. 98– 102.

*Здобувачем розроблено експериментальний стенд геометрично подібного промисловому резервуару РВС-5000, який дозволив оцінити екологічну небезпеку процесу примусової вентиляції.*

1. Khalmuradov B. D., Harbuz S. V., Ablieieva I. Y. Analysis of the technogenic load on the environment during forced ventilation of tanks. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 1/3(39). P. 45–52.

*Здобувачем надана оцінка зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря за рахунок впровадження ежекторно-вихрового способу подачі повітря під час примусової вентиляції резервуарів.*

***Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації:***

1. Гарбуз С. В., Рудаков С. В Значение критической напряженности электростатического поля при очистке резервуаров от остатков нефтепродуктов: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). Минск: КИИ, 2014. С. 26–27.
2. Удянский М. М., Гарбуз С. В. Параметры электризации паровоздушного простанства внутри резервуара: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Забезпечення пожежної та техногенної безпеки». Х.: НУЦЗУ, 2014. С. 67–68.
3. Гарбуз С. В. Применение криогенного бластинга при очистке внутренних поверхностей резервуаров хранения: материалы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности-2015». М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 124–126.
4. Гарбуз С. В., Удянский М. М., Ковальов О. О. Обладнання та методи рекуперації вуглеводневих парів: тези доповідей 12-го міжнародного симпозіуму Українських інженерів-механіків у Львові. Л.: Національний університет «Львівська політехніка», 2015. С. 67–68.
5. Удянский М. М., Гарбуз С. В. Оценка выбросов паров нефтепродуктов из дыхательных систем резервуаров хранения светлых нефтепродуктов: Материалы VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. С. 206–211.
6. Гарбуз С. В., Ковальов О. О. Опасность выбросов паров нефтепродуктов из резервуаров: материалы Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации». Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. С. 279–280.
7. Гарбуз С. В. Забруднення атмосфери залишками нафтопродуктів під час дегазації резервуарів: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки». Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. С. 124–128.
8. Гарбуз С. В. Метод рекуперації вуглеводневих парів: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2016. С. 26.
9. Гарбуз С. В. Моделирование процесса эжекции: материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы». Кокшетау: РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан», 2017. С. 67–70.
10. Халмурадов Б. Д., Гарбуз С. В. Розрахунок можливих екологічно-шкідливих викидів в атмосферу із резервуарів з залишками нафтопродуктів: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2017». К.: Національний авіаційний університет, 2017. С. 7.87–7.93.
11. Гарбуз С. В., Халмурадов Б. Д. Резервуар як джерело забруднювання атмосфери: матеріали 19-й Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку». Київ: ІДУЦЗ, 2017. С. 91–92.
12. Гарбуз С. В. Процес прискорення видалення горючих парів і газів з резервуарів зберігання нафтопродуктів: збірник наукових праць XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2017. С. 194–195.
13. Гарбуз С. В., Ликов О. М. Дослідження техногенної та екологічної безпеки процесу рекуперації нафтопродуктів: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. С. 149–151.

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

1. Пат. 111870 Україна, МПК (2006.01) B08B 9/08, B08B 9/34. Спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів / О. М. Ларін, М. М. Удянський, С. В. Гарбуз, О. О. Ковальов та ін.; заявник та патентовласник Національний університет Цивільного захисту України. – № u2016 04943; заявл. 04.05.2016; опубл. 25.11.2016, бюл. № 22. – 4 с.

*Здобувачем розроблено спосіб дегазації резервуарів на основі ежекторно-вихрового методу примусової вентиляції резервуарів.*

**АНОТАЦІЯ**

**Гарбуз С. В. Підвищення екологічної безпеки процесу вентиляції резервуарів з нафтопродуктами.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Сумський державний університет, 2018. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

Дисертація присвячена підвищенню рівня екологічної безпеки за рахунок розроблення технології примусової вентиляції резервуарів для зберігання нафтопродуктів, що реалізується інноваційним ежекторно-вихровим способом подачі повітря, та абсорбційно-конденсаційної технології уловлення парів летких вуглеводнів, що забезпечує дотримання нормативів шкідливого впливу на атмосферне повітря, та отримання додаткового еколого-економічного ефекту шляхом використання їх у якості товарної продукції.

Розроблено екологічно безпечний спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів, що дозволяє знизити рівень техногенного навантаження за рахунок скорочення тривалості вентиляції, концентрації вуглеводнів та очищенні пароповітряної суміші, що викидається в атмосферне повітря, у відповідності з нормативними вимогами екологічної безпеки.

Обґрунтована методика моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин, а також процесів дегазації. Проведено математичне моделювання ежекції, засноване на законі збереження імпульсу, що дозволяє визначити втрати напору та задавати початкову швидкість потоку повітря, яке подається у внутрішній простір резервуару. На основі розробленої інформаційної моделі розповсюдження забруднення атмосфери викидами з резервуарів із залишками нафтопродуктів спрогнозовано та оцінено межі розповсюдження екологічної кризової ситуації у навколишньому середовищі.

На підставі теоретичного й експериментального дослідження підтверджені закономірності процесу вентиляції резервуара із залишками світлих нафтопродуктів. Процес вентиляції резервуара з вуглеводневими рідинами складається із трьох періодів: I період – несталий, II період – стаціонарний, III період – дегазація.

За допомогою програмного продукту ALOHA® оцінено токсичну зону, пожежонебезпечну зону та область вибуху парів бензину при природній вентиляції резервуарів. Розмір зони гострого токсичного впливу на населення, що досягає 1,2 км, розраховувався для заданих початкових умов, зона пожежної небезпеки становить 80 м, зона вибуху не перевищують 13 м.

Виходячи з аналізу отриманих даних, стає очевидним, що запропонований спосіб вентиляції резервуарів з ежекторною подачею повітря є екологічно безпечним та доцільним. Індекс забруднення атмосфери за умови вентиляції з традиційною подачею повітря, що становить 1,6, не відповідає екологічним нормативам техногенного навантаження на довкілля.

**Ключові слова:** екологічна безпека, вентиляція резервуарів, вибухопожежонебезпека, ежекторна подача повітря, абсобційно-конденсаційна технологія.

**АННОТАЦИЯ**

Гарбуз С. В. Повышение экологической безопасности процесса вентиляции резервуаров с нефтепродуктами. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Сумский государственный университет, 2018. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

Диссертация посвящена повышению уровня экологической безопасности за счет разработки технологии принудительной вентиляции резервуаров для хранения нефтепродуктов, реализуемой инновационным эжекторного-вихревым способом подачи воздуха, и абсорбционно-конденсационной технологии улавливания паров летучих углеводородов, которая обеспечивает соблюдение нормативов вредного воздействия на атмосферный воздух, и получения дополнительного эколого-экономического эффекта путем использования их в качестве товарной продукции.

Разработан экологически безопасный способ дегазации наземных резервуаров для хранения светлых нефтепродуктов, что позволяет снизить уровень техногенной нагрузки за счет сокращения продолжительности вентиляции, концентрации углеводородов и очистке паровоздушной смеси, выбрасываемой в атмосферу, в соответствии с нормативными требованиями экологической безопасности.

Обоснованная методика моделирования процессов вентиляции резервуаров с остатками однокомпонентных и многокомпонентных жидкостей, а также процессов дегазации. Проведено математическое моделирование эжекции, основанное на законе сохранения импульса позволяет определить потери напора и задавать начальную скорость потока воздуха, подаваемого во внутреннее пространство резервуара. На основе разработанной информационной модели распространения загрязнения атмосферы выбросами из резервуаров с остатками нефтепродуктов спрогнозировано и оценено границы распространения экологической кризисной ситуации в окружающей среде.

На основании теоретического и экспериментального исследования подтверждены закономерности процесса вентиляции резервуара с остатками светлых нефтепродуктов. Процесс вентиляции резервуара с углеводородными жидкостями состоит из трех периодов: I период – неустойчивый, II период – стационарный, III период – дегазация.

С помощью программного продукта ALOHA® оценен токсическое зону, пожароопасной зоне и область взрыва паров бензина при естественной вентиляции резервуаров. Размер зоны острого токсического воздействия на население, достигает 1,2 км, рассчитывался для заданных начальных условий, зона пожарной опасности составляет 80 м, зона взрыва не превышают 13 м.

Исходя из анализа полученных данных, становится очевидным, что предложенный способ вентиляции резервуаров с эжекторной подачей воздуха является экологически безопасным и целесообразным. Индекс загрязнения атмосферы при условии вентиляции с традиционной подачей воздуха составляет 1,6, не соответствует экологическим нормативам техногенной нагрузки на окружающую среду.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, вентиляция резервуаров, взрывоопасности, эжекторная подача воздуха, абсобционно-конденсационная технология.

**SUMMARY**

***Garbuz S. V.* Increase of ecological safety of ventilation process of tanks with oil products. – Qualifying scientific work on the manuscript right.**

Thesis for the academic degree of the Candidate of Engineering Science in specialty 21.06.01 – ecological safety. **–** Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2018. Specialized Academic Council D 55.051.04.

The thesis is devoted to raising the level of environmental safety by developing the technology of forced ventilation of tanks for the storage of petroleum products, implemented by an innovative ejector-vortex air supply method, and an absorption-condensation technology for trapping volatile hydrocarbon vapor that ensures compliance with harmful air exposure standards and obtaining an additional environmental economic effect by using them as a commodity product.

An environmentally safe method for degassing land tanks for storing light oil products has been developed, which makes it possible to reduce the level of man-made load by reducing the duration of ventilation, concentration of hydrocarbons and purification of the air-steam mixture emitted into the atmosphere in accordance with the regulatory requirements of environmental safety.

The substantiated technique of modeling of processes of ventilation of tanks with the remains of one-component and multicomponent liquids, and also processes of degassing. The mathematical modeling of ejection based on the law of conservation of momentum allows to determine the pressure losses and set the initial velocity of air flow to the internal space of the reservoir. Based on the developed information model for the spread of atmospheric pollution by emissions from reservoirs with oil residues, the boundaries of the spread of the environmental crisis in the environment have been predicted and estimated.

On the basis of theoretical and experimental research, the regularities of the process of ventilation of a reservoir with residues of light oil products were confirmed. The process of ventilation of a reservoir with hydrocarbon liquids consists of three periods: the first period is unstable, the second period is stationary, the third period is degassing.

With the help of software product ALOHA®, the toxic zone, the fire hazard zone and the gasoline vapor explosion area were estimated with natural ventilation of the tanks. The size of the zone of acute toxic effects on the population reaches 1.2 km, was calculated for the given initial conditions, the fire danger zone is 80 m, the explosion zone does not exceed 13 m.

Based on the analysis of the obtained data, it becomes evident that the proposed method of venting tanks with ejector air supply is environmentally safe and expedient. The index of air pollution, provided ventilation with a traditional air supply is 1.6, does not comply with environmental standards of man-made environmental impact.

**Keywords:** ecological safety, reservoir ventilation, explosion hazard, ejector air supply, absorb and condensation technology, technological impact, ecological and economic efficiency.

Підписано до друку 21.05.2018.

Формат 60х90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл. – вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007