

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГАРБУЗ СЕРГІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 502.172:621.6.033(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

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

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Галузь знань – технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



С. В. Гарбуз

Науковий керівник: Халмурадов Батир Данатарович, к.мед.н., доцент

Харків – 2018

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. – Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2018.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04. Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2018.

У дисертаційній роботі приведено результати науково-прикладних досліджень із розробки системи вентиляції резервуарів з нафтопродуктами інноваційним способом та очистки газоповітряної суміші, що видаляється в атмосферне повітря, з додержанням вимог екологічної безпеки.

Результати роботи пройшли достатню апробацію та мають впровадження, що підтверджено відповідними актами.

Загалом у дисертаційній роботі одержано наступні результати.

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 нормативами 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, що подається у внутрішній простір резервуару. На основі розробленої інформаційної моделі поширення

забруднення атмосфери викидами з резервуарів із залишками нафтопродуктів спрогнозовано та оцінено межі поширення 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 одержаних 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 подання повітря, абсорбційно-конденсаційна технологія.

Список публікацій здобувача:

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.

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

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Роянов О. М., Гарбуз С. В. Визначення впливу характеристик резервуарів на інтенсивність випаровування світлих нафтопродуктів під час проведення в них примусової вентиляції. *Проблеми пожежної безпеки*. Харків: Національний університет громадянської захисти України, 2017. Вип. 42. С. 110–114.

8. 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.

9. 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.

Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації

10. 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) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы»*. Минск: КИИ, 2014. С. 26–27.

11. Удянский М. М., Гарбуз С. В. Параметры электризации паровоздушного пространства внутри резервуара. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Забезпечення пожежної та техногенної безпеки»*. Харків: НУЦЗУ, 2014. С. 67–68.

12. 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»*. Москва: Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 124–126.

13. 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*. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2015. С. 67–68.

14. 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.

15. 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.

16. Гарбуз С. В. Забруднення атмосфери залишками нафтопродуктів під час дегазації резервуарів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки»*. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. С. 124–128.

17. Гарбуз С. В. Метод рекуперації вуглеводневих парів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»*. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. С. 26.

18. 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.

19. 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»*. Київ: Національний авіаційний університет, 2017. С. 7.87–7.93.

20. Гарбуз С. В., Халмурадов Б. Д. Резервуар як джерело забруднювання атмосфери. *Матеріали 19-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку»*. Київ: ІДУЦЗ, 2017. С. 91–92.

21. 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 «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності»*. Львів: ЛДУ БЖД, 2017. С. 194–195.

22. 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: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. С. 149–151.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

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

ABSTRACT

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

Thesis for a Candidate of Technical Sciences Degree by specialty 21.06.01 – ecological safety. National University of Civil Defense of Ukraine, State Service of Ukraine for Emergency Situations, Kharkiv, 2018.

The defense of the dissertation will be held at the Specialized Academic Council D 55.051.04 meeting. Sumy State University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2018.

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.

Key words: ecological safety, reservoir ventilation, explosion and fire hazard, ejector and vortex air supply, absorb and condensation technology, technological impact.

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних позначень, символів, одиниць вимірювань, скорочень	11
Вступ	14
Розділ 1 Сучасний стан екологічної безпеки на об'єктах зберігання нафтопродуктів України	21
1.1 Аналіз екологічної небезпеки об'єктів нафтогазового комплексу ...	21
1.2 Оцінювання екологічно небезпечних наслідків великих аварій на об'єктах нафтозберігання	27
1.3 Теоретичні основи вентилявання пароповітряного простору резервуарів під час випаровування рідин у рухливе середовище	29
1.4 Критичний аналіз методів розрахунку рівня забруднення атмосфери	39
1.5 Аналіз рівня екологічної безпечності способів уловлювання легких нафтопродуктів	44
1.6 Постановлення завдань дослідження	48
Розділ 2 Характеристика об'єкта, методів і методики дослідження	50
2.1 Обґрунтування принципової схеми експериментального стенда	50
2.2 Конструкції експериментальних стендів	55
2.3 Вимірювані величини, прилади й методики вимірювань	59
2.4 Загальна методика проведення експериментального визначення екологічно безпечного способу подання повітря під час дегазації резервуарів	64
2.5 Оцінювання точності результатів вимірювань	67
Висновки до розділу 2	69
Розділ 3 Теоретичне моделювання ежекторного способу подання повітря у внутрішній простір резервуара	70
3.1 Постановлення завдання	70
3.2 Моделювання процесу ежекції	71
3.3 Моделювання втрат напору повітря при звуженні й розширенні	

поток	75
3.4 Методики розрахунку концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі	78
3.4.1 Розв'язання поставленої задачі за ідеальних умов	78
3.4.2 Вирішення завдання розрахунку концентрацій шкідливих речовин у пилогазоповітряних викидах	80
3.4.3 Завдання про седиментацію	81
3.4.4 Вирішення типового завдання про еволюцію хмари забруднюючих частинок у полі тяжіння	82
3.5 Інформаційна модель поширення забруднення атмосфери викидами з резервуарів із залишками нафтопродуктів	84
Висновки до розділу 3	97
Розділ 4 Експериментальне дослідження процесу екологічно безпечної вентиляції резервуарів	98
4.1 Обробка результатів експериментального дослідження процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів за різних способів подання повітря	98
4.2 Визначення розрахункових величин втрати маси рідини під час вентиляції експериментальних резервуарів	103
4.3 Порівняння експериментальних і розрахункових даних зміни інтенсивності випаровування залежно від способу подання повітря	105
4.4 Ефективність досліджуваних способів вентиляції резервуарів	109
4.5 Узагальнення результатів досліджень процесу конвективного масообміну	113
4.6 Коригування розрахункових формул для визначення швидкості випаровування нафтопродуктів під час вентиляції	121
Висновки до розділу 4	125
Розділ 5 Оцінювання зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря за рахунок застосування інноваційного способу	

вентиляції резервуарів	126
5.1 Екологічно безпечний спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів	126
5.2 Технологія очистки пароповітряної суміші від нафтових вуглеводнів	129
5.3 Оцінювання зниження індексу забруднення атмосфери при впровадженні запропонованого методу	131
5.3.1 Методологія оцінювання масштабів небезпечної ситуації та ризику для населення	131
5.3.2 Прогнозування масштабу зони та рівнів забруднення під час природньої вентиляції резервуарів світлих нафтопродуктів	134
5.4 Оцінювання ризику екологічної небезпеки	136
5.5 Оцінювання еколого-економічної ефективності проекту підвищення екологічної безпеки	138
5.5.1 Еколого-економічний ефект від впровадження ежекторно-вихрового способу примусової вентиляції	139
Висновки до розділу 5	141
Висновки	143
Перелік використаних джерел	145
Додатки	161

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ, СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення, символи

- φ – концентрація парів вуглеводнів, мг/м³;
- τ – тривалість процесу, с;
- ρ – густина, кг/м³;
- δ – товщина шару матеріалу, м;
- Δ – зміна параметра;
- Re – число Рейнольдса;
- Ho – число гомохронності;
- Fr – число Фруда;
- C – концентрація домішки, кг/м³;
- φ_0 – дисперсія напрямку вітру;
- Φ – потенціал швидкості;
- g – прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі, м/с²;
- l – характерний лінійний розмір, м;
- v – швидкість повітря, м/с;
- V – об'єм, м³;
- P – тиск, Па;
- Q – витрата, кг/с;
- f – переріз струменя, м²;
- F – переріз виробітку, м²;
- M – маса частинки, кг;
- S – ентропія, Дж/(кг·К);
- T – температура, К;
- W – інтенсивність випаровування, кг·с⁻¹·м⁻²;

Скорочення

АЗС – автозаправні станції;

ГДК – гранично-допустима концентрація;

ГР – горючі речовини;

ЗР – забруднюючі речовини;

ЕНПС – експериментальний напівпромисловий стенд;

ЕР – експериментальний резервуар;

ЛЗР – легкозаймисті рідини;

НГК – нафтогазовий комплекс;

НПС – навколишнє природне середовище;

ПВБ – пожежовибухобезпека;

ППС – пароповітряна суміш;

РВС – резервуари вертикальні сталі;

УЛФ – уловлювання легких фракцій.

ВСТУП

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, належать до джерел неконтрольованих викидів парогазоповітряних сумішей та проливів нафтопродуктів із подальшим виникненням пожеж і вибухів. Актуальними проблемами на сьогодні є зниження негативного впливу на довкілля та мінімізація ризику для населення під час роботи з такими екологічно небезпечними джерелами техногенного навантаження на навколишнє середовище.

На особливу увагу заслуговує питання забезпечення захисту людей і територій від впливу небезпечних факторів, що можуть виникнути за надзвичайних ситуацій на складах нафти та нафтопродуктів. Завдання підвищення екологічної безпеки під час очищення й ремонту резервуарів актуальне не лише для нафтової, нафтопереробної й нафтохімічної промисловостей, а й для інших галузей народного господарства, що споживають нафтопродукти та мають резервуари для їх 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 (ЗР) в атмосферне повітря відповідно до нормативів шкідливого впливу. Вирішенню цієї проблеми присвячені праці таких вітчизняних та зарубіжних науковців, як В. П. Назаров, А. А. Тарасенко, О. О. Кіршев, А. А. Коршак, О. М. Ларін, С. Ю. Назаренко. Проблема підготовки резервуарів зберігання нафтопродуктів і нафти до очищення, ремонту, реконструкції та 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 продовження терміну експлуатації вже існуючих сховищ.

Таким чином, актуальними завданнями є розроблення та обґрунтування екологічно безпечного способу вентилявання внутрішнього простору резервуарів; очищення викидів забруднюючих речовин згідно з вимогами нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря за рахунок уловлювання легких вуглеводнів та використання їх як товарного продукту.

Зв'язок роботи з науковими темами, планами, програмами. Основні завдання дисертаційної роботи щодо постановлення завдання екологічних досліджень, методів і засобів їх вирішення 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 проводили в 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 брав участь як відповідальний виконавець.

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 подання повітря та абсорбційно-конденсаційної установки для очищення викидів забруднюючих речовин під час проведення примусової вентиляції резервуарів.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі завдання:

– провести аналіз стану забезпечення мінімізації техногенного 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 довкілля;

– 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 подання припливного повітря на інтенсивність масообміну та ефективність і екологічну безпечність вентиляції резервуарів;

– розробити та обґрунтувати абсорбційно-конденсаційну установку для вловлювання 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 подання повітря та очищення викидів 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 проводили із застосуванням газового аналізу – для встановлення

якісного та кількісного складу газових сумішей на виході з резервуарів, при використанні сучасної контрольно-виміральної апаратури.

Оброблення 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 із вищенаведеними методами аналізу дало можливість коректно обґрунтувати основні теоретичні положення та висновки. У дисертаційній роботі використані загальні й спеціальні методи наукового дослідження: аналізу, порівняння і синтезу; класифікації та ранжування; математичної статистики; методи математичного моделювання; методи системного аналізу.

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 подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара, що дає можливість контролю техногенного навантаження на довкілля;

– уперше науково обґрунтовано та експериментально підтверджено умови подання 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;

– набула подальшого розвитку методика розрахунку та оцінювання 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 із залишками нафтопродуктів, спроектовано та сконструйовано стенд-резервуар з ежекторно-вихровим способом подання припливного повітря в його простір, що дозволяє закручувати подаване повітря і рідину в одному напрямку. У результаті цього процес випаровування проходить набагато швидше, що забезпечує концентрування парів нафтопродуктів та полегшує їх уловлювання за допомогою розробленої абсорбційно-конденсаційної установки. Застосування такого комплексу для дегазації резервуарів сприяє підвищенню екологічної безпеки вентильовання ємностей та одержанню товарного продукту. Розроблено та запатентовано спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів [7].

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

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри пожежної та техногенної безпеки об'єктів і технологій факультету пожежної безпеки НУЦЗ України при викладанні дисципліни «Промислова безпека сучасних виробничих технологій» (акт впровадження від 15.11.2017 р.).

Особистий внесок здобувача в проведенні теоретичних та експериментальних досліджень проектування технічного засобу/стенда; обробленні одержаних результатів та їх аналізі. У наукових статтях та працях за темою дисертації, опублікованих у співавторстві, особистий внесок

здобувача полягає у такому:

- обґрунтуванні необхідності впровадження установок уловлювання парів вуглеводнів та умови їх ефективної експлуатації [8];
- розробленні експериментального стенду геометрично подібного промислового резервуару РВС-5000, який дозволив оцінити екологічну небезпеку процесу примусової вентиляції [9];
- проведенні натурного експерименту з оцінювання концентрацій парів бензину і дизельного палива в приземному шарі атмосфери при «великому диханні» резервуара РВС-5000 [10];
- аналізі ефективності застосування фільтруючих систем при дегазації резервуарів з метою підвищення екологічної безпеки процесу [11];
- наданні комплексу математичних розрахунків для різних видів екологічного впливу об'єктів нафтогазового комплексу на атмосферу [12];
- оцінюванні впливу геометричних характеристик отворів для проведення примусової вентиляції в резервуарах на інтенсивність випаровування залишків світлих нафтопродуктів [13];
- розробленні способу дегазації резервуарів на основі ежекторно-вихрового методу примусової вентиляції резервуарів [7];
- оцінюванні зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря за рахунок впровадження ежекторно-вихрового способу подання повітря під час примусової вентиляції резервуарів [14].

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 13 міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях: VIII міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів (студентів), слухачів магістратури і ад'юнктів (аспірантів) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (м. Мінськ, 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (м. Харків, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції

молодих вчених та спеціалістів «Проблемы техносферной безопасности-2015» (м. Москва, 2015 р.); 12-ому міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків (м. Львів, 2015 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (м. Кокшетау, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (м. Гомель, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки» (м. Харків, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (м. Харків, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы» (м. Кокшетау, 2017 р.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Авіа-2017» (м. Київ, 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 «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (м. Львів, 2017 р.); VII Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 2017 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 23 наукові праці, зокрема 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, одержано 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 174 сторінок, основного тексту – 131 сторінка. Дисертація містить 9 таблиць та 47 рисунків, 128 найменувань списку використаних джерел на 15 сторінках та 8 додатків на 14 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОБ'ЄКТАХ ЗБЕРІГАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ УКРАЇНИ

1.1 Аналіз екологічної небезпеки об'єктів нафтогазового комплексу

Проблемам безпеки об'єктів НГК приділяється особлива увага на всіх рівнях законодавчої й виконавчої влади, при цьому одним з найактуальніших питань залишається забезпечення захисту людей і територій від впливу екологічно небезпечних факторів, що можуть виникнути за умови штатної експлуатації, аварійних ситуацій та під час проведення регламентних робіт на складах нафти і нафтопродуктів.

Найбільш екологічно небезпечними джерелами техногенного навантаження на довкілля є резервуари зберігання нафтопродуктів як об'єкти неконтрольованих викидів пароповітряних сумішей (ППС) чи парогазоповітряних сумішей (ПГПС) та проливів нафтопродуктів із подальшим виникненням пожеж і вибухів. За своїми фізико-хімічними властивостями світлі нафтопродукти є більш леткими і вибухопожежонебезпечними, що обумовлює екологічну небезпеку резервуарних парків зберігання цієї групи вуглеводнів.

Щорічно Україна споживає більше ніж 20 млн тонн нафти та [15], що передбачає експлуатацію досить великого резервуарного парку країни. Встановлено, що на 1 тонну видобутої або переробленої нафти необхідний для зберігання обсяг повинен становити 0,4–0,5 м³ [16].

Дослідження та аналіз джерел екологічного впливу під час експлуатації резервуарів (рис. 1.1) засвідчують, що резервуари вертикальні сталі (РВС), призначені для зберігання нафтопродуктів, навіть за штатної експлуатації відносяться до екологічно небезпечних об'єктів. Проведення регламентних робіт із забезпеченням екологічної та вибухопожежної безпеки є одним із базових завдань управління екологічною безпекою резервуарних парків.

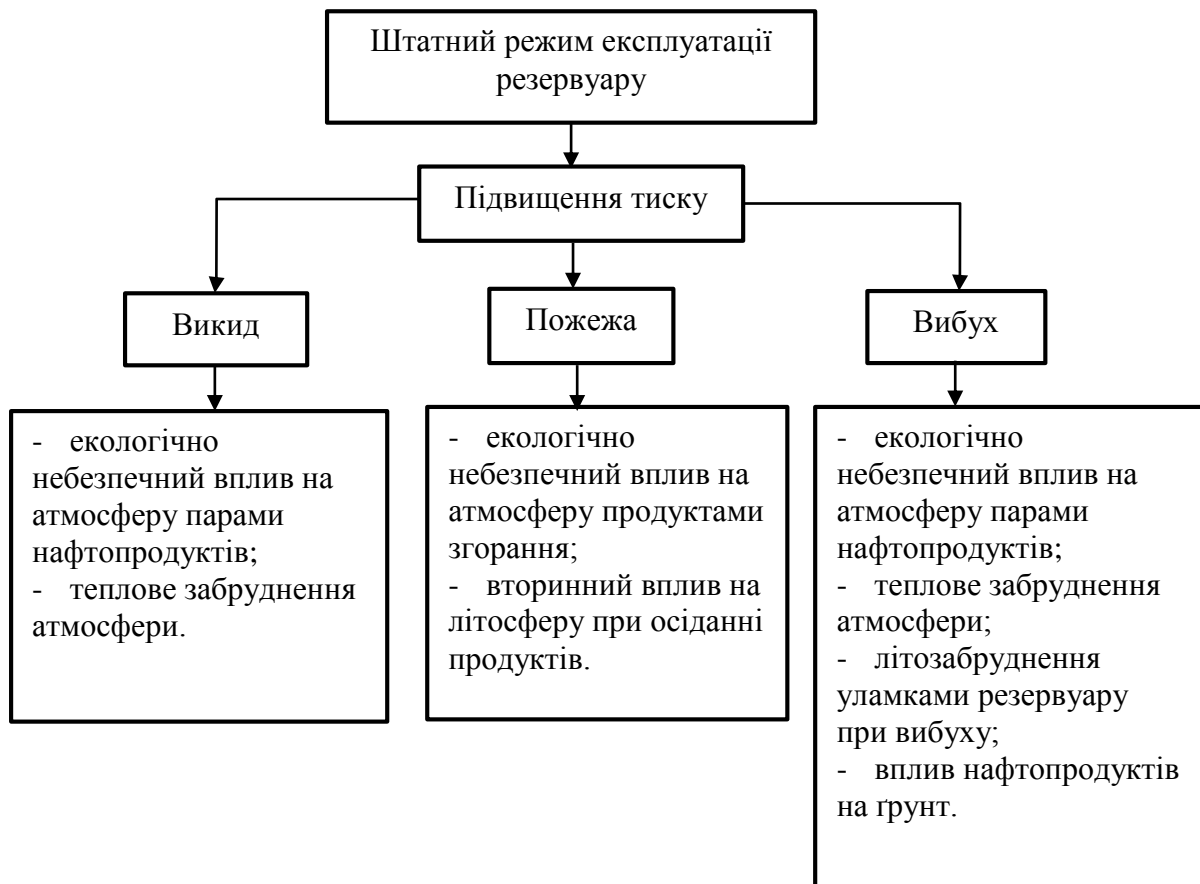


Рисунок 1.1 – Джерела екологічного впливу за штатного режиму експлуатації резервуарів

На підставі проведених досліджень, спрямованих на вирішення досить актуального науково-практичного завдання ідентифікації базових причин та оцінювання ризику виникнення аварій на РВС, встановлено, що недосконалість процесу вентиляції резервуарів є однією із найбільш суттєвих причин розвитку надзвичайних екологічно небезпечних ситуацій техногенного характеру [17–19].

Статистичні дані свідчать [15], що більше ніж 20 % від усіх екологічно небезпечних аварійних ситуацій на цих об'єктах відбувається внаслідок порушення нормативних вимог до проведення регламентних робіт. Періодичність виконання зачищення ємностей для зберігання нафтопродуктів зазначена у вимогах нормативних документів (повний перелік поданий у Додатку Б), а на кожному конкретному підприємстві підкріплена внутрішнім регламентом. Очищення резервуарів нафтопродуктів

проводиться у такі послідовні етапи: дегазація шляхом вентиляції; відкачування залишків палива; знімання люків і навісного устаткування; очищення резервуарів і видалення донних відкладень; діагностика із заміною (при необхідності) з'єднань і прокладок; детальний уважний огляд ємностей; складання акту виконаних робіт.

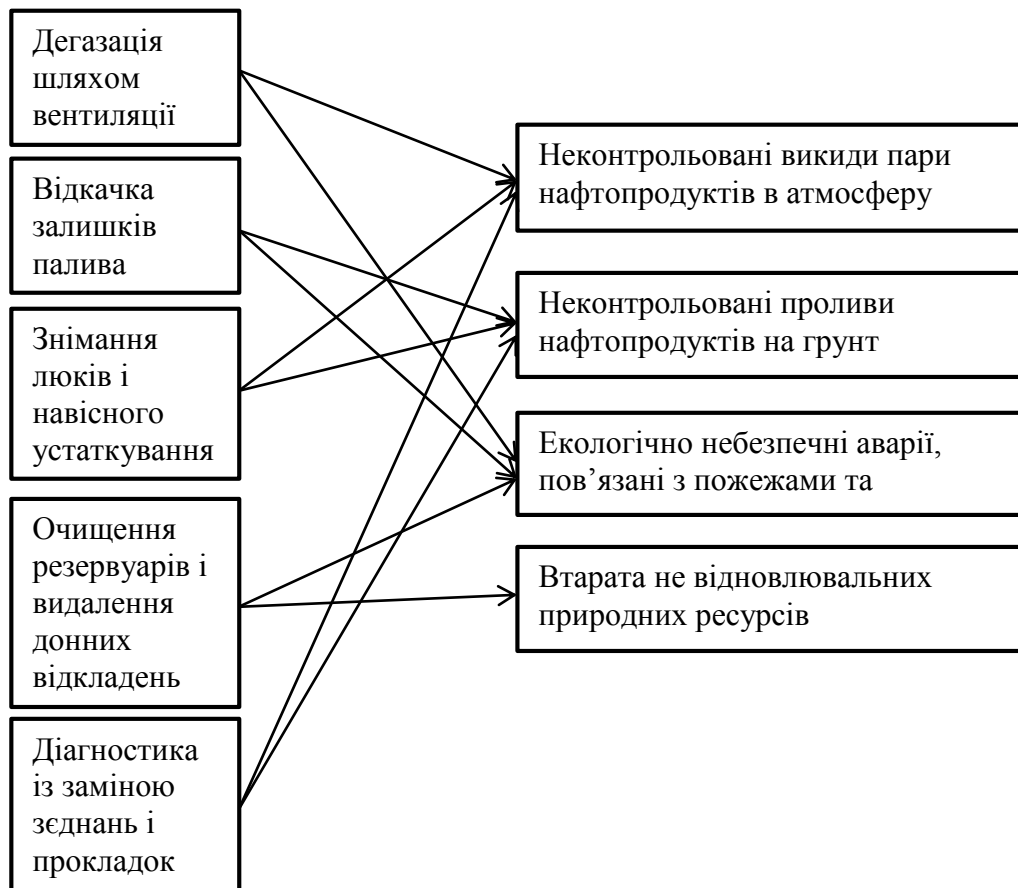


Рисунок 1.2 – Етапи підготовки резервуару до проведення регламентних робіт і їх екологічна небезпека

На рис. 1.2 показано, що більшість цих етапів пов'язана з потенційною екологічною небезпекою.

Однієї із найбільш складних і екологічно небезпечних технологічних операцій у процесі експлуатації резервуарів є підготовка резервуарів із залишками нафтопродуктів до вогневих ремонтних робіт [20]. Основними причинами виходу з ладу сталевих резервуарів є [21]:

- корозія корпусу резервуарів;

- зміна тиску (підвищення або зниження) у газовому просторі резервуара понад допустимі величини;
- схильність основного матеріалу корпусу резервуара, звареного з «киплячої» сталі, до крихкого руйнування в умовах різкого перепаду температур навколишнього повітря чи продукту, що зберігається, особливо в періоди негативних температур і сильних вітрів;
- нерівномірне осідання резервуарів у процесі експлуатації, особливо в районах з нестійкими ґрунтами;
- утворення напруг, особливо небезпечних у нижньому поясі резервуарів при поєднанні його стінок із днищем резервуара.

Порушення цілісності резервуарів відбувається у більшості випадків внаслідок корозійних ушкоджень металевої оболонки або в перші роки експлуатації через дефекти під час виготовлення [21]. Внутрішня корозія резервуарів, обумовлена наявністю ППС у газовому просторі, пошкоджує конструктивні елементи й з'єднання резервуарів. Небезпечні розміри корозійних зрушень металевої оболонки й дефекти виготовлення вимагають зупинку резервуарів на капітальний ремонт [22].

Обстеження резервуарів світлих нафтопродуктів на нафтобазах і нафтоперегінних станціях дозволило оцінити деякі параметри надійності їх експлуатації. Нормальна експлуатація резервуарів триває приблизно 15 років, після цього настає інтенсивне фізичне зношування. У резервуарах для світлих нафтопродуктів об'ємом 1 000 м³ найбільш уразливим є днище, період нормальної експлуатації якого становить 11 років. Статистичні дані [23] показують, що в резервуарах об'ємом 1 000 м³ корозія днища більш інтенсивна ніж корозія всіх інших елементів.

У резервуарах більших об'ємів (від 5 000 м³) у початковий період експлуатації спостерігаються порушення герметичності внаслідок дефектів зварних швів, що приводить до зупинки резервуарів на ремонт у перші три роки експлуатації [24].

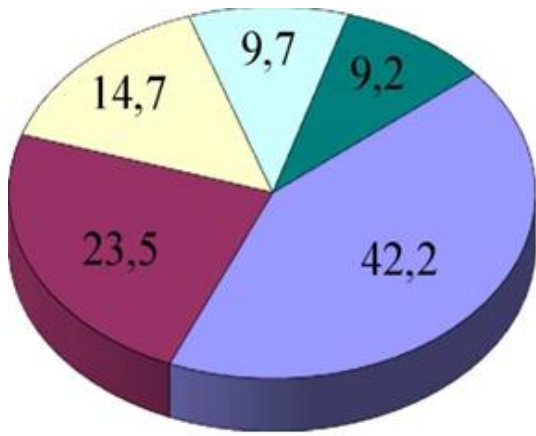
Пожежі й вибухи на резервуарах з-під горючих речовин (ГР) і

легкозаймистих рідин (ЛЗР) часто відбуваються під час очищення й підготовки їх до ремонту, та виконанні безпосередньо ремонтних робіт [25]. У цьому випадку, як і під час проведення ремонтних робіт на будь-якому іншому технологічному устаткуванні, виникають три основні фактори небезпеки появи пожеж і вибухів. По-перше, устаткування, що підлягає ремонту, виводиться з регламентної експлуатації й зазвичай розкривається, що створює умови для утворення горючої й вибухонебезпечної суміші вуглеводні-повітря. По-друге, у процесі ремонту застосовують технологічні джерела високих температур або відкритого вогню (під час виконання зварювальних, різальних і деяких інших операцій). По-третє, ремонт резервуарів пов'язаний із присутністю робітників, тому існує так званий «людський фактор», який проявляється у випадковості, непередбачуваності наслідків та складності прогнозу дій людини при роботі з вогнем на фоні психо-емоціонального стану [4].

Під час проведення ремонтних робіт на резервуарах із нафтопродуктами досить часто доводиться застосовувати джерела потенційної небезпеки, використання яких уникнути практично неможливо. У зв'язку з цим, одним із оптимальних та ефективних шляхів підтримання екологічної безпеки ремонтних робіт є попереднє вентилування резервуарів, що приводить до зниження концентрації парів нафтопродуктів до рівня безпечних значень.

З кожним роком кількість аварій на резервуарах стрімко зростає. Основною причиною такої тенденції є вичерпання основного експлуатаційного ресурсу для більшості резервуарів. Зношування експлуатованих вертикальних сталевих резервуарів згідно [26] становить 60–80 %. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні, зокрема пожежної, за 2013–2017 роки наведений у Додатку В.

На рис. 1.3 у вигляді діаграми поданий внесок кожного із основних джерел запалювання під час пожеж (екологічно небезпечних аварій, що пов'язані з пожежами) на резервуарах [1].



1. Пожежі від samozаймання пірофорних відкладень, необережне поводження з вогнем – 42,2 %
2. Вогневі та ремонтні роботи – 23,5 %
3. Іскри електроустановок – 14,7 %
4. Розряди статичної електрики – 9,7 %
5. Прояви атмосферної електрики – 9,2 %

Рисунок 1.3 – Розподіл причин виникнення пожеж на резервуарах

Згідно із статистичними даними, висвітленими в працях деяких науковців [21], основними причинами пожеж є:

- вогневі й ремонтні роботи – 24,3 %;
- іскри електроустановок – 15,3 %;
- розряди статичної електрики – 9,1%;
- прояви атмосферної електрики – 7,9 %;
- samozаймання пірофорних відкладень – 43,2 %;
- необережне поводження з вогнем;
- підпали й займання від інших джерел запалювання.

Третя частина всіх пожеж виникає внаслідок samozаймання пірофорних відкладень, необережного поводження з вогнем, іскор механічного походження, підпалів [20]. Частка пожеж у промисловому секторі під час проведення регламентних, ремонтних і вогневих робіт становить 13 % від загальної кількості пожеж. При цьому, на підприємствах НГК частка пожеж від ремонтних і вогневих робіт досягає 50 %, а на резервуарах – 70 % [2].

Пожежі, пов'язані з проведенням вогневих ремонтних робіт на резервуарах, можна умовно розділити на дві групи:

- пожежі, що виникли в період підготовки до ремонту;
- пожежі, що виникли безпосередньо при проведенні вогневих ремонтних робіт.

Таким чином, штатна експлуатація, передремонтні та ремонтні роботи

на резервуарах із нафтопродуктами є джерелом техногенного навантаження на НС у зв'язку з виникненням екологічно небезпечних ситуацій, що супроводжуються вибухами і пожежами, та становлять реальну загрозу для життя і здоров'я населення.

1.2 Оцінювання екологічно небезпечних наслідків великих аварій на об'єктах нафтозберігання

Нафтобази відносять до пожежовибухонебезпечних підприємств. Пожежна безпека цих об'єктів обумовлюється тим, що під час виробничих операцій (зливу, наливу, зберігання, перекачки), пов'язаних з великими кількостями ЛЗР та ГР, можливі витіки й непередбачувані розливи речовин, випаровування з дзеркал розливу їх парів та створення вибухопожежонебезпечних ППС. За статистичними даними [27] пожежі та вибухи становлять лише 12,1 % від загальної кількості аварій у наземних резервуарах. Однак, вони супроводжуються руйнуванням конструкцій резервуарів та допоміжного обладнання, скипанням, викидом чи розтіканням горючих рідин за межі резервуарного парку, що призводить до катастрофічних наслідків із значними матеріальними втратами та, головне, до загибелі людей.

Екологічні наслідки пожеж можна розділити на два напрямки:

- безпосередня дія пожежі, процесів горіння і вибуху на НПС;
- забруднення НПС під час застосування для гасіння пожежі різних вогнегасних засобів: піноутворювачів, порошоків і т.д.

Процес горіння супроводжується інтенсивним виділенням тепла і світловим випромінюванням. Використання повітря для підтримання процесу горіння є одним із основних факторів екологічної небезпеки пожежі, так як безпосередньо негативно діє на стан НПС. За теоретичними розрахунками при згорянні $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ бензину використовується близько 12 м^3 повітря, тобто $2,5 \text{ м}^3$ кисню, а при згорянні 1 л дизельного палива –

11,5 м³ повітря (2,4 м³ кисню). Об'єм диму, який утворюється при згорянні $1 \cdot 10^{-3}$ м³ бензину, рівний 15,59 м³.

Під час горіння бензинової фракції за високої температури утворюються продукти повного згорання: CO₂, N₂, та продукти неповного згорання, серед яких основними є CO і C (сажа).

У результаті газообміну на пожежі відбувається рух атмосферного повітря у зоні горіння і виділення з неї нагрітих продуктів згорання і димових парів, що разносяться на велику територію і осідають чи розчиняються в атмосфері, випадаючи потім у вигляді опадів, насамперед кислотних дощів.

Випромінювання факела, що виникає під час горіння в умовах пожежі, характеризується такими несприятливими наслідками:

- являючись потужним джерелом теплової енергії, проявляє шкідливий фізіологічний вплив на живі організми під час пожежі;

- велика кількість променевої енергії, що виділяється при пожежі, за деяких умов викликає спалахування горючих матеріалів чи вогнебезпечних парів і газів, що сприяє розвитку пожежі і виникненню нових осередків горіння;

- являючись джерелом нагрівання оточуючих речовин і матеріалів, приводить до їх термічного розкладу з виділенням високотоксичних продуктів.

Негативний вплив на НС проявляє не тільки пожежа, а і засоби для її гасіння (гасячі піни, порошки). Пожежу гасять піною середньої кратності, а для охолодження і зрошення використовують воду. Вода забруднюється нафтопродуктами, і крім того піноутворювач сам по собі наносить збиток природі. Тому на об'єктах НГК необхідно забезпечити систему збору стічних вод та відведення їх у промислову каналізацію.

Складність таких пожеж полягає ще в тому, що для їх ліквідації необхідно залучувати велику кількість спеціальної техніки та особового складу рятувальних підрозділів [27].

1.3 Теоретичні основи вентилявання пароповітряного простору резервуарів під час випаровування рідин у рухливе середовище

Вимоги нормативних документів з пожежної безпеки забороняють проведення вогневих ремонтних робіт без використання заходів, що виключають можливість виникнення пожежі, тобто без приведення резервуарів і ємностей у безпечний стан [28–33]. Однак у трактуванні «безпечний стан» і в методах забезпечення такого стану в чинних правилах є відмінності.

Правила пожежної безпеки України [3] містять традиційний, підтверджений багаторічною практикою, порядок підготовки резервуарів до ремонтних робіт, який вимагає після звільнення резервуара від нафтопродуктів від'єднання корпусу від усіх трубопроводів, відглушіння виробничих комунікацій, зачищення від залишків нафтопродуктів і бруду (із застосуванням неметалічних інструментів), пропарювання водяною парою, промивання водою й провітрювання.

Виявлені й усунуті дефекти під час періодичного огляду та ремонту резервуарів перешкоджають непродуктивній втраті палива й забрудненню НПС, підвищують пожежну безпеку об'єкта. Згідно з рекомендаціями [29–31], часткове обстеження резервуарів проводиться не рідше одного разу в 5 років, повне – один раз на 10 років. Для проведення повного обстеження обов'язково виконують очищення резервуарів відповідно до санітарних норм. Періодичність очищення ємностей викладена у вищевказаних вимогах і залежить від виду нафтопродуктів, технічного стану резервуарів, умов зберігання й частоти зміни сорту нафтопродуктів. Частіше очищення паливних резервуарів передбачене для ємностей з паливом, до якого пред'являються високі вимоги з якості й чистоти: паливо для реактивних двигунів, авіаційні й прямогінні бензини, масла і їх компоненти – не менш двох разів на рік. Один раз на рік проводять очищення ємностей пально-мастильних матеріалів (ПММ). Резервуари з автомобільними бензинами й

парафінами очищують один раз у два роки. Очищення мазутних ємностей, резервуарів з моторними паливами проводять у міру необхідності для забезпечення умов надійної експлуатації, пожежної безпеки й споживчих властивостей нафтопродуктів [34, 35].

Нормативні документи [29, 30, 33] містять конкретні рекомендації з технології очищення резервуарів перед ремонтом, а також із забезпечення пожежної безпеки ремонтних робіт (наприклад, рекомендації з екологічної безпеки та ПVB за рахунок вентиляції).

Згідно [34] способи забезпечення пожежної безпеки засновані на принципі розриву зв'язків мнемонічного трикутника горіння, трьома сторонами якого є: 1) окиснювач, 2) пальне; 3) джерело запалювання. Аналіз результатів сучасних досліджень дозволяє класифікувати способи забезпечення ПVB під час ліквідації аварій, надзвичайних ситуацій і ремонтно-відновлювальних робіт на технологічному встаткуванні за такими групами:

- зниження концентрації парів (газів) вуглеводнів;
- запобігання контакту джерела запалювання з вибухонебезпечними концентраціями парів вуглеводнів, горючих газів, сумішей газів;
- флегматизація (інгібування) газового простору технологічного устаткування, зазвичай інертними газами [36–38].

З метою приведення резервуара в безпечний стан перед проведенням ремонтних робіт за допомогою дегазації необхідно забезпечити вміст парів нафти:

- не більше $0,2 \text{ г/м}^3$ при виконанні будь-яких видів робіт, пов'язаних з перебуванням персоналу всередині резервуара без захисних засобів;
- не більше $0,3 \text{ г/м}^3$ при виконанні будь-яких видів робіт з доступом персоналу в захисних засобах дихання всередину резервуара.

Вентилювання резервуарів перед вогневими роботами не відноситься до нових методів підготовки до ремонту. Цей спосіб не тільки досить глибоко вивчений, а й широко поширений на практиці [39]. Однак пожежі й

вибухи продовжують траплятися, причому як під час технологічної вентиляції резервуарів, так і під час проведення вентиляційних робіт. Існуюча на сьогоднішній день значна тривалість процесу вентиляції при значних об'ємах залишків нафтопродуктів у резервуарах свідчить про необхідність пошуку нових способів вентилявання з видачею науково обґрунтованих рекомендацій з екологічно безпечної технології вентиляції.

В основу наукових знань про процеси вентилявання покладена локальна ізотропна теорія турбулентності академіка А.М. Колмогорова й О.М. Обухова – механізм дроблення крапель дисперсної фази в суцільному середовищі [40].

З метою звільнення технологічного апарата (резервуара) перед його ремонтом від продукту, що перебував всередині нього (залишків нафти або нафтопродуктів), використовують технологічні трубопроводи й спеціальні дренажні лінії [41]. Труднощі полягають у подальшому очищенні устаткування від горючих відкладень осаду, полімерних матеріалів і так званого «мертвого залишку». Тривалість природньої вентиляції залежить від виду нафтопродукту, що зберігався у резервуарі, від об'єму та форми самого резервуара та у більшості випадків становить 1–3 доби.

Для прискорення процесу видалення горючих парів і газів із резервуарів використовують примусову вентиляцію. Її здійснюють шляхом нагнітання припливного струменя повітря, що генерується за допомогою перенесених іскробезпечних вентиляторів із приводом від електродвигуна у вибухозахищеному виконанні або за допомогою ежекторів. Вентилятор, як правило, встановлюють на фланці люк-лазів, а ежектор – у світловому люку.

Подання повітря для реалізації примусової вентиляції може бути здійснене зустрічними потоками (струменями) з двох протилежних сторін резервуара такими способами: назустріч, традиційним, інноваційним та змішаним [5].

Перший спосіб підготовки резервуарів до ремонту: з метою підвищення екологічної безпеки під час проведення робіт на резервуарах

перед дегазацією їх заповнюють водою до рівня, що перевищує нерівності днища, з наступним поданням у напрямку днища струменя повітря під кутом 30–40° до дзеркала рідини. Швидкість подання коливається у межах від 10 до 50 м/с, причому нижня межа швидкості витримується перші 1,5–2 години від початку дегазації з наступним підвищенням швидкості до верхньої межі, при цьому кратність повітрообміну підтримується у межах 15–70 об/год залежно від місткості (ємності) резервуара [42, 43].

Другий спосіб підготовки резервуарів до ремонту (переважно до вогневих робіт): включає дегазацію резервуарів шляхом примусової вентиляції повітрям горючих газів, що перебувають усередині резервуара. Його особливість полягає у тому, що з метою підвищення продуктивності виконуваних робіт подачу повітря здійснюють зустрічними потоками. При цьому утворюються так звані площини зіткнення. Їх переміщують усередині простору горючих газів шляхом зміни тиску в зустрічних потоках [44]. Площини зіткнення зустрічних потоків переміщують по заданій програмі залежно від щільності й концентрації горючих газів для кожного конкретного випадку.

На сьогодні нафтова й нафтопереробна промисловість переходить на резервуари все більшого й більшого об'єму, тому традиційні методи забезпечення пожежної безпеки підготовчих (передремонтних) робіт уже застаріли, що обумовлює необхідність приведення їх відповідно до вимог екологічної безпеки.

Перевагами ежекторно-вихрового способу подання повітря є:

- простота технології вентиляції;
- застосування сучасної вентиляційної техніки, коли є реальна можливість подання повітря з великою швидкістю й витратою;
- вентиляція резервуарів пропонуваним способом може здійснюватися не тільки при підготовці до ремонтних робіт, але й при всіх інших технологічних операціях, що припускають провітрювання резервуарів;
- використання запропонованої технології примусової вентиляції дає

можливість застосовувати різні комбіновані методи забезпечення пожежної безпеки на об'єктах, що розглядаються.

Нижня межа запалення для більшості вуглеводнів, нафти і нафтопродуктів коливається у межах 30–50 г/м³ (0,8–2 % об.). З урахуванням коефіцієнта безпеки гранично допустима вибухобезпечна концентрація становить 2 г/м³ (або 0,05 % об.).

Значення безпечної концентрації парів вуглеводнів (φ) приймається на рівні їхньої гранично припустимої концентрації за санітарними нормами ($\varphi_{ГДК}$), або величини гранично-допустимої концентрації (ГДК) при виконанні робіт без протигазів, або величини гранично-допустимої вибухонебезпечної концентрації ($\varphi_{ГПВК}$) – під час ремонтних робіт ззовні апаратів (рис. 1.4) [45].

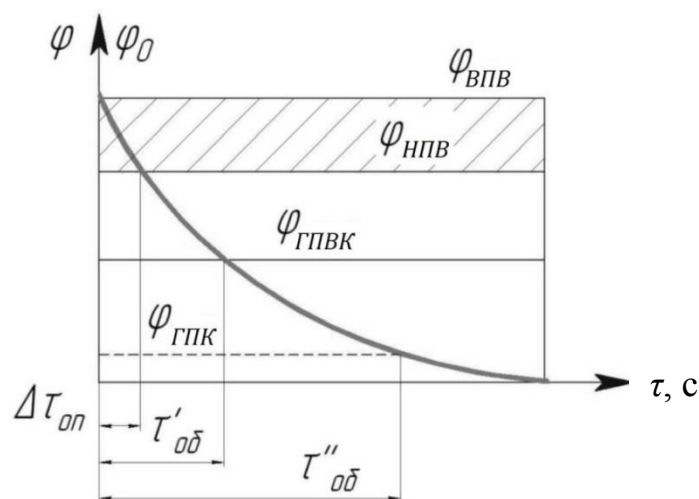
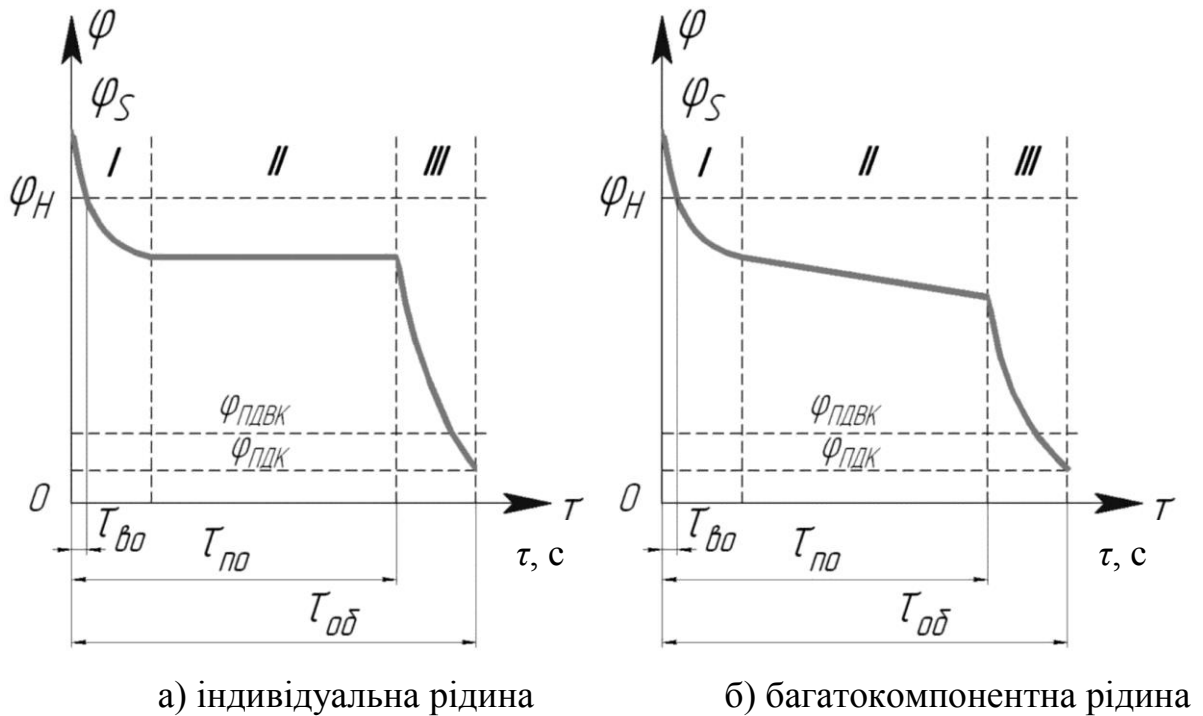


Рисунок 1.4 – Графік зміни концентрації горючого газу при вентиляції апарата без рідкої фази

Екологічна безпека вентиляції визначається утворенням горючого середовища усередині й зовні апарата при можливих джерелах запалювання, пов'язаних з роботою вентиляторів.

Процес вентиляції зазвичай розділяють на три періоди (рис. 1.5):

- несталий (час першого періоду τ_1);
- основний (час другого періоду τ_2);
- завершальний (час третього періоду τ_3).



$\tau_{\text{нв}}$ – тривалість небезпеки вибуху; $\tau_{\text{нп}}$ – тривалість небезпеки пожежі;

$\tau_{\text{заг}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ – загальна тривалість вентиляції

Рисунок 1.5 – Графік зміни концентрації парів рідини в часі за наявності в апараті рідкої фази

Несталий і завершальний періоди характеризуються безперервним зменшенням вибухонебезпечної концентрації парів у часі. Основний період на резервуарах з-під індивідуальних рідин є стаціонарним (рис. 1.5 а). Відмінною рисою процесу вентиляції апаратів з багатоконпонентними рідинами (бензин, гас, нафта) є нестационарність другого періоду через безперервну зміну властивостей рідини, що випаровується (рис. 1.5 б) [24].

Під час вентиляції апаратів з легко леткими рідинами відбувається швидке зниження концентрації до вибухобезпечного значення й потім випаровування залишків рідини, в апаратах при цьому вибухонебезпечні концентрації не утворюються. Для апаратів з-під високо киплячих рідин (з температурою кипіння вище 250 °С) вентиляція нераціональна внаслідок її тривалості в часі. Тому потрібен інший технологічний процес – підігрів повітря або пропарювання апарата [41].

Процес випаровування рідин у резервуарах під час їх вентиляції з фізичної точки зору є конвективною масовіддачею. При цьому процесі відбувається перенесення маси речовини з однієї фази в іншу не тільки молекулярною провідністю, але й за допомогою конвекції. Такий процес необхідно розглядати як єдиний процес перенесення маси, енергії й кількості руху. Незважаючи на успіхи науки в цій області, конвективний тепло- і масообмін залишається все ще недостатньо вивченим. А вирішення завдання конвективного масообміну зводиться до визначення щільності потоку маси між поверхнею рідкої фази й навколишнім середовищем [46].

Вирішення завдання масовіддачі можна розділити на три напрямки:

- аналітичне розв'язання системи диференціальних рівнянь, що описують перенесення кількості руху, енергії й маси речовини;
- наближені методи розрахунків турбулентного прикордонного шару;
- емпіричні методи розрахунків масообміну.

Для знаходження масового потоку в загальному випадку потрібно знати поля концентрацій. Ці поля можна визначити, розв'язавши систему диференціальних рівнянь, що описують процеси тепло- і масообміну. Однак аналітичне розв'язання системи рівнянь, що описують процес тепло- і масообміну, є досить складним математичним завданням.

Для турбулентного режиму потоку в прикордонному шарі характерна поява пульсацій швидкості й концентрації парів. Зв'язок між пульсаційними складовими й усередненими значеннями цих величин невідомий, тому загальне аналітичне розв'язання системи диференціальних рівнянь, що описують процес перенесення кількості руху, маси й енергії, у теперішній час не виконане.

Під час вентиляції резервуара спостерігається неоднорідна турбулентність, тобто маємо наявність градієнта швидкості основного потоку [47], у зв'язку із чим розв'язання завдання ще більш ускладнюється.

Для аналітичного розв'язання задачі конвективного масообміну звичайно дифузійні числа Nu_d або St_d , у які входить шукана величина β ,

представляють у вигляді залежності від інших чисел подібності Re , Pr_d , π_d , K , Gu , h , μ , що є незалежними змінними в розглянутому завданні. Комбінація незалежних чисел подібності може бути різною. У роботі [48] встановлена аналогія чисел π_d , K , Gu . Тому вибір для обробки одного із цих чисел залежить від вихідного завдання масообміну.

У вітчизняній і закордонній науковій практиці виконаний ряд досліджень по вивченню тепло- та масообміну. Однак дотепер важко дати остаточні рекомендації з визначення щільності потоку маси [49].

Розрахунки, виконані на підставі емпіричних формул різних авторів [48, 50, 51], дають результати значно відмінні між собою. Так, у роботі [52] досліджувалися питання масообміну сумішшю ЛЗР. Встановлено, що відносна густина потоку маси j_i / j при випарюванні компонента із суміші рідин не залежить від числа Re і температурних умов (тобто від π_d). Однак автор поширює цей висновок тільки на досліджувану ним область.

Питання щодо дослідження втрат нафтопродуктів при експлуатації резервуарів (цистерн) розглядалися в роботах [53–55]. У них піднімалися питання визначення коефіцієнта залежності випарювання частини бензину від його загальної маси. Дослідженню питань конвективного масообміну сумішшю ЛЗР присвячена частина роботи [52]. Крім того, що результати досліджень [53–55] прийнятні для «великого» і «малого» дихання, а в процесі вентиляції резервуара проходять інші процеси.

Дослідженню процесів конвективного масообміну при вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів присвячений ще такий ряд робіт. Так, В. П. Назаров вивчав закономірності зміни концентрації, інтенсивності випаровування, потужності викиду, щільності потоку маси, температури нафтопродуктів при вентиляції резервуарів залежно від гідродинамічних характеристик припливних струменів, способів подання повітря, геометричних розмірів резервуарів і температурних умов НПС [3]; В. В. Рубцов розробив науково обґрунтовані рекомендації до екологічної безпеки технології примусової вентиляції резервуарів з понтоном у якості

методу підготовки до вогневих і інших робіт на основі дослідження закономірностей процесів випарювання й дегазації, що протікають при видаленні вентиляцією з резервуарів з понтонами рідких залишків і парів бензинів [56]; В. П. Сорокоумов обґрунтував безпечні умови проведення ремонтних і аварійних робіт на резервуарах з локальними залишками нафтопродуктів і розробив пожежо-технічні рекомендації на основі експериментальних і теоретичних досліджень закономірностей масообміну й критичних умов займання [57]; А. В. Рожков розробив рекомендації й запропонував технічні рішення по забезпеченню ПVB гідроабразивоструменевого очищення нафтових резервуарів [55].

При узагальненні результатів дослідів по масообміну й представлення їх у вигляді залежності чисел подібності важливим є питання про визначальний розмір.

В. П. Назаров під час оброблення дослідних даних з дослідження процесів випарювання вуглеводних рідин у резервуарі [3] за визначальний лінійний розмір прийняв відношення обсягу резервуара до поверхні огорожувальних конструкцій. У роботі [56] при дослідженні інтенсивності випарювання нафтопродуктів у резервуарах з понтоном, за визначальний розмір узяті відношення висоти резервуара до його діаметра, а в роботі [57] при дослідженнях інтенсивності випарювання вуглеводних рідин у резервуарі з локальними залишками нафтопродуктів – відношення об'єму резервуара до поверхні огорожувальних конструкцій, як і в роботі [3].

Визначальними розмірами при проведенні експериментальних досліджень процесів тепломасоперенесення при взаємодії струменів або системи струменів із плоскою поверхнею були: діаметр поверхні [58], діаметр сопла [59], відстань між осями струменів [60].

У дослідженнях процесів масообміну при наливі бочок і цистерн за визначальний розмір був прийнятий діаметр цистерни (бочки) [53], однак без урахування зміни площі поверхні випарювання в процесі наливу.

При проведенні вищеописаних досліджень і експериментів для їх

авторів досить трудомісткими виявилися виміри рухомості газоповітряної суміші. Тому в якості визначальної швидкості була обрана середня рухомість газоповітряної суміші [61]. Одержана в такий спосіб гідродинамічна характеристика пульсацій у газовому просторі є найбільш зручною для обробки дослідних даних по масопереносу у вентильованому резервуару.

Огляд спеціалізованої літератури з питань турбулентного перенесення домішок і процесів конвективного масообміну показав, що в цей час застосовують два способи підготовки резервуарів НГК до ремонту: 1) шляхом примусової вентиляції повітрям внутрішнього простору резервуарів; 2) за допомогою природньої дегазації резервуарів.

Аналіз способів дегазації резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів і вивчення закономірностей турбулентного переносу парів нафтопродуктів, а також конвективного масообміну в газовому просторі резервуарів при проведенні примусової вентиляції вказав на необхідність подальших досліджень у цій області. Так, для практичного підтвердження теоретичних викладок потрібна розробка й створення спеціального стенда, за допомогою якого будуть проведені дослідження запропонованих у даній роботі способів примусової вентиляції резервуарів. Крім того, буде потрібна розробка нових методик вимірювання різних параметрів газових потоків (концентрацій, температур, витрат, тиску тощо).

Проведений аналіз свідчить про те, що використання технологій, прийнятних для очищення резервуарів від залишків нафтопродуктів (будь-якого складу й походження), не дозволяє забезпечити досить ефективного рівня очищення, що, у свою чергу, перебуває в прямій залежності із завданнями забезпечення екологічної безпеки промислових підприємств і підприємств НГК у цілому.

1.4 Критичний аналіз методів розрахунку рівня забруднення атмосфери

Розвиток теорії розсіювання домішок в атмосферному повітрі набув поширення у двох напрямках: рішення, одержані з рівняння турбулентної дифузії зі змінними коефіцієнтами [62, 63], та рішення, одержані на підставі статистичної теорії.

Згідно з першою теорією, М. Е. Берлянд [63] отримав рішення для точкового джерела, розташованого на висоті H . Для приземної концентрації домішки з урахуванням часу усереднення це рішення має такий вигляд:

$$C_{x,y,0} = \frac{M}{(1+m)K_1\varphi_0x^2\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{uH^{1+m}}{k_1(1+m)^2x} - \frac{y^2}{2\varphi_0^2x^2}\right], \quad (1.1)$$

де K_1 , u_1 – значення коефіцієнта турбулентної дифузії та швидкості вітру на одиничній висоті, м/с;

φ_0 – дисперсія напрямку вітру;

$$m = n(2 - n).$$

Теорія О. Г. Сеттона розвивалася у роботах багатьох авторів [64–66]. Більшість з них використовує формулу для стаціонарного точкового джерела:

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_zu} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}, \quad (1.2)$$

де σ_y , σ_z – горизонтальна та вертикальна дисперсія розподілу домішок.

Для розрахунку σ_y та σ_z використовують співвідношення $\sigma_y = Ax^a$; $\sigma_z = Bx^b$, де A , a , B , b – коефіцієнти, що залежать від стійкості атмосфери та шорсткості земної поверхні та визначаються експериментально, їх значення приведені в роботах.

Для розрахунку концентрації поширення домішок від об'ємного

джерела використовують припущення Холланда – об'ємному джерелу приписують початкові дисперсії σ_{y0} та σ_{z0} , створені «віртуальним» точковим джерелом:

$$C_{x,y,0} = \frac{M}{\pi(\sigma_{y0} + \sigma_y)(\sigma_{z0} + \sigma_z)} \exp\left[-\frac{y^2}{2(\sigma_{y0} + \sigma_y)^2}\right] \times \exp\left[-\frac{h^2}{2(\sigma_{z0} + \sigma_z)^2}\right]. \quad (1.3)$$

Розглядаючи цю проблему А.Е. Хайкіна [66] методом суперпозиції отримала формулу для розрахунку концентрації газових домішок, що виділяються з вертикальних джерел прямокутної форми:

$$C_{x,y,z} = \frac{0.125M}{lbu} \left(\operatorname{erf} \frac{y+l/2}{sx} - \operatorname{erf} \frac{y-l/2}{sx} \right) \left(\operatorname{erf} \frac{z-h}{sx} - \operatorname{erf} \frac{z+h}{sx} + \operatorname{erf} \frac{z+(h+b)}{sx} - \operatorname{erf} \frac{z-(h+d)}{sx} \right), \quad (1.4)$$

де l – довжина джерела, м;

b – ширина джерела, м;

h – відстань від поверхні, м;

$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt$ – інтеграл імовірності.

Формула для розрахунку максимальної приземної концентрації газових домішок при викиді холодної газоповітряної суміші з джерела круглої форми має вигляд:

$$C_M = \frac{AMn}{h^{4/3} 2\pi D \omega}, \quad (1.5)$$

де n – коефіцієнт, $n = 1-3$;

D – діаметр труби, м;

ω_0 – швидкість викиду газоповітряної суміші, м/с;

A – коефіцієнт, $A = 120-140$ в залежності від метеорологічних умов та кліматичних зон.

П. І. Андрєєв [64] отримав формулу для максимальної концентрації, прийнявши у якості базової формули О. Г. Сеттона:

$$C_M' = \frac{30,6\varphi M \eta}{hD\omega}, \quad (1.6)$$

де φ – коефіцієнт, що залежить від висоти труби, $\varphi = 1,15 - 1,95$;

η – коефіцієнт, залежний від часу відбору проб, для 30-хвилинного періоду, до якого відносяться максимальні разові концентрації, $\eta=0,4$.

Як бачимо, теорія дифузії домішок в атмосфері за відсутності перешкод розроблена достатньо повно. Споруди та технологічне обладнання, що розташовані на промисловому майданчику, деформують вітровий потік, змінюючи його швидкість та напрямок. У деформованому потоку розсіювання домішок підпорядковується іншим закономірностям та пов'язується з характеристиками їх поширення (течії).

В. В. Поляков [67] запропонував розглядати зону аеродинамічної тіні споруд як замкнений об'єм, що має, за аналогією з приміщеннями, що вентилуються, повітрообмін з оточуючим середовищем, кратність якого визначається експериментально. Виділивши в аеродинамічній тіні дві області, що відрізняються напрямком руху вихрових потоків, він отримав залежності для визначення середньої концентрації домішок у цих областях:

$$C_I = \frac{2M}{ulH} \text{ та } C_{II} = B \frac{M}{u} \frac{l}{H^3}, \quad (1.7)$$

де B – експериментальний коефіцієнт, що залежить від розмірів споруд.

С. І. Стріженов [68] досліджував значення концентрацій шкідливих речовин у міжцеховому просторі, використавши наступні припущення: концентрація в міжцеховому просторі постійна щільно до межі перемішування; кут розкриття газового струменя становить 5 %; профіль швидкості потоку над будівлями співпадає з логарифмічним профілем плинну уздовж гладкої поверхні. Утворивши такими припущеннями баланс кількості домішок, що забруднюють міжцеховий простір, він одержав рішення:

$$C = \frac{14M}{slu}, \quad (1.8)$$

де s – довжина джерела, м;

l – відстань між будівлями, м.

Близька до ідей С. І. Стріженова проблематика одержала розвиток у працях В. С. Нікітіна, В. Т. Самсонова [69]. Відмінність полягає у тому, що під час визначення кількості повітря, що провітрює зону аеродинамічної тіні будівлі, використовували закономірності плоского вільного струменю, нижньою межею якого вважали лінію нульової швидкості, розташування якої довели експериментально. Запропоновані залежності мають такий вигляд:

- для лінійних джерел:

$$C = \frac{nmK_hM}{xlu}. \quad (1.9)$$

- для точкових джерел:

$$C = \frac{mK_hM}{u} \left[\frac{H}{Pl} + \frac{42s}{(1,4l + x)^2} \right], \quad (1.10)$$

де n – коефіцієнт, величина якого залежить від типу споруд та зони, для яких визначається концентрація;

m , K_h – коефіцієнти занесення шкідливої речовини у циркуляційну зону, величина яких залежить від місця розташування та висоти джерел забруднення (викидів);

p – величина, що характеризує розміри циркуляційної зони у напрямку руху вітру;

s – величина, що характеризує зниження концентрації шкідливих речовин у точці, розташованій не на осі джерела.

Праця В. П. Тітова та В. С. Тішкіна [70], що також ґрунтується на теорії О. Г. Сеттона, досліджує проблематику для випадку знаходження джерела у зоні аеродинамічної тіні. Концентрація домішок у зоні аеродинамічного сліду споруд визначається як сума концентрацій від дійсного та фіктивного

джерела, що нібито направляє домішки назустріч вітру.

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \left\{ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_{1y}^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_{1y}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + 2K \frac{\sigma_y\sigma_z}{\sigma_{1y}\sigma_{1z}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_{1y}^2}\right) \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_{1z}^2}\right) \right] \right\} \quad (1.11)$$

де K – коефіцієнт влучення домішок у зону аеродинамічного сліду;

σ_{1y}, σ_{1z} – параметри інтенсивності процесу дифузії у зоні аеродинамічного сліду (поза межами зони зворотного плинину $\sigma_{1y} = \sigma_y$; $\sigma_{1z} = \sigma_z$). Якщо $K = 0$, формула (1.15) співпадає з формулою (1.6).

І. С. Патток та І. Ц. Р. Хант [71] одержали аналітичне рішення рівняння дифузії у випадку відривного плинину при наступних передумовах: поза зоною аеродинамічного сліду плин виявляється потенціальним; у будь-якій точці смуги, обмеженої нульовою лінією току, концентрація однакова; коефіцієнт турбулентної дифузії постійний в кожному поперечному перерізу потоку. Автори перейшли від фізичних координат x, y до координат ψ, Φ :

$$u = \frac{\partial\Phi}{\partial x} = -\frac{\partial\Psi}{\partial y}, \quad v = \frac{\partial\Phi}{\partial y} = \frac{\partial\Psi}{\partial x}, \quad (1.12)$$

де u, v – швидкості потоку відповідно у напрямку x та y , м/с;

ψ – функція току;

Φ – потенціал швидкості.

В. Т. Самсонов [72] припустив, що вплив повітряного потоку на концентрацію домішок можна врахувати, підібравши відповідну залежність для узагальненого коефіцієнта дифузії s .

Проте побудовані дослідниками моделі мають загальний характер і вимагають уточнення стосовно конкретних умов. Крім того, виникає необхідність апробації цих моделей на підставі існуючих даних екологічних і метеорологічних спостережень.

Таким чином, на даний час відомі декілька методів розрахунку

концентрації домішок від точкових та лінійних джерел викидів. Проте кожен із цих методів має обмежену область застосування. Актуальним завданням є створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел.

Фізична сторона цієї проблеми пов'язана з аналізом емісії поширення і поглинання ЗР. Завдання підвищення точності прогностичних оцінок характеристик забруднення територій, НПС у цілому і зменшення навантажень на робітників і населення входить до числа найважливіших завдань екологічної безпеки. Їх вирішення потребує розв'язання вихідних рівнянь руху, що враховують поведінку частинок у часі та просторі. Такий підхід дозволяє провести послідовний аналіз наближених рівнянь, які потім використовуються для вирішення конкретних завдань. При цьому повне врахування проведених наближень дозволяє оцінити точність одержаних результатів.

1.5 Аналіз рівня екологічної безпечності способів уловлювання легких нафтопродуктів

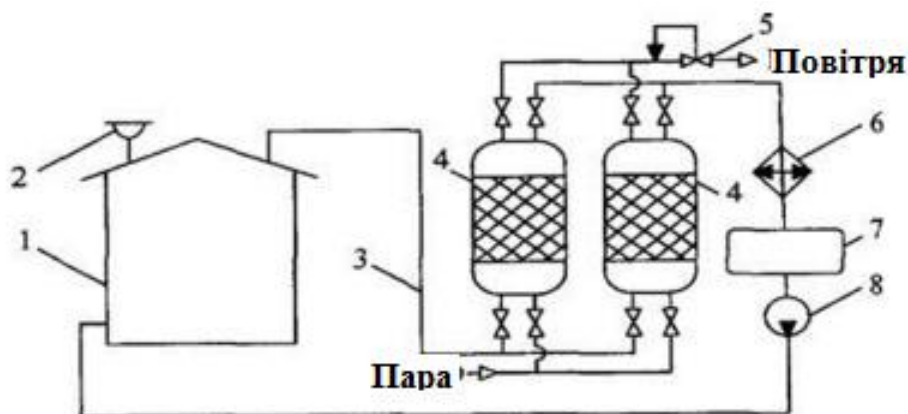
Для автозаправних станцій (АЗС) найбільш ефективним засобом скорочення викидів парів світлих нафтопродуктів в атмосферу є системи уловлювання легких фракцій (УЛФ) [73, 74]. Основні методи УЛФ: адсорбційні, абсорбційні, компресійні, мембранні, конденсаційні і комбіновані методи [75], кожен з яких має свої переваги та недоліки як з точки зору підвищення екологічної безпеки, насамперед, атмосферного повітря у зоні впливу викидів ППС з резервуарів, так й аспектів інженерно-технологічного оформлення [76].

У країнах Європейського союзу, США, Канаді та Японії законодавчо обмежені викиди парів вуглеводнів з резервуарів на рівні 98–99%. Найбільшого поширення одержали установки для уловлювання парів, засновані на наступних принципах роботи [77, 78]:

1. Охолодження пароповітряної суміші в холодильниках з використанням рідкого азоту до конденсації вуглеводнів у рідку фазу.
2. Адсорбція вуглеводнів з суміші адсорбентом з подальшою десорбцією.
3. Розділення пароповітряної суміші на алеофобних мембранах, що володіють певною селективністю.
4. Проведення дегазації подачею у внутрішній простір резервуара інертних газів [79].

Адсорбційний метод уловлювання парів високоефективний (90–96 %), але вимагає частого регенерації адсорбенту. На такому ж майже рівні ефективності знаходяться абсорбційний (96–98 %), вакуумний (96 %) і компресійний методи рекуперації парів (до 98 %). Існує метод охолодження резервуарів водою. Його ефективність не перевищує 60 %. Крім того, він вимагає великої витрати води і витрат енергії на створення її циркуляції. Ефективність мембранного методу може досягати 80 %, однак він малопродуктивний і досить дорогий.

Аналіз технологій уловлювання парів нафтопродуктів з резервуарів дозволяє зробити висновок про те, що найбільш перспективними на сьогоднішній день є способи, в основі яких лежать принципи абсорбції [80].



1 – резервуар з нафтопродуктами; 2 – дихальний клапан; 3 – газова обв'язка; 4 – адсорбер; 5 – регулятор тиску типу «до себе»; 6 – холодильник; 7 – конденсатозбірник; 8 – насос для відкачування конденсату

Рисунок 1.6 – Адсорбційна система УЛФ [81]

Уловлювання вуглеводнів з ППС адсорбційним методом (рис. 1.6) є досить простою операцією, але подальше вилучення вуглеводнів з адсорбенту і доведення вуглеводнів до стану, що допускає їх подальше використання, пов'язане з застосуванням складних і енергоємних операцій, а також з утилізацією відпрацьованого адсорбенту.

Технологія вуглецево-вакуумної абсорбції (CVA за міжнародною класифікацією) є популярною технологією у світі завдяки простоті в експлуатації і ефективності уловлювання парів нафтопродуктів (рис. 1.7) [82].

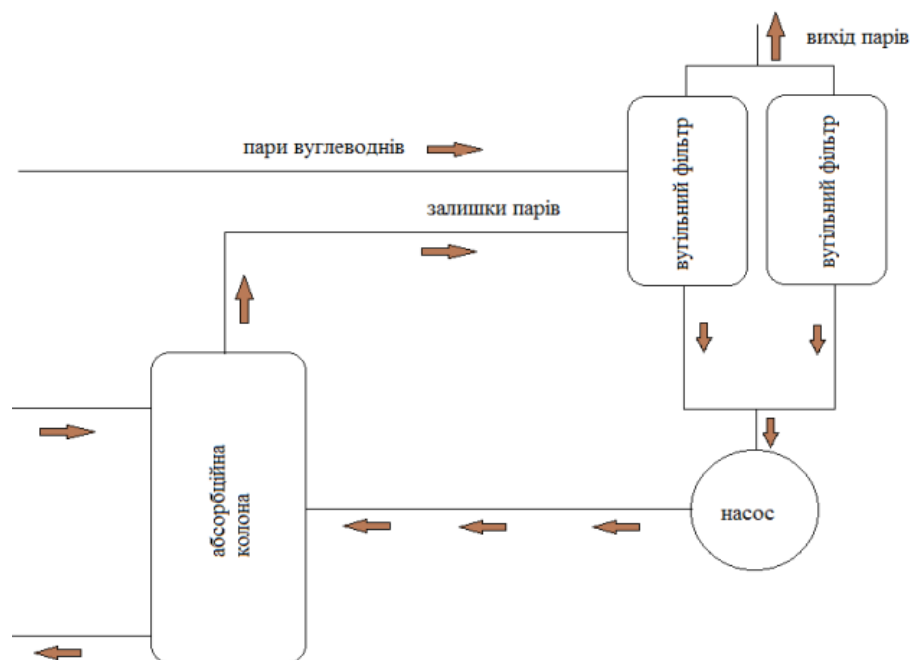
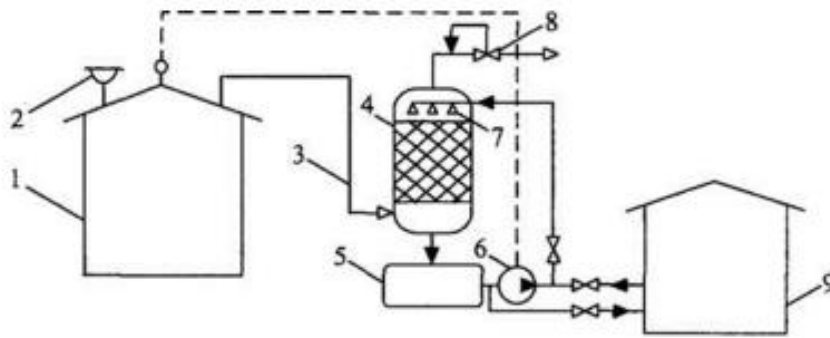


Рисунок 1.7 – Технологічна схема вуглецево-вакуумної абсорбції

Використання фільтрів з метою рекуперації вуглеводнів може використовуватися як самостійно, так і в комплексній системі УЛФ [83].

Уловлювання вуглеводнів з ППС за допомогою рідкого абсорбенту (рис. 1.8) при атмосферному тиску забезпечує максимально глибоку очистку ПВС від вуглеводнів.



1 – резервуар з нафтопродуктами; 2 – дихальний клапан; 3 – газова обв'язка; 4 – абсорбер; 5 – ємність для абсорбенту; 6 – насос; 7 – форсунки;
8 – регулятор тиску типу «до себе»; 9 – ємність для відпрацьованого (насиченого) абсорбенту; 10 – датчик тиску

Рисунок 1.8 – Абсорбційна система УЛФ [81]

Конденсаційні системи УЛФ на основі охолодження ППС (до помірних температур) не дозволяють домогтися високого ступеня уловлювання вуглеводнів і досить дорогі. Застосування компресорних систем УЛФ доцільно при великих витратах парогазової суміші. Перевагами ежекторних установок є простота і надійність. Однак вони мають низький ККД, що не перевищує 0,4 [84].

В умовах нафтобаз, як правило, використання ежекторних систем УЛФ більш переважно, ніж інших технічних засобів скорочення втрат. При терміні служби $t_c = 20$ років і нормі дисконту $E = 0,15$ диски-відбивачі здатні конкурувати з ними тільки на резервуарах РВС 400 при коефіцієнтах оборотності 8-12 1 / рік [6, 85].

Застосування блоку уловлювання вуглеводневих газів за допомогою абсорбційної колони дозволить, в значній мірі, вирішити проблему безповоротних втрат нафтопродуктів, що зберігаються в резервуарному парку, а також поліпшити екологічну обстановку як підприємства, так і НПС [86].

У праці [87] запропонований спосіб і пристрій для уловлювання парів нафтопродуктів, у якому реалізований цикл Карно, що використовується в

холодильній машині. Тобто спочатку суміш парів нафтопродукту з повітрям стискається, при цьому частина внутрішньої енергії суміші переходить в теплову енергію. Потім теплова енергія від суміші забирається охолодженням і, отже, внутрішня енергія суміші переходить на більш низький рівень. Після цього відбувається зниження тиску через дросель або за допомогою детандера. Таким чином, здійснюється повернення суміші в початковий стан по тиску, але на більш низькому рівні внутрішньої енергії, що призводить до зниження температури і до конденсації нафтопродукту. Для гарантованого стовідсоткового очищення повітря від парів нафтопродуктів до клапану може бути додана коробка з активованим вугіллям, через яку повітря буде виходити безпосередньо в атмосферу [88].

1.6 Постановлення завдань дослідження

Одним із першочергових завдань розвитку нафтової й нафтопереробної галузей промисловості є вирішення проблеми надійного захисту об'єктів зберігання від вибухів і пожеж, особливо в передремонтний період. Систематизація результатів застосування способів підготовки резервуарів до вогневих (ремонтних) робіт, а також вивчення й детальний аналіз наукової літератури, присвяченої закономірностям турбулентного перенесення парів нафтопродуктів і конвективного масообміну в газовому просторі резервуарів під час вентиляції, дозволив зробити висновок про необхідність експериментального розроблення й створення спеціального стенда для подальшого більш детального дослідження нових способів примусової вентиляції резервуарів.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки територій у зоні впливу нафтозберігаючих об'єктних комплексів за рахунок застосування інноваційного ежекторно-вихрового способу подання повітря та абсорбційно-конденсаційної установки для очищення викидів забруднюючих речовин під час проведення примусової вентиляції

резервуарів.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити 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 довкілля;

– 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 подання припливного повітря на інтенсивність масообміну та ефективність і екологічну безпечність вентиляції резервуарів;

– розробити та обґрунтувати абсорбційно-конденсаційну установку для вловлювання 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 подання повітря та очищення викидів під час проведення примусової вентиляції.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА, МЕТОДІВ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою підвищення екологічної безпеки під час проведення вогневих ремонтних робіт необхідно розробити принципово новий спосіб дегазації резервуарів за рахунок їх примусової вентиляції, що забезпечить значення концентрацій нафтопродуктів у внутрішньому просторі ємностей нижче порогу вибухо- і пожежонебезпечності, та, разом з тим, дозволить рекуперувати легкі фракції вуглеводнів і очистити ППС, яка викидається в атмосферне повітря, до екологічно безпечного рівня. Тому об'єктом дослідження обрано екологічно безпечний процес примусової вентиляції резервуарів вертикальних сталевих, призначених для зберігання світлих нафтопродуктів.

Вирішення цієї проблеми потребує дослідження і впровадження інноваційних способів вентиляції просторів усередині резервуарів. Для подальшого проведення наукових досліджень процесу вентиляції потрібна розробка спеціального експериментального стенда й методики проведення досліджень, зокрема методик вимірювання різних параметрів газових потоків (концентрацій, температур, витрат, тиску тощо) та методик обробки одержаних даних.

2.1 Обґрунтування принципової схеми експериментального стенда

Вивчення закономірностей турбулентного перенесення парів нафтопродуктів і конвективного масообміну в газовому просторі резервуарів при їхньому вентилюванні проводилося на спеціально створеному стенді (рис. 2.1). Основний його конструктивний елемент – циліндрична посудина.

Використання експериментального стенду дозволяє:

1. Дослідити закономірності масообміну при «ежекторно-вихровому»

способі дегазації та порівняти їх з іншими способами дегазації.

2. Визначити ефективність різних способів дегазації при використанні системи фільтрації та уловлювання парів вуглеводнів.

3. Оцінити небезпеку пожежі та вибуху у внутрішньому парогазовому середовищі резервуару на різних стадіях та за різних способів дегазації.

4. Обґрунтувати новий високоефективний та екологічно безпечний спосіб дегазації резервуарів.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд експериментального стенду

Під час моделювання вентиляційних процесів застосовують критерій подібності течії в'язкої рідини, тобто число Рейнольдса (Re). Численними дослідженнями встановлено, що в переважній більшості випадків вентиляційні процеси автомодельні відносно Re при збереженні геометричної подібності на вході та виході [89]. Однак цієї умови виявляється недостатньо. Подібне моделювання виявляється однобічним. В умовах автомодельності число Рейнольдса Re визначає тільки діапазон явищ, усередині яких існує подібність швидкісних полів.

У роботах «класиків» моделювання вентиляційних процесів Л. І. Гинзбурга, П. А. Саннікова, В. М. Ельтермана, М. Ю. Куна

відзначається, що при експериментах необхідно дотримуватися таких умов:

- 1) геометрична подібність;
- 2) Re_{Π} (Π – подібності) у турбулентній області ($Re_{\Pi} > 2320$);
- 3) рівність чисел подібності в моделі й натурі.

Як показали їх численні дослідження [90, 91] визначаючим числом подібності, що дозволяє встановити зв'язок між витратою, кратністю, повітрообміном і перепадами концентрацій у характерних точках, може бути прийнятий вираз

$$\frac{gl}{v^2} \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho}, \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

l – характерний лінійний розмір, м;

v – швидкість повітря, м/с;

$\Delta\rho$ – різниця густин газоповітряної суміші між двома точками, кг/м³;

ρ – густина повітря, кг/м³.

Так як для моделі і для природи повинна дотримуватись рівність чисел подібності, то формулу (2.1) можна записати у вигляді

$$\frac{gl_M}{v_M^2} \cdot \frac{\Delta\rho_M}{\rho_M} = \frac{gl_H}{v_H^2} \cdot \frac{\Delta\rho_H}{\rho_H}, \quad (2.2)$$

де індекси «м» і «н» означають, відповідно, модельний і натурний об'єкти.

Якщо вважати, що при використанні в моделі й в натурі однакової рідини ($\frac{\Delta\rho_M}{\Delta\rho_H} = 1$), то при додержанні рівності щільностей повітря в моделі й в

натурі відношення $\frac{\Delta\rho_M}{\Delta\rho_H} \cdot \frac{\rho_M}{\rho_H} = 1$, а співвідношення (2.2) прийме вид рівності чисел Фруда, тобто

$$F_r = \frac{gl}{v^2} = idem \quad (2.3)$$

З рівності чисел Фруда в моделі й в натурі випливає, що

$$\frac{v_{\Pi}^M}{v_{\Pi}^H} = \sqrt{\frac{l_M}{l_H}} = \sqrt{m}, \quad (2.4)$$

де m – коефіцієнт подібності.

Геометрична подібність, як відомо, передбачає таке співвідношення

$$\frac{l_M}{l_H} = \left(\frac{f_{\Pi}^M}{f_{\Pi}^H}\right)^{1/2} = \left(\frac{F_B^M}{F_B^H}\right)^{1/2} = \left(\frac{V_M}{V_H}\right)^{1/3} = m, \quad (2.5)$$

де f_{Π}^M, f_{Π}^H – площі припливних отворів у моделі й натурі відповідно, м²;

F_B^M, F_B^H – площі випаровування в моделі й натурі відповідно, м²;

V_M, V_H – об'єм резервуара в моделі й натурі відповідно, м³.

Швидкість припливного струменя v_{Π} пов'язана з витратою q , кратністю K_p і енергією припливного струменя ε_{Π} такими співвідношеннями

$$q = f_{\Pi} \cdot v_{\Pi}, \quad (2.6)$$

$$K_p = \frac{q}{V} = \frac{f_{\Pi} \cdot v_{\Pi}}{V}, \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_{\Pi} = K_p \frac{v_{\Pi}^2}{2} = \frac{f_{\Pi} \cdot v_{\Pi}^3}{2 \cdot V}. \quad (2.8)$$

Послідовно підставивши (2.6), (2.7), (2.8) в (2.4) з урахуванням співвідношення (2.5) одержимо:

$$q_M = q_H \cdot m^2 \cdot \sqrt{m}, \quad (2.9)$$

$$K_{pM} = K_{pH} \cdot m^{-0.5}, \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_{\Pi}^M = \varepsilon_{\Pi}^H \cdot m^{0.5} \quad (2.11)$$

Під час моделювання процесів вентиляції, у яких має місце інтенсивне

зменшення концентрацій і відсутні тепловиділення, звичайно співвідношенням (2.1) зневажають, а як визначальне явище подібності приймають число гомохронності Ho – нестационарності потоку руху [91].

Розглянутий процес вентиляції аналогічний процесу дегазації резервуарів. Під поняттям «дегазація» будемо мати на увазі процес видалення парів (газів) з резервуара при наявності у ньому тільки однієї фази. Процес дегазації резервуарів не супроводжується надлишковим тепловиділенням, тому при моделюванні процесів вентиляції число гомохронності Ho можна прийняти за *idem*. Рівність чисел гомохронності припускає

$$\frac{v_{II}^M \cdot \tau_M}{l_M} = \frac{v_{II}^H \cdot \tau_H}{l_H} \quad (2.12)$$

За умови, що $\tau_M = \tau_H$, одержимо

$$\frac{v_{II}^M}{v_{II}^H} = \frac{V_M}{V_H} = m \quad (2.13)$$

Ураховуючи співвідношення (2.4), (2.6), (2.8) і умову геометричної подібності (2.5), будемо мати

$$q_M = q_H \cdot m^3, \quad (2.14)$$

$$K_{pM} = K_{pH}, \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_{II}^M = \varepsilon_{II}^H \cdot m^2 \quad (2.16)$$

Таким чином, для одержання достовірних даних на натурі необхідно встановити зв'язок щільності потоку маси й значень концентрації у подібні моменти часу при різних масштабах моделей.

У проаналізованій літературі, зокрема [92, 93], присвяченій питанням вивчення процесів вентиляції, не зустрічалося робіт, пов'язаних з дослідженням конвективного масообміну в замкнених приміщеннях, окрім

роботи [3]. Процеси конвективного масообміну досліджувалися на установках, у яких по довжині поверхні випаровування створювалося рівномірне по величині й напрямку поле швидкостей. Це ще раз указує на необхідність розробки експериментального стенда й методик проведення досліджень на ньому.

Вивчивши досвід конструювання експериментальних установок для дослідження процесів вентиляції [94] і конвективного масообміну [92–94] були розроблені та виготовлені лабораторний, а потім напівпромисловий стенди. Їх основні елементи – експериментальні резервуари, геометрично подібні РВС-5000; система роздачі повітря й видалення газоповітряної суміші; система виміру кількості пального, що випаровується.

2.2 Конструкції експериментальних стендів

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

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

Експериментальний напівпромисловий стенд призначений для визначення рухомості повітря за різних схем його подання 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. Порівняння геометричних розмірів промислового резервуара РВС-5000, ЕР та ЕНПС подані в табл. 2.1.

Особливістю ЕР та ЕНПС є наявність спеціального полівінілхлоридного повітропроводу для зручності проведення досліджень поширення парів нафтопродуктів назустріч припливному потоку повітря.

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

Таблиця 2.1 – Геометричні розміри резервуарів РВС-5000, ЕР і ЕНПС

Геометричні розміри	РВС-5000	ЕР	ЕНПС
Діаметр, м	23	0,7	2,3
Висота, м	12	0,5	1,2
Площа днища, м ²	415,2	0,385	4,15
Об'єм, м ³	5000	0,192	5
Площа припливного отвору, м ²	$196,25 \cdot 10^{-3}$	$2,57 \cdot 10^{-5}$	$196,25 \cdot 10^{-5}$
Масштаб резервуара	1:1	1:17	1:10

Для цього вводи трубопроводів повітропроводу обладнані ежекторними насадками й змонтовані із двох вісесиметричних (протилежних) сторін резервуара. Подання припливного повітря здійснювали повітродувками-вентиляторами на ЕР – «НІТАСНІ-РВ40СА», на ЕНПС – «Луч-2М». Витрату припливного повітря встановлювали відповідно до паспортних даних повітродувок (потужність – 5 кВт, продуктивність – 7 м³/хв).

На кришках обох експериментальних резервуарів стандартним шляхом змонтовані світлові люки, через які відбувалося видалення газової суміші в атмосферу. Подання припливного повітря у внутрішній простір ЕР і ЕНПС

здійснювали за такими схемами.

Схема 1 – подання припливного повітря через люки-лази ежекторно-вихровим способом з відводом ППС через фільтри, встановлені на світлових люках. Такий спосіб подання створює вихор повітря, що подається в резервуар, при цьому біля стінок утворюється постійний повітряний потік. Схема подання повітря модифікована та якісно нова порівняно з відомими, тому названа «інноваційною».

Схема 2 – подання «зустрічного» повітря. При такій подання вхідні сопла отворів для подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара перебувають напроти один одного. Припливне повітря в установку подається через повітропроводи струменями, спрямованими назустріч один одному.

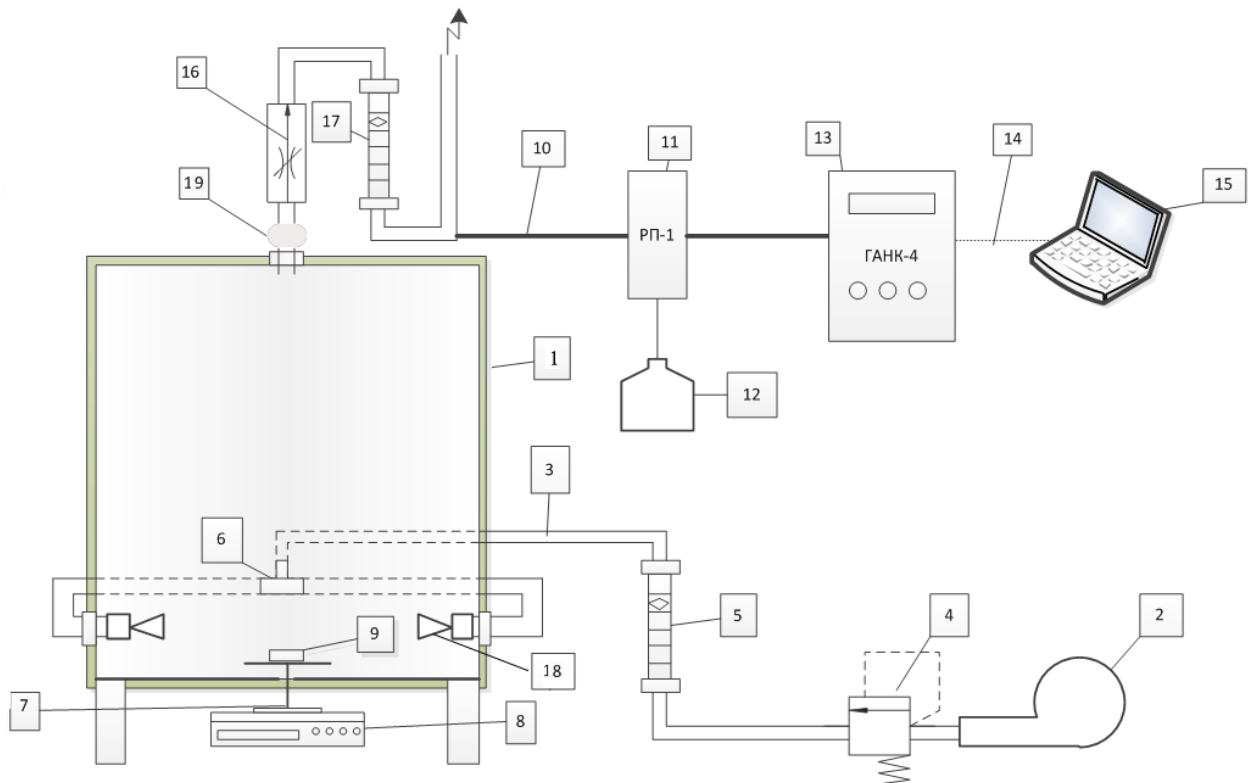
Схема 3 – «традиційне» подання повітря.

Схема 4 – «змішане» подання повітря. Така подання комбінує в собі 1 і 2 схеми вентиляції, коли вхідні сопла отворів для подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара обладнані повітряними ежекторами й розташовані напроти один одного.

Принципова схема розробленої експериментальної установки подана на рис. 2.2.

За різних способів подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара проводили вимірювання рухомості припливного повітря й втрати маси рідин у різних точках резервуара. Як ГР і ЛЗР використовували дизельне паливо, бензини А-92 та А-95, толуол.

У процесі експерименту проводили вимірювання втрати маси у центрі резервуара за такими ГР і ЛЗР: дизельне паливо, бензини А-92 та А-95, толуол, октан, гексан. Для точності й вірогідності результатів вимірювань втрати маси при вентиляції ЕНПС і ЕР експеримент проводили також на воді.



1 – резервуар (ЕР); 2 – повітродувний пристрій (вентилятор); 3 – лінії подання повітря; 4 – клапан скидання надлишкового тиску повітря; 5 – ротаметр; 6 – трійник; 7 – штатив; 8 – електронні ваги «AND ЕК-1200і»; 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; 19 – абсорбційно-конденсаційна установка

Рисунок 2.2 – Принципова схема експериментальної установки [95]

Схема розташування точок виміру рухомості припливного повітря й втрати маси експериментальних рідин на ЕР і ЕНПС подана на рис. 2.3.

Експериментальні дослідження втрати маси рідини на ЕР і ЕНПС проводили в мірних ємностях, тому на визначення зміни рівня нафтопродукту вплинула відмінність густин рідин у різних дослідах.

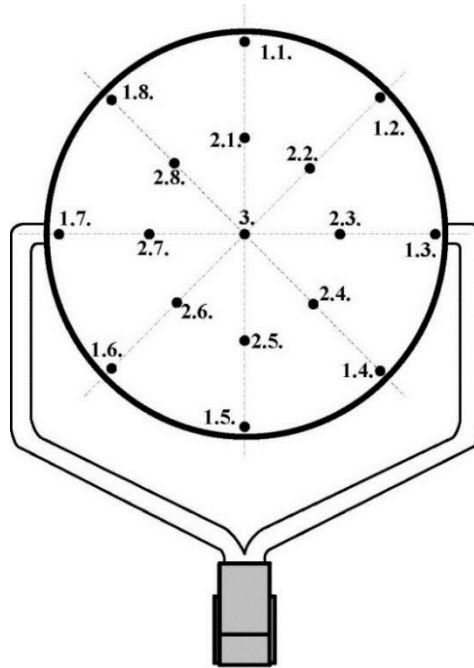


Рисунок 2.3 – Схема розташування точок вимірювань рухомості повітря й втрати маси рідин при вентиляції експериментальних резервуарів

2.3 Вимірювані величини, прилади й методики вимірювань

Дані про вимірювані в ході експериментів величини подано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вимірювані в ході експериментів величини

№	Величини	Умовні позначки	Розмірність
Незалежні змінні			
1.	Кратність повітрообміну	КР	1/год
2.	Кількість нафтопродукту, що заливається	G_0	кг
3.	Поточний час досліду	τ_i	с
Залежні змінні			
4.	Кількість нафтопродукту, що випаровувалася	G_i	кг
5.	Концентрація парів нафтопродукту в газовому просторі резервуара	$C_{ГП}$	кг/м ³
6.	Концентрація парів нафтопродукту в газоповітряній суміші, що видаляється	C_y	кг/м ³
Змінна, що варіюється			
7.	Температура припливного повітря	$t_{П}$	°С

Проводячи експеримент, урахували рівність гідростатичних тисків, які виражаються формулою

$$\delta_{mp}\rho = \delta_B\rho_B + \delta_{НП}\rho_{НП}. \quad (2.17)$$

Звідки зміна рівня нафтопродукту з урахуванням зміни його щільності складе

$$\Delta\delta_{НП} = \frac{\Delta\delta_{mp}\rho_{\epsilon}}{\rho_{НП} + \Delta\rho}, \quad (2.18)$$

де ρ_B – густина води, кг/м³;

$\rho_{НП}$ – густина нафтопродукту, кг/м³;

$\delta_{тр}$, δ_B – висота стовпа води в трубці й резервуарі відповідно, м;

$\delta_{НП}$ – товщина шару нафтопродукту, м;

$\Delta\delta_{НП}$, $\Delta\delta_{тр}$ – зміна рівня нафтопродукту в резервуарі, води в трубці відповідно, м;

$\Delta\rho$ – зміна густини в часі, кг/м³.

Зокрема, при випаровуванні бензинів А-92 та А-95 їх густина змінюється приблизно на 10 %, тобто для них $\Delta\rho \approx 10\%$.

При випаровуванні нафтопродуктів відбувається зниження температури поверхневого шару. Під час проведення дослідів установлено, що температура знижувалася на 8–10 °С.

Враховуючи рівність гідростатичних тисків (2.17) [96], одержимо зменшення рівня рідини внаслідок зміни щільності її поверхневого шару $\rho_{ж.п.ш.}$.

$$\Delta\delta = \frac{\delta_{НП}(\rho_{ж.п.ш.} - \rho_{НП})}{\rho_{НП}}. \quad (2.19)$$

При вентиляції ЕНПС рухомість повітря у різних точках резервуара та за різних способів подання припливного повітря вимірювали за допомогою крильчатого анемометра Venetech GM8902 та термоанемометра «ТКА-ПКМ»

(рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Крильчатий анемометр Venetech GM8902 (а), термоанемометр «ТКА-ПКМ» (б)

На анемометрах рухомість повітря вимірювали за кількістю обертів рухливих елементів приладів за одиницю часу. У вимірюваному повітряному потоці анемометри встановлювали вертикально, через 10–15 секунд одночасно аретиром вмикали рухливий механізм анемометра й секундомір. Експонування анемометра в повітряному потоці, згідно з паспортними даними, проводили протягом 1–2 хвилин. Після закінчення цього часу, механізм і секундомір вимикалися, записували показання по шкалах анемометра й час експозиції в секундах. Різницю між кінцевим і початковим показанням ділили на час експозиції. Швидкість вітру визначали на підставі кількості обертів за секунду за градувальним графіком, що є додатком до анемометра. На осі ординат графіка відкладені значення обертів анемометра за секунду, а на осі абсцис – швидкість руху повітряного потоку у м/с. Функція $y = f(x)$ описується прямою, за допомогою якої і знаходили шукану величину швидкості повітря всередині резервуара.

Під час вентиляції ЕР вимірювання рухомості повітря проводили

анемометром Venetech GM8902 і термоанемометром «ТКА-ПКМ», у якого швидкість припливного повітря (м/с) відображається на цифровому дисплеї.

Відмітною особливістю розроблених стендів ЕР та ЕНПС є те, що на них передбачений контроль кількості рідини, що випаровується, за допомогою електронних вагів «AND EK-1200i».

Під час проведення дослідів на ЕР вимірювали концентрації парів горючих рідин у газовому просторі резервуара й у газоповітряній суміші, що видаляється. Для цих цілей використовували газоаналізатор «ГАНК-4» (рис. 2.5), який призначається для автоматичного безперервного контролю концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі, у повітрі робочої зони, у промислових викидах для цілей охорони НПС, забезпечення безпеки праці й оптимізації технологічних процесів [97].

Принцип дії газоаналізатора із вбудованими датчиками заснований на таких методах вимірювань:

- електрохімічний (для CO , O_2 , H_2 та ін.);
- термokatалітичний (для метану CH_4 , гексану C_6H_{14} та ін.);
- напівпровідниковий (для стиролу, бензену та ін.).



Рисунок 2.5 – Газоаналізатор «ГАНК-4»

Робота газоаналізатора здійснюється в автоматичному режимі, при цьому насос через вхідний штуцер подає аналізоване повітря на датчик, прилад вимірює силу струму, яка пропорційна концентрації обумовленої речовини. Тобто за допомогою терموкаталітичного датчика приладу вимірюємо зміну провідності газів на платиново-паладієвому електроді при терموкаталітичній реакції. Одержана величина провідності пропорційна концентрації обумовленої газоподібної речовини.

Аналізоване повітря надходить через вхідний штуцер на датчик. Через час (але не більш 20 с) сигнал з датчика надходить в обчислювальний пристрій, який перетворює його й видає результат на рідкокристалічний дисплей у вигляді значень поточної ($\varphi_{\text{пот}}$) і середньої ($\varphi_{\text{сер}}$) концентрацій у мг/м³. Одержані результати можуть бути записані в пам'ять вручну або автоматично залежно від режиму роботи газоаналізатора. Надалі одержані результати можуть бути переглянуті в режимі «Перегляд пам'яті» або виведені на персональний комп'ютер.

У режимі «Безперервні виміри» значення поточної й середньої концентрацій обчислюються автоматично й видаються на дисплей газоаналізатора або на персональний комп'ютер з моменту включення приладу до моменту його вимикання (зупинки вимірювань). Перше вимірювання значень $\varphi_{\text{пот}} = \varphi_{\text{сер}}$, друге вимірювання

$$\varphi_{\text{сер},2} = \frac{\varphi_{\text{тек},1} + \varphi_{\text{тек},2}}{2} \quad \text{і так далі, до} \quad \varphi_{\text{сер},i} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{\text{тек},i}}{n} .$$

При перевищенні рівня гранично-допустимих концентрацій (ГДК) для аналізованої газової суміші, спрацьовує звукова й світлова сигналізація.

На рис. 2.6 подана блок-схема роботи газоаналізатора «ГАНК-4» [98].

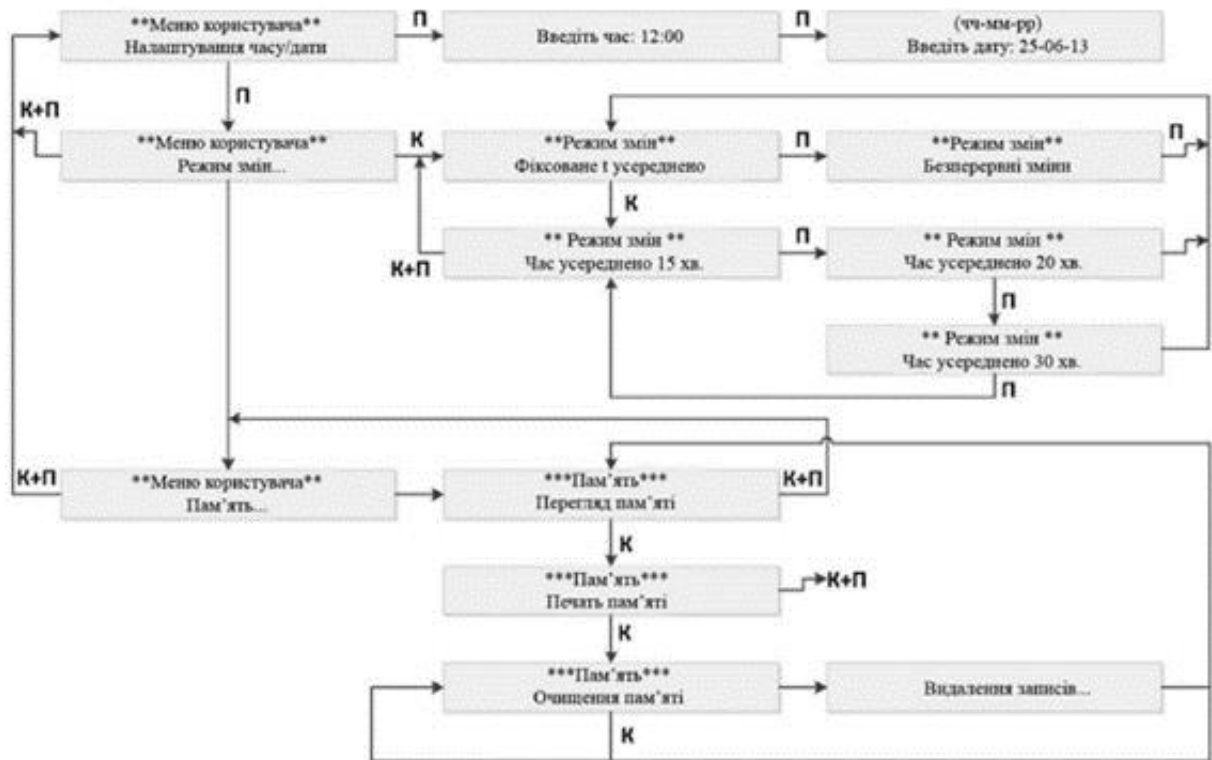


Рисунок 2.6 – Блок-схема роботи газоаналізатора «ГАНК-4» («К» – кнопка «код», «П» – кнопка «пуск»)

2.4 Загальна методика проведення експериментального визначення екологічно безпечного способу дегазації резервуарів

На експериментальних стендах за стандартними методиками [100] було проведено 4 серії дослідів, що відрізняються схемами подання припливного повітря, описаними в підрозділі 2.2.

Перша серія дослідів містила в собі вимірювання рухомості повітря й вимірювання втрати маси рідин при вентиляції ЕР способом подання припливного повітря «інноваційний».

Друга серія дослідів містила в собі вимірювання рухомості повітря й вимірювання втрати маси рідин при вентиляції ЕНПС і ЕР способом подання «зустрічного» припливного повітря.

Третя серія дослідів містила в собі вимірювання рухомості повітря й вимірювання втрати маси рідин при вентиляції ЕНПС і ЕР «традиційним»

способом подання припливного повітря

Четверта серія дослідів містила в собі вимірювання рухомості повітря й вимірювання втрати маси рідин при вентиляції ЕНПС і ЕР способом «змішаної» подання припливного повітря.

Результати експериментальних досліджень з деталізацією конструкції установок, на яких проводилися дослідження, і видів досліджуваних речовин (рідин) подані в розділі 4.

Для виявлення закономірностей процесів, що протікають при вентиляції резервуарів із залишками однорідних рідин, при проведенні експериментів нами були обрані вуглеводні толуол, октан і гексан, тому що вони є складовими багатьох нафтопродуктів. Закономірності конвективного масообміну багатокомпонентних рідин раніше були описані В. П. Назаровим [3]. У якості речовини для проведення експерименту використовувався бензин А-72. Такий вибір обумовлений тим, що бензини мають переваги порівняно з іншими нафтопродуктами з погляду доцільності (корисності) дослідження їх властивостей. Бензини є найбільш леткими нафтопродуктами з малим вмістом смолистих речовин. Бензини характеризуються низькою температурою спалаху й високим тиском насичених парів, що обумовлює їхню підвищену вибухопожежну небезпеку, у тому числі й у процесі вентиляції резервуарів. Використання бензинів у якості неоднорідних багатокомпонентних рідин дозволяє скоротити час експерименту, більш точно встановити характер зміни параметрів, що характеризують нестационарність процесу конвективного масообміну – тиску насичених парів, фракційного складу, молекулярної маси тощо.

Перед початком дослідів з вивчення запропонованих нами способів вентиляції резервуарів нафти й нафтопродуктів, ретельно встановлювалася витрата припливного повітря за допомогою блоку керування повітродувом.

Під час дослідження процесу вентиляції резервуара на предмет рухомості в ньому повітря за різних способів його подання, на днище резервуара в спеціальних точках вимірювань (рис. 2.3) встановлювали

крильчатий анемометр «АСО-3» і термоанемометр «ТКА-ПКМ». Резервуари закривали, у їх внутрішній простір подавали припливне повітря від вентиляторів. За допомогою секундоміра засікали певний проміжок часу, за який підраховували кількість обертань чашок анемометра.

Перед початком заливання рідини для експерименту газовий простір резервуара продували припливним повітрям. На днище в точках виміру (рис. 2.3) встановлювали спеціальні мірні ємності циліндричної форми, що мають однакові геометричні й об'ємно-масові параметри (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Параметри мірних ємностей

№	Найменування	Показник
1.	Пробірка для виміру об'єму рідини*	
1.1.	Максимальний об'єм, $\cdot 10^{-9} \text{ м}^3$	500
1.2.	Ціна поділки, $\cdot 10^{-9} \text{ м}^3$	5
1.3.	Маса, кг	0,486
2.	Ємність керамічна	
2.1.	Діаметр, м	0,16
2.2.	Висота, м	0,025
2.3.	Площа, м^2	$2 \cdot 10^{-2}$
2.4.	Об'єм, м^3	$50 \cdot 10^{-5}$
2.5.	Маса, кг	0,476
3.	Ємність пластикова	
3.1.	Діаметр, м	0,16
3.2.	Висота, м	0,03
3.3.	Площа, м^2	$2 \cdot 10^{-2}$
3.4.	Об'єм, м^3	$60 \cdot 10^{-5}$
3.5.	Маса, кг	0,028
4.	Ємність металева	
4.1.	Діаметр, м	0,048
4.2.	Висота, м	0,01
4.3.	Площа, м^2	$1 \cdot 10^{-3}$
4.4.	Об'єм, м^3	$1 \cdot 10^{-5}$
4.5.	Маса, кг	0,005

* Похибка пробірки для вимірювання об'єму рідини становить + 8 %.

У ємності заливали певний об'єм досліджуваної рідини (у нашому випадку – $200 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$). Потім резервуар закривали, у його простір подавали

припливне повітря за допомогою вентилятора «Луч-2М». Секундоміром засікали проміжок часу (1 година), після закінчення якого подання припливного повітря припиняли, ємності накривали спеціальними кришками й встановлювали на ваги. За різницею мас ємності до й після досліду обчислювали масу рідини, що випаровувалася, та тієї, що залишилася у циліндрі.

Під час проведення дослідів на ЕР викид газоповітряної суміші здійснювали через світлові люки. Для моделювання системи вловлювання парів вуглеводнів був створений повітряний опір виходу газоповітряної суміші.

Після закінчення кожної серії дослідів зливали залишки рідини з ємностей, промивали їх та просушували, а резервуар дегазували шляхом подання повітря.

Усі серії дослідів проводили у лабораторії й на відкритому майданчику за температури повітря 26 °С. Температура припливного повітря у внутрішній простір резервуарів також становила $t_{\Pi} = 26$ °С.

2.5 Оцінювання точності результатів вимірювань

Точність вимірювань визначається близькістю одержаних результатів до дійсного значення вимірюваної величини, яка характеризується абсолютною й відносною похибкою (помилкою) вимірювань.

Основною величиною, що вимірюється в експериментах, є втрата маси горючої рідини при вентиляції. Похибка результатів газового аналізу в цьому випадку визначається помилкою вимірювань, заданою похибкою приладу – газоаналізатора «ГАНК-4» (не перевищує 7 %). За даними вимірювань не перевищила 4,1 %.

При розрахунках помилок вимірювань щільності потоку маси враховували помилки визначення площі випаровування F_v , за яку приймали площу днища експериментального резервуара. Геометричні розміри

лабораторних резервуарів ЕНПС і ЕР визначали за допомогою виміральної рулетки довжиною 3 метра, результати розрахунків об'ємів резервуарів порівнювали з їх калібруванням. Геометричні розміри припливних отворів вимірювали штангенциркулем з похибкою 0,01 мм (з розрахунку половини ціни поділки виміральної лінійки штангенциркуля).

У розрахунках чисел π_d і Pr_d використовували експериментальні (для бензину А-92) і розрахункові (для індивідуальних рідин) значення P_S . Розрахунки величини відносної помилки визначення числа Re проводили з урахуванням співвідношення $Re = \frac{w \cdot l}{\nu}$, похибка визначення витрати припливного повітря й значень похибок при обчисленні середньої рухомості повітря згідно даним роботи [101]. Вони визначалися з урахуванням закону додавання незалежних випадкових помилок [102].

При проведенні вимірювань звичайно рекомендується організовувати досліди так, щоб похибка результатів цілком визначалася систематичною помилкою вимірювання. Для цього необхідно провести таку кількість вимірювань, щоб випадкова помилка була незначною в порівнянні із систематичною помилкою [102, 103].

Мінімальна необхідна кількість дослідів N_{\min} визначається за відомою формулою

$$N_{\min} = \left(\frac{\sigma_c t}{C \delta_c} \right)^2, \quad (2.20)$$

де σ_c – середньоквадратичне відхилення значень обумовленої величини при проведенні дослідів;

t – «гарантійний» коефіцієнт (визначався по рекомендаціях [103]);

C – середнє значення обумовленої величини;

δ_c – відносна помилка вимірювань.

Кількість вимірювань, які проводилися у кожному досліді,

перевищувало величину N_{\min} і становила три повторення.

Висновки до розділу 2

1. Створений експериментальний напівпромисловий стенд і експериментальний резервуар, що дозволяють провести багатостороннє дослідження екологічної безпеки технологічного процесу підготовки резервуарів із залишками нафтопродуктів до еколого- та пожежобезпечної експлуатації принципово новими методами їх примусової вентиляції [9].

2. Обґрунтовані основні елементи експериментальних стендів – різні за масштабом і конструкціями експериментальні резервуари, що дозволяє досліджувати вплив масштабу моделі на інтенсивність процесів конвективного масообміну й турбулентного перенесення парів нафтопродуктів.

3. Запропоновано принципово новий екологічно безпечний ежекторно-вихровий спосіб подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара, що дозволяє закручувати не тільки подаване повітря в резервуарі, але й саму рідину за напрямком руху повітря. У результаті такого руху швидкість процесу перемішування подаваного повітря з газом у резервуарі збільшується, обумовлюючи інтенсифікацію випаровування рідини та скорочення тривалості процесу дегазації [8].

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЖЕКТОРНОГО СПОСОБУ ПОДАННЯ ПОВІТРЯ У ВНУТРІШНІЙ ПРОСТІР РЕЗЕРВУАРА

3.1 Постановлення завдання

На підставі результатів літературного огляду та критичного аналізу зроблений висновок, що на процеси масообміну під час проведення технологічної операції вентиляції резервуарів значний вплив має спосіб подання повітря та ступінь перемішування його з рідинами всередині ємностей. Виходячи з даної гіпотези, для підвищення продуктивності та інтенсифікації процесу вентиляції резервуарів, запропоновано новий ежекторний спосіб подання повітря у внутрішній простір резервуарів, що дозволяє значно збільшити ступінь перемішування нафтопродукту з повітрям та скоротити тривалість дегазації.

Застосування інноваційного способу вирішує комплексне еколого-економічне завдання підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок скорочення енергетичних витрат на проведення процесу та мінімізації викидів ЗР в атмосферне повітря. З цього випливає необхідність теоретичного обґрунтування забруднення атмосфери ЗР, що потрапляють до неї при виконанні виробничих технологічних операцій.

Згідно з існуючою технологією проведення примусової вентиляції резервуарів, повітря від повітродувки подається через брезентовий повітропровід безпосередньо у внутрішній простір резервуара, через люк-лаз першого поясу.

Головним відмінним елементом, що використовується при ежекторному способі подання повітря, є новий конструктив повітряного ежектора (рис 3.1), що встановлюється усередині резервуара на внутрішньому фланці люка-лазу, і є частиною ежекторної вентиляційної установки [95].

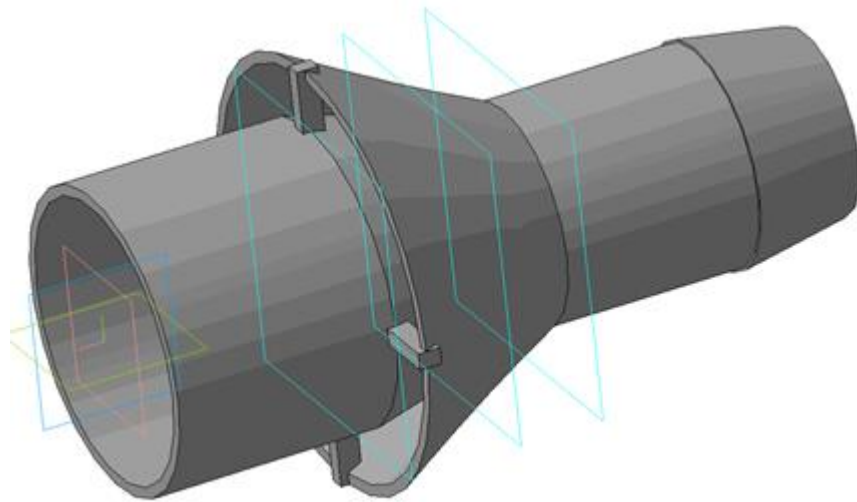


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд повітряного ежектора

3.2 Моделювання процесу ежекції

Розглянемо модель роботи ежекторної вентиляційної установки (рис. 3.2) з розподілом витрат повітря й тисків під час її роботи.

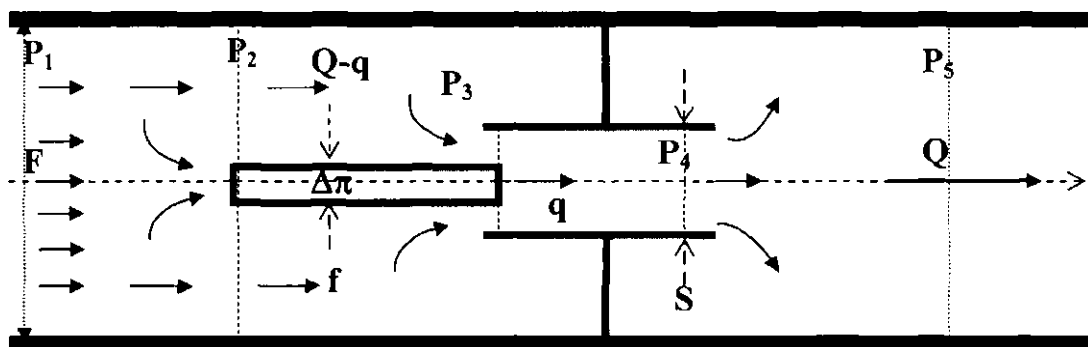


Рисунок 3.2 – Розподіл витрат повітря й тисків під час роботи ежекторної установки

За позитивний напрямок руху повітря приймаємо рух праворуч. Тобто витрати q ежекувального потоку, $Q-q$ ежекуваного потоку та Q загального потоку мають позитивний знак [104].

Оскільки струмінь повинен бути спрямований у камеру змішування, то вважаємо, що вентиляційний агрегат розташований ліворуч від камери

змішування, і повітря рухається зліва направо, при цьому $q \geq 0$. Основною характеристикою, що підлягає визначенню, для такої вентиляційної установки є створюваний нею напір ΔP .

Моделювання процесу ежекції можливо або на підставі закону збереження енергії або на підставі закону збереження імпульсу.

Під час моделювання процесу ежекції на підставі закону збереження енергії напівемпіричні й напівекспериментальні залежності для втрат енергії виявляються придатними лише для конкретних ситуацій у деякому діапазоні параметрів. Сфера застосування будь-якої конкретної формули невелика. Наприклад, для вільного струменя залежність одна, для стиснутого – інша, для початкового відрізка струменя – працює одна формула, для основного – інша і так далі. Крім того, формули містять невизначені параметри, значення яких також залежать від конкретної ситуації.

На підставі вищевикладеного пропонуємо розвиток методу математичного моделювання ежекції, заснованого на законі збереження імпульсу. Специфіка цього методу моделювання полягає в тому, що втрати енергії при змішуванні ежектувального й ежектованого потоків повітря визначаються умовою збереження загальної кількості руху та не вимагають залучення жодних експериментальних залежностей.

Ежекційний напір ΔP є напором еквівалентного вентилятора, якщо він цілком співпадає з опором повітряного простору резервуара:

$$\Delta P = P_5 - P_1, \quad (3.1)$$

де P_1 – тиск на вході у вентиляторну установку (тобто атмосферний тиск), Па;

P_5 – тиск після камери змішування, де швидкість потоку вже вирівнялась по перерізу після розширення, Па.

Метод опису ежекції, заснований на законі збереження імпульсу, так же як і метод, заснований на законі збереження енергії, використовує

одномірну модель ежекції. Така модель припускає, що швидкості руху повітря та перепади тисків мають тільки горизонтальну складову, тобто перепади тисків і руху повітря в поперечному перерізі відсутні. Передбачаємо, що одномірність має місце, якщо на всій ділянці руху повітря через повітряний ежектор усі поперечні неоднорідності тиску вирівнюються по перерізу практично «миттєво», тобто за час, значно менший за характерний час горизонтального руху. При цьому таке наближення не завжди коректне.

Закон збереження імпульсу записуємо для кожного етапу руху повітря згідно з рис. 3.2 у таких нерівностях: 1) $P_1 \rightarrow P_2$; 2) $P_2 \rightarrow P_3$; 3) $P_3 \rightarrow P_4$; 4) $P_4 \rightarrow P_5$.

Вважаємо, що $q \geq 0$, і вентилятор перебуває ліворуч від камери змішування.

Використовувані одиниці вимірювань фізичних величин: витрата – кг/с, переріз – м², тиск – Па, густина – кг/м³.

1) Розподіл потоків описується формулою:

$$\frac{Q^2}{F} + P_1 \rho F = \frac{(Q-q)^2}{F-f} + P_2 \rho (F-f) + \frac{q^2}{f} + P_2 \rho f, \quad (3.2)$$

де Q – витрата загального потоку, кг/с;

F – переріз виробітку, м²;

P_1 – тиск на вході у вентиляторну установку, Па;

P_2 – тиск у резервуарі, Па;

f – переріз струменя, м²;

$Q-q$ – витрата ежектованого потоку, кг/с;

ρ – густина повітря, кг/м³;

q – витрата ежектувального потоку, кг/с.

2) Звуження ($Q-q \geq 0$) або розширення ($Q-q < 0$) ежектованого потоку.

Втрати енергії при звуженні й розширенні потоку враховуємо у такий спосіб.

Якщо записати закон збереження імпульсу для потоку, що розширюється, використовуючи при цьому для визначення сили, що діє на потік, площу більш широкого перерізу, то втрата енергії за будь-якої швидкості потоку буде позитивна (теорема Борда – втрата напору при раптовому розширенні потоку дорівнює швидкісному напору, визначеному за різницею швидкостей). Аналогічним чином можна зробити й при визначенні опору звуження. Втрата енергії буде точно такою же, як і при розширенні, якщо в законі збереження імпульсу використовувати площу більш вузького перерізу. Отже,

$$\frac{(Q-q)^2}{F-f} - \frac{(Q-q)^2}{S-f} = (P_3 - P_2)\rho \begin{cases} (S-f), (Q-q) \geq 0 \\ (F-f), (Q-q) < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

де S – переріз камери змішування, m^2 .

3) Змішування потоків у камері змішування описується формулою:

$$\frac{(Q-q)^2}{S-f} + P_3\rho(S-f) + \frac{q^2}{f} + P_3\rho f = \frac{Q^2}{S} + P_4\rho S \quad (3.4)$$

4) Розширення ($Q \geq 0$) або звуження ($Q < 0$) сумарного потоку описуємо формулою:

$$\frac{Q^2}{S} - \frac{Q^2}{F} = (P_5 - P_4)\rho \begin{cases} F, (Q-q) \geq 0 \\ S, (Q-q) < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

При виділенні в кожному з рівнянь (3.2) – (3.5) різниці $P_{i+1} - P_i$ і додаванні всіх рівнянь, виходить вираз для $\Delta P \equiv P_5 - P_1$:

$$\Delta P = \frac{Q^2}{\rho} \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{F} \right) \begin{cases} 1/F, Q \geq 0 \\ 1/S, Q < 0 \end{cases} - \frac{(Q-q)^2}{\rho} \left(\frac{1}{S-f} - \frac{1}{F-f} \right) \begin{cases} 1/(S-f), (Q-q) \geq 0 \\ 1/(F-f), (Q-q) < 0 \end{cases} +$$

$$+\frac{1}{\rho F}\left[\frac{Q^2}{F}-\frac{(Q-q)^2}{F-f}-\frac{q^2}{f}\right]+\frac{1}{\rho S}\left[\frac{(Q-q)^2}{S-f}+\frac{q^2}{f}-\frac{Q^2}{S}\right] \quad (3.6)$$

В умову коректності застосування одномірної моделі ежекції крім співвідношення перерізів струменя й камери змішування повинна входити також початкова швидкість струменя. Чим менша початкова швидкість струменя, тим менша її далекобійність, тим менший шлях перемішування (горизонтальний розмір) і тим раніше струмінь «розвалиться», не встигнувши «розкритися» до стінок камери змішування. Відповідно, із зменшенням швидкості струменя (при постійному його перерізі) зменшується й граничний переріз камери змішування, у якій можливе виникнення ежекційного напору.

Одержана залежність (3.6) для напору ΔP , створюваного вентиляційною установкою, може бути використана при вирішенні конкретних завдань, для яких ΔP відіграє роль напору еквівалентного вентилятора.

3.3 Моделювання втрат напору повітря при звуженні й розширенні потоку

Застосовуючи формулу (3.6) для опису звуження й розширення потоку повітря при вході й виході з камери змішування використовували закон збереження імпульсу, що однозначно визначає втрату повної енергії (напору) на звуження й розширення. При звуженні-розширенні потоку повітря втрачається не тільки повна енергія, але й змінюється «повний імпульс», тобто при змінюванні перерізу потоку імпульс змінюється не тільки в результаті дії перепаду статичних тисків, але й у результаті передачі його перешкоді на шляху руху потоку.

У запропонованій моделі ежекції вважаємо, що обмін імпульсом між потоком повітря й повітряним простором резервуара на ділянці ежекції невеликий, і ним можна знехтувати. Однак навіть у цьому наближенні запис

закону збереження імпульсу для потоку, що розширюється або звужується, не зовсім очевидний. Зміна імпульсу потоку при зміні його перерізу повинна визначатися діючою на потік силою, яка дорівнює добутку перепаду статичних тисків у місці звуження-розширення потоку та площі перерізу потоку, на який діє цей перепад тисків.

Закон збереження імпульсу для потоку, що розширюється (рис. 3.3), має вигляд:

$$Qv_2 = Qv_1 + (P_1 - P_2)S, \quad (3.7)$$

де Q – витрата повітря, кг/с;

v_1 і v_2 – швидкості руху повітря до та після розширення, м/с;

P_1 і P_2 – статичні тиски в повітрі до та після розширення, Па;

S – площа перерізу, м².

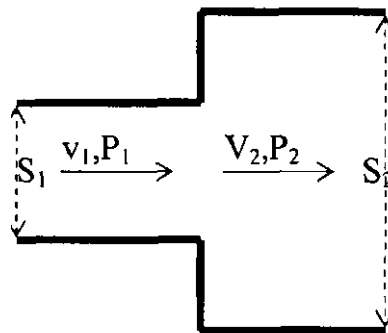


Рисунок 3.3 – Схема розширення потоку повітря

Закон збереження енергії у цій ситуації має вигляд:

$$P_2 + \frac{Q^2}{2\rho S_2^2} = P_1 + \frac{Q^2}{2\rho S_1^2} - \Delta P, \quad (3.8)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³;

S_1 і S_2 – площі перерізів потоку повітря до та після розширення, м²;

ΔP – втрата повної енергії потоком (повного тиску) після його розширення,

Па.

Приймаємо такі умови $S = S_2$ і $S = S_1$. Виражаючи $P_1 - P_2$ з рівняння (3.6), підставляючи в (3.7) й використовуючи $Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$, можна одержати

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}(v_1 - v_2)^2 > 0 \quad \text{для } S = S_2 \quad \text{і} \quad \Delta P = -\frac{\rho}{2}(v_1 - v_2)^2 < 0 \quad \text{для } S = S_1.$$

Випадок $S = S_1$ відпадає, оскільки втрата енергії при розширенні не може бути негативною, тому що це є збільшенням енергії, чого бути не можливо. Отже, при розширенні потоку повітря для визначення сили, що діє на потік у результаті виникаючого перепаду статичних тисків, потрібно брати більший переріз. Цей висновок та одержаний результат узгоджуються із формулою Борда-Карно, що описує втрати механічної енергії рідини у зв'язку із раптовим розширенням потоку.

Аналогічні розрахунки можуть бути проведені для потоку, що звужується (рис. 3.4).

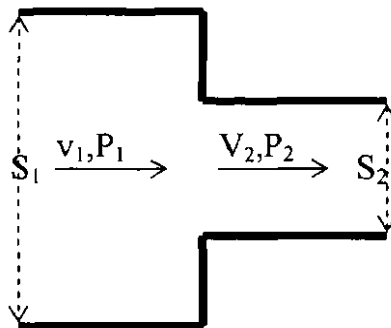


Рисунок 3.4 – Схема звуження потоку повітря

Закони збереження імпульсу та збереження енергії у цій ситуації мають точно такий же вигляд (формули 3.7 та 3.8). Отже, і результат буде той же самий ($S = S_2$). Різниця лише в тому, що за S_1 тепер приймаємо більший переріз, а S_2 – менший. Із цієї причини в рівняння (3.3) і (3.5) входять різні перерізи (фігурна дужка) залежно від знаку витрати. Дійсно, якщо знак витрати змінюється, то розширення переміняється звуженням або навпаки. Відповідно, широкий переріз повинен бути замінений вузьким та навпаки.

Таким чином, можна зробити висновок, що при написанні рівнянь збереження імпульсу в місцях звуження та розширення потоків для визначення діючої на потік сили потрібно використовувати другий по потоку переріз. У цьому випадку існує висока ймовірність того, що при звуженні-розширенні відбувається втрата енергії, а не її збільшення. Втрата енергії при звуженні та розширенні у цій моделі однакова та дорівнює:

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}(v_1 - v_2)^2 \quad (3.9)$$

Залежність (3.9) для втрат енергії не є, зрозуміло, протиставленням результатам експериментальних досліджень місцевих опорів звуження та розширення. Але оскільки форма їх подання достатньо складна для інтеграції в багатоітераційну погано збіжну процедуру розрахунків вентиляційної установки, доводиться використовувати більш просту, але менш точну залежність. Порівняння результатів розрахунків втрат енергії за формулою (3.9) з експериментальними даними показало, що похибка розрахунків ΔP за формулою (3.9) для розширення становить не більше 10 %, для звуження – не більше 15 %.

3.4 Методики розрахунку концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі

3.4.1 Розв'язання поставленої задачі за ідеальних умов

Розглянемо шкідливі домішки, що потрапляють в атмосферу, як систему зважених у повітрі часток, що не взаємодіють між собою. Тоді, рух окремо взятої частинки буде описуватися рівнянням Ланжевена:

$$M \frac{\partial v}{\partial t} = -bv - Mg + \rho_0 Vg + f_{st} \quad (3.10)$$

У цьому випадку для простоти обмежимося розглядом руху по вертикалі.

Перший доданок в (3.10) є силою тертя, і коефіцієнт тертя b , з одного боку, пов'язаний з коефіцієнтом дифузії D за допомогою співвідношення Ейнштейна:

$$D = \frac{k_B T}{b}, \quad (3.11)$$

а, з іншого боку, для сферичних частинок визначається за формулою Стокса:

$$b = 6\pi\eta R, \quad (3.12)$$

де η – в'язкість повітря, Па · с

Величина коефіцієнта тертя b за довідковими даними дорівнює $b = 2,85 \cdot 10^{-6} R$, кг/с.

Другий і третій доданки в (3.10) визначаються наявністю поля тяжіння, і відповідають силі тяжіння і силі Архімеда. Величина $M = \rho V$ – маса частинки, кг; $V = 4\pi R^3 / 3$ – об'єм, м³; R – радіус, м; ρ – густина частинки, кг/м³; величина $g = 9,8$ м/с² – прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі, а ρ_0 – густина повітря, кг/м³.

Останній доданок описує внесок випадкових зіткнень молекул повітря з частинкою і представлений як випадкова сила.

Рівняння (3.10) дозволяє вивести так зване рівняння Фоккера-Планка для функції розподілу частинок за швидкостями $h = h(z, v)$:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial h}{\partial v} - Mg \frac{\partial h}{\partial v} = \frac{b}{T} \frac{\partial}{\partial v} \left\{ \frac{k_B T}{M} v \frac{\partial h}{\partial v} + h \right\}. \quad (3.13)$$

На підставі рішення цього рівняння стає можливим визначення еволюції частинок ЗР у полі тяжіння з урахуванням дифузії.

3.4.2 Вирішення завдання розрахунку концентрацій шкідливих речовин у пилогазоповітряних викидах

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини C_m (мг/м³) при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим гирлом досягається за несприятливих метеорологічних умов на відстані X_m (м) від джерела і визначається за формулою:

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2\sqrt[3]{V_1\Delta T}}, \quad (3.14)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери;

M – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу, г/с;

F – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;

m та n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду;

H – висота джерела викиду над рівнем землі (для наземних джерел при розрахунках приймається $H = 2$ м), м;

η – коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості (у випадку рівної або слабо пересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км, $\eta = 1$);

ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші T_g , що викидається, та температурою навколишнього атмосферного повітря T_n , °С;

V_1 (м³/с) – витрата газоповітряної суміші, що визначається за формулою

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0,$$

де D – діаметр гирла джерела викиду, м;

ω_0 – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду, м/с.

3.4.3 Завдання про седиментацію

Розглянемо завдання про седиментацію – осідання частинок ЗР у газі під дією гравітаційного поля. Для частинок великих розмірів ($R > 100$ мкм) не встигає відбутися вихід на стаціонарний режим, і такі частинки падають у полі тяжіння зі зростаючою швидкістю, але зі зменшуваним прискоренням.

Частинки менших розмірів ($R < 100$ мкм) встигають вийти на стаціонарний режим падіння, тобто на режим руху з постійною швидкістю. Для таких частинок рішення рівняння (3.13) дозволяє вивести рівняння дифузії у полі тяжіння – так зване рівняння Смолюховського:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{\partial n}{\partial z} + \frac{Mg}{k_B T} n \right\}. \quad (3.15)$$

Тут $n = n(z)$ – кількість частинок в одиниці об'єму.

$$n(z) = \int h(v, z) dv. \quad (3.16)$$

Рівняння (3.15) є основним рівнянням для розв'язання поставлених завдань, воно дозволяє з необхідним ступенем точності визначати часову і просторову еволюцію систем частинок в зовнішніх полях. При цьому зручно переписати це рівняння в іншому вигляді:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + c \frac{\partial n}{\partial z} = \frac{k_B T}{b} \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + \frac{Mg}{b} \frac{\partial n}{\partial z}. \quad (3.17)$$

У такому вигляді в рівнянні явно виділені два доданки, які відповідають різним фізичним механізмам. Перший – це розмиття, за рахунок явища дифузії з характерним коефіцієнтом дифузії $D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R}$.

Другий доданок описує так зване «знесення» (або «дрейф»), тобто спрямований рух за рахунок зовнішньої сили зі сталою швидкістю

$$c = \frac{Mg}{b} = \frac{2}{9} \frac{\rho R^2 g}{\eta} .$$

Еволюція системи частинок являє собою конкуренцію цих двох механізмів. При цьому відносний внесок кожного з механізмів визначається, перш за все, розміром частинок. Так частки великих розмірів ($R > 1$ мкм) будуть з досить великою, але постійною швидкістю рухатися вниз, а частинки маленьких розмірів ($R < 100$ мкм) будуть повільно дифундувати в атмосфері.

3.4.4 Вирішення типового завдання про еволюцію хмари забруднюючих частинок у полі тяжіння

Припустимо, що в початковий момент часу всі частинки знаходилися на деякій висоті z_0 , тобто початкова умова має вигляд:

$$n(z, t = 0) = n_0 d \delta(z - z_0), \quad (3.18)$$

де d – товщина шару, м;

n_0 – значення щільності в початковий момент часу, кг/м³;

$\delta(z)$ – функція Дірака.

Як граничну умову вибираємо вимогу рівності нулю потоку частинок на границі

$$j(z = 0, t) = D \frac{\partial n}{\partial z} + cn = 0 . \quad (3.19)$$

Розв'язання цієї задачі має вигляд:

$$n(z, t) = \frac{n_0 d}{2\sqrt{\pi Dt}} \left\{ \exp\left(-\frac{(z-z_0)^2}{4Dt}\right) + \exp\left(-\frac{(z+z_0)^2}{4Dt}\right) \right\} \cdot \exp\left[-\frac{c}{2D}\left(z-z_0+\frac{ct}{2}\right)\right] + \frac{c \cdot n_0 d}{2D} \exp\left(-\frac{cz}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{z-z_0-ct}{\sqrt{4Dt}}\right), \quad (3.20)$$

де $\operatorname{erfc}(x)$ – інтеграл помилок.

Характерні залежності від висоти в певні моменти часу подані на рис. 3.5.

У результаті розв'язання поставленого завдання були визначені кількісні межі режимів еволюції забруднюючих частинок в полі тяжіння. Були одержані рівняння, які дають опис еволюції частинок довільних розмірів.

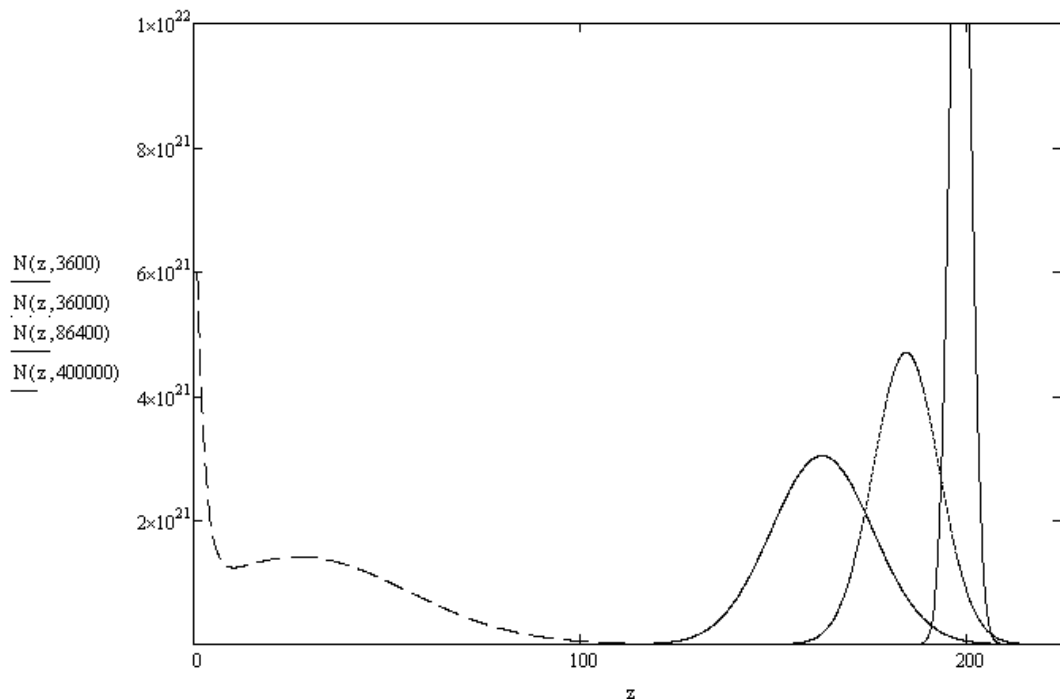


Рисунок 3.5 – Графік просторового розподілення забруднення у різні моменти часу

3.5 Інформаційна модель поширення забруднення атмосфери викидами з резервуарів із залишками нафтопродуктів

Основним фактором техногенного впливу таких викидів на НПС для екологічної оцінювання вважають формування хмари забрудненого повітря (первинної, вторинної тощо).

Наведемо комплекс математичних розрахунків для різних видів екологічного впливу об'єктів, що розглядаються, на атмосферу, які дають можливість оцінити межі поширення екологічної кризової ситуації у НПС.

Аналітичну модель для опису просторового розподілу концентрації небезпечних для здоров'я людини та НПС речовин як у нестационарному, так й у стаціонарному випадках розвитку можливих аварій, що пов'язані з викидом небезпечних речовин, можна розробити на основі загальної теорії механіки суцільних середовищ [105–109].

Небезпечна забруднююча речовина разом з повітрям створює двокомпонентну газову систему. Концентрація речовини, що забруднює атмосферу, визначається її густиною $\rho_s(\vec{r}, t)$ (кг/м³) у двокомпонентній системі. Сумарна густина ρ_Σ такої двокомпонентної системи дорівнює

$$\rho_\Sigma(\vec{r}, t) = \rho_s(\vec{r}, t) \cdot \varphi + \rho_n(\vec{r}, t) \cdot (1 - \varphi), \quad (3.21)$$

де ρ_n – густина повітря, кг/м³;

φ – мольна частка речовини у двокомпонентній системі, ч. од.

Забруднення атмосфери у різних точках простору у різні моменти часу цілком задається функцією $\rho_s(\vec{r}, t)$. Задача полягала в одержанні повної системи рівнянь, вирішуючи яку можна знайти $\rho_s(\vec{r}, t)$ за заданих граничних умов та початковому розподілі концентрації забруднюючої речовини $\rho_s(\vec{r}, t = 0)$ [110].

У двокомпонентному газі забруднююча речовина рухається зі

швидкістю $\vec{v}_3(\vec{r}, t)$, а повітря – зі швидкістю $\vec{v}_n(\vec{r}, t)$. Поряд зі швидкостями \vec{v}_3 та \vec{v}_n введемо також конвективну (загальну) швидкість $\vec{V}_k(\vec{r}, t)$ двокомпонентного газу рівністю

$$\rho_\Sigma \vec{V}_k = \rho_3 \vec{v}_3 + \rho_n \vec{v}_n. \quad (3.22)$$

Якщо двокомпонентна суміш перебуває у спокої, то $\vec{V}_k = 0$. Тоді згідно з (3.22) маємо

$$0 = \rho_3 \vec{v}_{3,\partial} + \rho_n \vec{v}_{n,\partial}, \quad (3.23)$$

де $\vec{v}_{3,\partial}$ та $\vec{v}_{n,\partial}$ – відповідно швидкості руху забруднюючої речовини та повітря у двокомпонентній системі, яка у цілому перебуває у стані спокою, тому що $\vec{V}_k = 0$.

Зміна концентрацій компонентів у двокомпонентній системі, яка перебуває у стані спокою, як відомо, називається дифузією. Дифузія обумовлена зустрічним рухом компонент з відповідними швидкостями $\vec{v}_{3,\partial}$ та $\vec{v}_{n,\partial}$, які не дорівнюють нулю.

Явище дифузії забруднюючої речовини визначається вектором дифузії

$$\vec{i}_3 = \rho_3 \vec{v}_{3,\partial}, \quad (3.24)$$

який, згідно з (3.24), виражає кількість забруднювача, що переноситься дифузією за одиницю часу через одиницю поверхні, перпендикулярну вектору $\vec{v}_{3,\partial}$.

Аналогічно вектор дифузії повітря у двокомпонентному газі визначається рівністю

$$\vec{i}_n = \rho_n \vec{v}_{n,d} . \quad (3.25)$$

Згідно (3.23) – (3.25) виконується рівняння

$$\vec{i}_z = -\vec{i}_n . \quad (3.26)$$

Фізичною причиною дифузії є різниця концентрацій молекул забруднювача та молекул повітря з середніми швидкостями $\vec{v}_{z,d}$ та $\vec{v}_{n,d}$.

Виділимо у швидкостях руху забруднювача \vec{v}_z та повітря \vec{v}_n конвективну швидкість руху двокомпонентного газу \vec{V}_k та швидкості дифузійного руху рівностями

$$\vec{v}_z = \vec{V}_k + \vec{v}_{z,d} , \quad (3.27)$$

$$\vec{v}_n = \vec{V}_k + \vec{v}_{n,d} . \quad (3.28)$$

Відзначимо, що при цьому визначенні підстановка (3.27) та (3.28) у праву частину рівності (3.22) з урахуванням (3.21) дає ліву частину рівності (3.22).

Перейдемо до одержання повної системи рівнянь, яка описує зміну концентрації забруднювача у просторі та часі. Почнемо з закону збереження маси забруднювача. З цією метою розглянемо деякий замкнений об'єм V , який обмежує замкнена поверхня f . Маса забруднювача в об'ємі V , очевидно, дорівнює

$$M_z = \int_V \rho_z(\vec{r}, t) d^3 r . \quad (3.29)$$

Зміна маси забруднювача у замкненому об'ємі V за одиницю часу t

дорівнює

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho_3 d^3 r = - \oint_f \rho_3 \vec{v}_3 d \vec{f} + \int_V Q_3 d^3 r \quad (3.30)$$

Перший інтеграл по замкненій поверхні f у правій частині рівняння (3.30) дає зміну маси забруднювача в об'ємі V за одиницю часу за рахунок його руху через замкнену поверхню f . Другий інтеграл у правій частині рівняння (3.30) дає зміну маси забруднювача в об'ємі V за одиницю часу за рахунок наявності у ньому джерел та викидів забруднювача, що задаються функцією Q_3 .

Джерела, зв'язані із зовнішніми викидами забруднювача в атмосферу, можуть бути описані функцією $Q_{дж}(\vec{r}, t)$. Функція $Q_{дж}(\vec{r}, t)$ задає масу забруднювача, яку викидають зовнішні джерела за одиницю часу в одиницю об'єму атмосферного повітря, який містить точку \vec{r} .

Викиди, подібно джерелам, можна описати функцією $Q_{см}(\vec{r}, t)$.

$$Q_3(\vec{r}, t) = Q_{дж}(\vec{r}, t) + Q_{см}(\vec{r}, t) \quad (3.31)$$

Виходячи з теореми Остроградського-Гауса, інтеграл по поверхні, який міститься у правій частині рівняння (3.30), перетворюємо в інтеграл по об'єму. Окрім цього вважаємо, що об'єм V не змінюється з часом. Це дозволяє диференціювати по часу підінтегральний вираз у лівій частині рівняння (3.30). Врешті-решт, отримаємо

$$\int_V \frac{\partial \rho_3}{\partial t} d^3 r = - \int_V \text{div} \rho_3 \vec{v}_3 d^3 r + \int_V Q_3 d^3 r \quad (3.32)$$

Ураховуючи, що рівність (3.32) виконується для будь-якого об'єму V , одержимо

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} = -\operatorname{div} \rho_3 \vec{v}_3 + Q_3. \quad (3.33)$$

З урахуванням рівностей (3.24) та (3.27) запишемо рівність (3.33) у вигляді

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\operatorname{div} \rho_3 \vec{V}_k - \operatorname{div} \vec{i}_3 + Q_3. \quad (3.34)$$

Закон збереження маси для повітря співпадає з (3.34) з точністю до позначення

$$\frac{\partial \rho_n}{\partial t} = -\operatorname{div} \rho_n \vec{V}_k - \operatorname{div} \vec{i}_n + Q_n. \quad (3.35)$$

Рух двокомпонентного газу, як цілого, описується рівнянням Нав'є-Стокса

$$\rho_\Sigma \left\{ \frac{\partial \vec{V}_k}{\partial t} + (\vec{V}_k \Delta) \vec{V}_k \right\} = -\Delta \rho + \eta \Delta \vec{V}_k + \left(\xi + \frac{\eta}{3} \right) \Delta \operatorname{div} \vec{V}_k + \vec{F}_{cm}. \quad (3.36)$$

де η та ξ – відповідно коефіцієнти першої та другої в'язкості, які передбачаються заданими умовами, Па · с;

P – тиск у двокомпонентному газі, Па;

\vec{F}_{cm} – стороння сила, яка передбачається заданою (сторонньою силою може бути, наприклад, сила тяжіння), Н.

Закон збереження енергії двокомпонентного газу записується у вигляді [111]

$$\rho_\Sigma T \left\{ \frac{\partial S}{\partial t} + (\vec{V}_k \Delta) S \right\} = \sigma_{ik} \frac{\partial V_{ki}}{\partial x_k} - \operatorname{div} \vec{q} + \mu \operatorname{div} \vec{i}_3. \quad (3.37)$$

де T – температура двокомпонентного газу, К;

S – ентропія двокомпонентного газу, Дж/(кг · К).

Тензор в'язкості σ_{ik} , вектор потоку тепла \vec{q} та хімічний потенціал μ

двокомпонентного газу передбачаються заданими.

Вираз для вектора дифузії \vec{i}_z записується з простих феноменологічних міркувань. Будемо вважати, що в горизонтальній площині, яка співпадає з площиною x, y , якості атмосфери не залежать від напрямку, але відмінні у вертикальному напрямку, який співпадає з віссю z . Тоді компоненти вектору дифузії \vec{i}_z можна записати у вигляді

$$i_{zx} = -D_{\parallel} \rho_{\Sigma} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\rho_z}{\rho_{\Sigma}} - K_T \frac{\partial T}{\partial x} - K_P \frac{\partial P}{\partial x}; \quad (3.38)$$

$$i_{zy} = -D_{\parallel} \rho_{\Sigma} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\rho_z}{\rho_{\Sigma}} - K_T \frac{\partial T}{\partial y} - K_P \frac{\partial P}{\partial y}; \quad (3.39)$$

$$i_{zz} = -D_{\perp} \rho_{\Sigma} \frac{\partial}{\partial z} \frac{\rho_z}{\rho_{\Sigma}} - \chi_T \frac{\partial T}{\partial z} - \chi_P \frac{\partial P}{\partial z}. \quad (3.40)$$

Перші доданки у правих частинах рівностей (3.38) – (3.40) описують дифузію, що обумовлена залежністю ρ_z від \vec{r} , другі – термодифузію, треті – бародифузію. Коефіцієнти $D_{\parallel}, D_{\perp}, K_T, \chi_T, K_P, \chi_P$ передбачаються заданими. Коефіцієнти дифузії D_{\parallel} та D_{\perp} – позитивні, а коефіцієнти термодифузії K_T і χ_T та коефіцієнти бародифузії K_P і χ_P можуть бути як позитивні, так і негативні.

Аналогічно записується вектор дифузії \vec{i}_n . При цьому повинно виконуватись рівняння (3.26).

Система трьох скалярних рівнянь (3.34), (3.35), (3.37) та одного векторного рівняння (3.36) є повна система рівнянь відносно чотирьох функцій $\rho_z(\vec{r}, t)$, $\rho_n(\vec{r}, t)$, $P(\vec{r}, t)$, $\vec{V}_k(\vec{r}, t)$.

При цьому ентропія S та температура T задаються рівняннями стану,

згідно з якими $S = S(\rho_z, \rho_p, P)$ та $T = T(\rho_z, \rho_p, P)$. Рівняння стану визначаються якостями двокомпонентного газу, який розглядається, та передбачаються заданими.

За заданих початкових та граничних умов рішення системи рівнянь (3.34) – (3.37) з урахуванням рівностей (3.38) – (3.40) дозволяє знайти концентрацію забруднювача $\rho_z(\vec{r}, t)$ у будь-якій точці простору та у будь-який момент часу. Зміна концентрації забруднювача в просторі та в часі згідно з системою рівнянь (3.34) – (3.37) та рівностей (3.38) – (3.40) визначається конвективним перенесенням забруднювача зі швидкістю \vec{V}_k , а також дифузією, термодифузією та бародифузією.

Загальне рішення такої задачі у теперішній час отримати неможливо. Розвиток сучасних комп'ютерних технологій дозволяє для кожного конкретного випадку одержати чисельне рішення для функції $\rho_z(\vec{r}, t)$ [12]. Між тим безумовні переваги мають аналітичні рішення задачі поширення забруднення, які можна отримати в умовах наявності низки припущень, що суттєво спрощують рівняння (3.34) – (3.40).

Аналітичні рішення не тільки дають точне рішення задачі при зробленій низці припущень. Крім того, вони дозволяють якісно описати поширення забруднюючих речовин у досить загальних випадках навіть тоді, коли зроблені припущення не реалізуються. Нижче наводиться низка таких аналітичних рішень.

Перше рішення впливає з рівностей (3.38) – (3.40), які дозволяють запропонувати термодифузійний спосіб розподілу забруднень. Нехай у початковий момент часу $t = 0$ у якійсь області простору концентрація забруднювача буде однаковою у всіх точках простору, тобто ρ_z не залежить від координати \vec{r} . Крім того, двокомпонентний газ покоїться, тобто $\vec{V}_k = 0$.

При цьому виникають задачі сконцентрувати ЗР у деякій області простору, де вони будуть утилізовані, або очистити деяку область простору від ЗР. Рішення цих задач впливає з рівностей (3.38) – (3.40).

Задля спрощення будемо вважати, що $D_{||} = D_{\perp}$, $K_T = \chi_T$ та тиск двокомпонентного газу постійний у всіх точках простору, який розглядаємо. Тоді з рівностей (3.38) – (3.40) випливає, що

$$\vec{i}_z = D_{||} \rho_{\Sigma} \Delta \frac{\rho_3}{\rho_{\Sigma}} - K_T \Delta T. \quad (3.41)$$

Якщо у якійсь області $\rho_3(t=0) = \text{const}$, то перший доданок у правій частині рівності (3.41) дорівнює нулю. Помістимо у просторі тверде тіло, яке нагріте до деякої температури, що перевищує температуру навколишнього двокомпонентного газу. Тоді у просторі виникне градієнт температури, який згідно з (3.41), приведе до руху забруднювача у просторі. Якщо температуру твердого тіла підтримувати постійною, то після деякого часу настане стаціонарний стан, за якого \vec{i}_z обернеться на нуль.

Згідно з (3.41) стаціонарний стан при заданому градієнті температури можливий тільки за умови, що є градієнт забруднювача. При цьому розподіл концентрації забруднювача $\rho_3(\vec{r})$, що виникає у просторі, випливає з (3.41), в якому \vec{i}_z приймаємо рівним нулю. Врешті-решт, маємо

$$D_{||} \rho_{\Sigma} \Delta \frac{\rho_3}{\rho_{\Sigma}} = -K_T \Delta T. \quad (3.42)$$

Якщо забруднювач такий, що $K_T > 0$, то область навкруги нагрітого твердого тіла очиститься від забруднювача. Якщо $K_T < 0$, то забруднювач буде сконцентрований навкруги нагрітого твердого тіла, де можна його дезактивувати. При дезактивації рівність (3.42) буде порушуватися. У цих умовах нові порції забруднювача будуть підходити до нагрітого твердого тіла, поблизу якого можливо продовжувати його утилізацію.

Для термодифузного розподілу забруднювача можливо також

використати охолоджене тверде тіло, або якусь область простору, в якій температура нижче, ніж температура навколишнього двокомпонентного газу. У цьому випадку, коли $K_T > 0$, забруднювач збереться навколо охолодженої області простору, а при $K_T < 0$, охолоджена область очиститься від забруднювача.

Потрібно, безумовно, враховувати, що градієнт температури може привести до конвективного руху двокомпонентного газу зі швидкістю \vec{V}_k . Наявність конвективного руху можливо врахувати, але це вже інша задача.

Розглянемо рішення інших задач, виходячи з рівняння (3.34). На жаль, у загальному випадку рівняння (3.34) не можна вирішувати окремо від решти рівнянь повної системи, тому що поруч з ρ_3 воно містить також швидкість \vec{V}_k , повну густину ρ_Σ , тиск P та температуру T .

Між тим, якщо зробити низку припущень, які спрощують задачу, то рівняння (3.34) можна вирішувати, не враховуючи решту рівнянь повної системи. Перелічимо ці припущення:

1. Будемо вважати, що внесок термодифузії та бародифузії у зміну концентрації забруднювача $\rho_3(\vec{r}, t)$ малий. Таке припущення виправдане, якщо температура та тиск постійні або досить слабо змінюються у просторі. Таке припущення виправдане також у випадку, коли K_T, χ^T та K_P, χ^P є малими. У цих випадках другий та третій доданки у правій частині рівності (3.38) – (3.40) будуть відсутні.

2. Не будемо враховувати залежність від координати \vec{r} сумарної щільності ρ_Σ .

Перше та друге припущення дозволяють записати рівності (3.38) – (3.40) у вигляді:

$$i_{3x} = -D_{II} \frac{\partial \rho_3}{\partial x}; \quad i_{3y} = -D_{II} \frac{\partial \rho_3}{\partial y} . \quad (3.43)$$

3. Швидкість конвективного руху \vec{V}_k , що міститься в (3.34), будемо вважати відомою. Це може бути, зокрема, швидкість вітру, що вимірюється незалежно.

Якщо підставити (3.43) у (3.34) та врахувати (3.31), то одержимо відносно шуканої концентрації забруднювача $\rho_3(\vec{r}, t)$ рівняння

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} + \rho_3 \operatorname{div} \vec{V}_k + \vec{V}_k \nabla \rho_3 - \frac{\partial}{\partial x} D_{||} \frac{\partial \rho_3}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_{||} \frac{\partial \rho_3}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} D_{\perp} \frac{\partial \rho_3}{\partial z} = Q_{cm}(\vec{r}, t) + Q_{дж}(\vec{r}, t). \quad (3.44)$$

При одержанні рівняння (3.44) враховано, що

$$\operatorname{div} \rho_3 \vec{V}_k = \rho_3 \operatorname{div} \vec{V}_k + \vec{V}_k \Delta \rho_3, \quad (3.45)$$

щоб виділити внесок залежності швидкості \vec{V}_k від \vec{r} у зміну функції $\rho_3(\vec{r}, t)$. Цей внесок дає другий доданок у лівій частині рівняння (3.44).

Виходячи з рівняння (3.44), вирішимо низку задач, які реалізуються на практиці.

Розглянемо випадок, коли вітер відсутній, тобто $\vec{V}_k = 0$. Відсутні також джерела забруднення, тобто $Q_{дж} = 0$. Будемо вважати, що коефіцієнти вертикальної та горизонтальної дифузії рівні, тобто $D_{||} = D_{\perp}$ та не залежать від координати. Будемо вважати також, що викиди забруднювача лінійно залежать від концентрації, тобто

$$Q_{cm} = -\sigma_{cm} \rho_3(\vec{r}, t), \quad (3.45)$$

де коефіцієнт пропорційності σ_{cm} передбачається постійним та позитивним.

Зроблені припущення дозволяють записати рівняння (3.44) у вигляді

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} = D_{||} \Delta \rho_3 - \sigma_{cm} \rho_3. \quad (3.46)$$

Рівняння (3.46) повинно бути доповнено початковими умовами, які задають розподіл концентрації забруднювача у початковий момент часу $t = 0$. Такий початковий розподіл задається функцією

$$\rho_3(\vec{r}, t = 0) = \rho_{0_3}(\vec{r}). \quad (3.47)$$

Рівняння (3.46) необхідно також доповнити граничними умовами на функцію $\rho_3(\vec{r}, t)$.

Для спрощення будемо вважати, що граничні умови відсутні. Таке передбачення виправдане, якщо об'єм газу, який досліджується, знаходиться досить далеко від меж, які впливають на зміну концентрації забруднювача у часі та просторі.

Рішення рівняння (3.46) з початковою умовою (3.47) можна отримати, якщо функцію $\rho_3(\vec{r}, t)$ подати у вигляді інтегралу Фур'є, тобто

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_k(t) e^{i\vec{k}\vec{r}} d^3K. \quad (3.48)$$

Підставлення (3.48) у (3.46) дає

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{d\rho_k}{dt} + D_{II} K^2 \rho_k + \sigma_{cm} \rho_k \right\} e^{i\vec{k}\vec{r}} d^3K. \quad (3.49)$$

З рівняння (3.49) випливає рівність

$$\frac{d\rho_k}{dt} + D_{II} K^2 \rho_k + \sigma_{cm} \rho_k = 0. \quad (3.50)$$

Рішення рівняння (3.50) запишемо у вигляді

$$\rho_k(t) = \rho_0(\vec{K}) e^{-D_{II} K^2 t} e^{-\sigma_{cm} t}, \quad (3.51)$$

де $\rho_0(\vec{K})$ вже не залежить від часу, але є функція вектору \vec{K} .

Підставлення рішення (3.51) у (3.48) дає

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_0(\vec{K}) e^{-D_{II} K^2 t} e^{-\sigma_{cm} t} e^{i\vec{K}\vec{r}} d^3 K. \quad (3.52)$$

Функція (3.52), очевидно, є рішенням рівняння (3.46). Треба підібрати таку функцію $\rho_0(\vec{K})$, щоб задовольнялась початкова умова (3.47). Для цього задамо у (3.52) $t = 0$. Після чого отримаємо

$$\rho_3(\vec{r}, t = 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_0(\vec{K}) e^{i\vec{K}\vec{r}} d^3 K. \quad (3.53)$$

Згідно (3.47) та (3.53) функція $\rho_0(\vec{K})$ є функцією Фур'є – вигляд розподілення забруднення у початковий момент часу $t = 0$. Виходячи зі зворотного перетворення Фур'є, одержимо

$$\rho_0(\vec{K}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{03}(\vec{r}') e^{-i\vec{K}\vec{r}'} d^3 r'. \quad (3.54)$$

Підставляючи (3.48) у (3.52), отримаємо рішення, яке задовольняє рівнянню (3.46) та початковій умові (3.47)

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} e^{-\sigma_{cm} t} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{03}(\vec{r}') e^{-D_{II} K^2 t} e^{i\vec{K}(\vec{r}-\vec{r}')} d^3 K d^3 r'. \quad (3.55)$$

Виконуючи у (3.55) інтегрування по \vec{K} , остаточно отримаємо

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \frac{e^{-\sigma_{cm} t}}{8(\pi D t)^{3/2}} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{03}(\vec{r}') e^{-\frac{(\vec{r}-\vec{r}')^2}{4D_{II} t}} d^3 r'. \quad (3.56)$$

Результат (3.56) розв'язує поставлену задачу. З рішення (3.56) випливає, що концентрація забруднювача експоненціально зменшується. За час $t_{cm} = \frac{1}{\sigma_{cm}}$ концентрація у кожній точці зменшується в e раз.

Подальше дослідження рішення (3.56) зручно провести в моделі простої початкової умови, коли в початковий момент часу маса забруднювача M_0 знаходиться у малому об'ємі, який міститься на початку координат. Така початкова умова апроксимується дельта-функцією з множником M_0 , тобто

$$\rho_{03}(\vec{r}') = M_0 \delta(\vec{r}'). \quad (3.57)$$

Підставлення (3.57) у (3.56) дає

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \frac{M_0}{8(\pi D_{II} t)^{3/2}} e^{-\sigma_{cm} t} e^{-\frac{r^2}{4D_{II} t}}. \quad (3.58)$$

Згідно розв'язку (3.58) в певний фіксований момент часу t характерна область, в якій буде помітна кількість забруднювача, що лишився, визначається розміром L_3 , при якому показник другої експоненти порядку одиниці, тобто

$$\frac{L_3^2}{4D_{II} t} \approx 1 \quad \text{або} \quad L_3 \approx 2\sqrt{D_{II} t}. \quad (3.59)$$

При цьому у всіх точках простору зменшення концентрації забруднювача за рахунок розпаду визначається множником $e^{-\sigma_{cm} t}$.

Рівняння (3.43) із заданими початковими та граничними умовами дозволяє прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та у

часі практично для будь-яких можливих ситуацій. Низка рішень рівняння (3.43) з урахуванням деяких спрощуючих передумов наведена у публікаціях [105, 106].

Проаналізувавши методи розрахунку концентрації домішок від точкових та лінійних джерел викидів за різних умов експлуатації, установили, що кожен з них має обмежену область застосування. Отже, актуальним завданням може стати створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел. При цьому треба враховувати кількісні межі режимів еволюції частинок забруднювачів в полі тяжіння, а одержані рівняння, що дають опис еволюції частинок забруднювачів довільних розмірів, стають максимально універсальними.

Висновки до розділу 3

1. Обґрунтована методика моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатоконпонентних рідин, а також процесів дегазації. Під час моделювання вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатоконпонентних рідин допустиме використання однакових методик.

2. Проведено математичне моделювання ежекції, засноване на законі збереження імпульсу, що дозволяє визначити втрати напору та задавати початкову швидкість потоку повітря, що подається у внутрішній простір резервуара.

3. Оцінено вплив геометричних характеристик отворів для проведення примусової вентиляції в резервуарах на інтенсивність випаровування залишків світлих нафтопродуктів [13].

4. На підставі розробленої інформаційної моделі поширення забруднення атмосфери викидами з резервуарів із залишками нафтопродуктів спрогнозовано та оцінено межі поширення екологічної кризової ситуації у навколишньому середовищі [12].

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ПРОЦЕСУ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ

Для оцінювання ефективності й дослідження нового інноваційного способу проведення дегазації резервуарів НГК розроблений і змонтований експериментальний резервуар, призначений для визначення рухомості повітря за різних способів його подання у їх внутрішній простір, швидкості випаровування та втрати маси рідин, що в них зберігалися.

Мета проведених досліджень полягала в одержанні низки експериментальних даних щодо рівня екологічної безпеки процесу вентиляції резервуарів НГК перед проведенням вогневих (ремонтних) робіт за рахунок підвищення продуктивності очищення. Поставлена мета досягається за рахунок максимального перемішування подаваного повітря з газом у резервуарі. Результати досліджень масообміну при вентиляції резервуарів використані для практичного застосування способів очищення резервуарів, що пропонуються у рамках дисертаційного дослідження. Результати досліджень ефективності процесу вентиляції й процесу випаровування рідин дозволяють підвищити рівень екологічної безпеки порівняно з що використовуваними на сьогодні методами.

4.1 Обробка результатів експериментального дослідження процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів за різних способів подання повітря

Експеримент проводили відповідно до запропонованої методики оцінювання пожежовибухонебезпеки резервуарів для зберігання нафтопродуктів під час проведення вентиляції й підготовки резервуарів до вогневих (ремонтних) робіт (підрозділ 2.4).

Для визначення рівня екологічної безпеки та пожежовибухонебезпеки

нафтових резервуарів під час проведення вентиляції проводили лабораторні й промислові дослідження. Усі дослідження виконували у світлий час доби та за відсутності грозових й передгрозових метеоумов. Температура зовнішнього повітря – у межах 20–27 °С.

Процеси вентиляції ЕР докладно описані в підрозділі 2.3.

Швидкість припливного повітря при проведених вимірювань визначалася за допомогою градуювального графіка (рис. 4.1).

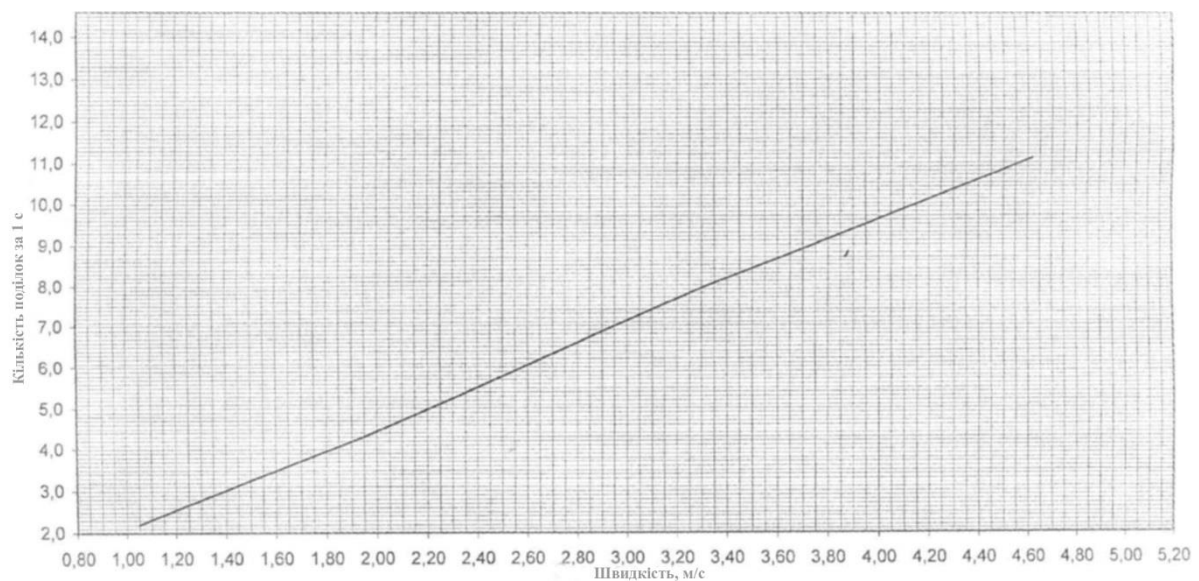
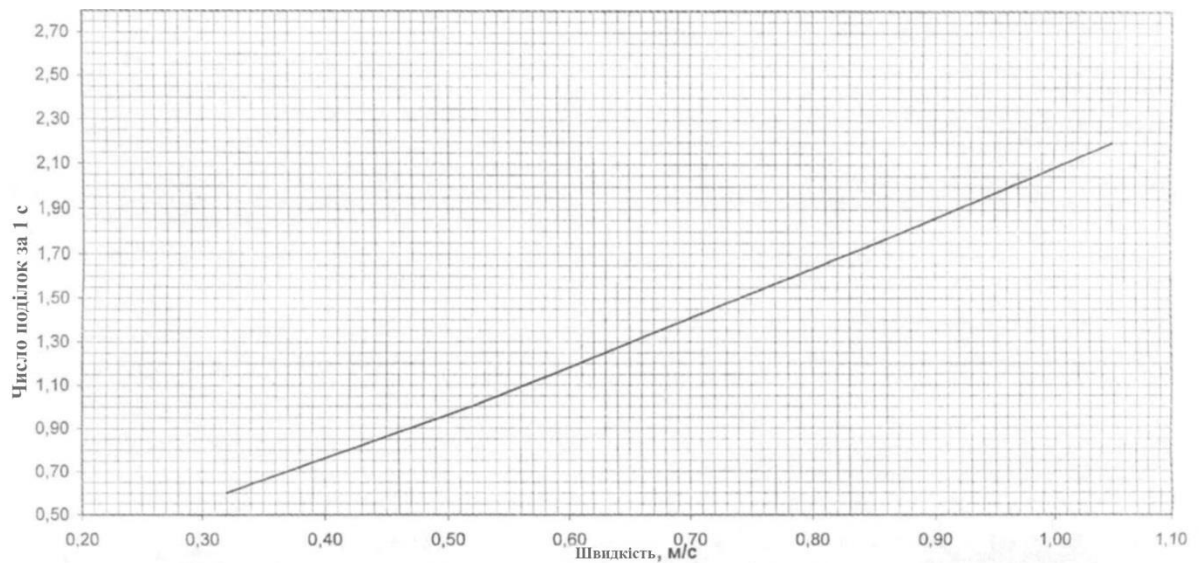


Рисунок 4.1 – Градувальний графік визначення швидкості припливного повітря

При вимірюванні рухомості повітря за допомогою термоанемометра «ТКА-ПКМ» швидкість припливного повітря (в м/с) відображалася на цифровому дисплеї анемометра.

За різних способів подання припливного повітря у простір експериментальних резервуарів проводили вимірювання втрати маси ГР та ЛЗР. Для точності вимірювань втрати маси під час вентиляції експериментальних резервуарів експеримент проводили також на воді.

Обробка дослідних даних із втрати маси рідинами в процесі вентиляції проводили в середніх відносних значеннях величин маси. Відносне значення втрати маси рідиною виражаємо в такий спосіб:

$$\bar{m} = \frac{m_i}{m_p}, \quad (4.1)$$

де m_i – маса рідини в i -у одиницю часу, г;

m_p – маса рідини, залитої в експериментальну ємність, г.

Результати досліджень зміни відносних значень втрати маси однокомпонентних рідин (вода, толуол, октан, гексан) подані на рис. 4.2–4.5.

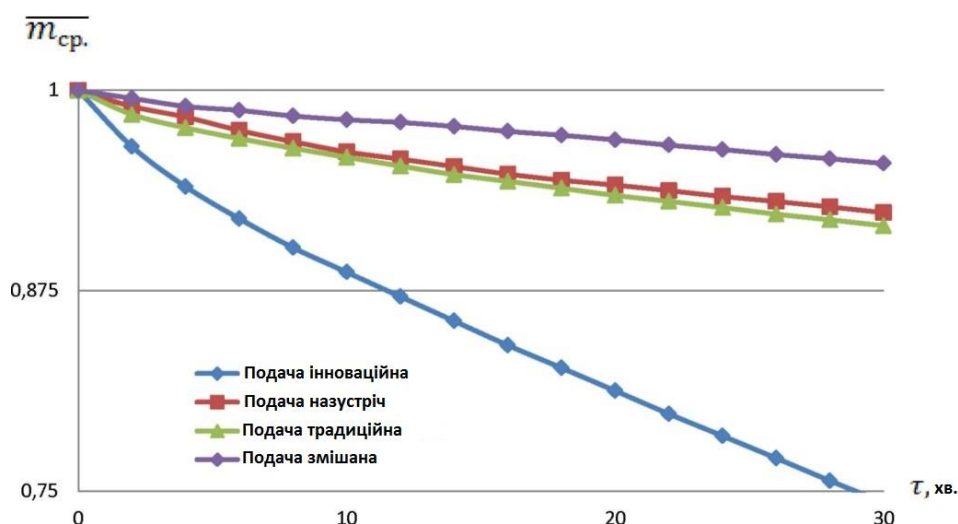


Рисунок 4.2 – Графік втрати маси води за різних схем подання припливного повітря

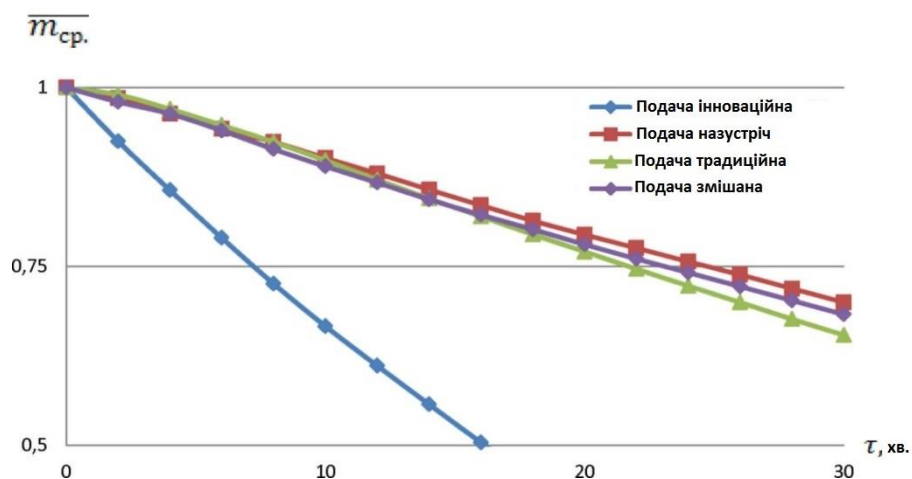


Рисунок 4.3 – Графік втрати маси толуолу за різних схем подання припливного повітря

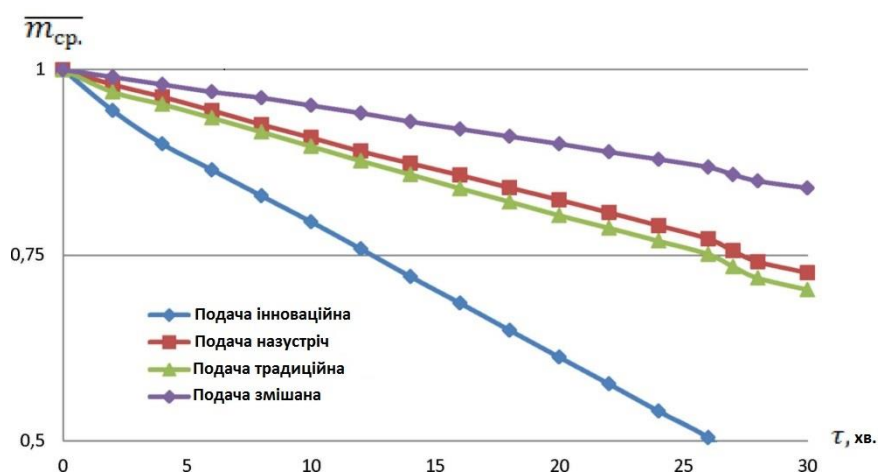


Рисунок 4.4 – Графік втрати маси октану за різних схем подання припливного повітря

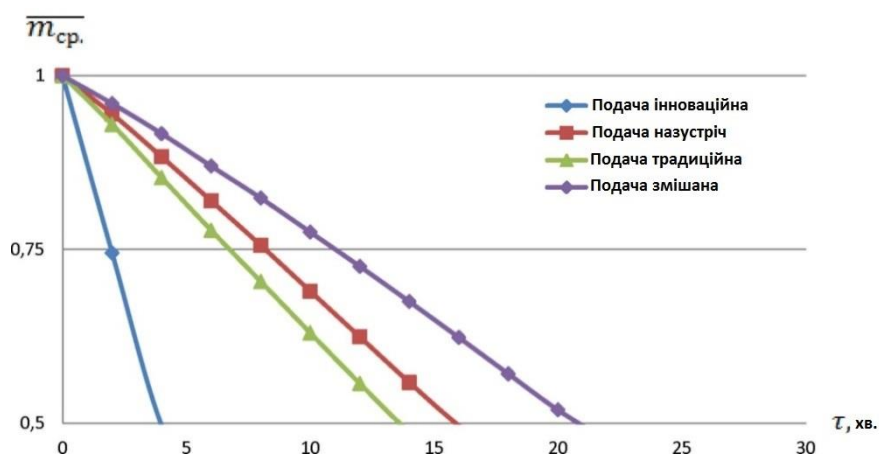


Рисунок 4.5 – Графік втрати маси гексану за різних схем подання припливного повітря

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що зміни відносних значень втрати маси для однокомпонентних рідин, що досліджувались (а саме – вода, толуол, октан та гексан), у вентиляльованих резервуарах є лінійними.

Результати досліджень зміни відносних значень втрати маси для багатоконпонентних рідин (бензини, дизельне паливо) подані на рис. 4.6 та 4.7.

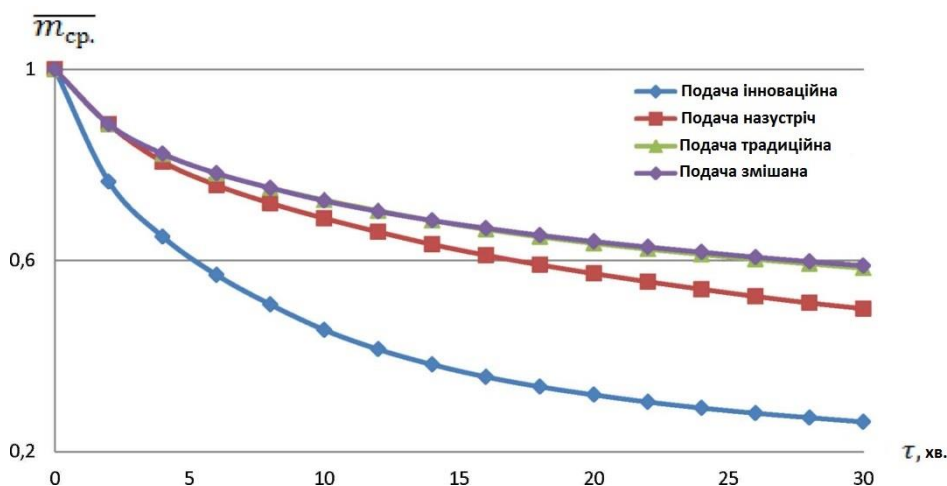


Рисунок 4.6 – Графік втрати маси бензинів А-92/95 за різних схем подання припливного повітря

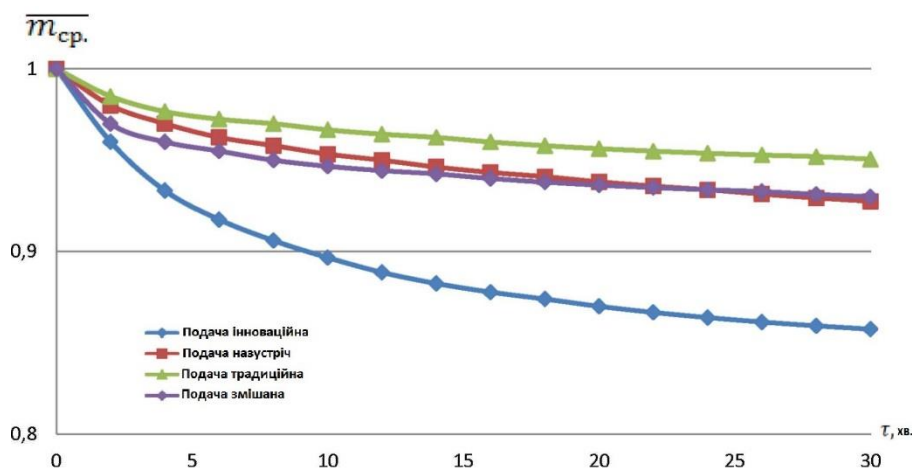


Рисунок 4.7 – Графік втрати маси дизельного палива за різних схем подання припливного повітря

Результати цих досліджень свідчать про те, що зміни відносних значень

втрати маси для багатокomпонентних рідин (а саме – дизельне паливо та бензини) у вентиляованих резервуарах не є лінійними. При цьому швидкість зміни відносних значень втрати маси для запропонованого ежекторно-вихрового способу подання повітря для всіх досліджуваних рідин суттєво вище, ніж за інших способів організації вентиляції.

4.2 Визначення розрахункових величин втрати маси рідинами під час вентиляції експериментальних резервуарів

Для порівняння даних щодо втрати маси рідини у внутрішньому просторі резервуарів під час їх вентиляції, одержаних експериментальним шляхом, з розрахунковими даними проведемо розрахунки за такими формулами.

1. Маса рідини, що випаровувалася, m :

$$m = W \cdot F_u \cdot T, \quad (4.2)$$

де W – інтенсивність випаровування, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$;

F_u – площа випаровування, м^2 ;

T – час випаровування, с (1 год = 3600 с).

2. Інтенсивність випаровування W :

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{\mu} \cdot P_s, \quad (4.3)$$

де η – коефіцієнт, прийнятий залежно від швидкості й температури повітряного потоку над поверхнею випаровування;

μ – молярна маса рідини, $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$;

P_s – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини t_p , кПа.

Коефіцієнт η розраховується залежно від низки параметрів повітряного

поток, зокрема швидкості і температури повітряного потоку (табл. 4.1)

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта η залежно від швидкості й температури повітряного потоку

Швидкість повітряного потоку в приміщенні, м/с	Значення коефіцієнта η за різних температур повітря у приміщенні (в °С)				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Значення коефіцієнта η , які не наведені в табл. 4.1, визначаємо методом найменших квадратів [112]. Графік значень коефіцієнта η залежно від швидкості повітряного потоку над поверхнею випаровування при температурі 26 °С поданий на рис. 4.8.

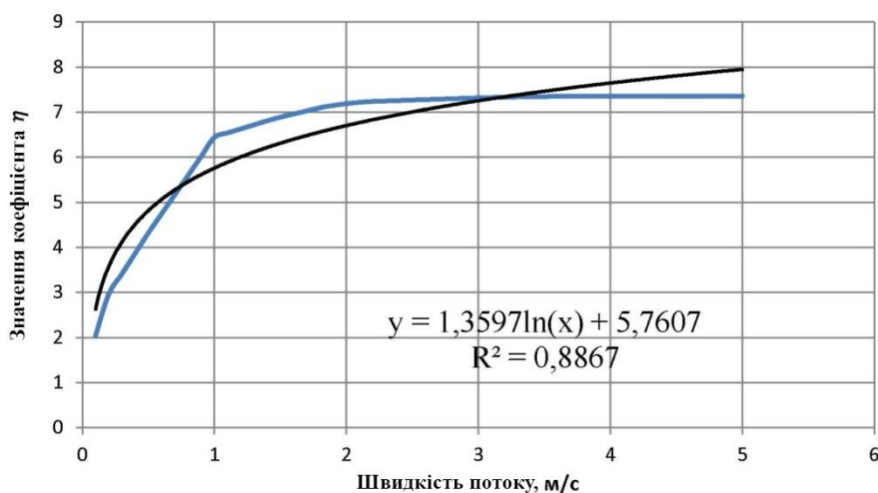


Рисунок 4.8 – Залежність коефіцієнта η від швидкості повітряного потоку

3. Тиск насиченої пари:

$$\lg P_s = A - \frac{B}{C + t_p}, \quad (4.4)$$

де A, B, C – константи рівняння Антуана (за довідковими даними), кПа;

t_p – розрахункова температура повітря, °С.

Для нафтопродуктів, що перебувають поза температурним інтервалом, тиск насиченої пари, кПа, визначають за формулою [113]:

$$P_s = \frac{\exp[6,908 + 0,0443 \cdot (t_p - 0,924 \cdot t_{\text{всп}} + 2,055)]}{1047 + 7,48 \cdot t_{\text{всп}}} \quad (4.5)$$

де $t_{\text{всп}}$ – температура спалаху, °С.

Відповідно до [151] тиск насиченої пари води дорівнює 0,03 атм (або 3,03 кПа).

4.3 Порівняння експериментальних і розрахункових даних зміни інтенсивності випаровування залежно від способу подання повітря

Для детальності та наочності порівняння розрахункових і експериментальних значень залежності зміни маси досліджуваних рідин від швидкості припливного повітря у внутрішньому просторі резервуара варто розбити внутрішній простір резервуара на площини перерізу. Точки виміру й площини перерізу подані на рис. 4.9 (аналогічний рис. 2.3).

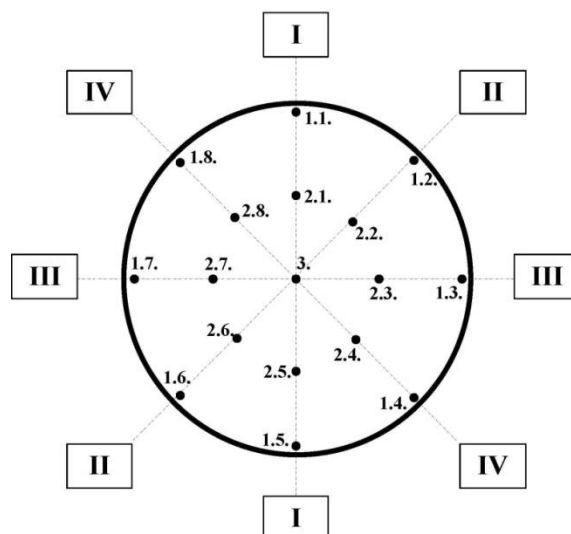
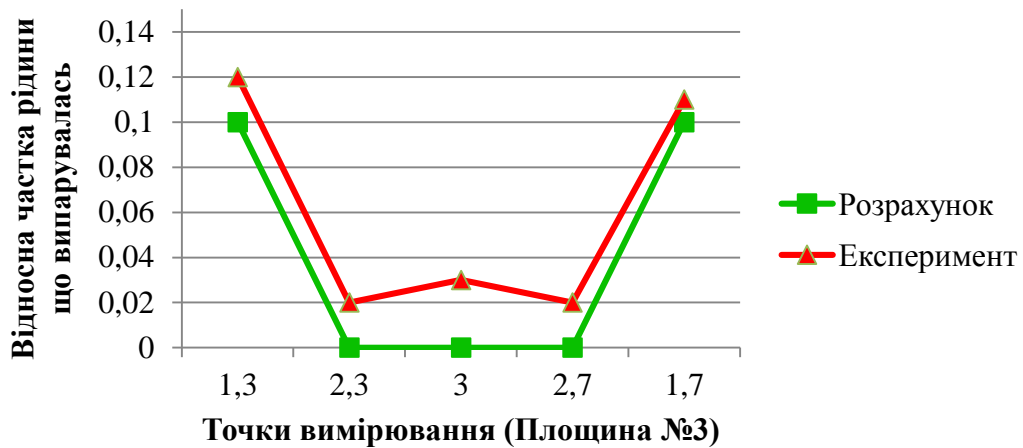
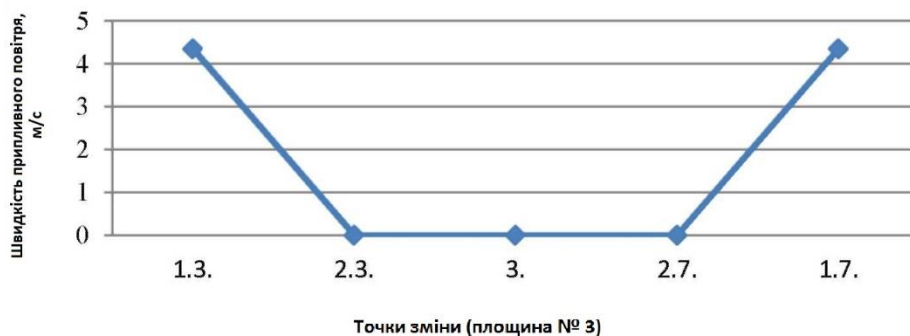


Рисунок 4.9 – Точки й площини перерізу резервуара

Порівняння експериментальних і розрахункових змін відносної інтенсивності випаровування в площині перерізу III експериментального резервуара, обмеженої точками виміру 1.3., 2.3., 3., 2.7., 1.7., при організації схеми вентиляції інноваційним способом для однокомпонентної рідини толуол подано на рис. 4.10.

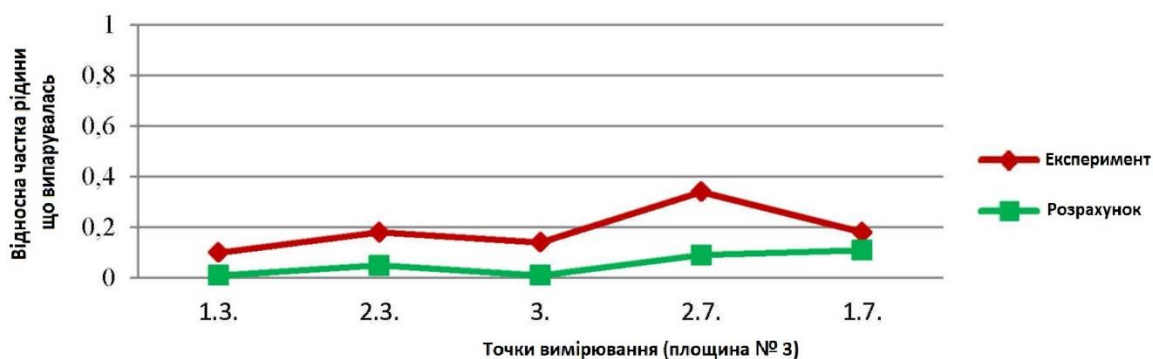


Графік зміни втрати маси толуолу в площині перерізу III



Графік зміни швидкості припливного повітря в площині перерізу III
Рисунок 4.10 – Зміна інтенсивності випаровування толуолу залежно від рухомості повітря над поверхнею випаровування в експериментальному резервуарі при поданні припливного повітря запропонованим способом

Порівняння експериментальних і розрахункових змін відносної інтенсивності випаровування в площині перерізу III експериментального резервуара при організації схеми вентиляції традиційним способом для толуолу подано на рис. 4.11 [114].



Графік зміни втрати маси толуолу в площині перерізу III



Графік зміни швидкості припливного повітря в площині перерізу III
Рисунок 4.11 – Зміна інтенсивності випаровування толуолу залежно від рухомості повітря над поверхнею випаровування в експериментальному резервуарі при поданні припливного повітря традиційним способом

Залежність втрати маси води за 1 годину вентиляції за різних способів подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 4.12.

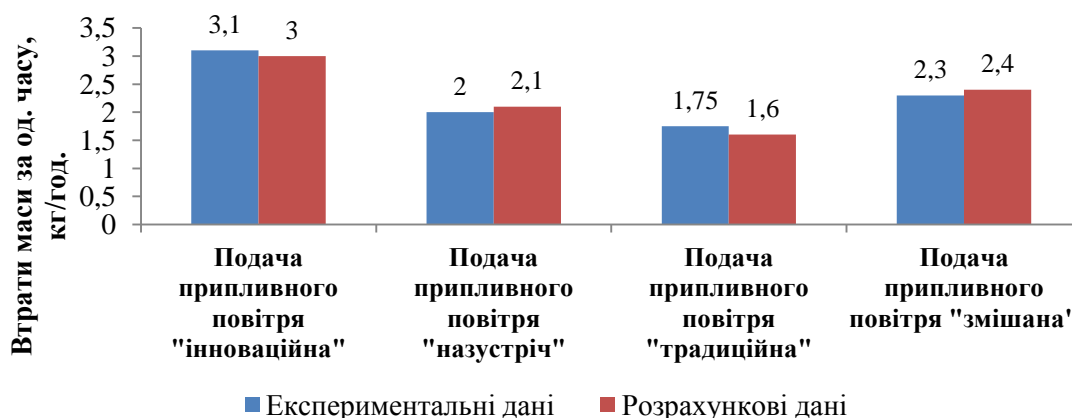


Рисунок 4.12 – Втрата маси води під час вентиляції резервуара

Втрата маси дизпалива за 1 годину вентиляції за різних способів подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 4.13.

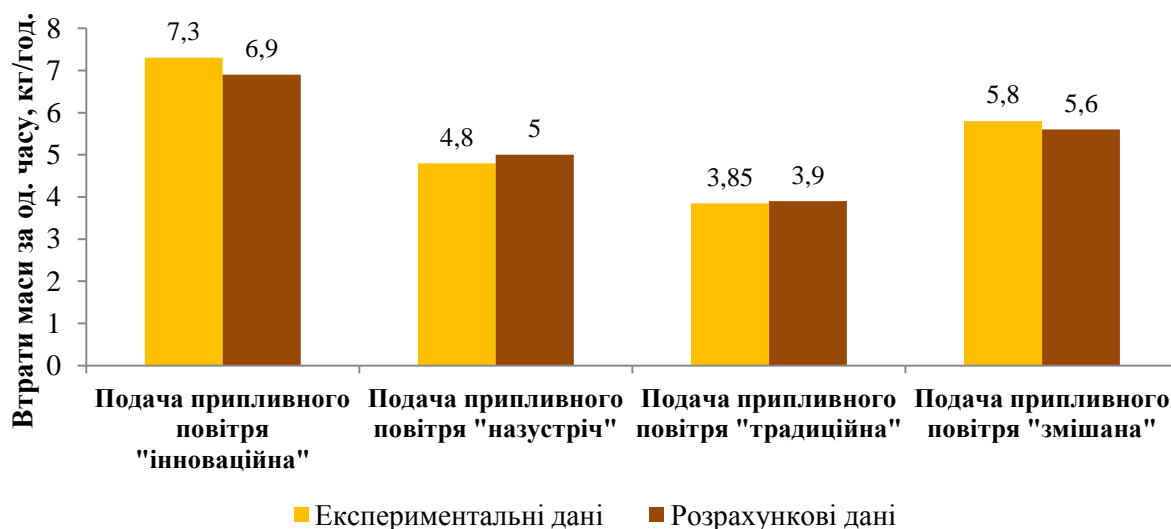


Рисунок 4.13 – Втрата маси дизельного палива під час вентиляції резервуара

Втрата маси бензинами А-92 та А-95 за 1 годину вентиляції за різних способів подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 4.14.

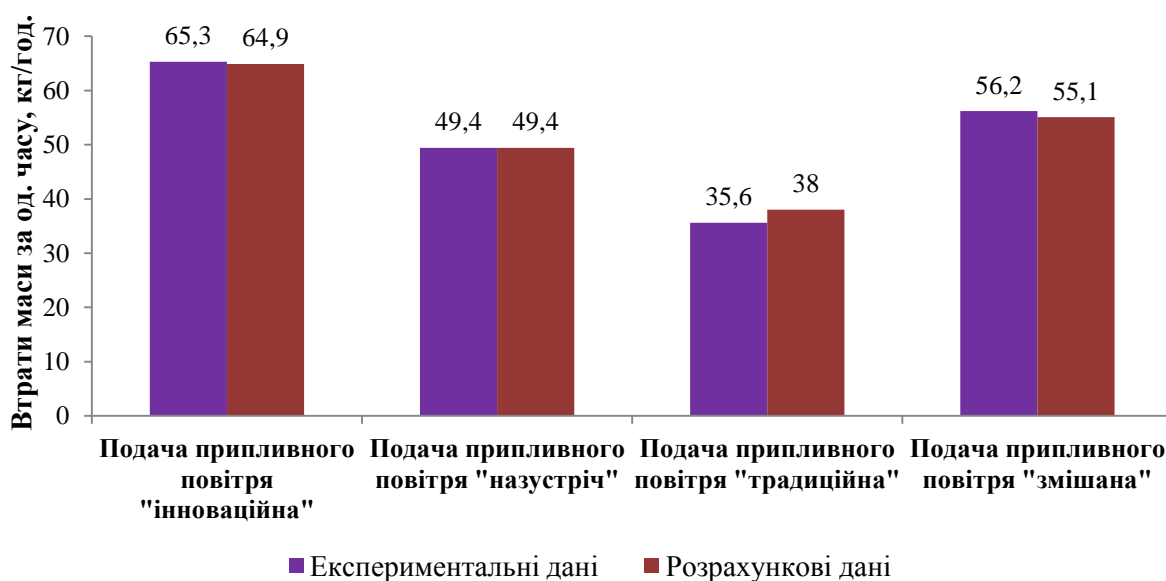


Рисунок 4.14 – Втрата маси бензину під час вентиляції резервуара

Втрата маси толуолу за 1 годину вентиляції за різних способів подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 4.15.

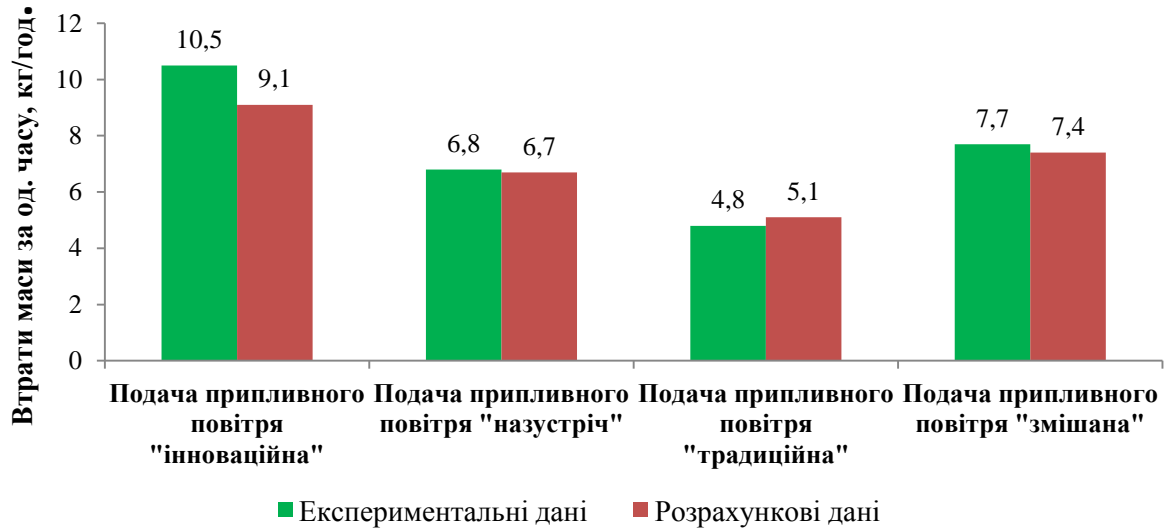


Рисунок 4.15 – Втрата маси толуолу під час вентиляції резервуара

4.4 Ефективність досліджуваних способів вентиляції резервуарів

Під час вентиляції газового простору всередині резервуара можна використовувати будь-які способи подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара. Ефективність способів вентиляції оцінюється шляхом порівняння середньооб'ємних втрат маси рідини за однакових параметрів подання припливного повітря. Другий параметр ефективності – це матеріальні витрати.

Встановлено [3], що для вертикального резервуара без понтона зміна схеми подання повітря незначно впливає на ефективність вентиляції. На основі одержаних у дисертаційній роботі даних стає очевидним, що способи вентиляції внутрішнього простору резервуара мають істотне значення.

На рис. 4.16 показана загальна діаграма втрати маси досліджуваними рідинами за 1 годину вентиляції при використанні різних способів подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара за даними проведених лабораторних експериментів.

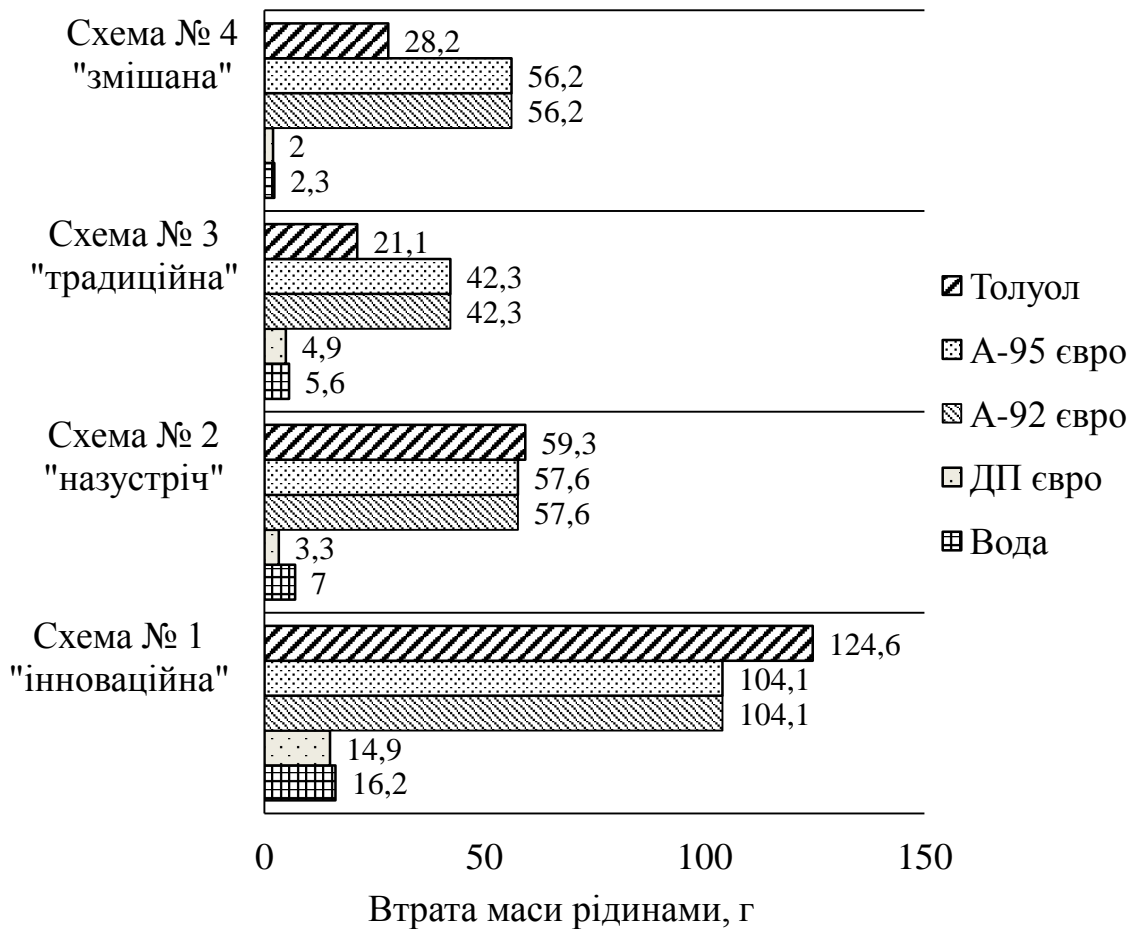


Рисунок 4.16 – Втрата маси рідинами за 1 годину вентиляції, одержана експериментальним шляхом

На підставі аналізу діаграми (рис. 4.16) впливає, що за ефективністю способів подання припливного повітря, схеми розташовуються у такому порядку:

- 1) подання припливного повітря за схемою 1;
- 2) подання припливного повітря за схемою 2;
- 3) подання припливного повітря за схемою 4;
- 4) подання припливного повітря за схемою 3.

Причому подання за схемою 1 значно перевершує інші схеми вентиляції за ефективністю вентиляювання. Використання схем 2 і 4 мають підвищену пожежну небезпеку та впливають на чистоту простору над резервуаром, але тривалість вентиляції значно зростає. Схема 3 – традиційна

й за своїми характеристиками схожа із способами вентиляції резервуарів, розглянутими у роботах В. П. Назарова, В. В. Рубцова, В. П. Сорокоумова [3, 56, 57], її відмінність лише в розташуванні люка для видалення газоповітряної суміші.

Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випаровувалися з рідин за однакових витрат повітря, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випаровувалися з рідин за однакових витрат повітря

Номери схем подання 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

Дані табл. 4.2 свідчать, що при ежекторно-вихровому способі подання повітря у внутрішній простір резервуара відносна швидкість повітря у 2,4 рази вища, ніж за традиційного способу. 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 підставі проведених досліджень встановлено причини підвищення (або зниження) ефективності вентиляції при зміні способу подання повітря. З дослідів випливає, що на процес масообміну під час вентиляції резервуара швидкість і рухомість повітря впливає не значно. За практично однакової рухомості повітря в резервуарі значний вплив на масообмін має спосіб

подання повітря й ступінь перемішування його з рідинами.

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

Коефіцієнт ефективності, що вводиться у формулу інтенсивності випаровування, як ефективність вентиляції досліджуваних схем подання припливного повітря, може характеризуватися відношенням експериментальної інтенсивності випаровування при досліджуваному способі до інтенсивності випаровування за традиційним способом.

Досліди показали, що найбільш інтенсивно процеси випаровування протікають під час організації повітрообміну за схемою 1. Для вирішення поставленого завдання достатнім є вивчення кількісної характеристики способу подання повітря, що характеризується коефіцієнтом ефективності. Створюючи «інноваційну» подачу потоків повітря у внутрішній простір резервуара, збільшують турбулізацію руху повітря. Перемішування повітря з газом у резервуарі за «інноваційного» способу подання повітря відбувається у всіх зонах резервуара. За такого способу подання повітря від двох вісесиметричних потоків результатом стає найбільше перемішування рідини з повітрям. Досліджувана рідина починає закручуватися убік напрямку струменя, що збільшує ступінь перемішування повітря з газом і рідиною та прискорює процес випаровуваності при рівній кратності повітрообміну.

У таблиці 4.3 подані розрахунки коефіцієнта ефективності у формулі інтенсивності випаровування M , для кожної із досліджуваних схем подання припливного повітря.

Таблиця 4.3 – Значення коефіцієнта ефективності випаровування

Схема подання струменя припливного повітря	Коефіцієнт ефективності			
	вода	дизпаливо	бензини А-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

4.5 Узагальнення результатів досліджень процесу конвективного масообміну

У дисертаційній роботі запропонована методика оцінювання динаміки зміни концентрації парів у резервуарі при витіканні вільних струменів повітря. Для визначення динаміки зміни концентрації парів у резервуарі при конвективному масообміні проводилися лабораторні експерименти.

Для досліджень була обрана однокомпонентна рідина – толуол і багатоконпонентні нафтопродукти – дизельне паливо та бензини. Для достовірності результатів експерименту дослідження із втрати маси рідинами за примусової вентиляції резервуара проводилися на воді.

Перед проведенням експериментів за допомогою анемометра замірялась швидкість потоків повітря всередині резервуара в чотирьох режимах.

Для визначення концентрації домішок вибухонебезпечних речовин у газовому просторі вентильованого резервуара необхідно знати інтенсивність випаровування (потік маси) нафтопродукту, що знаходиться в середині резервуара. Математичну обробку даних проводили за допомогою залежності:

$$\pi_p = f(\text{Re}, \text{Pr}, \pi_d, \mu), \quad (4.7)$$

де $\pi_p = \frac{j_l}{\rho v}$ – число, що враховує поперечний потік маси.

Використали емпіричну формулу розрахунку π_p для резервуарів, установлену В. П. Назаровим у праці [7]:

$$\pi_p = 0,065 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}_D \cdot \theta^2 \cdot \pi_D \cdot \mu^{0,5} \quad (4.8)$$

Інтенсивність випаровування визначаємо як:

$$M_0 = 0,065 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot F_u \cdot F_0}{V} \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}_D \cdot \pi_D \cdot \mu^{0,5} \quad (4.9)$$

$$\text{Pr}_D = \frac{\nu}{D_t} \quad (4.10)$$

$$D_t = D_0 \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^n, \quad (4.11)$$

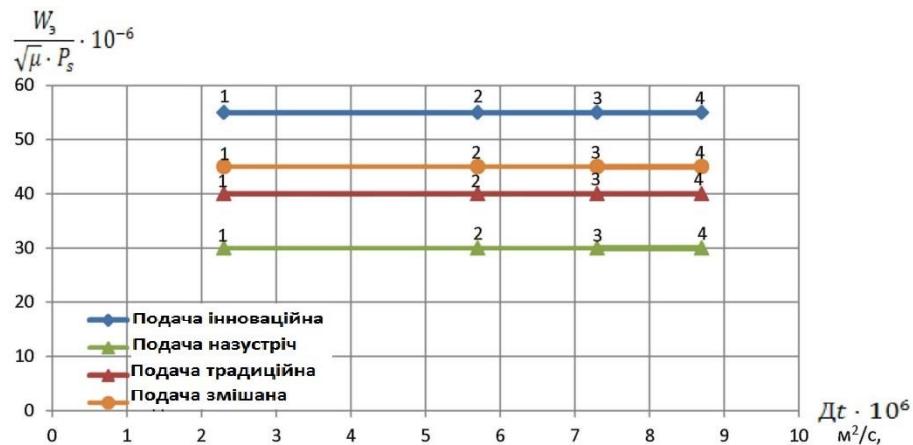
де D_t – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

T_b – температура навколишнього повітря, К;

n – показник ступеня, прийнятий відповідно до довідкової літератури.

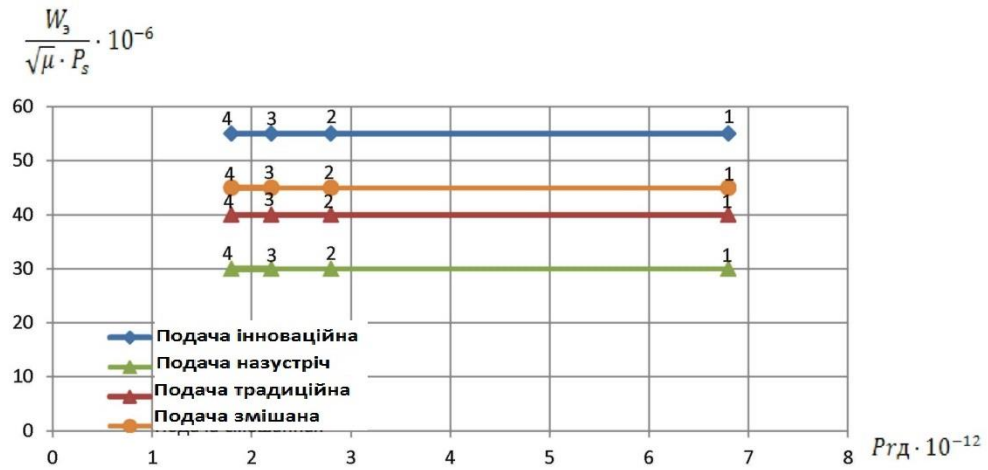
Відносні експериментальні інтенсивності випаровування досліджуваних рідин у схемах вентиляції експериментального стенда розраховані у вигляді

$\frac{W_y}{\sqrt{\mu \cdot P_s}}$ залежно від коефіцієнта дифузії D_t і числа подоби Прандтля дифузійного Pr_D . Результати подані на рис. 4.17 та 4.18.



1 – вода; 2 – дизпаливо; 3 – бензини; 4 – толуол

Рисунок 4.17 – Залежність відносної інтенсивності випаровування від коефіцієнта дифузії



1 – вода; 2 – дизпаливо; 3 – бензини; 4 – толуол

Рисунок 4.18 – Залежність відносної інтенсивності випаровування від числа Прандтля дифузійного

Концентрацію насичених парів визначаємо як:

$$\pi_D = \frac{P_s}{P_0} \quad (4.12)$$

Тиск насичених пар визначаємо з рівняння Антуана:

$$P_s = 10^{A - \left(\frac{B}{C+t}\right)} \quad (4.13)$$

Відносну молекулярну масу:

$$\mu^{0.5} = \left(\frac{M}{M_B}\right)^{0.5} \quad (4.14)$$

Густина і коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$\rho_B = \frac{353}{T_B} \quad (4.15)$$

$$\nu = [14,7 + 0,09 \cdot (T_B - 283)] \cdot 10^{-6} \quad (4.16)$$

Число Рейнольдса визначаємо за стандартною формулою:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot l}{\nu}, \quad (4.17)$$

де l – характерний лінійний розмір об'єкта, $l = \frac{V}{F_0}$, м.

Загальна площа поверхонь резервуара:

$$F_0 = F_D + F_K + F_{б.п.}, \quad (4.18)$$

де F_D – площа днища, м²;

F_K – площа даху, м²;

$F_{б.п.}$ – площа бічної поверхні, м².

Середню рухомість повітря в резервуарі визначаємо за формулою В. М. Ельтермана [61]:

$$\omega = 0,7 \cdot \varepsilon_n^{1/3} \cdot \left(\frac{V}{F_0} \right)^{1/3} \quad (4.19)$$

де ε_n – енергія припливного струменя;

V – об'єм резервуара, м³;

F_0 – загальна площа поверхні резервуара, м².

Енергія припливного струменя:

$$\varepsilon_n = \frac{f_{\Pi} \cdot v_{\Pi}^3}{2V}, \quad (4.20)$$

де f_{Π} – площа припливного отвору, м²;

v_{Π} – швидкість подання повітря в припливний отвір, м/с.

Швидкість подання повітря та площа припливного отвору відповідно:

$$v_{\Pi} = \frac{q}{f_{\Pi}}, \quad (4.21)$$

$$f_{II} = 0,785 \cdot d_{\text{ПР.ОТ}}^2 \quad (4.22)$$

де $d_{\text{ПР.ОТ}}$ – діаметр припливного отвору, м.

Інтенсивність випаровування рівна:

$$W = \frac{M_0}{F_u} \quad (4.23)$$

Коефіцієнт нерівномірності розподілу концентрацій визначаємо за формулою [3]:

$$\eta = 0,48 \cdot \left(\frac{q}{V} \right)^{0,132} \quad (4.24)$$

Відповідно до існуючих методик інтенсивність випаровування визначаємо як:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{\mu \cdot P_s} \quad (4.25)$$

А маса випареної рідини, як:

$$m = W \cdot F_u \cdot T \quad (4.26)$$

Результати, одержані в ході експерименту, а саме – середньої інтенсивності випаровування однокомпонентної рідини толуол і багатокомпонентної рідини бензини А-92/95 – у часі, подані на рис. 4.19 та 4.20.

Результати розрахунків та одержані експериментальні значення середньої рухомості повітря за різних способів подання припливних струменів у внутрішньому просторі резервуарів наведено в таблиці 4.4.

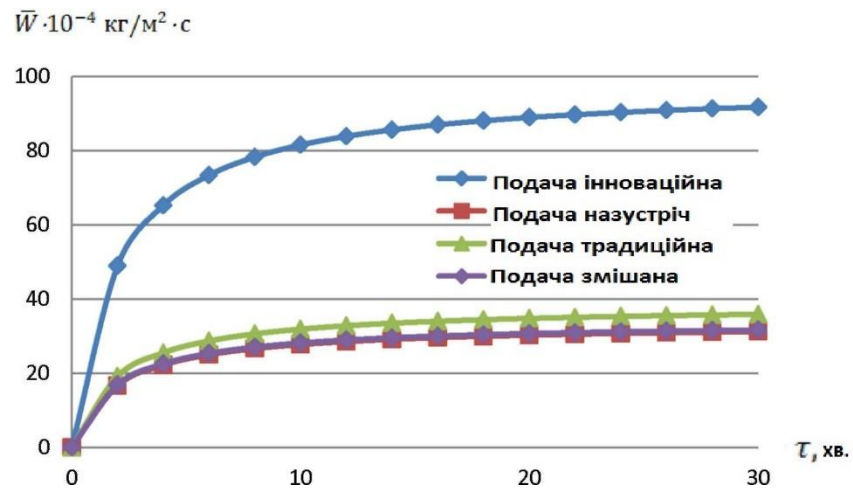


Рисунок 4.19 – Зміна середнього значення інтенсивності випаровування (\bar{W}) толуолу

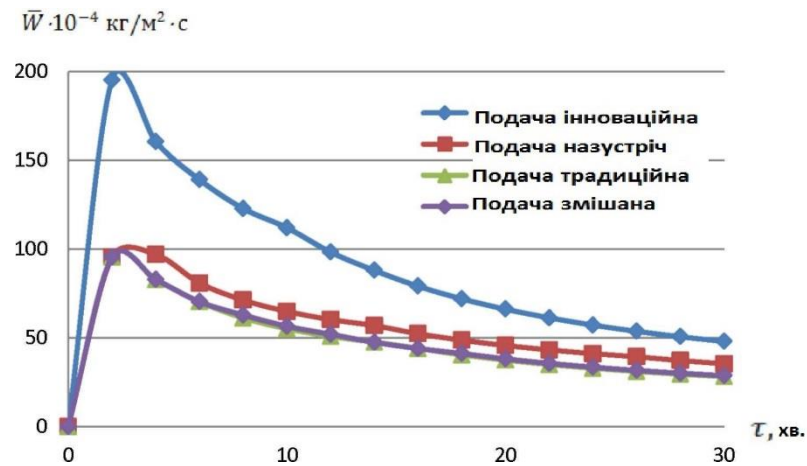


Рисунок 4.20 – Зміна середнього значення інтенсивності випаровування (\bar{W}) бензинів А-92/95

Таблиця 4.4 – Середня рухомість повітря всередині резервуарів

Схема подання струменя припливного повітря	ЕР		ЕНПС	
	ω розрахунки	ω експеримент	ω розрахунки	ω експеримент
1 – інноваційна	2,75	2,9	0,83	0,88
2 – назустріч	3,42	3,5	0,64	0,70
3 – традиційна	2,56	2,7	0,38	0,42
4 – змішана	2,87	3	0,70	0,74

З одержаних результатів випливає, що під час вентилявання резервуарів із залишками однокомпонентних рідин, значення інтенсивності випаровування у часі прагнуть до стаціонарності. Під час вентиляції резервуарів із залишками багатоконпонентних рідин для всіх схем подання повітря експериментальні інтенсивності випаровувань змінюються у часі залежно від зміни властивостей цих рідин, тобто процес масообміну не є стаціонарним.

Результати досліджень показали, що визначені в ході експерименту швидкості повітря вищі, ніж швидкості повітря, що розраховані за формулою (4.16). Це вимагає коректування розрахункових формул.

Складність компонентного складу нафтопродуктів визначає складність протікання процесів конвективного масообміну. У процесі випаровування нафтопродуктів відбувається безперервна зміна властивостей газової (парової) та рідкої фаз, зміна тиску насичених парів, молекулярної маси, в'язкості, фракційного складу, інших властивостей. Постійна зміна в часі властивостей нафтопродуктів обумовлює нестаціонарність процесу конвективного масообміну. Під час розрахунків втрат нафтопродуктів від випаровування тиск насиченої пари зазвичай визначають за формулою [3]:

$$P_s = P_{s0} e^{-KG}, \quad (4.27)$$

де P_{s0} – вихідний тиск насичених парів, Па;

K – коефіцієнт, що залежить від властивостей рідини. K для бензинів становить:

$$K \approx 0,188(t_{20} - t_{пк}) \approx 0,376(t_{10} - t_{пк}) \quad (4.28)$$

Оскільки нафтопродукти є багатоконпонентними системами різного фракційного складу, тому їх усереднена молекулярна маса збільшується у процесі випаровування. Для бензинів молекулярну масу можна визначити за допомогою емпіричних формул [3]:

$$\mu = 45 + 0,6t_{ПК}, \quad (4.29)$$

$$\mu = 50 + \frac{6000}{P_{20}}, \quad (4.30)$$

де $t_{ПК}$ – температура початку кипіння бензину, К;

P_{20} – тиск насичених парів при температурі 20 °С, Па.

В.П. Назаров [3] установив, що формула (4.24) цілком прийнятна для розрахунків процесу повного випаровування нафтопродуктів. Результати його досліджень [3] дозволяють зробити висновок про можливість використання емпіричних формул для розрахунків молекулярної маси й тиску насичених парів. Шляхом підстановки значень температури википання тієї або іншої частки бензину розраховуємо необхідні значення щодо втрат нафтопродуктів:

$$P_s = a \cdot e^{b(t-t_{НК})}. \quad (4.31)$$

Порівняння даних розрахунків молекулярної маси за формулою (4.26) для бензину з експериментальними результатами з визначення зміни молекулярної маси в процесі випаровування показали, що дані дослідів і розрахунків узгоджуються. Спираючись на проведені дослідження, можна зробити висновок про коректність використання під час обробки дослідних даних з конвективного масообміну μ формули (4.26), а з втрат нафтопродуктів P_s – формули (4.24).

Безперервна зміна властивостей бензину в процесі випаровування обумовлює зменшення коефіцієнта масоперенесення, рушійної сили масоперенесення та дифузійних чисел Pr_d , Nu_d , π_d , π_r .

У ході дисертаційного дослідження установлено, що найбільш різко в процесі випаровування бензину змінюються рушійна сила масопередачі й числа подоби π_d та π_r . Досить незначно змінюються відношення $\frac{\varphi_{П}}{\varphi_s}$ й дифузійне число Pr_d . Зміна рушійної сили масоперенесення й чисел π_d та π_r підкоряються експонентному закону.

У процесі випаровування нафтопродуктів збільшується їх густина, в'язкість і поверхневий натяг. Під час випаровування 90 % об'єму бензину його кінематична в'язкість підвищується на 15 %, а поверхневий натяг – на 10 %. Густина бензину в процесі його випаровування збільшується не більше ніж на 10 % [3].

Отже, результати теоретичних і експериментальних досліджень довели, що найбільш суттєво в процесі випаровування змінюється тиск насичених парів нафтопродукту.

4.6 Коригування розрахункових формул для визначення швидкості випаровування нафтопродуктів під час вентиляції

Обробка й узагальнення дослідних даних з масообміну проводили за найбільш значущим величинам – температурам газового простору та поверхні рідини. За температуру газового простору приймали середньооб'ємну температуру, яку вимірювали на стоці з резервуара. Для визначення температури поверхні проводили окремі дослідження у кожній із серії дослідів. Установлено, що температуру поверхні випаровування можна прийняти за константу, за винятком тієї частини поверхні, яка розташована в області струменів. У точках 1.7. та 1.3. (див. рис. 4.9) при поданні припливного повітря «інноваційним», «назустріч» або «змішаним» способом температура відрізнялась від точок, розташованих поза областю струменя на 2–2,6 °С. У точках, близьких до області струменів 1.8. та 1.4. при способі подання повітря «інноваційний», точках 2.7. і 2.3. при способі подання повітря «назустріч», точці 2.7. при способі подання повітря «традиційний» – на 1–1,4 °С.

У роботі [3] В.П. Назаров установив залежність зміни температури рідини в процесі вентиляції. При зміні кратності повітрообміну в n раз, температура стаціонарного процесу змінюється в 0,25 разів.

Для розрахунків концентрацій у газовому просторі й часу вентиляції

резервуара необхідно знати максимальну інтенсивність випаровування нафтопродуктів у процесі вентиляції. У розділі 1 відмічено, що при розв'язанні завдання про масообмін більшість дослідників робили узагальнення дослідних даних у вигляді залежності числа $Nu_d (St_d)$ від інших чисел подоби. Цей спосіб обробки дослідних даних для розв'язання поставленого завдання представляється не зовсім зручним, тому що при розрахунках інтенсивності випаровування необхідно знати концентрацію газового простору резервуара. Тому обробка дослідних даних проведена у вигляді залежності числа π_p від чисел подоби, що враховують гідродинамічні, температурні умови вентиляції, а також властивості рідини, що випаровується.

Ураховуючи, що зміна концентрації газового простору й насичених парів підкоряється одному закону, а відношення $\frac{\varphi_{\Delta i}}{\varphi_s}$ у процесі випаровування змінюється незначно, то для характеристики властивостей і температурних умов можна використовувати відношення $\frac{P_s}{P_0}$.

З урахуванням аналізу літературних джерел в розділі 1, при обробці дослідних даних ураховуємо наступну залежність:

$$\pi_p = f(\tilde{Re}, Pr_d, \pi_d, \mu, \theta) \quad (4.29)$$

Число подоби \tilde{Re} є своєрідною модифікацією числа Рейнольдса й визначається за енергетичними характеристиками на припливі з урахуванням основних розмірів резервуара.

За такого способу узагальнення емпіричних даних, концентрація газового простору враховується при визначенні числа π_p .

Узагальнення дослідних даних проводили за наступних визначальних температурах: за середньооб'ємної температури газового простору визначали

D , v ; за середньою поверхневою температурою випаровування рідини визначали P_s . За характерну лінійну залежність прийняли відношення об'єму резервуара до площі поверхні його конструкції.

При порівнянні одержаних у дисертаційній роботі залежностей для визначення максимальної маси випаровування (M_{\max}) були використані формули інших дослідників, що теж вивчали випаровування з вільної поверхні в аеродинамічних трубах [3, 56, 57, 115].

Підсумок проведених експериментів полягає в тому, що досліджувані схеми вентиляювання газового простору резервуарів мають значні відмінності по своїй ефективності. Найбільш ефективною у застосуванні виявилася схема 1. Схеми подання струменів припливного повітря 2 і 4 відрізняються від традиційної схеми 3 не кардинально. Тому у роботі експериментальні значення змін середніх концентрацій вуглеводнів у процесі вентиляції резервуарів презентовано по ежекторно-вихровій схемі в порівнянні із традиційною схемою.

На рис. 4.21 подана зміна середнього значення поточної відносної концентрації вуглеводнів при вентиляюванні внутрішнього простору резервуара (ЕР) із залишком багатоконпонентної рідини (бензин).

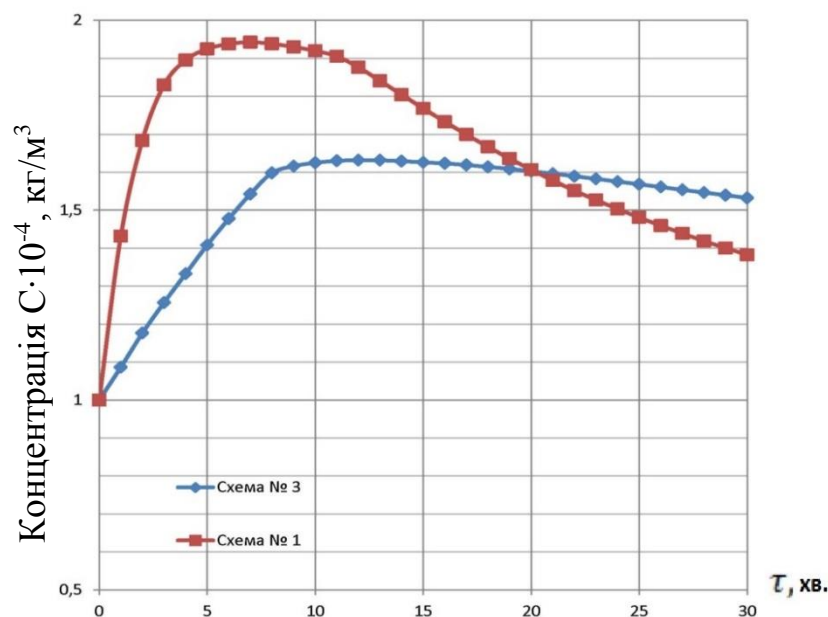


Рисунок 4.21 – Зміна концентрації (кг/м³) вуглеводнів під час вентиляції резервуара із залишками багатоконпонентної рідини

На рис. 4.22 – графік зміни середнього значення поточної відносної концентрації вуглеводнів при вентиляванні внутрішнього простору резервуара з однокомпонентною рідиною (ксилол).

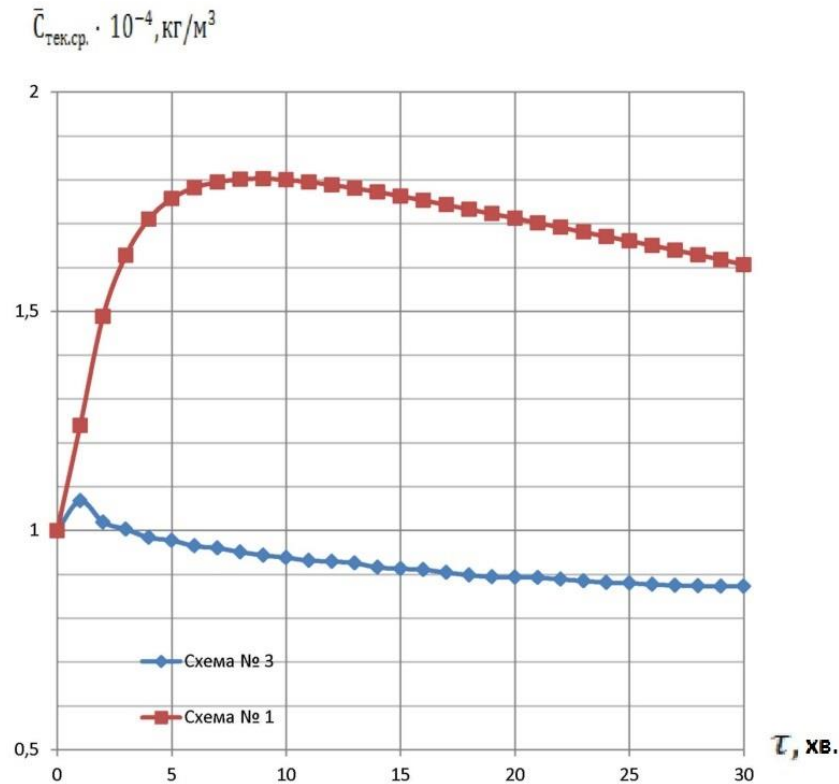


Рисунок 4.22 – Зміна концентрації вуглеводнів під час вентиляції резервуара із залишками однокомпонентної рідини

На основі одержаних даних встановлено, що на інтенсивність випаровування нафтопродуктів впливає не стільки середня рухомість подаваного в резервуар повітря, скільки схема його подання. Ежекторно-вихрова схема подання припливного повітря дозволяє максимально перемішувати подаване повітря з газом у резервуарі. Перемішування площин зіткнення рідини й подаваного повітря витісняє з резервуара більш збагачену суміш.

Висновки до розділу 4

1. 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.

2. Досліджені впливи способів подання припливного повітря на інтенсивність масообміну й визначений найбільш ефективний спосіб вентиляції. Ефективність вентиляції залежить від способу подання повітря й досягається за рахунок інтенсивного перемішування подаваного повітря з парами нафтопродуктів у резервуарі [10].

3. Удосконалена методика розрахунків процесу дегазації при досліджуваних способах подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара. Встановлено, що за ежекторно-вихрового способу подання повітря у внутрішній простір резервуара відносна швидкість в 2,4 рази вища, ніж за традиційного способу. 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 за однакової витрати повітря.

4. Обґрунтований коефіцієнт ефективності у формулах для розрахунків швидкості випаровування під час організації досліджених схем подання повітря. Визначено, що коефіцієнт ефективності випаровування для інноваційної схеми подання припливного повітря становить для таких речовин: вода та дизпаливо – 4; бензини А-92/95 – 2,52; толуол – 6,36.

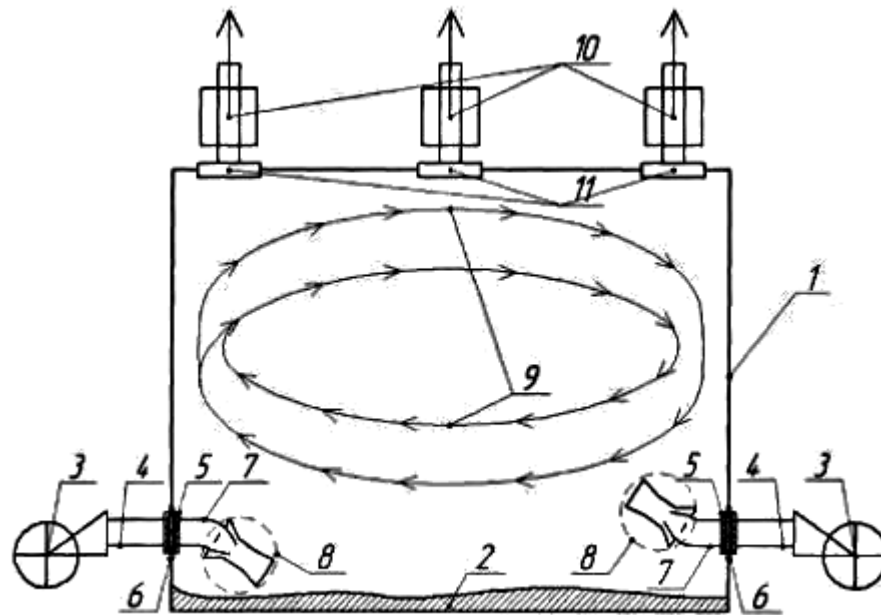
РОЗДІЛ 5

ОЦІНЮВАННЯ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ІННОВАЦІЙНОГО СПОСОБУ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ

5.1 Екологічно безпечний спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів

Для зниження викидів парів вуглеводнів в атмосферу під час проведення 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. 5.1).

Для уловлювання парів вуглеводнів на світлові люки резервуара встановлюють фільтрувальні елементи. Використання ежекторів дає змогу скоротити час проведення дегазації наземних резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів, а застосування фільтрувальних елементів дозволяє усунути при цьому викиди парів нафтопродуктів в атмосферу. Спосіб дегазації резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів здійснюється наступним чином. Після відкачування з резервуара 1 основного нафтопродукту, на його днищі залишається технологічний залишок 2, який не відкачується насосом.



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 – обертально-висхідний повітряний потік всередині резервуару; 10 – фільтрувальні елементи; 11 – зовнішні фланці світлових люків

Рисунок 5.1 – Принципова схема процесу дегазації резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів

Для вирівнювання поверхні випаровування наливають воду до рівня, що перевищує нерівності днища резервуара, при цьому технологічний залишок нафтопродукту підіймається на водній поверхні, після чого від повітродувних агрегатів 3, через заземлені повітропроводи 4, приєднані до шиберно-поворотних пристроїв 5, які герметично встановлені на фланці люків-лазів 6, подають атмосферне повітря зі швидкістю 10–15 м/с протягом 1–1,5 години з початку дегазації та з наступним підвищенням швидкості до 50 м/с. Після проходження поворотних повітропроводів 7, що встановлені під кутом 25–35° до дзеркала рідини, атмосферне повітря набуває напрямку руху уздовж внутрішньої поверхні резервуара та потрапляє до повітряних ежекторів 8.

При витіканні напірного струменя атмосферного повітря з конфузора 12 повітряного ежектора у вхідному перерізі камери змішування 13 встановлюється тиск, нижчий за тиск гальмування пароповітряної суміші, яка знаходиться в резервуарі. Під дією різниці тисків внутрішня пароповітряна суміш потрапляє через усмоктувальний дифузор 14 в камеру змішування 13, де відбувається її інтенсивне змішування з атмосферним повітрям та виникає змішаний результуючий потік, який потрапляє у вихідний дифузор 15, де відбувається зниження його швидкості на 55–65 % з утворенням статичного тиску. Площа сопел та режим роботи ежекторів залежать від об'ємно-геометричних характеристик резервуара та відповідають співвідношенню витрат 1–1,5 одиниць атмосферного повітря на 2–2,55 одиниць внутрішньої пароповітряної суміші.

За допомогою шибєрно-поворотних пристроїв 5, враховуючи форму та об'єм резервуара, змінюють напрями струменів повітря, при цьому усувають застійні зони всередині резервуара та встановлюють максимальний обертально-висхідний повітряний потік 9 всередині резервуара. Загальна кратність повітрообміну підтримується в межах 15–70 об./год, залежно від місткості резервуара. Інтенсивне перемішування внутрішнього парогазового середовища з атмосферним повітрям дозволяє вирівняти загально-об'ємну концентрацію парів вуглеводнів в середині вуглеводнів на межі розділу середовищ, завдяки чому підвищується інтенсивність випаровування залишків нафтопродуктів, що зменшує загальний час дегазації.

Видалення пароповітряної суміші вуглеводів з внутрішнього об'єму резервуара здійснюється через фільтрувальні елементи 10, які герметично встановлені на зовнішні фланці світлових люків 11 на даху резервуара. Дегазація завершується, коли концентрація парів нафтопродуктів у внутрішньому об'ємі резервуара не перевищує 10 мг/м³.

Таким чином, використання запропонованого способу дегазації резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів дозволяє скоротити час проведення дегазації резервуарів різних форм та розмірів, на що одержано

патент на корисну модель «Спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів» (Додаток Г). Зазначений ефект досягається за рахунок інтенсифікації перемішування внутрішнього парогазового середовища з атмосферним повітрям, а наявність фільтрувальних елементів уловлювання парів нафтопродуктів забезпечує попередження викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

5.2 Технологія очистки пароповітряної суміші від нафтових вуглеводнів

Критична екологічна ситуація у НПС ускладнюється не лише масовими викидами забруднюючих речовин в атмосферу та скидами в гідросферу, так і локальними викидами. Яскравим прикладом є техногенні викиди в атмосферу на об'єктах зберігання нафтопродуктів, відходів процесів нафтогазопереробки. Загалом обсяги техногенних викидів в атмосферне повітря вуглеводневих компонентів складають від 5 % до 10 % згідно даних різних досліджень. Вирішення цієї проблеми стає найбільш актуальною та економічно обґрунтованою за умови одержання товарного продукту або сировини для одержання вихідного матеріалу. Зменшення втрат парів нафтопродуктів, як правило, вирішують при їх уловлюванні та поверненні у голову процесу. Скорочення викидів і витоків вуглеводневих фракцій на сьогодні досягається значним різноманіттям методів та технологічних процесів. Однак всі ці методи володіють низькою ефективністю, що і стримує їх широке використання, як було зазначено у підрозділі 1.5.

На підставі 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 завихрювачем і охолоджувальною обичайкою, що забезпечує активну конденсацію парів вуглеводнів (рис. 5.2).

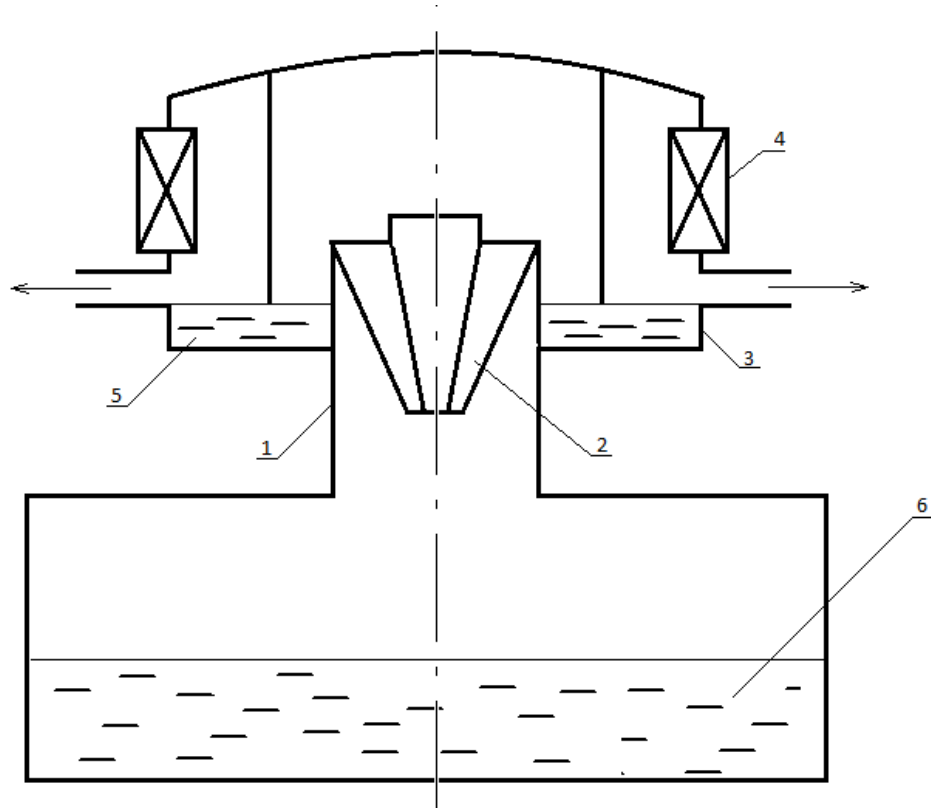


Рисунок 5.2 – Принципова технологічна схема очистки пароповітряної суміші

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

Розроблена установка може бути застосована на резервуарах АЗС, нафтосховищах тощо.

5.3 Оцінювання зниження індексу забруднення атмосфери при впровадженні запропонованого методу

5.3.1 Методологія оцінювання масштабів небезпечної ситуації та ризику для населення. При постановці завдання для розрахунку прогнозованої оцінювання екологічного ризику від джерела, що містить токсичні речовини, головним об'єктом турботи – реципієнтом – є людина. Усі види ризиків (індивідуальний, екологічний і соціальний) орієнтуються на збереження життя та здоров'я людини. У зв'язку з цим необхідно визначити загрозу для людини, її життю та здоров'ю в умовах дегазації резервуарів світлих нафтопродуктів методом природної та примусової вентиляції без очистки ППС, що викидається в атмосферне повітря. Групу світлих нафтопродуктів утворюють переважно бензин, керосин та дизельне паливо. Оцінювання небезпеки для здоров'я нафтових парів від резервуарів свідчить, що під час вдихання або контакту з матеріалом виникає подразнення або опік шкіри та очей. Пожежа призводить до викиду агресивних та / або токсичних газів, що спричиняють запаморочення та задишку [116, 117].

Для оцінювання 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 Agency [118]. 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 оцінювання ризику орієнтовано на найгірші наслідки. Ранжування ступеня забруднення проводили за концентраціями бази даних концентрацій Acute Exposure Guideline Levels (AEGL) [119]. Згідно з методикою AEGLs визначається 3 рівні концентрацій: AEGL-1, AEGL-2 та AEGL-3 відповідно.

В Україні прийняте значення гранично допустимої концентрації для парів бензину в атмосферному повітрі на рівні 5 мг/м^3 [120]. Згідно нормативів Європейської спільноти безпечним вважається вміст загальних органічних сполук 35 г/м^3 , а ЕРА – 10 г/м^3 . Регламент викидів бензину відповідно до німецького стандарту TA-Luft межа викидів загальних органічних сполук становить $0,15 \text{ г/м}^3$ [121–123].

Для розрахунку зони забруднення атмосферного повітря парами бензину об'єктом дослідження був обраний вертикальний сталевий резервуар на Шебелинському нафтопереробному заводі Харківської області України. Розрахунок базувався на заданих умовах місцевості, типі укриття ємностей, фізико-хімічних властивостях хімічних речовин, вилучених з резервуара в атмосферне повітря, метеорологічних та кліматичних параметрах тощо (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вхідні дані для розрахунків

Дані про розташування	
1	2
Місцеположення	Смт. Андріївка Харківської області
Зміни повітря будівлями за годину	0,85 (захищені одноповерхові)
Координати	Широта $49^{\circ}33'19''$ Півн. Довгота $36^{\circ}37'49''$ Схід.
Дані про хімічні речовини	
Забруднювальні речовини:	Бензин (ізо-октан) C_8H_{18}
CAS номер	540-84-1
Молекулярна маса	114,23 г/моль
РАС-1 ¹⁾	230 ppm
РАС-2	830 ppm
РАС-3	5000 ppm
LEL ²⁾	9500 ppm
UEL ³⁾	60000 ppm
Температура кипіння у навколишньому середовищі	98,3 °C
Тиск пари при температурі кипіння у навколишньому середовищі	0,051 атм

Кінець табл. 5.1

1	2
Концентрація насиченості навколишнього середовища	51,929 ppm або 5,19 %
Дані про стан атмосфери (ручне введення даних)	
Швидкість та напрямок вітру	5 м/с, 60° (Північно-Східний)
Шорсткість поверхні	Відкрита місцевість
Хмарний покрив	30
Температура	20 °С, інверсія відсутня
Відносна вологість	25 %
Дані про джерело	
Тип джерела	Вертикальний резервуар
Висота джерела	16,9 м
Пряме джерело	200 г/с
Тривалість викиду	60 хв
Швидкість викиду	12 кг/хв
Загальна сума викиду	720 кг
Моделі розподілу	Модель Гауса, Модель важких газів

¹⁾ PAC-1 – Protective Action Criteria for Chemicals (Критерії захисних заходів для хімічних речовин);

²⁾ LEL (НМВ) – lower explosion limit (нижня межа вибуху);

³⁾ UEL (ВМВ) – upper explosion limit (верхня межа вибуху).

AEGL-1 є концентрацією у повітрі (вираженою в ppm [частин на мільйон] або мг/м³ [міліграмів на кубічний метр]) речовини, вище якої передбачається, що населення в цілому, а також вразливі особи, можуть відчути помітний дискомфорт, роздратування або деякі безсимптомні невідчутні ефекти. Однак наслідки не завдають непоправної шкоди і є такими, що проходять та оборотними після припинення впливу.

AEGL-2 є концентрацією у повітрі (вираженою в ppm [частин на мільйон] або мг/м³ [міліграмів на кубічний метр]) речовини, вище якої передбачається, що населення в цілому, а також вразливі особи можуть

відчуті незворотні або інші серйозні, тривалі несприятливі наслідки для здоров'я або порушення здатності до відновлення.

AEGL-3 є концентрацією у повітрі (вираженою в ppm [частин на мільйон] або мг/м³ [міліграмів на кубічний метр]) речовини, вище якої передбачається, що населення в цілому, а також вразливі особи можуть відчуті побічні ефекти для здоров'я, які загрожують життю або спричиняють смерть.

Рівні концентрацій за експозицією 60 хвилин для бензину наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Концентрації бензину, що відповідають рівням AEGL-1, AEGL-2 та AEGL-3

Рівень небезпечної концентрації	Концентрація бензину	
	ppm	мг/м ³
AEGL-1	-	-
AEGL-2	*2,900	7,73
AEGL-3	**8,600	28,35

Нижня межа вибуховості (НМВ) = 11,000 ppm

* =>10% НМВ; ** = >50% НМВ; *** = >100% НМВ

Алгоритм поширення розсіювання забруднюючих речовин може бути представлений одним із можливих методів, таких як: гауссова модель дисперсії або модель дисперсії важких газів. Посилаючись на вихідні дані про оціночну ситуацію викиду паро-повітряної суміші нафтопродуктів у атмосферне повітря (табл. 5.1), було проведено симуляцію з використанням дисперсійної моделі важких газів [124].

5.3.2 Прогнозування масштабу зони та рівнів забруднення під час природньої вентиляції резервуарів світлих нафтопродуктів. Використовуючи програмний продукт ALOHA® 5.4.4 та вихідні дані,

відображені у п. 5.3.1, був проведений розрахунок зони забруднення та рівнів концентрації під час дегазації резервуара об'ємом 5 000 м³. Результати відображені на рисунках 5.3 та 5.4. Одержані результати розподілу рівнів забруднення атмосферного повітря парами бензину, нанесені на карту місцевості із зазначеним місцем розміщення резервуарів, наведені в додатку Ж (рис. Ж.1).

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

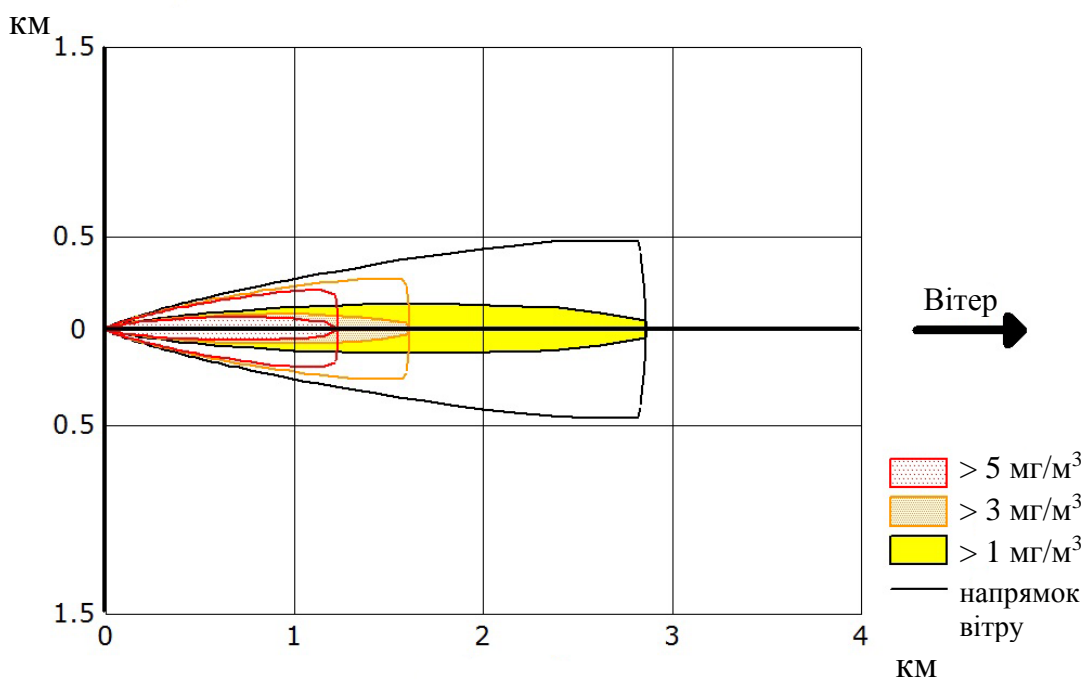


Рисунок 5.3 – Забруднення від парів бензину під час природної вентиляції резервуарів

На рис. 5.4 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.

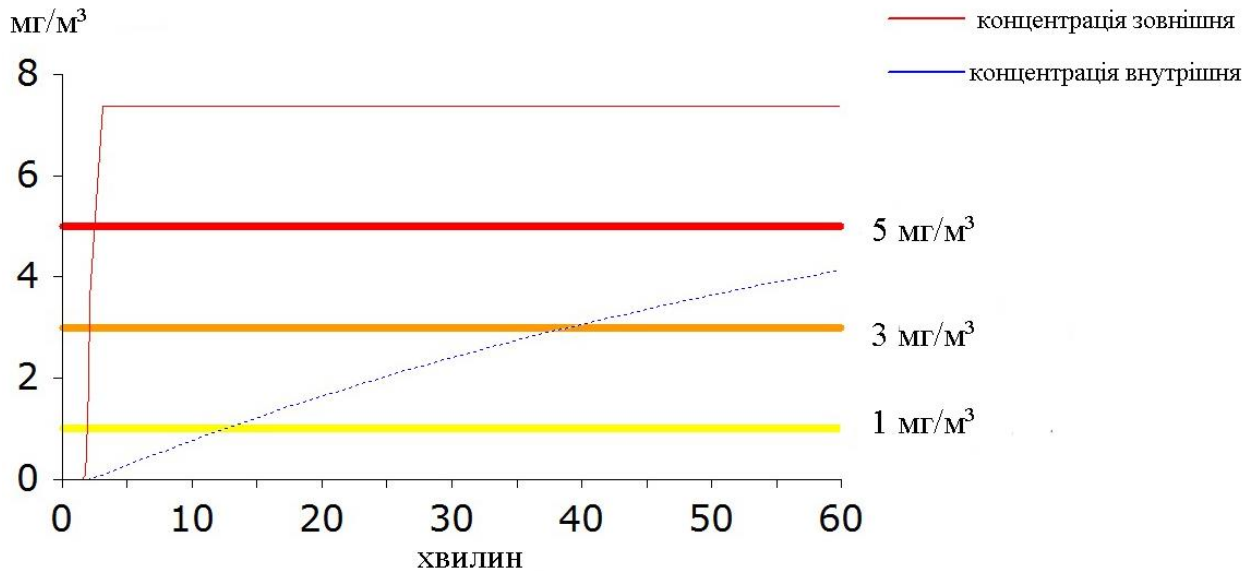


Рисунок 5.4 – Концентрація парів бензину на відстані 1 кілометра у напрямку на південний захід

Рівень забруднення атмосфери та ступінь небезпеки для населення в зоні впливу викидів парів нафтопродуктів оцінювали за допомогою індексу забруднення атмосферного повітря (ІЗА). Розрахунок ІЗА здійснювали за формулою

$$ІЗА = \left(\frac{q}{ГДК_{с.д.}} \right)^{K_i}, \quad (5.1)$$

де q – концентрація ЗР, мг/м³;

ГДК_{с.д.} – середньодобова гранично-допустима концентрація ЗР, мг/м³;

K_i – безрозмірний коефіцієнт, що дозволяє встановити ступінь забруднення повітря i -ою ЗР до рівня забруднення повітря речовинами третього класу небезпеки.

$ІЗА = \left(\frac{8}{5} \right)^1 = 1,6$, що свідчить про небезпечний стан атмосферного повітря, оскільки це значення перевищує допустиме, якому відповідає 1.

5.4 Оцінювання ризику екологічної небезпеки

Пожежі та вибухи на резервуарах з легкозаймистими речовинами та легкозаймистими рідинами часто виникають під час очищення, підготовки до ремонту та безпосередньо під час ремонтних робіт [125, 126].

На рисунку 5.5 показана зона вогнебезпечної загрози від парів бензину, для якої концентрація знаходиться у вогнебезпечному діапазоні між нижніми та верхніми межами вибуховості (НМВ та ВМВ). Ці межі визначаються у відсотках, що відображають концентрацію палива (пари хімічних речовин) у повітрі. У випадку зіткнення хімічної пари із джерелом займання (наприклад, іскрою), процес горіння виникає лише за умови значення концентрації палива у повітрі між НМВ та ВМВ.

ALOHA використовує 60 % від НМВ як рівень стурбованості за замовчуванням для зони найвищої загрози (червоного кольору), оскільки деякі експерименти показали, що пожежі можуть виникати в місцях, де середня концентрація перевищує цей рівень. Інший типовий рівень загрози, що використовується респондентами, це 10% від НМВ, що є стандартним порогом небезпеки для зони середньої загрози (жовтого кольору).

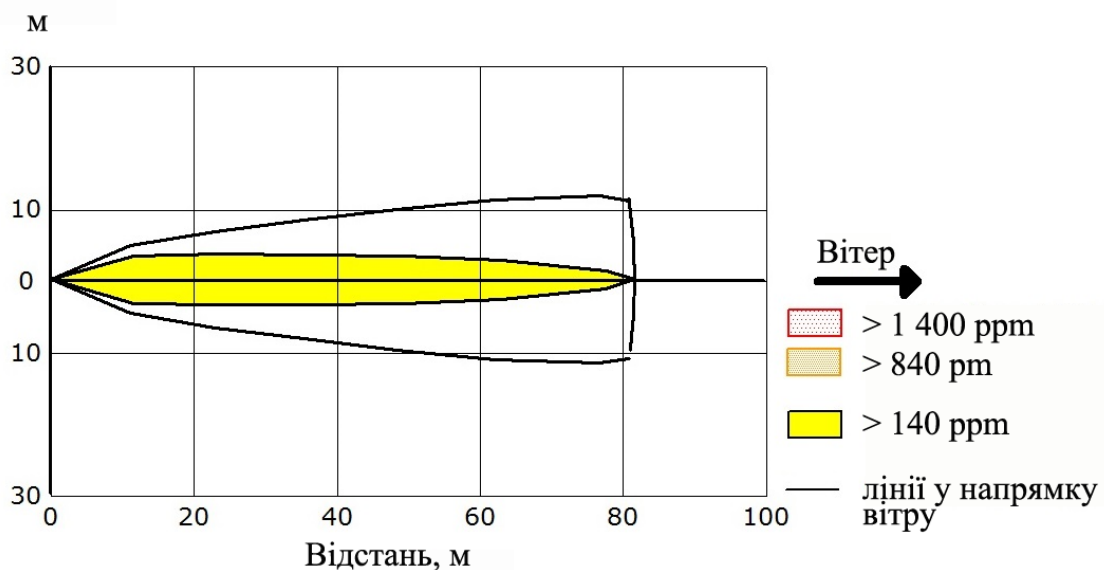


Рисунок 5.5 – Розміри вогнебезпечної зони для парів бензину

Як видно з рис. 5.5, для заданих умов відсутні зони високої та середньої небезпеки, тому ймовірність займання мінімальна (10 % від НМВ), і характеризується зоною 80 м.

Іншим не менш важливим показником є зона вибухонебезпечності. Надмірна напруга, що також називається вибуховою хвилею, означає раптове настання хвилі тиску після вибуху. Ця хвиля напруги обумовлена енергією, що виділяється при початковому вибуху – чим більше початковий вибух, тим більша хвиля тиску.

ALOHA використовує значення надлишкового тиску (у фунтах на квадратний дюйм, psi), які базуються на огляді декількох загальноприйнятих джерел надмірного тиску та вибухів:

- 8,0 фунтів / кв. дюйм (руйнування будинків);
- 3,5 фунтів / кв. дюйм (можливе серйозне пошкодження);
- 1,0 фунтів / кв. дюйм (руйнування скла).

Для розглянутої ситуації розмір зони із серйозним пошкодженням становить 13 м у напрямку пануючого вітру згідно з розою вітрів (рис. 5.6).

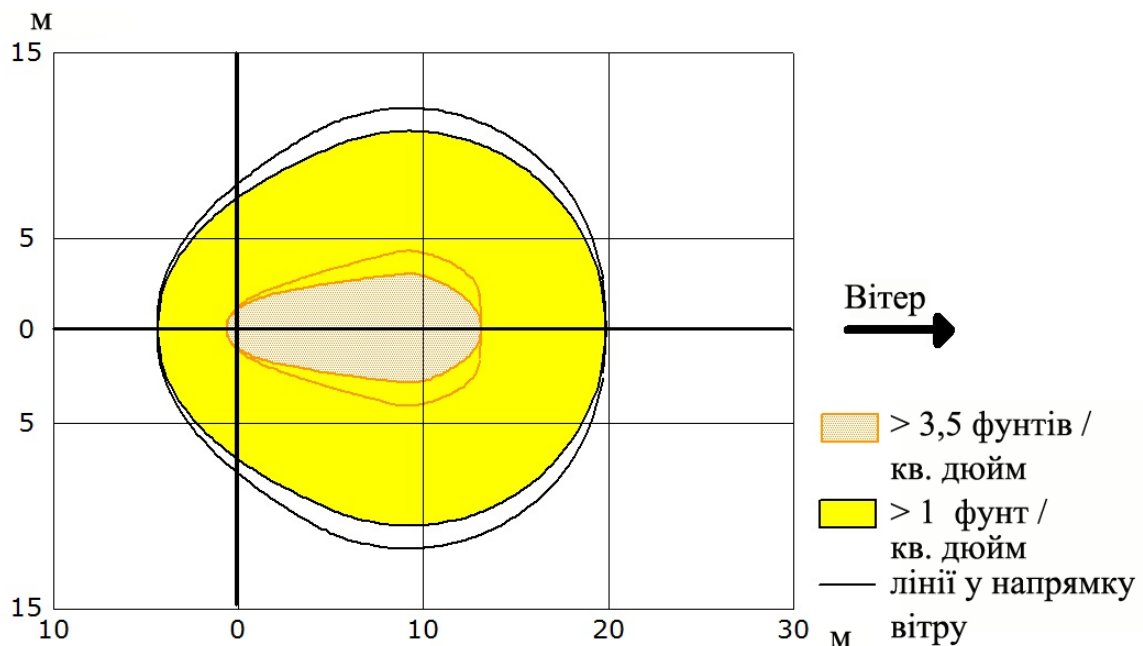


Рисунок 5.6 – Вибухова область вибуху хмарної пари бензину

5.5 Оцінювання еколого-економічної ефективності проекту підвищення екологічної безпеки

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 подання 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, додержання принципів раціонального природокористування, за рахунок використання вловлених нафтопродуктів у якості товарного продукту. Ефективність запропонованого заходу, направлено на підвищення екологічної безпеки, визначається як відношення одержаного позитивного результату від його впровадження до загальних витрат, необхідних для його реалізації.

5.4.1 Еколого-економічний ефект від впровадження ежекторно-вихрового способу примусової вентиляції

Еколого-економічний ефект застосування природоохоронних заходів (E) загалом визначається за таким сумарним підрахунком ефектів:

$$E = E_{\pi} + E_3, \quad (5.2)$$

де E_{π} – еколого-економічний ефект за рахунок економії на сплаті екологічного податку в результаті зменшення викидів у НПС після проведення природоохоронних заходів.

E_3 – еколого-економічний ефект за рахунок зменшення еколого-економічного збитку.

Розрахунок еколого-економічного ефекту, одержаного за рахунок економії на сплаті економічного податку. Сума податку, який справляється за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними

джерелами забруднення (P_{bc}), обчислюється, виходячи з фактичних обсягів викидів, ставок податку за формулою:

$$P_{bc} = \sum (H_{pi} \cdot M_i), \quad (5.3)$$

де H_{pi} – ставки податку в поточному році за тонну i -тої забруднюючої речовини, грн/т;

M_{pi} – фактичний обсяг викиду i -тої забруднюючої речовини, т;

Ставка податку за викиди в атмосферне повітря вуглеводнів визначалася відповідно до пункту 243.1 статті 243 розділу Екологічний податок Податкового Кодексу України [127]. Оцінку проводили з розрахунку на один резервуар вертикальний сталевий ємністю 5 000 м³ (PBC-5000).

За результатами розрахунку еколого-економічний ефект, одержаний завдяки економії на сплаті економічного податку в результаті зменшення впливу на НПС при впровадженні розробленої технології, становить 138,57 грн/т · 1,5 т = 208,125 грн.

Розрахунок еколого-економічного ефекту, одержаного за рахунок зменшення еколого-економічного збитку. При реалізації запропонованої технології уловлення парів вуглеводнів та досягнення при цьому ефективності на рівні 99 %, вплив на атмосферне повітря буде повністю відсутній.

Проведення природної або примусової вентиляції резервуарів приводить до еколого-економічного збитку від забруднення НПС (Z), який складає суму збитків: атмосфері (Z_a), водним ресурсам (Z_b) та земельним ресурсам (Z_z) [128]. Таким чином, математичний вираз для розрахунку збитку описується рівнянням:

$$Z = Z_a + Z_b + Z_z. \quad (5.4)$$

Розрахунки всіх складових та загальний еколого-економічний збиток від забруднення НПС від парів нафтопродуктів, що виділяються під час вентиляції резервуарів, проводилися за допомогою програмного пакету Microsoft Excel з використанням бази даних та стандартних функцій, що

дозволило запрограмувати методику розрахунку й адаптувати її для динамічних ситуаційних умов, які впливають на значення більшості коефіцієнтів.

Збиток атмосфері (Z_a) визначається згідно з Методикою розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі у результаті наднормативних викидів ЗР в атмосферне повітря [128].

Розмір відшкодування збитків за наднормативний викид забруднювальної речовини в атмосферне повітря розраховується на основі розміру мінімальної заробітної плати, установлені на час виявлення порушення, помноженої на коефіцієнт 1,1, з урахуванням регулювальних коефіцієнтів (додатки 1, 2 Методики) і показника відносної небезпечності кожної забруднювальної речовини [128].

Розмір збитків розраховували за формулою:

$$Z_a = m_i \cdot 1,1\Pi \cdot A_i \cdot K_T \cdot K_{zi}, \quad (5.5)$$

де Z_a – розмір збитків, грн;

m_i – маса i -ї забруднювальної речовини, викинутої в атмосферне повітря наднормативно, т;

$1,1\Pi$ – розмір мінімальної заробітної плати (Π) на момент виявлення порушення за одну тонну умовної забруднювальної речовини, помноженої на коефіцієнт (1,1), грн/т;

A_i – безрозмірний показник відносної небезпечності i -ї забруднювальної речовини;

K_T – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості;

K_{zi} – коефіцієнт, що залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту i -ю забруднювальною речовиною.

На основі вхідних даних (Додаток И, рис. И.1) за формулою (5.5) встановлено розмір відшкодування збитків Z_a , завданих атмосфері у

результаті наднормативних викидів парів бензину в атмосферне повітря від одного резервуара РВС-5000, що становить 1,904 тис. грн.

Еколого-економічний ефект загальний від впровадження розробленої ресурозберігаючої технології за формулою (5.1) становить 2,112 тис. грн.

Висновки до розділу 5

1. 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 нормативами екологічної безпеки [7].

2. На підставі проведених досліджень визначено зону активного забруднення при здійсненні примусової вентиляції з традиційною подачею повітря, використовуючи програмне забезпечення для моделювання дисперсії забруднюючих речовин. Встановлено, що за примусової дегазації резервуару РВС-5000 1,5 тонн парів нафтопродуктів потрапляють в атмосферне повітря [11].

3. 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 [14].

4. Виходячи з аналізу одержаних 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.

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною працею, поставлено і вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення рівня екологічної безпеки об'єктів НГК та інших комплексів зберігання нафтопродуктів шляхом розроблення та обґрунтування технічних рішень проведення передремонтної підготовки резервуарів для зберігання вуглеводнів.

1. На підставі вивчення техногенного впливу вибухопожежонебезпеки вогневих ремонтних робіт на резервуарах із залишками нафтопродуктів виявлено, що підготовка резервуарів до очищення, ремонту, реконструкції й демонтажу є екологічно небезпечною операцією. З метою зниження техногенного навантаження на довкілля необхідне удосконалення існуючих технологічних схем вентиляції резервуарів. Скорочення часу проведення вентилявання резервуара з одночасним уловлюванням парів нафтопродуктів дозволяє суттєво скоротити кількість викидів в атмосферне повітря згідно з вимогами нормативів екологічної безпеки.

2. Обґрунтовано принципову схему та конструктивне рішення побудови експериментального напівпромислового стенда, який дозволяє провести багатостороннє дослідження екологічної безпечності технологічного процесу підготовки резервуарів із залишками нафтопродуктів до вогневих робіт різноманітними методами їх примусової вентиляції. Розроблено методику проведення дослідів та оцінювання точності результатів вимірювання.

3. Запропоновано теоретико-методичні підходи до вирішення 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.

4. Експериментальними дослідженнями підтверджено встановлені

теоретичні закономірності процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів; методику моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин, а також процесів дегазації. Розроблено і застосовано принципово новий ежекторно-вихровий спосіб подання припливного повітря у внутрішній простір резервуара, який покращує результат провітрювання порівняно з існуючими методами за рахунок інтенсивного перемішування подаваного повітря з парами нафтопродуктів у резервуарі та скорочення часу проведення вентиляції.

5. Експериментально доведено, що під час моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин припустиме використання однакових методик з урахуванням коефіцієнта ефективності при розрахунку швидкості випаровування. Визначено, що при ежекторно-вихровому способі подання повітря у внутрішній простір резервуара відносна швидкість в 2,4 раза вища, ніж при організації подання припливного повітря традиційним способом. При цьому частка випаровуваної рідини більша в 4 рази для води й дизпалива, у 2,52 раза – для бензинів, і в 6,3 раза – для толуолу за однакової витрати повітря.

6. Розроблено та теоретично обґрунтовано абсорбційно-конденсаційну технологію уловлювання парів нафтових вуглеводнів під час очищення викидів забруднюючих речовин після проведення процесу примусової вентиляції резервуарів, що дозволяє додержати нормативи шкідливого впливу на атмосферне повітря та отримати товарний продукт.

7. Оцінено зону активного забруднення при здійсненні примусової вентиляції з традиційним поданням повітря, використовуючи програмне забезпечення для моделювання дисперсії забруднюючих речовин. Установлено, що за такої схеми дегазації резервуара РВС-5000 1,5 тонни парів нафтопродуктів потрапляють в атмосферне повітря, створюючи зону гострого токсичного впливу розміром 1,2 км.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Назаров В. П., Киршев А. А. Повышение эффективности вентиляции резервуаров с нефтепродуктами. *Пожаровзрывобезопасность технологических процессов и оборудования*. 2014. Том 23. № 7. С. 52–57.
2. Назаров В. П., Коротовских Я. В. Компьютерные технологии прогнозирования пожаровзрывоопасности производственных объектов. *Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности"*. 2010. № 5 (33). С. 21–26.
3. Назаров В. П. Пожаровзрывобезопасность предремонтной подготовки и проведения огневых работ на резервуарах : дис. ... докт. техн. наук : 05.26.03. М., 1995. 444 с.
4. Тарасенко А. А. Методы ремонта элементов конструкций вертикальных стальных цилиндрических резервуаров после длительной эксплуатации. Тюмень, 1997. 289 с.
5. Киршев А. А. Результаты сравнительных экспериментальных исследований способов вентиляции вертикальных цилиндрических резервуаров перед ремонтными работами. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2013. № 2. С. 38–41.
6. Коршак А. А., Морозова Н. В. Методические основы выбора технических средств сокращения потерь нефти (бензина) от испарения. *Нефтегазовое дело: электронный научный журнал*. 2013. № 6. С. 228–246.
7. 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. № u 2016 04943; заявл. 04.05.2016; опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22. – 4 с.
8. 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.

9. 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.

10. 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.

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

12. Адаменко М. І., Гарбуз С. В. Інформаційна модель поширення 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.

13. 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: Национальный университет гражданской защиты Украины, 2017. Вып. 42. С. 110–114.

14. 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.

15. Статистический ежегодник «Украина в цифрах». Государственный комитет статистики Украины. Изд. офиц. Киев, 2014. 600 с.

16. Ларионов В. И. Оценка и обеспечение безопасности объектов хранения и транспортировки углеводного сырья. СПб. : ООО «Недра», 2004. 190 с.
17. Ханухов Х. М. Анализ причин аварий стальных резервуаров и повышение безопасности их эксплуатации. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2003. № 10. С. 49–52.
18. Байбурин Р. А. Методы и модели обеспечения пожарной и промышленной безопасности при эксплуатации и ремонте резервуаров вертикальных стальных: дис. ... канд. техн. н. Уфа, 2007. 182 с.
19. Гайсин Э. Ш., Гайсин М. Ш. Современное состояние проблем обеспечения надежности резервуаров для нефти и нефтепродуктов. *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. 2016. №2. С. 31–40.
20. Назаров В. П. Обеспечение пожаровзрывобезопасности при ликвидации аварии и ЧС на объектах транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. *Тезисы докладов XXI Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности»*. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. Ч. 1. С. 166. 169 с.
21. Байдалинов А. Д., Шаров С. И. Анализ обеспечения пожаровзрывобезопасности огневых ремонтных работ на РВС. *Форум молодых учёных*. 2016. № 4(8). 9 с. Режим доступа: http://forum-nauka.ru/domains_data/files/8/Baydalina.pdf
22. Бакиров И. К., Шакирова А. И. Взаимосвязь расчетного и фактического значений пожарного риска, климатических условий и пожароопасной ситуации на объектах нефтегазовой отрасли. *Пожарная и промышленная безопасность*. 2017. № 1 (107). С. 196–209.
23. Чикинев Т. И. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. *Сб. науч. тр. ЦНИИТЭнефтехим*. М., 1977. № 3. С. 19–21.

24. Киршев А. А., Рубцов В. В., Батманов С. В., Рубцов Д. Н. Обеспечение пожаровзрывобезопасности при предремонтной подготовке резервуаров для нефтепродуктов. *Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности"*. 2016. № 2 (66). С. 1–7.

25. Назаров В. П. Обеспечение пожарной безопасности огневых ремонтных работ на технологическом оборудовании. М. : ВИПТШ МВД РФ, 1992. 25 с.

26. Кандаков Г. П. Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения. *Промышленное и гражданское строительство*. 1998. № 5. С. 24–26.

27. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік. К.: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, 2017. 433 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html>

28. НАПБ Б.01.012-2007. Про затвердження Правил з вогнезахисту : Наказ Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи № 460 від 02.07.2007 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0849-07>

29. НАПБ В.01.058-2008/112. Про затвердження Правил пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 658 від 24.12.2008 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0235-09>

30. НАПБ В.02.011-2012/111. Про затвердження та введення в дію нормативного документа «Зберігання нафти, газу, конденсату. Пожежна безпека. Основні положення» : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 213 від 24.04.2007 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ua-info.biz/legal/baseuw/ua-qmwfhe.htm>

31. НАПБ 05.035-2004. Протипожежний захист складів легкозаймистих та горючих рідин на підприємствах паливно-енергетичного комплексу. Інструкція з проектування, будівництва на експлуатації : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 40 від 28.01.2002 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/950/Nafta-Instrukcia8S.pdf

32. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами : Наказ МНС України № 35 від 16.02.2004 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://text.normativ.ua/doc9538.php>

33. НАПБ 05.039-2008. Інструкція з проектування та будівництва автоматичних установок з гасіння пожеж у резервуарах з нафтою та нафтопродуктами : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 289 від 06.05.2008 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=71123

34. Назаров В. П. Проблемы и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности предприятий нефтегазового комплекса. *Вестник Академии Государственной противопожарной службы*, № 4. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 209 с.

35. ДСТУ 4454-2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.twirpx.com/file/1758166>

36. Бородин А. А. Повышение безопасности аварийно-ремонтных работ на горизонтальных резервуарах для нефтепродуктов способом флегматизации азотом мембранного разделения: автореф. дисс. на соискание научн. степ. канд. техн. наук: 05.26.03 / Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. Москва, 2016. 24 с.

37. Корнилов А. А., Бородин А. А., Барбин Н. М., Зыков П. И., Хужаев А. Т. Исследование оптимальных схем подачи инертного газа при флегматизации горизонтальных резервуаров. *Пожаровзрывобезопасность*. 2014. №6. С. 81–87.

38. Yinchang Li, Yang Du, Peili Zhang. Experimental study on inert replacement ventilation of oil vapor in oil tank. *Department of Petroleum Supply Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China. 2012. 45. P. 546–551.*
39. Киршев А. А. Анализ способов подготовки резервуаров нефтегазового комплекса к ремонтным работам. *Материалы XXI научнотехнической конференции «Системы безопасности – 2012».* М.: Академия ГПС МЧС России, 2012.
40. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. 3-е изд., перераб. Москва : Химия, 1980. 288 с.
41. Шмырева М.Б. Особенности управления пожарной безопасности технологических процессов. *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.* 2014. №1 (5).
42. Авторское свидетельство 1687312 Российская Федерация. Способ подготовки резервуаров к ремонту. Правообладатели – Фатхиев Н. М., Бондаренко П. М., Назаров В. П. опубл. 01.07.1991
43. Пат. RU 2518970 Россия, МПК В08В9/08. Способ дегазации вертикальных цилиндрических резервуаров перед ремонтными работами / А. А. Киршев, В. П. Назаров, Я. В. Коротких, № заявки 2012145959/05; заявл. 29.10.2012; опубл. 10.06.2014, Бюл. №16.
44. Авторское свидетельство 1687312 СССР. Способ подготовки резервуаров к ремонту / Н. М. Фатхеев, П. М. Бондаренко, В. П. Назаров 4688196/12; заявл. 21.02.1989; опубл. 30.01.1991, Бюл. 40. 2 с.
45. Назаров В. П., Киршев А. А. Вентиляция резервуаров перед ремонтными работами. *Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности".* 2012. № 4 (44). С. 1.
46. Кошмаров М. Ю. Моделирование динамики начальной стадии пожара в помещениях, зданиях и сооружениях при воспламенении горючей жидкости: дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03. М., 2004. 201 с.

47. Пузач С. В. Математическое моделирование газодинамики и теплообмена при решении задач пожаровзрывоопасности. М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. 150 с.
48. Смагин А. В. Моделирование выделения и распространения токсичных газов при пожарах в зданиях и сооружениях для обоснования их объемно-планировочных решений с целью обеспечения безопасной эвакуации людей: дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03. М., 2008. 268 с.
49. Колесников Е. Ю. К расчету массовой скорости испарения опасных веществ. *Проблемы анализа риска*. 2011. № 5. С. 84–91.
50. Моделирование пожаров и взрывов / Под редакцией Н.Н. Брушлинского и Корольченко А. Я. М.: Изд-во «Пожнаука», 2000. С. 9–24.
51. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
52. Model Code of Safe Practice Part 15: Area classification code for petroleum installations handling flammable fluids (Third edition). Energy Institute. 2005. URL: www.energypublishing.org
53. Dangerous substances and explosive atmospheres. Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations 2002. Approved Code of Practice and guidance L138 (Second edition). HSE Books, 2013. 120 p. URL: <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/l138.pdf>
54. Соколова Е. В. Оценка факторов воздействия выбросов АЗС на воздушную среду их рабочей зоны и прилегающей территории. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура*. 2011. Вып. 25 (44). С. 392–397.

55. Рожков А. В. Обеспечение пожаровзрывобезопасности гидроабразивоструйной очистки нефтяных резервуаров : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03. М., 2005. 123 с.
56. Рубцов В. В. Обеспечение пожарной безопасности резервуара с понтоном принудительной вентиляции при подготовке к огневым работам : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01. М., 1983. 158 с.
57. Сорокоумов В. П. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03. М., 2002. 160 с.
58. Terrés I. M., Miñarro M. D., Ferradas E. G., Caracena A. B., Rico J. B. Assessing the impact of petrol stations on their immediate surroundings. *Journal of Environmental Management*. 2010. № 91. P. 2754–2762.
59. Івасенко В. М. Розрахункова модель випаровувань автозаправних станцій. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2014. №40(1083). С. 51–59.
60. Приймак В. В., Марченко М. А., Ивахнюк Г. К. Об оценке зон воздействия теплового излучения и размеров зон действия основных поражающих факторов при пожарах разлива нефтепродуктов (на примере сливо-наливного терминала нефти ООО «Спецморнефтепорт Приморск»). *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. 2017. №3. С. 32–37.
61. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. М. : Химия, 1971. 238 с.
62. Кошин А. А., Мокшин Д. И., Коробков С. В. Давление в пограничном слое как фактор изменения теплопотерь в здании. Перспективы исследований. *Вестник ТГАСУ*. 2011. С. 153–155.
63. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л. : Гидрометеиздат, 1975. 448 с.

64. Красногорская Н. Н. Оценка экологической опасности «больших дыханий» резервуаров автозаправочных станций крупного города. *Безопасность жизнедеятельности*. 2009. № 6. С. 34–38.
65. Ескендилов М. З. Исследование процесса коагуляционного укрупнения частиц аэрозоля в турбулентных потоках организованной вихревой структуры. *Наука и образование Южного Казахстана*. 2004. № 33. С. 36–39.
66. Тугунов П. И., Новоселов В. Ф., Коршак А. А., Шаммазов А. М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2002. 658 с.
67. Ibragim Asaad M. Ali, Sergii Boichenko, Viktoria Romanchuk, Mariia Boichenko, Olexandr Lazorko Innovative. Technological Scheme of Iraq Oils Refining. *Chemistry & Chemical Technology*. 2014. Vol. 8. №. 2. P. 219–224.
68. Коробков С. В., Гныря А. И. Экспериментальные исследования аэродинамики моделей зданий при помощи сажемасляной визуализации. *Вестник ТГАСУ*. 2011. С. 40–45.
69. Дутчак М. И., Сучков В. П. Проблемы нормативных методов оценки пожаровзрывоопасности объектов трубопроводного транспорта и хранения нефтепродуктов. *Пожаровзрывобезопасность*. 2003. №5. С. 55–60.
70. Installation and Environmental Management Guide for Aboveground Domestic Oil Tanks in Nova Scotia. March 2007, 17 p. URL: <https://novascotia.ca/nse/petroleum/docs/OilTankInstall.pdf>
71. Safe use and handling of flammable liquids HSG140 (Second edition) HSE Books. 2015, 55 p. URL: <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg140.pdf>
72. Safety and environmental standards for fuel storage sites Process Safety Leadership Group Final report HSE. 2009, 268 p. URL: www.hse.gov.uk/comah/buncefield/fuel-storage-sites.pdf
73. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006.

74. АЕАТ (2001). Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU Report No АЕАТ/ENV/R/0469 Issue 2 – АЕА Technology, Abingdon. 2001.

75. Левина Е. Ю. Некоторые аспекты экологической безопасности при хранении жидких углеводородных топлив. *Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения*. 2016. № 6 (28). С. 18–20.

76. Гарбуз С. В., Ковалёв А. А., Титаренко А. В. Оценка экологической опасности выбросов паров нефтепродуктов при эксплуатации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2015. №52 (1161). С. 146–152.

77. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on. Best Available Techniques on. Emissions from Storage [Electronic resource] / European Commission. July 2006. Available at: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/esb_bref_0706.pdf

78. Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU [Electronic resource]: B43040/99/116755/MAR/D3 / European Commission — Directorate General Environment // Report No АЕАТ/ENV/R/0469. Issue 2. Abingdon: АЕА Technology, 2001. Available at: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:exedoerNnCEJ:ec.europa.eu/environment/air/pdf/vocloading.pdf+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ua>

79. Li Y., Du Y., Zhang P. Experimental Study on Inert Replacement Ventilation of Oil Vapor in Oil Tank. *Procedia Engineering*. 2012. Vol. 45. P. 546–551. doi:10.1016/j.proeng.2012.08.201.

80. Данилов В. Ф., Шурыгин В. Ю. К вопросу о решении проблемы потерь нефтепродуктов от испарения. *Успехи современного естествознания*. 2016. № 3. С. 141–145.

81. Блинов И. Г. Установка улавливания лёгких фракций из резервуаров установки подготовки нефти НГДУ «Речицанефть» / Рабочий проект в 2-ух книгах / Книга 1, том 1 Пояснительная записка. Киев, 1994. 210 с.

82. Гарбуз С. В., Ликов О. М. Дослідження техногенної та екологічної безпеки процесу рекуперації нафтопродуктів. *Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист»*, 20-21 жовт. 2017 р.: Черкаси, 2017. С.149–151.

83. Гарбуз С. В., Ковальов О. О., Удянський М. М. Обладнання та методи рекуперації вуглеводневих парів. *12-й міжнародний симпозіум Українських інженерів-механіків у Львові*. Національний університет «Львівська політехніка» 2015. С. 67–68.

84. Кулагин А. В. Прогнозирование и сокращение потерь бензинов от испарения из горизонтальных подземных резервуаров АЗС: автореф. дисс. на соискание уч. степ. канд. техн. наук: 25.00.19 / Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2003. 25 с.

85. Любин Е. А. Обоснование технологии улавливания паров нефти из резервуаров типа РВС с использованием насосно-эжекторной установки. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2014. № 5. С. 10–13.

86. Захаров Н. М., Субботин А. С., Котов С. В. Разработка блока улавливания углеводородных газов из резервуаров. *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. 2015. №2. С. 307–322.

87. Данилов В. Ф., Савельев А. В., Кюннап Р. И. Технические аспекты сокращения потерь нефтепродуктов при хранении в резервуарном парке. *Труды НИИ 25 МО РФ*. 2014. № 56. С. 396–400.

88. Пат. №2496559 РФ МПК В01D 53/75. Установка для улавливания паров нефти и нефтепродуктов. / Б.И. Ковальский, А.В. Юдин, Ю.Н. Безбородов, И.А. Шумовский, М.М. Рунда. Опубл. 27.10.13.

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

90. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage. 2006, 460 p.

91. Эльтерман Е.М. Динамика испарения растворителей с окрашенных поверхностей. *Науч. работы ин-тов охраны труда ВЦСПС*. М., 1971. № 70. С. 9–12.
92. Кошмаров Ю. А., Арсов М. М. Экспериментальное исследование процессов тепло- и массообмена при испарении пожаровзрывоопасных растворителей со свободной поверхности. *Труды ВИПТШ МВФ СССР*. М., 1978. Вып. 3. С. 54–62.
93. Клубань В. С., Поповский В. И. Экспериментальное исследование тепло- и массообмена при испарении пожароопасных растворителей со свободной поверхности. *Труды ВИПТШ МВФ СССР*. М., 1976. С. 81–85.
94. Назаров В. П., Демничев В. А., Попов В. И., Муслимов Х. М. Экспериментальное исследование пожаровзрывоопасности при очистке и дегазации. *Сб. науч. тр. ВИПТШ МВФ СССР «Исследование пожарной опасности материалов, конструкций, промышленных объектов, проблемы противопожарной защиты»*. М., 1990. С. 100–103.
95. Гарбуз С. В. Повышение экологической безопасности принудительной вентиляции резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 6. С. 67–72.
96. Сучков В. П. Исследование пожарной опасности паровоздушной среды в резервуарах при хранении в них керосина и дизельного топлива : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.02. М., 1978. 135 с.
97. Руководство по эксплуатации КПГУ 413322 022 РЭ, Версия V 8.21. Газоанализатор универсальный ГАНК-4. М. : НПО «Прибор», 2004. 28 с.
98. Киршев А. А. Разработка экспериментального стенда для оценки интенсивности испарения углеводородных жидкостей. *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. Том 22. № 12. С. 38–42.
99. Пузік С. О., Островський Б. О., Комар Д. А. Методика розрахунку процесу примусової вентиляції резервуарів від залишків рідких

нафтопродуктів. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2013. № 2. С. 109–113.

100. Ершова И. Г. Погрешности измерений и их оценка. *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление*. 2012. №1. С. 135–141.

101. Александров А. А. Оценка экологической опасности «большого дыхания» резервуара автозаправочных станций и нефтебаз. *Вестник ОГУ*. 2005. № 4. С. 104–107.

102. Ординарцева Н. П., Фурман О. В. Формирование результата измерения в условиях неопределенности. *Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки*. 2012. №3 (23). С. 55–61.

103. Кононюк А. Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). В 4-х кн. К.1. К.: 2011. 508 с.

104. Гарбуз С. В. Моделирование процесса эжекции. *Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы»*. г. Кокшетау, РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан». 2017. С. 67–70.

105. Захаренко О. В., Адаменко М. І., Клименко О. А. Підвищення безпеки життєдіяльності об'єктів хімічної промисловості шляхом моделювання заходів по локалізації надзвичайних ситуацій. *Система озброєння і військ. техніка : наук. журн. Харків. ун-ту повітряних сил*. Харків : ХУПС, 2009. № 2. С. 73.

106. Адаменко М. І. Забезпечення екологічної безпеки аварійного функціонування потенційно небезпечних об'єктів. *Система озброєння і військова техніка*. Харків: ХУПС. 2012. Вип. 2 (30). С. 227–228.

107. Адаменко М. І. Зниження масштабів екологічного виявлення. *Система управління, навігації та зв'язку : зб. наук*. Київ : ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», 2010. Вип. 4. С. 240–243.

108. Адаменко М. І. Дослідження меж екологічного впливу хімічно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище. *Наук. вісн. будівництва*. Харків : ХДУБА : ХОТВ АБУ, 2010. Вип. 35. С. 6–8.
109. Адаменко Н. И. Классификация чрезвычайных ситуаций по видам ресурсов, применяемых для их ликвидации. *Наук. вісн. будівництва*. Харків : ХДУБА : ХОТВ АБУ, 2002. Вип. 18. С. 11–13.
110. Гарбуз С. В., Халмурадов Б. Д Розрахунок можливих екологічно-шкідливих викидів в атмосферу із резервуарів з залишками нафтопродуктів. *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2017»*. Національний авіаційний університет м. Київ. 2017. С. 787–793.
111. Гарбуз С. В. Забруднення атмосфери залишками нафтопродуктів під час дегазації резервуарів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки»*. Національний університет цивільного захисту України м. Харків 2016. С. 124–128.
112. Markovsky I., Van Huffel S. Overview of total least squares methods. *Signal Process.* 2007. Issue 87, P. 2283–2302.
113. Вогман Л. П. Основные подходы к оценке уровня пожарной опасности производственных объектов. *Пожаровзрывобезопасность*. 2004. №2. С. 23–30.
114. 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.
115. Гражданкин А. И., Лисанов М. В., Печеркин А. С. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов. *Безопасность труда в промышленности*. 2001. № 5. С. 33–36.
116. Emergency Response Guidebook, 2016. 400 p. URL: <https://www.phmsa.dot.gov/sites/phmsa.dot.gov/files/docs/ERG2016.pdf>.
117. Cheremisinoff N. P. (ed). Storage Tank Emissions (Oil and Condensate Tanks). *Pollution Control Handbook for Oil and Gas Engineering*,

John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2016 doi: 10.1002/9781119117896.ch95.

118. Areal Locations of Hazardous Atmospheres [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://response.restoration.noaa.gov/aloha>.

119. Acute Exposure Guideline Levels (AEGs) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.epa.gov/oppt/aegl/>.

120. IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1997. XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006) created by M. Nic, J. Jirat, B. Kosata; updates compiled by A. Jenkins. <https://doi.org/10.1351/goldbook>.

121. USEPA. EPA handbook: control technologies for hazardous air pollutants USEPA: Office of Research and Development, Washington, DC, 1991.

122. Ruddy E. N., Carroll L. A. Select the best VOC control strategy. *Chemical Engineering Progress*, 1993. 7. 28 July.

123. Pezolt D. J., Collick S. J., Johnson H. A., Robbins L. A. Pressure swing adsorption for VOC recovery at gasoline terminals. *Chemical Engineering Progress*. 1997. No 16 (1). 16 p.

124. Maria Markiewicz. A Review of Mathematical Models for the Atmospheric Dispersion of Heavy Gases. Part I. A Classification of Models. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2012. Volume 19. Issue 3. P. 297–314. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10216-011-0022-y>.

125. Kakareka S. V. Assessing Total Atmospheric Air Pollution. *Geogr. Nat. Resour.* 2012. No 33. 113 p. <https://doi.org/10.1134/S1875372812020023>

126. Fire safety in construction: Guidance for clients, designers and those managing and carrying out construction work involving significant fire risks. HSG168 (Second edition). HSE Books, 2010. 95 p. URL: <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg168.pdf>

127. Податковий Кодекс України : [Чинний від від 02.12.2010 р. № 2755-VI]. К.: Вісник Державної Фіскальної служби України, 2016. 336 с.

128. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря : затв. Міністерством охорони навколишнього природного середовища України 10.12.2008 : введ. в дію з 21.01.2009. К., 2009. 1 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Список публікацій здобувача

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 «ХП»*. 2015. № 52 (1161). С. 146–152.

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

4. 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.

5. Гарбуз С. В. Системний підхід до зниження екологічної небезпеки вентиляції резервуарів з нафтопродуктами. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХП»: зб. наук. пр. Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси*. Харків: НТУ «ХП», 2016. № 7 (1179). С. 106–118.

6. 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 «ХП»: зб. наук. пр. Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси*. Харків: НТУ «ХП», 2016. № 17 (1189). С. 115–121.

7. 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: Национальный университет гражданской защиты Украины, 2017. Вып. 42. С. 110–114.

8. 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.

9. 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.

Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації

10. 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) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы»*. Минск: КИИ, 2014. С. 26–27.

11. Удянский М. М., Гарбуз С. В. Параметры электризации паровоздушного пространства внутри резервуара. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Забезпечення пожежної та техногенної безпеки»*. Харків: НУЦЗУ, 2014. С. 67–68.

12. 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»*. Москва:

Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 124–126.

13. 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*. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2015. С. 67–68.

14. 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.

15. 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.

16. Гарбуз С. В. Забруднення атмосфери залишками нафтопродуктів під час дегазації резервуарів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки»*. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. С. 124–128.

17. Гарбуз С. В. Метод рекуперації вуглеводневих парів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»*. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. С. 26.

18. 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.

19. 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». Київ: Національний авіаційний університет, 2017. С. 7.87–7.93.

20. Гарбуз С. В., Халмурадов Б. Д. Резервуар як джерело забруднювання атмосфери. *Матеріали 19-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку»*. Київ: ІДУЦЗ, 2017. С. 91–92.

21. 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 «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності»*. Львів: ЛДУ БЖД, 2017. С. 194–195.

22. 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: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. С. 149–151.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

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

Додаток Б

Державний реєстр нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ МНС України
10.10.2003 № 388

**ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТР
НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ АКТИВ З ПИТАНЬ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

Позначення (шифр) нормативно- правового акта	Назва нормативно-правового акта	Організація- розробник	Дані про узгодження		Дані про затвердження та введення в			Дані про реєстрацію в Мініюсті України (дата та номер реєстрації)	Строк дії	Дані про внесення змін			Примітки (додаткові дані)
			узгоджуючі організації	дати узгодження та номери документів, якими узгоджено	дата затвердже- ння (номер документа, яким затверджено	організація, яка затвердила	дата введення в дію			дата внесення змін	ким внесені зміни	номери розділів і пунктів, які змінилися	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. ЗАГАЛЬНОДЕРЖАВНІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АКТИ													
<u>Кодекс</u>	Кодекс цивільного захисту України	МНС України			02.10.2012 №5403-VI	Верховна Рада України	01.07.2013			14.05.2013 №224-VII	Верховна Рада України	ч.5 ст.101; ст.106 п.8: ч.2, ч.3, доповнити частиною 4; ч.4 ст.107; ч.28 ст.129	
										20.06.2013 №353-VII	Верховна Рада України	ч.2 ст.17 п.7; п.39-41 - вилучити; п.1 ч.5 ст.24; ч.4 ст.30; ч.3 ст.31; ч.6 ст.34; ст.45; ч.4 ст.57; ч.2 ст.64; ч.1 ст.67 п.2, п.5 - вилучити, п.7; ч.1 ст.133; абз.1 ч.1 ст.134; п.3 та абз.2 п.4 Розд.XII - вилучити ч.4 ст.117; ч.2 ст.120.	
										27.03.2014 № 1166-VII	Верховна Рада України	ч.2 ст.120	
										28.12.2014 № 76-VIII	Верховна Рада України	ст.46	
										15.01.2015 № 124-VIII	Верховна Рада України		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
НАПБ А.01.001-2014	Правила пожежної безпеки в Україні	Департамент державного нагляду (контролю) у сфері пожежної, техногенної безпеки та цивільного захисту ДСНС України	Мінрегіон України СПО об'єднань профспілок Мінсоцполітики Міністерство освіти і науки України Міністерство охорони здоров'я України ДСНС України Держпідприємництво Мінекономрозвитку України	2015 23.02.2015 №04-18/227-спо 19.12.2014 № 15228/0/14-14/011 12.02.2015 18.02.2015 № 09-05/171/4876 11.02.2015 08.12.2014 №9575/0/20-14 25.01.2015 №2723-030357-03	30.12.2014 Наказ №1417	МВС України	10.04.2015	05.03.2015 №252/26697					

2. МІЖГАЛУЗЕВІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АКТИ

НАПБ Б.01.001-2012	Правила пожежної безпеки для місць розміщення евакуйованого населення	УкрНДІЦЗ	СПО об'єднань профспілок Мінрегіонбуд України Мінінфраструктури України Держпідприємництво України Об'єднання організацій роботодавців України	20.09.2012 №04-22/850-спо 14.09.2012 №7/29-14780 13.08.2012 №8668/18/10-12 10.10.2012 №4164/0/20-12 06.08.2012 №06-1-38	05.11.2012 Наказ №1301	МНС України	03.12.2012	23.11.2012 № 1967/22279					
-----------------------	---	----------	--	---	---------------------------	-------------	------------	-------------------------	--	--	--	--	--

Додаток В

Аналітичний огляд стану пожежної безпеки в Україні за 2013-2017 роки

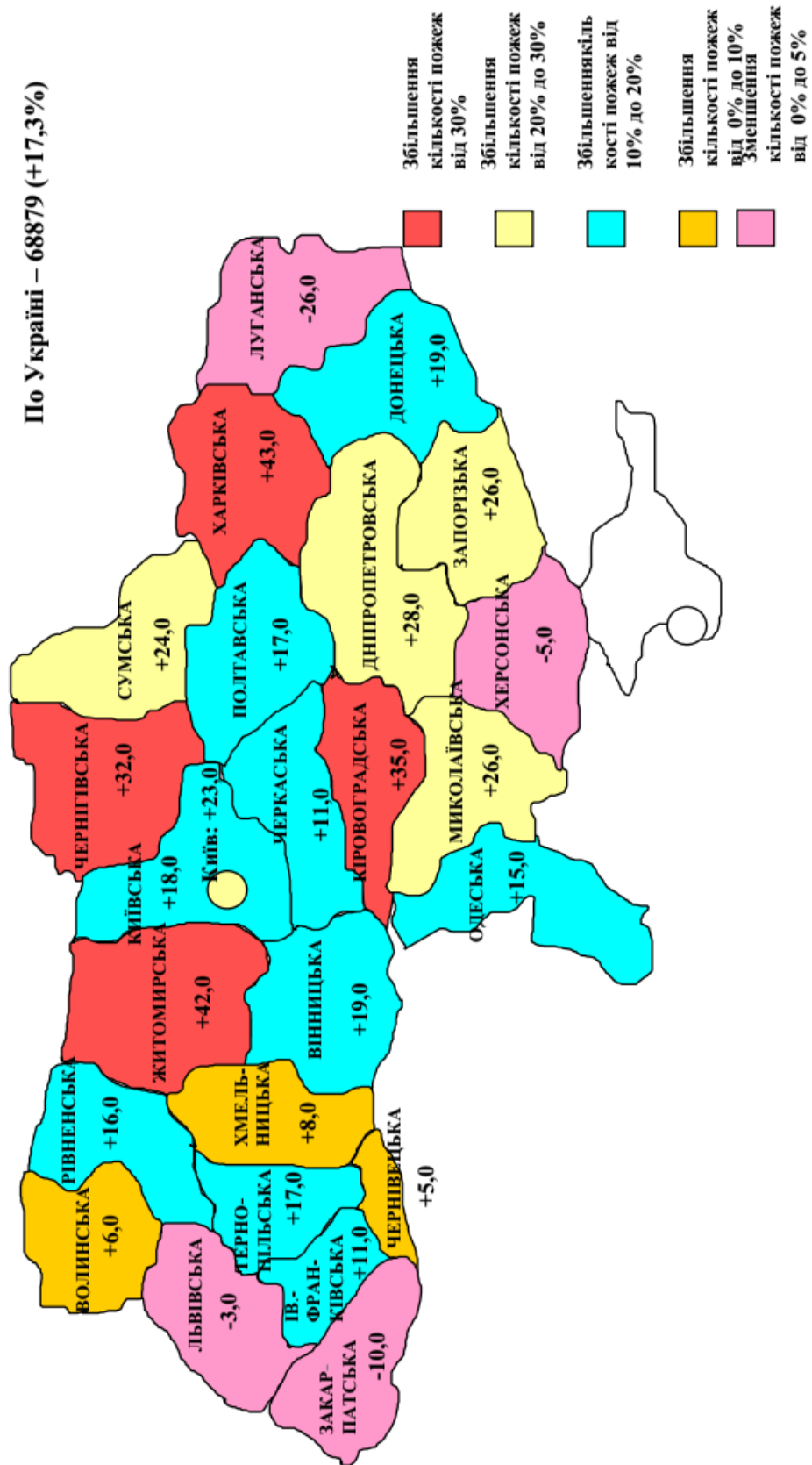


Рисунок В.1 – Динаміка кількості виникнення пожеж по регіонах України за 2014 рік у порівнянні з 2013 роком

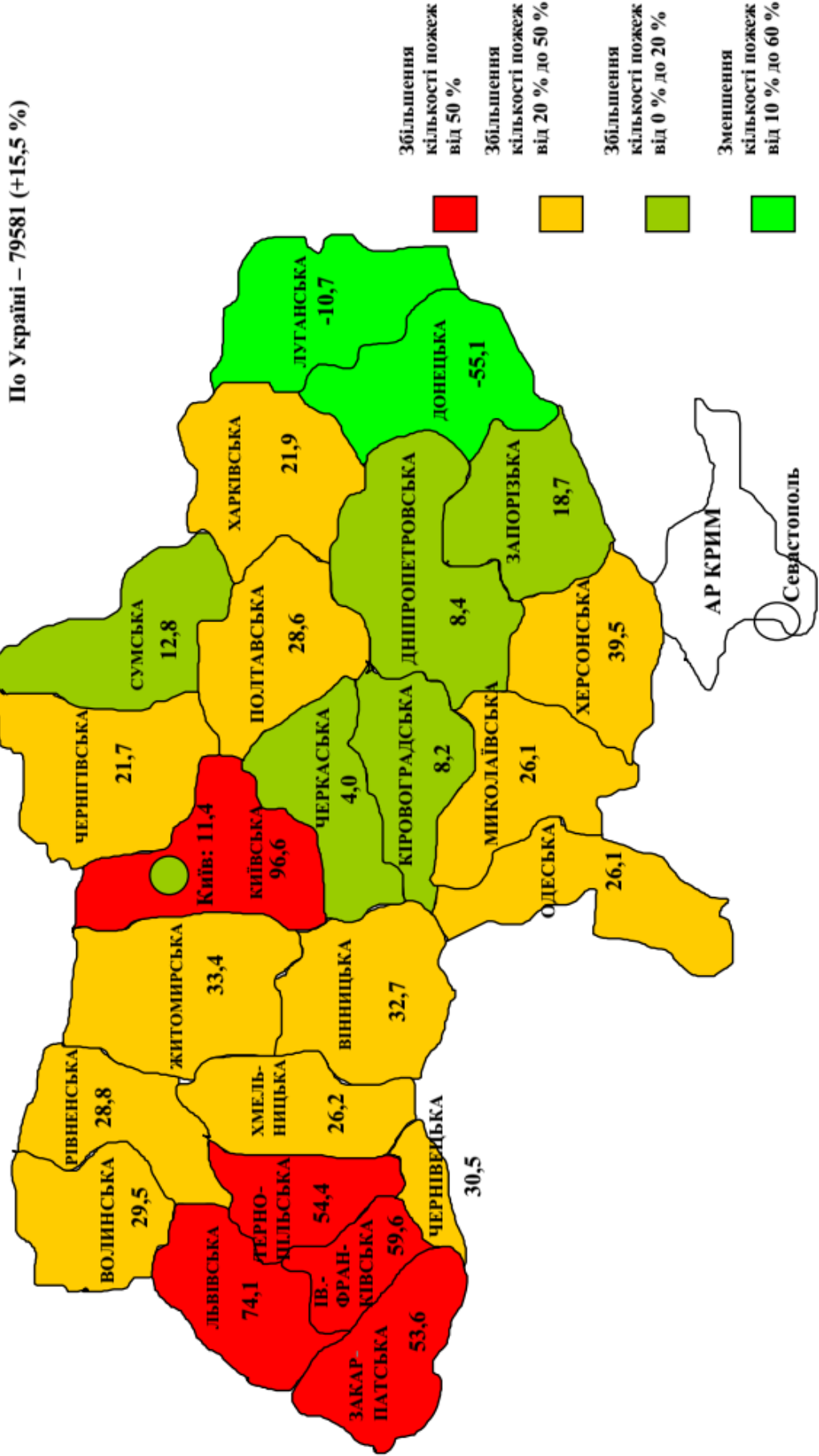


Рисунок В.2 – Динаміка кількості виникнення пожеж по регіонах України за 2015 рік у порівнянні з 2014 роком

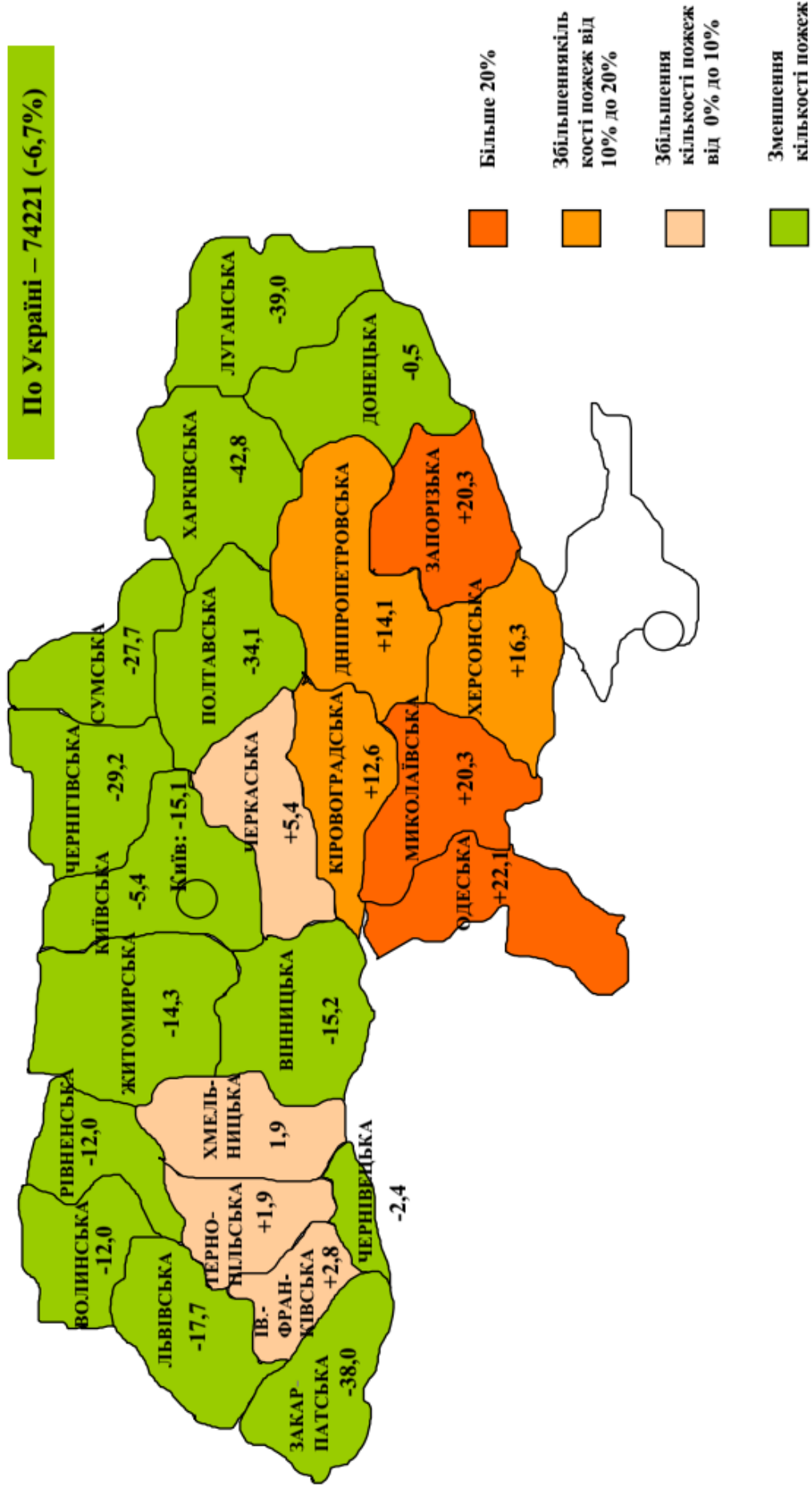


Рисунок В.3 – Динаміка кількості виникнення пожеж по регіонах України за 2016 рік у порівнянні з 2015 роком

Додаток Г
Патень на корисну модель



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **111870** (13) **U**
(51) МПК
B08B 9/08 (2006.01)
B08B 9/34 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2016 04943</p> <p>(22) Дата подання заявки: 04.05.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.11.2016</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.11.2016, Бюл.№ 22</p>	<p>(72) Винахідник(и): Ларін Олександр Миколайович (UA), Удянський Микола Миколайович (UA), Гарбуз Сергій Вікторович (UA), Ковальов Олександр Олександрович (UA), Островерх Ольга Олександрівна (UA), Яковлев Олександр Михайлович (UA), Баркалов Володимир Григорович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ, вул. Чернишевського, 94, м. Харків, 61023 (UA)</p>
--	---

(54) СПОСІБ ДЕГАЗАЦІЇ НАЗЕМНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ

(57) Реферат:

Спосіб дегазації наземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів включає звільнення резервуара від основного нафтопродукту, заповнення його водою до рівня, що перевищує нерівності днища, та подачу атмосферного повітря через люк-лази першого поясу резервуара з двох протилежних боків уздовж його стінок струменями в протилежному напрямку один до одного, створюючи кругообіг повітря. Подачу атмосферного повітря здійснюють не менше ніж як через два поворотні повітряні ежектори, встановлені на внутрішніх фланцях люків-лазів першого поясу, механізми повороту яких дозволяють змінювати напрями струменів повітря.

UA 111870 U

Додаток Д

Впровадження результатів дисертації у виробництво



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер
ДО «Комбінат» Світанок»

В.Є. Колісник

«21» 11 2017 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційних досліджень
Гарбуза Сергія Вікторовича
на тему «Підвищення екологічної безпеки процесу вентиляції резервуарів з нафтопродуктами», яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Склад комісії: голова – заступник генерального директора з технічних питань Крилов Д.Ю., члени комісії: головний енергетик Гулітов В.І., начальник дільниці зберігання Батаєв О.М., доцент кафедри цивільної та промислової безпеки Національного авіаційного університету Халмурадов Б.Д. склали цей акт про те, що результати дисертаційних досліджень Гарбуза Сергія Вікторовича на тему «Підвищення екологічної безпеки процесу вентиляції резервуарів з нафтопродуктами» впроваджені у технологічні процеси зберігання горючих та легкозаймистих речовин на підприємстві у частині застосування запропонованого устаткування та методики проведення дегазації ежекторно-вихровим способом подачі припливного повітря у внутрішній простір емкісних апаратів із забезпеченням мінімального забруднюючого впливу на навколишнє середовище.

Результати дисертаційних досліджень відображені у Технологічних інструкціях з виведення резервуарів із експлуатації при проведенні регламентних робіт, їх підготовки до технічного діагностування, зачищення та виконання ремонтних робіт.

Використання технічного устаткування та методики проведення дегазації ежекторно-вихровим способом подачі припливного повітря у внутрішній простір емкісних апаратів зменшує ризики небезпечного екологічного впливу на навколишнє середовище.

Голова комісії

Д.Ю. Крилов

Члени комісії:

В.І. Гулітов

О.М. Батаєв

Б.Д. Халмурадов

Додаток Е

Впровадження результатів дисертації у навчальний процес

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної та методичної
роботи ІУЦЗ України
кандидат психологічних наук, професор

« 15 » лютого 2017 року
О.О. Назаров

Акт

про використання результатів дисертаційної роботи Гарбуза С.В.
«Підвищення екологічної безпеки процесу вентиляції резервуарів з
нафтопродуктами» у навчальному процесі.

Комісія у складі: голови – начальника кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій д.т.н., с.н.с. Ключка Ю.П.; членів комісії: – професора кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій к.х.н., професора Михайлюк О.П., викладача кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій к.т.н. Роянова О.М., склали цей акт про те, що результати дисертаційних досліджень Гарбуза Сергія Вікторовича на тему «Підвищення екологічної безпеки процесу вентиляції резервуарів з нафтопродуктами» використано в навчальному процесі університету у частині використання наукових результатів, методик розрахунку та методики проведення дегазації ежекторно-вихровим способом подачі припливного повітря у внутрішній простір ємкісних апаратів із забезпеченням мінімального забруднюючого впливу на навколишнє середовище, на кафедрі «Пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій» при викладанні дисципліни «Промислова безпека сучасних виробничих технологій».

Начальник кафедри
пожежної і техногенної безпеки
об'єктів та технологій
д.т.н., с.н.с.

Ю.П. Ключка

Професор кафедри
пожежної і техногенної безпеки
об'єктів та технологій
к.х.н., доцент.

О.П. Михайлюк

Викладач кафедри
пожежної і техногенної безпеки
об'єктів та технологій
к.т.н.

О.М. Роянов

Додаток Ж

Оцінювання зони активного забруднення атмосферного повітря парами бензину під час проведення природної вентиляції резервуарів

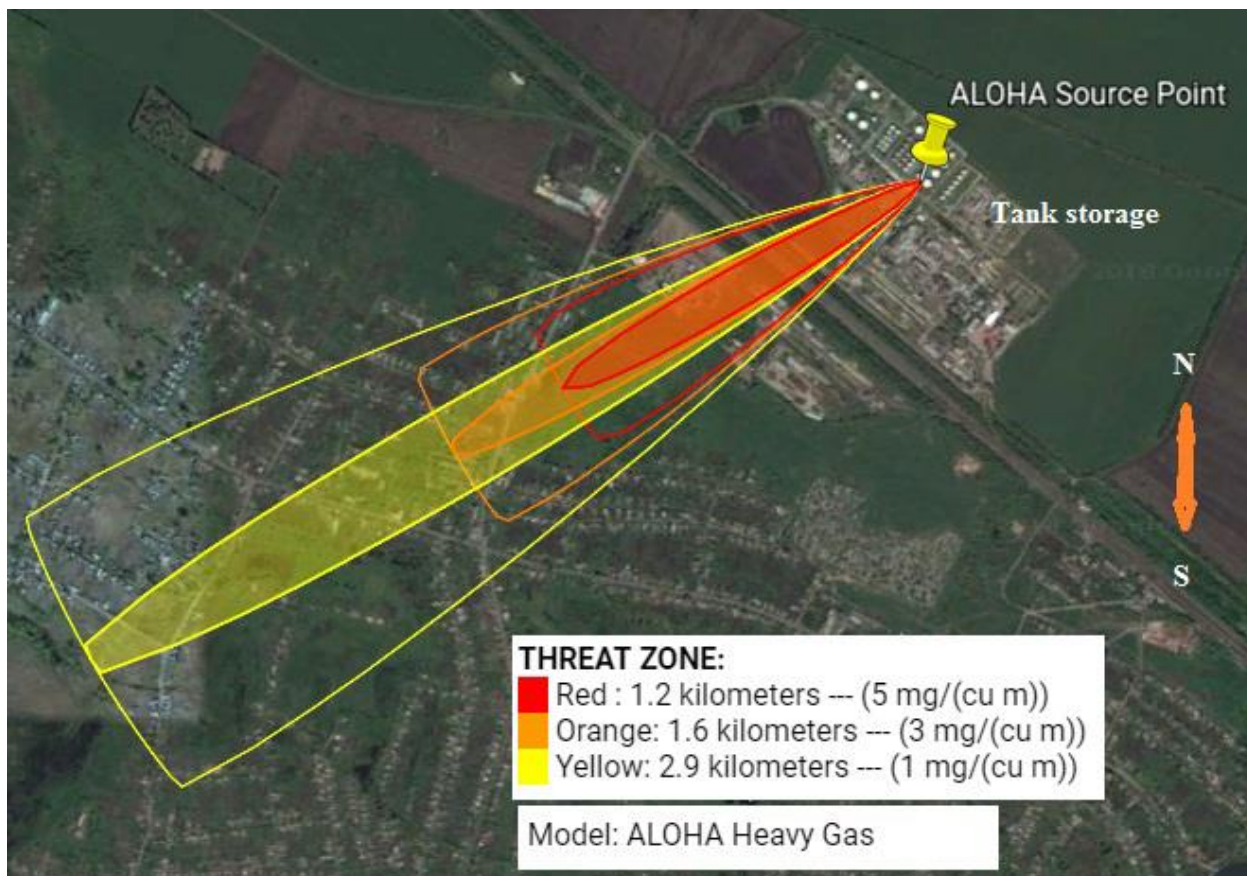


Рисунок Ж.1 – Зона загрози на карті Google Earth для досліджуваної території

Додаток И

Розрахунок еколого-економічного ефекту від утилізації вловлених парів нафтопродуктів з резервуару РВС-5000

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Збиток атмосфері (Z_a) у результаті наднормативних викидів ЗР в атмосферне повітря															
2																
3	Вхідні дані для розрахунку розмірів відшкодування збитків, завданим атмосфері								Розрахунок збитку Z_a							
4									$Z_a = m_i \cdot 1,1\Pi \cdot A_i \cdot K_T \cdot K_{zi}$, де $K_T = K_{нас} \cdot K_{\phi}$, тому							
5																
6	Забруднювальна речовина, викинута в атмосферне повітря наднормативно					Розмір мінімальної заробітної плати Π , грн/т			$Z_a = m_i \cdot 1,1\Pi \cdot A_i \cdot K_{нас} \cdot K_{\phi} \cdot K_{zi}$							
7																
8	Найменування ЗР		Маса m_i т	ГДК _i	A_i				Джерело впливу		Z _a					
9	Бензин		1,5	5	0,2	3723			РВС-500		1904,3 грн					
10									Загалом		1904,3 грн					
11	Коефіцієнт, що залежить від кількості				Коефіцієнт, що враховує											
12	Чисельність населення, тис.чол.		K _{нас}		Тип населеного пункту		K _φ									
13	<100		1		Організа		1									
14	100,1 - 250		1,2		Багатофу		1,25									
15	250,1 - 500		1,35		Населені		1,65									
16	500,1 - 1000		1,55		Організа		1,65									
17	>1000		1,8		<100		1,65									
18																

Рисунок И.1 – Вихідні дані та результати розрахунку збитку атмосфері (Z_a) у результаті наднормативних викидів ЗР в атмосферне повітря