

DOI: 10.18372/2310-5461.46.14810

УДК 665.73-026.782:662.6(045)

**С. В. Бойченко**, д-р техн. наук, проф.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-2489-4980  
e-mail: chemmotology@ukr.net;

**Н. Г. Калмикова**, аспірант  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0001-5553-5721  
e-mail: kalmykova82@ukr.net

## ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЕМІСІЇ ВУГЛЕВОДНІВ І ВТРАТ БЕНЗИНІВ У ГОРИЗОНТАЛЬНИХ РЕЗЕРВУАРАХ. ПРИЧИНИ, ФАКТОРИ, ДЖЕРЕЛА

### Вступ

Підвищення ефективності використання моторних палив на сьогодні є одним із найреальніших напрямів вирішення енергетичних і екологічних проблем водночас [1].

Середньостатистичні дані літературних джерел [1] свідчать про те, що 40 % нафти виливається у море під час аварій танкерів, 27 % — під час перекачки по нафтопродуктопроводам, 16 % складають втрати під час зберігання (табл. 1).

Таблиця 1

Сучасний стан ефективності використання ПЕР в Україні внаслідок втрат нафтопродуктів

№ з/п	Джерело втрат	Втрати у %
1	Втрати нафти, що виливаються у море під час аварій танкерів	40 %
2	Втрати під час перекачки по нафтопродуктопроводам	27 %
3	Втрати під час зберігання	16 %

Значною частиною цих втрат є втрати від випаровування при проведенні різних технологічних операцій, а саме: транспортуванні, зберіганні, перекачуванні, застосуванні тощо. Світові статистичні дані вказують на те, що загальні втрати нафти та нафтопродуктів від випаровування коливаються у межах 0,5–1,7 % від загального об'єму переробленої сировини, тоді як в Україні їх величина суттєво більша і становить 3–7 % [2].

Емісія нафтопродуктів під час зберігання та транспортування, зазвичай становить від 1 % до 6 % від загальних антропогенних джерел [3; 4].

За даними інших джерел втрати бензину при переході від виробника до споживача складають 1,5–2 % від загальної кількості нафтопродукту.

До 40 % вуглеводнів, що викидаються автомобільним транспортом, випаровуються із паливних баків і паливних систем автомобілів з бензиновими двигунами [5].

За даними зарубіжних досліджень: АЗС Німеччини щорічно викидають 145 тис. т пари вуглеводнів, АЗС Англії — більше 120 тис. т. Французькі експерти оцінюють втрати від випаровування при заповненні резервуарів АЗС та зберіганні автомобільних бензинів у розмірі

0,18 % від обсягу операції. Німецькі експерти оцінюють ці втрати в 0,17 %. Японські ж дослідники встановили, що оскільки в умовах Японії температура в підземному резервуарі протягом року сильно не змінюється, а саме варіюється від 15 до 25 °С, то втрати від випаровування складають 1,08 кг/м<sup>3</sup> бензину, що закачується [6; 7; 8]. У середньому, склад пароповітряної суміші, що викидається із резервуарів, має у своєму складі: 32 % масової частки вуглеводнів метанового ряду, 12 % бензинових фракцій і 56 % повітря. Такі викиди призводять до істотного забруднення навколишнього середовища, а також створюють пожежонебезпечну ситуацію. Вихід з ситуації, що склалася потребує впровадження новітніх наукових досягнень і вдосконалення способів уловлювання парів нафтопродуктів. Таким чином, в контексті глобальної проблеми виснаження енергетичних ресурсів і пов'язаної з цим деградації навколишнього середовища, актуальність даної проблеми не викликає сумнівів та тільки підтверджує, що зменшення втрат бензинів від випаровування залишається важливою екологічною та економічною проблемою [5; 9].

**Мета роботи і завдання дослідження**

**Метою роботи** є вивчення, аналіз і встановлення причин і наслідків втрат вуглеводнів від випаровування в резервуарних парках об'єктів нафтопродуктозабезпечення. Формування практичних рекомендацій щодо мінімізації (запобігання) цим втратам.

**Завданням дослідження** є вивчення та виявлення джерел втрат, причин, факторів, що впливають на величину втрат. Встановити взаємозв'язок та взаємозалежність, закономірність випаровування бензинів з метою обґрунтування вибору та визначення існуючих на сьогодні технічних рішень (засобів) запобігання втратам від випаровування.

**Об'єктом дослідження** є процес випаровування бензинів під час зберігання в резервуарному парку.

**Предметом дослідження** є взаємозв'язок та взаємозалежність процесу випаровування від джерел, причин, факторів, що найбільше впливають на величину втрат. Обґрунтування найбільш ефективного засобу запобігання втратам залежно від чинників впливу.

Методом цього дослідження було обрано причинно-наслідковий аналіз за методом «Діаграма Ісікави» [10; 11; 12; 13], графічний спосіб дослідження та визначення найбільш суттєвих причинно-наслідкових взаємозв'язків між чинниками (факторами) та наслідками емісії вуглеводнів і втрат бензинів у горизонтальних резервуарах.

**Гіпотезу** цієї праці ми сформулювали таким чином: вивчення впливу причин, факторів, джерел на процес емісії вуглеводнів із горизонтальних резервуарів дозволить удосконалити

технології обліку емісії компонентів бензинів, оптимізувати та підвищити ефективність технологічних операцій, економити цінну вуглеводневу сировину та мінімізувати техногенний вплив на довкілля.

**Науково-прикладним завданням** цієї праці є створення теоретичних засад для удосконалення методології прогнозування втрат бензинів від випаровування та їх мінімізації під час виконання різних технологічних операцій.

Аналіз ситуації на ринку нафтопродуктів у світі й Україні, дають підставу зробити висновок про те, що в енергетиці та і в державній політиці загалом головними пріоритетними напрямками будуть ресурсо- та енергозбереження [1].

Так, за оцінками спеціалістів, лише через усунення втрат нафтопродуктів можна отримати до 20 % усієї економії паливно-енергетичних ресурсів [1].

Підвищення ефективності використання моторних палив на сьогодні є одним із найреальніших напрямів вирішення енергетичних і екологічних проблем водночас.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Як на сьогодні відомо [1], на нафтопереробному заводі (НПЗ) основні втрати відбуваються в резервуарах (17,9 % від загальних втрат) під час спалювання на факелах (18,1 %), через негерметичність обладнання (16,4 %), у нафтовідділювачах (5,2 %), в очисних спорудах (8,3 %) (табл. 2).

Втрати від випаровування є головною складовою частиною загального балансу втрат [14].

Таблиця 2

**Основні втрати на НПЗ [11]**

№ з/п	Види втрат на НПЗ	Величина втрат, %
1	У резервуарах	17,9 %
2	Під час спалювання на факелах	18,1 %
3	через негерметичність обладнання	16,4%
4	У нафтовідділювачах (5,2 %), в очисних спорудах (8,3 %)	5,2 %
5	В очисних спорудах	8,3 %

Походження цього виду втрат є наслідком недосконалості і несправності технологічного устаткування для збереження і використання нафтопродуктів, особливо автомобільних і авіаційних бензинів, а також застосуванням застарілої нормативної бази щодо природних втрат під час різних технологічних і складських операцій з ними. Ці втрати регламентовані та визначаються відповідно до нормативного документа «Норми природних втрат нафтопродуктів» [1].

Втрати вуглеводневих палив від випаровування в умовах їх зберігання обумовлюються властивістю нафти і нафтопродуктів випаровуватися з відкритої поверхні. При цьому основним джерелом втрат від випаровування є «дихальна» арматура резервуарів [15]. Випаровування нафтопродуктів під час їх зберігання становлять основну частку втрат [16].

Для підприємств нафтопродуктозабезпечення важливою проблемою є облік втрат нафтопродуктів. Якщо процеси обліку нафтопродуктів не налагоджено, велика ймовірність фінансових втрат через невизначеність кількості нафтопродукту, що перекачується або зберігається, відсутності реальних залишків і, як результат, неможливості зведення масового балансу підприємства. Крім того, точний та ретельний облік нафтопродуктів важливий для звіту підприємства кінцевим постачальникам, споживачам та контролюючим органам [17]. Метою такого нормування є впорядкування обліку втрат нафтопродуктів внаслідок випаровування в процесі виробництва, перероблення, зберігання чи транспортування тощо [18]. На практиці найбільш розповсюджена норма втрат 0,2–0,3% від обсягу нафтопродукту. Норма втрати 0,3 % для нафтопродуктів вважається стандартним значенням під час випаровування [19].

Проте, точність обліку залежить і від ємності резервуарів, що використовуються, від якої залежить можливість вимірювання обсягів і ваги нафтопродуктів, що зберігаються. Наприклад, на великих нафтосховищах один міліметр рівня продукту, що знаходиться в резервуарі, важить більше тонни. У таких ємностях облік можуть вести навіть з точністю до однієї цілої тонни [20].

Втрати від випаровування (емісія вуглеводнів) відносяться до природних втрат. Природні втрати нафтопродуктів — це втрати (зменшення маси при збереженні якості в межах вимог нормативних документів), що є наслідком фізико-хімічних властивостей нафтопродуктів, впливу метеорологічних факторів і недосконалості існуючих на даний час засобів запобігання втрат нафтопродуктів від випаро-

вування і налипання під час транспортування, приймання, зберігання та відвантаження.

Також варто зазначити, що до природних втрат не відносяться втрати нафтопродуктів, що викликані порушеннями вимог стандартів, технічних умов, правил технічної експлуатації та зберігання, наслідками стихійних лих [18].

Норма природних втрат — це гранично-допустима величина безповоротних втрат нафтопродуктів, що виникають безпосередньо при товарно-транспортних операціях унаслідок супроводжуваних їх фізико-хімічних процесів, а також втрат, неминучих на даному рівні стану використовуюваного технологічного обладнання (втрат від випаровування через нещільності насосів, засувки, технологічного обладнання), а також втрат від налипання на внутрішні стінки і обладнання резервуарів, транспортних засобів і трубопроводів. Нормативи втрат нафтопродуктів під час їх приймання, зберігання, відвантаження та транспортування для України [21].

Розраховувати, тобто прогнозувати, кількісну оцінку втрат нафтопродукту можна двома способами: дослідними та розрахунковими за вітчизняними та зарубіжними методиками. Існують методики для розрахунку втрат вуглеводнів від випаровування під час зберігання, що були запропоновані такими авторами як Н. Н. Константинов, В. І. Черникін, Ф. Ф. Абузова. Ці методики не пристосовані до практичного використання, так як перевантажені зайвою інформацією, і, що головне, не мають статусу офіційних нормативних документів. Глибокий аналіз методик був присвячений дослідниками різних країн [14; 17; 22].

Значна кількість наукових праць професора С. В. Бойченка та хімотологічної наукової школи під його керівництвом присвячена аналізу та обґрунтуванню методів оцінки природних втрат палива [23; 24; 25; 26; 27]. Також, є зарубіжний досвід методики визначення втрат нафтопродуктів із резервуарів при зберіганні [14; 17; 22]. Оскільки цей аспект проблеми не є основним завданням даної праці, ми повернемося до більш глибокого вивчення даної проблеми у майбутніх працях.

### Основна частина

Підвищення європейських вимог до якості моторних палив під час використання та до норм викидів пари (емісії вуглеводнів) в атмосферу спричинили актуальність науково-прикладного завдання мінімізації втрат нафтопродуктів від випаровування. Для дослідження проблеми емісії вуглеводнів із горизонтальних резервуарів, виявлення та вивчення впливу сукупності

причин, факторів, джерел, їх наслідків було використано метод Ісікави, що представлено у вигляді причинно-наслідкових зв'язків. Алгоритм побудови причинно-наслідкової діаграми

зв'язків передбачав формулювання проблеми для її вирішення. На рис. 1 представлено отриману нами сукупність чинників впливу на процес емісії вуглеводнів із горизонтальних резервуарів.

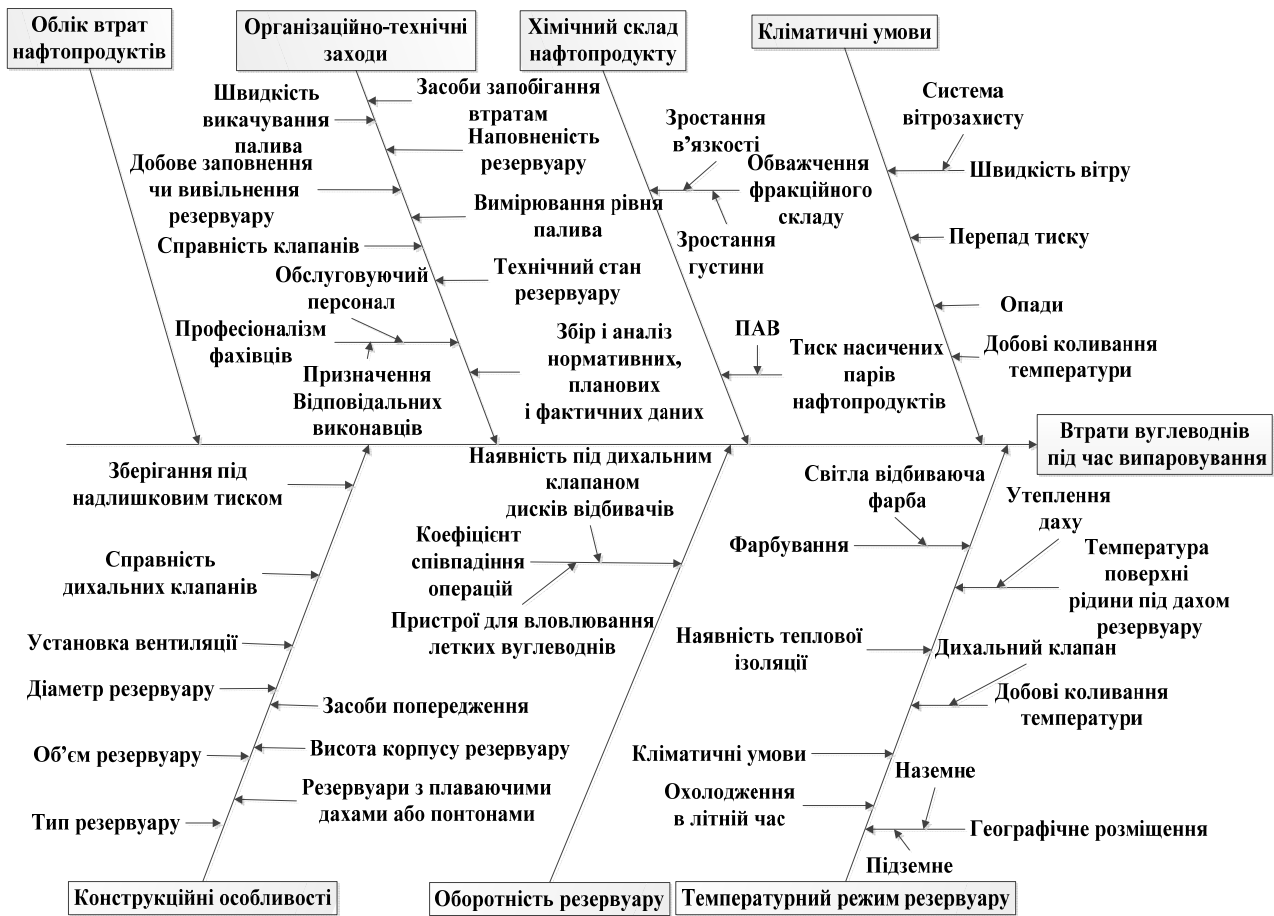


Рис. 1. Причинно-наслідкова діаграма емісії вуглеводнів із горизонтальних резервуарів

Деталізація причинно-наслідкової діаграми зв'язків дозволила встановити найбільш вагомі і проблемні чинники, фактори, джерела, що впливають на процес емісії вуглеводнів із горизонтальних резервуарів, виявити негативні наслідки втрат бензинів та спрогнозувати методи та засоби мінімізації та попередження випаровування вуглеводнів.

Причинно-наслідковий аналіз за методом Ісікави дозволив встановити та систематизувати основні фактори, що найбільше впливають на величину втрат під час випаровування бензинів, а саме: температура навколишнього середовища; тиск насиченої пари нафтопродукту; швидкість вітру; температурний режим резервуару; тип резервуару; нафтопродукт, що зберігається (бензини мають у своєму складі найбільшу кількість легких вуглеводнів); колір фарби резервуару; об'єм резервуару; оборотність резервуару; ефект місця знаходження; кровельна

арматура; справність дихальних клапанів; наявність чи відсутність засобів попередження втратам.

Основними джерелами втрат нафтопродуктів під час технологічних операцій є викиди пари палив при великих та малих «диханнях», вентиляції газового простору, неякісного стану ущільнень технологічного обладнання, порушення правил відвантаження — наповнення палив, недотримання строків регламентних робіт резервуарного парку (корозія резервуарної поверхні, «відпотіння», дефекти зварювальних швів тощо). У резервуарних парках втрати від випаровування (природні втрати) досягають 75 % усіх втрат нафтопродуктів [1].

Основними технологічними операціями з РГС є відвантаження, приймання, зберігання та перекачування. Під час перекачування у бензині змінюється температура та густина через те, що температура бензину в резервуарі та того, що перекачується можуть відрізнятися.

При відвантаженні зменшується рівень бензину, температура, тиск насиченої пари в газовому просторі (ГП) резервуара.

У процесі викачування бензину із резервуара проходить процес всмоктування повітря та додаткове випаровування легких вуглеводнів, що супроводжується зростанням тиску до величини, на яку налаштовано дихальний клапан (ДК).

Якщо тиск у ГП перевищить налаштування ДК, виникне «зворотний видих». Зберігання бензину супроводжується зміною температури, густини, рівня, тиску в ГП.

Рівень бензину в резервуарі під час зберігання змінюється через випаровування легких вуглеводнів, зміну густини та температури. Густина змінюється внаслідок випаровування легких вуглеводнів та денного коливання температури.

Температура бензину змінюється через денне коливання температури. При збільшенні тиску в ГП до тиску, на який налаштовано ДК, виникає викид легких вуглеводнів — протікає «мале дихання».

Під час приймання в бензині змінюється температура (бензин, що закачується, змішується із залишком у резервуарі).

Кількість витисненої пароповітряної суміші (ППС) у даному випадку та концентрація легких вуглеводнів у ній буде визначатися закритим чи відкритим струменем — протікає заповнення. У випадку заповнення відкритим струменем спостерігається більша турбулізація поверхні та інтенсифікація процесу випаровування, отже, збільшення концентрації легких вуглеводнів у ППС, що витискається. При заповненні закритим струменем до турбулізації схильні внутрішні шари рідини, а випаровування з поверхні менш інтенсивне [28]. Об'єм втрат нафтопродуктів під час зберігання в резервуарних парках при недостатній герметизації резервуарної пркрівлі та високій оборотності резервуарів подано в табл. 3 [17]. Під час завантаження цистерни втрати від випаровування можуть складати 0,1 % всього об'єму [17].

Основними наслідками, виявленими нами за методом Ісікави є наслідки економічного, екологічного та технологічного характеру, що було нами згруповано, структуровано та графічно відображено методом системного аналізу (рис. 2).

1. Втрати від випаровування призводять до погіршення експлуатаційних властивостей нафтопродуктів. Наприклад, пускових і антидетонаційних [29]. Емісія легких вуглеводнів

призводить до погіршення цих двох найважливіших експлуатаційних властивостей нафтопродуктів — зменшення октанового числа та погіршення пускових властивостей нафтопродукту, внаслідок втрачання легких високооктанових компонентів бензину, що у свою чергу призводить до обмеження технічного ресурсу двигунів транспортних засобів.

2. Втрати від випаровування призводять до економічних збитків [30].

Нафтопереробна промисловість забезпечує потреби різних галузей економіки. Забруднення навколишнього середовища є причиною виникнення двох видів матеріальних витрат: на запобігання впливу забрудненого середовища на здоров'я людини і на ліквідацію такого впливу. Сума цих витрат становить економічний збиток, що наноситься підприємству, народному господарству країни забрудненням навколишнього середовища, а також збиток, що наноситься здоров'ю людей.

Економічний збиток від забруднення середовища визначається сумою затрат на відшкодування збитку заподіяними окремими джерелами.

При визначенні очікуваного збитку на підставі варіантних розрахунків встановлюється мінімальна сума, що призначена на запобігання і компенсацію впливу забрудненого середовища [30].

Однак, витрати на запобігання із забрудненням значно менші, ніж економічні збитки від забруднення. Такий напрямок планування та розвитку еколого-економічної політики сучасних підприємств та держави виявляється досить доцільним та актуальним [30].

3. Емісія легких вуглеводнів чинить значний вплив на якість довкілля. Не менш актуальною проблемою на сьогодні є забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами внаслідок випаровування нафтопродуктів, що ставить під загрозу екологічну рівновагу та здоров'я людини, завдає матеріального збитку та значно скорочується технічний ресурс двигуна транспортного засобу [31].

Ступінь і характер ураження людини випаровуваннями нафтопродуктів обумовлені концентрацією пари у повітрі, тривалістю перебування в загазованій атмосфері, температурою навколишнього середовища, фізичним станом та фізіологічними особливостями даного організму.

Проте, для попередження забруднення навколишнього середовища та для безпеки людини встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин [32].

Таблиця 3

Втрати нафтопродуктів при зберіганні в резервуарних парках [17]

Джерела втрат	Об'єм втрат, %	Причина втрат
Вентиляція газового простору	60–65	Порушення вимог герметизації резервуарів (особливо покрівель)
«Великі дихання»	32–34	Висока оборотність резервуарів
«Малі дихання»	3–6	Добові температурні коливання

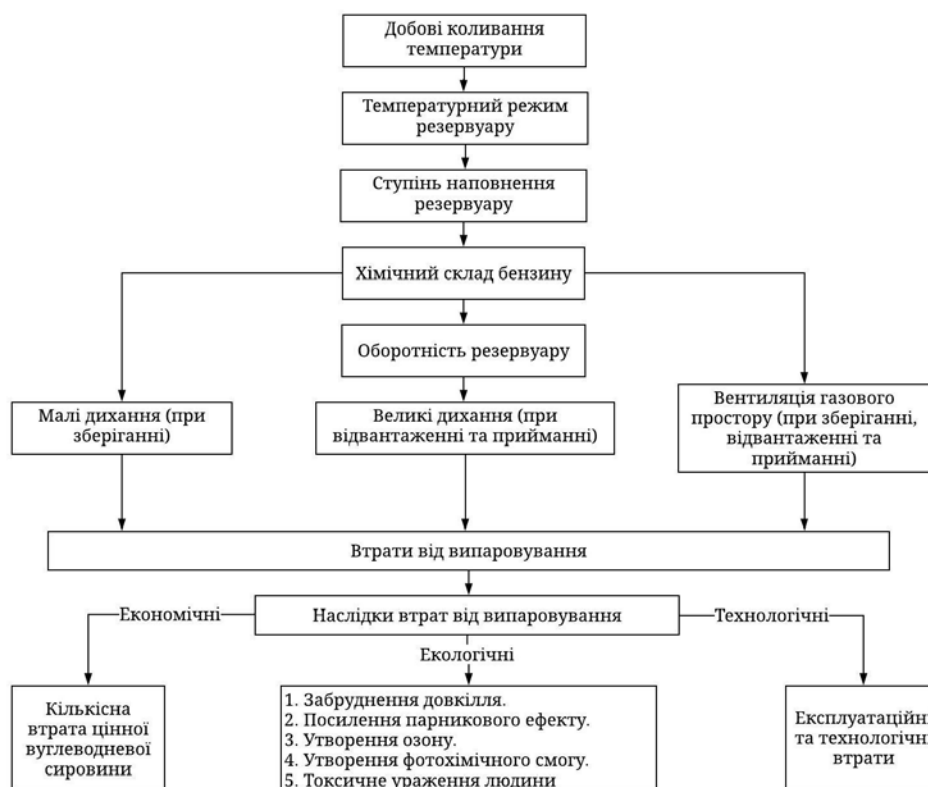


Рис. 2. Системний аналіз причин і наслідків втрат бензинів, до яких призводить емісія вуглеводнів під час виконання технологічних операцій

Під час перекачування, зберігання, відвантаження, завантаження, транспортування та безпосереднього використання нафтопродуктів відбуваються процеси випаровування, що призводять до посилення парникового ефекту, внаслідок емісії вуглеводневих газів, зокрема, метану ( $\text{CH}_4$ ), етану, пропану, бутану, пентану та інших. Серед яких метан є так званим «парниковим газом». Леткі вуглеводні етан, пропан, бутан, пентан є головними у реакціях утворення озону — одного серед найпоширеніших забруднювачів повітря. Озон утворюється у результаті реакції фотосинтезу, у яку легко надходить пара нафтопродуктів унаслідок їх реакційної здатності.

Крім того, вуглеводнева пара завдяки своїй реакційній здатності може вступати в хімічну реакцію з іншими забруднювачами в атмосферному повітрі та утворювати фотохімічний смог. У свою чергу, смог впливає

на здоров'я людини, спричиняє забруднення ґрунту та знищення рослин [33].

Парниковий ефект пов'язують з глобальним потеплінням, що призводить до зміни клімату у планетарних масштабах.

Разом з тим, сучасний стан використання засобів та способів зменшення втрат вуглеводнів на об'єктах нафтопродуктозабезпечення не задовольняє головне завдання в ресурсо- та енергозбереженні нафтопродуктів і екологічній політиці в техносфері, зокрема. Цьому є свої причини, а саме:

- позитивний економічний ефект від використання засобів для попередження втрат від випаровування досягається тільки в тому випадку, якщо витрати на попередження втрат 1 тонни нафтопродукту менші, ніж загальна вартість 1 тонни нафтопродукту;
- крім того, ситуація ускладнюється тим, що навіть морально и технічно застарілі технології

використовуються нерационально. Передові технічні розробки, як правило, орієнтовані на великі капіталовкладення, або в кращому випадку носять локальний характер;

- використання понтонів, плаваючих дахів, СУЛФ та інших способів не дозволяє успішно вловлювати легкі фракції, а тільки попереджає втрати незначної кількості вуглеводнів.

Таким чином, при стрімкому здорожчанні нафти та нафтопродуктів, а також з прийняттям більш суворих екологічних норм науково-прикладне завдання мінімізації втрат вуглеводневої сировини і товарної продукції через емісію вуглеводнів набуває все більш гостре значення.

Обирати засоби попередження втрат необхідно конкретно для кожного резервуару. Для визначення ефективності використання засобів скорочення втрат, необхідно провести порівняння кількості нафтопродукту, що випарився з резервуару без встановлених засобів скорочення втрат з подібною величиною в резервуарах, на яких встановлені засоби скорочення втрат.

Різні технічні рішення можуть бути використані для зменшення втрат при випаровуванні [9], їх обирають згідно техніко-економічних розрахунків з урахуванням метеорологічних та виробничих умов і умовно можна поділити на такі групи, зокрема:

1. Зменшення обсягу газового простору резервуару (чим менший об'єм газового простору, тим менші втрати) за рахунок конструктивних особливостей резервуарів з плаваючими дахами, або понтонами, що дозволяють мінімізувати втрати від великих «дыхань» та «зворотного «видиху» на 70–75 % при коефіцієнті річної оборотності до 60 разів на рік та на 80–85 % при коефіцієнті річної оборотності понад 60 разів на рік, а від малих «дыхань» — на 70 % порівняно зі звичайними резервуарами з щитовою покрівлею. Розрахунки показують, що резервуари з плаваючим дахом і понтоном найбільш ефективні при коефіцієнті річної оборотності більше 12.

У перспективі підвищення економічної ефективності плаваючих дахів і понтонів може бути досягнуто за рахунок використання міцних полімерних матеріалів та покращення конструкції ущільнюючих затворів.

2. Зберігання під надлишковим тиском. Резервуари для зберігання, що витримують відносно великі коливання тиску, не виділяючи пари вуглеводнів. Згідно з рівнянням втрат, у резервуарі, розрахованому на роботу з надлишковим тиском, можуть бути повністю ліквідовані втрати від малих «дыхань» та

частково від великих «дыхань». Проте, як показали розрахунки, великий надлишковий тиск ускладнює конструкцію та здорожчує вартість резервуарів. На оптимальну величину надлишкового тиску сильно впливає оборотність резервуару, фізико-хімічні властивості нафтопродукту та метеорологічні умови [34; 35].

Вуглеводневе паливо з високим значенням тиску насиченої пари доцільно зберігати в резервуарах мішкоподібної, краплеподібної, сферодальної форми. Такі резервуари дозволяють утримувати надлишковий тиск у межах 700–2000 кПа, що дає можливість майже повного виключення втрат від малих «дыхань». Але складність їх виготовлення та висока ціна заважають широкому використанню [2].

3. Зменшення амплітуди коливання температури газового простору. Для утворення умов ізотермічного зберігання нафтопродуктів або значного зменшення коливань температур газового простору і поверхні нафтопродукту використовують: теплоізоляцію резервуарів, охолодження їх в літній час водою та фарбування світловідбиваючою фарбою (внутрішнє та зовнішнє покриття білого кольору), а також підземне зберігання. Наприклад, комплексне пофарбування внутрішньої та зовнішньої поверхні резервуарів дає можливість зменшення втрат легких вуглеводнів від випаровування на 30–65 % [2]. Також встановлюються захисні екрани, забори, насадження та навіси від поривів сильного вітру та опадів, що зумовлюють перепад тиску [34].

Враховуючи той факт, що випаровування відбувається переважно на поверхні рідини під плаваючим дахом резервуару, тому температура поверхні стає важливим параметром. Будь-які механізми, що зменшують температуру плаваючого даху буде безпосередньо впливати на швидкість випаровування (наприклад, утеплення даху значно зменшить втрати від випаровування). Швидкість вітру також впливає на випаровування. Додавши систему вітрозахисту — випаровування зменшиться [36].

4. Вловлювання парів нафтопродуктів, що витискаються із резервуарів. В основному їх використовують при транспортуванні та зберіганні палива. В умовах АЗС найкращими засобами скорочення втрат є системи вловлювання легких фракцій на основі ежекторного теплообмінника (холодильні ежекторні системи). Використання установки з ежекторним теплообмінником (азот для охолодження потоку суміші повітря з вуглеводнями в теплообміннику ежектора) для конденсації низькокиплячих вуглеводнів на

нафтобазах забезпечить захист навколишнього середовища від пари вуглеводнів (зниження втрат легких фракцій до 98 %) [37]. Для цього використовують газо зрівнювальні системи. Їх використання дозволяє частково скоротити втрати від великих «дихань». Ефективність скорочення втрат залежить від коефіцієнта співпадіння закачування та зливання. Втрати скорочуються на величину рівну коефіцієнту співпадіння операцій. Якщо надходження нафтопродукту перевищує відкачування, то надлишок пароповітряної суміші поступає в газгольдер, що дозволяє зменшити втрати нафтопродуктів на 90–95 %. І навпаки, коли відкачування з резервуарів перевищує надходження нафтопродукту, газгольдери «віддають» в систему пароповітряну суміш. Пароповітряну суміш із газової обв'язки можна подавати в пристрої для вилучення (вловлювання) нафтопродукту. Вловлювання парів нафтопродукту можна здійснювати методом конденсації парів за рахунок охолодження або абсорбції (наприклад, за допомогою активованого вугілля) [34]. Системи

уловлювання легких фракцій палива (СУЛФ). Однією із особливостей СУЛФ є те, що її конструкція передбачає беззупинну роботу в автоматичному режимі і не потребує присутності обслуговуючого персоналу. Окрім того, СУЛФ має самозахист від випадкових відключень здатну функціонувати постійно в режимі частих вмикань/вимикань, працездатну в умовах високоактивних середовищ [2].

5. Зниження тиску насичених парів додаванням в паливо поверхнево-активної присадки (ПАВ) на основі похідних синтетичних жирних кислот зі значною активністю сурфактанту [38].

Зниження тиску насичених парів дуже залежить від концентрації добавки – максимальний ефект спостерігається при концентрації добавки 9,25 мг/кг. Виявилося, що швидкість випаровування в резервуарах знизилася до 47 % [39]. Добавка, знижуючи тиск насичених парів надає дуже слабкий вплив на початкову температуру кипіння бензину і не впливає на температуру 10 %, отже не призводить до погіршення холодного запуску (табл. 5).

Таблиця 4

Залежність тиску насиченої пари бензину від концентрації ПАВ [38; 39]

Концентрація добавки, мг/кг	Тиск насичених парів, кПа
0	54
4,25	52
9,25	47
18,50	52
27,75	52

Таблиця 5

Вплив добавки на початкову температуру кипіння і температуру 10 % перегонки (концентрація добавки становить 9,25 мг/кг) [38; 39]

Марка бензину	Навчальна точка кипіння, °С		Температура 10 % дистиляції, °С	
	Без присадки	З присадкою	Без присадки	З присадкою
92	46	48	66	66
95	40	41	70	70

Слід зазначити, що зниження тиску насиченої пари введенням добавки дозволяє збільшити концентрацію високооктанового компонента — бутану. Ефект зниження втрат зменшується при концентрації добавки, що перевищує 9,25 мг/кг.

Таким чином добавка забезпечує:

- зниження втрат від випаровування
- покращення сумішеутворення при запуску двигуна
- зменшує негативний вплив на навколишнє середовище, викликане втратою легких вуглеводнів
- покращує експлуатаційні характеристики транспорту [40].

6. Організаційно-технічні заходи.

Робота по ефективному та раціональному використанню нафтопродуктів починається зі складання плану організаційно-технічних заходів.

Підготовка та розробка плану організаційно-технічних заходів включає:

- 1) збір і аналіз нормативних, планових і фактичних даних щодо втрат нафтопродуктів за звітний період;
- 2) виявлення всіх наявних втрат нафтопродуктів і окреслення напрямів їхнього усунення;



2) підготовка пропозицій щодо усунення нерациональних витрат нафтопродуктів;

3) вивчення пропозицій, що надійшли від інженерно-технічних співробітників щодо зменшення витрат і включення їх до плану організаційно-технічних заходів;

4) призначення відповідальних виконавців;

5) визначення джерел фінансування та переліку необхідних матеріалів, інструментів для проведення робіт;

6) оцінка припустимих витрат і ефективності усіх пунктів плану організаційно-технічних заходів.

Правильна організація експлуатації резервуарів – одне із найважливіших заходів (засобів) зменшення витрат нафтопродуктів, а саме:

Для зменшення витрат від малих «дыхань» в атмосферних резервуарах нафтопродукти необхідно зберігати при максимальному заповненні резервуарів, так як в цьому випадку досягається найменший об'єм газового простору.

Для зменшення витрат від великих «дыхань» необхідно максимально скоротити внутрішньо базові перекачки нафтопродукту із резервуару в резервуар.

Чим менший проміжок часу між викачкою та закачкою нафтопродукту в резервуар, тим менша величина витрат від великих «дыхань».

Втрати при малих «дыханнях» прямопропорційні площі випаровування, тому нафтопродукти, що легко випаровуються краще зберігати в резервуарах великого об'єму.

Повне викачування палива з резервуара з максимально можливою швидкістю, а часткове вивільнення резервуара з мінімальною швидкістю. Також, варто зазначити, що часткове вивільнення резервуара (у тих випадках, коли резервуар може бути знову заповнений) із максимальною швидкістю. Щодо сезонних та добових рекомендацій, то заповнення резервуарів у літній період доцільніше проводити уночі, а вивільнення — удень. Вимірювання рівня палива, підтоварної води та відбирання проб — рано-вранці або пізно увечері. Важливе значення має технічний стан резервуарів і дихальної арматури. Регулярна перевірка герметичності даху резервуару та справності клапанів може попередити втрати від вентиляції газового простору.

Під час викачування нафтопродуктів, що мають високі коефіцієнти оборотності, зменшення витрат до 25% може бути досягнуто встановленням під дихальним клапаном дисків-відбивачів [1; 34].

Враховуючи вищезазначені дані та літературні дані інших джерел [2; 9; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40] можемо встановити зв'язок між впливом факторів на джерела виникнення витрат і методами та засобами попередження емісії вуглеводнів, зведений у табл. 6.

Аналіз переваг та недоліків існуючого асортименту засобів запобігання витрат вуглеводнів, з визначенням їх ефективності представлено в табл. 7.

Таблиця 6

**Класифікація методів та засобів мінімізації втрат нафтопродуктів залежно від факторів і джерел емісії вуглеводнів**

№ з/п	Фактори	Джерела	Засоби запобігання	Літературні джерела
1	Кліматичні умови: температура навколишнього середовища і швидкість вітру та температурний режим резервуару	Малі «дыхання»	Зменшення амплітуди коливання температури газового простору: - теплоізоляція резервуарів; - утеплення даху; - охолодження резервуарів в літній час водою; - комплексне пофарбування світловідбиваючою фарбою (внутрішня та зовнішня поверхня резервуарів); - підземне зберігання; - системи вітрозахисту (встановлення захисних екранів, заборів, навісів від поривів сильного вітру та опадів, насадження дерев).	[2; 28; 35; 36]
2	Колір фарби резервуару	Малі «дыхання»	Зменшення амплітуди коливання температури газового простору: Найбільшою ефективністю в скороченні втрат при фарбуванні володіє біла фарба (обов'язкове покриття і внутрішньої і зовнішньої поверхні резервуару)	[2; 33; 35; 37]
3	Ефект місяця розташування	Малі «дыхання»	Зменшення амплітуди коливання температури газового простору: підземне, або наземне зберігання	[2; 28; 33; 35]
4	Тиск насичених парів нафтопродукту	Малі «дыхання»	Додавання в паливо поверхнево-активної присадки (ПАВ) на основі похідних синтетичних жирних кислот	[2; 38; 39; 40]
5	Тип резервуару (конструкційні особливості)	Малі «дыхання»; великі «дыхання»; «зворотний видох»	Скорочення обсягу газового простору за рахунок конструктивних особливостей резервуарів з плаваючими дахами, або понтонами, захисними емульсіями, мікрокульками	[28; 34; 35]
6	Конструкційні особливості резервуарів	Малі «дыхання»; великі «дыхання»;	Зберігання під надлишковим тиском	[28; 34; 35]
7	Оборотність резервуару (зачачування та зливання)	Великі «дыхання»;	Вловлювання парів нафтопродуктів, що витискаються із резервуарів: - газозвирівнювальні системи (системи вловлювання легких фракцій) на основі ежекторного теплообмінника (холодильні ежекторні системи)	[2; 33; 28; 35; 36]
8	Кліматичні умови, ефект місяця розташування, тип резервуару, оборотність резервуару	малі «дыхання»; великі «дыхання»; «зворотний видох»	Організаційно-технічні заходи: Від малих «дыхань»: - зберігати при максимальному заповненні резервуарів; Від великих дихань: - максимально скоротити внутрішньобазові перекачки нафтопродукту із резервуару в резервуар; нафтопродукти краще зберігати в резервуарах великого об'єму, щоб зменшити втрати від малих «дыхань»; технічний стан резервуарів і дихальної арматури ; регулярна перевірка герметичності даху резервуару та справності клапанів; встановлення дисків - відбивачів під дихальним клапаном	[2; 28; 33; 35]

Таблиця 7

## Аналіз переваг та недоліків засобів запобігання втратам

№ з/п	Засоби запобігання	Переваги використання	Недоліки використання	Ефективність	Літературні джерела
1	Зменшення амплітуди коливання температури газового простору: теплоізоляція резервуарів; утеплення даху; охолодження резервуарів в літній час водою; комплексне пофарбування світловідбиваючою фарбою (внутрішня та зовнішня поверхня резервуарів); підземне зберігання; системи вітрозахисту (встановлення захисних екранів, заборів, навісів від поривів сильного вітру та опадів; насадження дерев)	Не потребують великих капіталовкладень. Ці методи утворюють умови для ізотермічного зберігання нафтопродуктів, а також значного зменшення коливань температур газового простору і поверхні нафтопродукту, також завдяки системі вітрозахисту випаровування зменшується	Постійний контроль та аналіз стану попереджуючих засобів. Можливий людський фактор, недобросовісність виконання посадових обов'язків.	30–65%	[2; 28; 33; 34; 35; 36; 37].
2	Зниження тиску насичених парів додаванням в паливо поверхнево-активної присадки (ПАВ) на основі похідних синтетичних жирних кислот.	Надає дуже слабкий вплив на початкову температуру кипіння нафтопродукту і не впливає на температуру 10 % перегонки, отже не призводить до погіршення холодної запусту.	Зниження тиску насичених парів сильно залежить від концентрації добавки – максимальний ефект спостерігається при концентрації добавки 9,25мг/лг.	Ефективно знижує втрати випаровування. Зменшення втрат: до 47%.	[38; 39].
3	Скорочення обсягу газового простору за рахунок конструктивних особливостей резервуарів з плаваючими дахами, або понтонами, захисними емульсіями, мікрокульками	Не потребують великих капіталовкладень. Дозволяють значно скоротити втрати. Від 70–85%	Не є економічним для існуючих резервуарів. Зменшують ефективний об'єм бака на об'єм елемента понтона. Ефективність використання визначається отупінню герметизації зазору між кривлею (понтоном) і стінкою резервуару. Розрахунки показують, що резервуари з плаваючим дахом і понтоном найбільш ефективні при коефіцієнті річної оборотності більше 12%	70–75% (при коефіцієнті річної оборотності до 60 разів на рік при «великих диханнях» та «зворотного видуху»); 80–85% при коефіцієнті річної оборотності понад 60 разів на рік при великих «диханнях» та «зворотному видуху»; а від малих «дихань» – на 70%	[2; 28; 33; 36; 37].
4	Зберігання під надлишковим тиском	Витримують відносно великі коливання тиску, не виділяючи пари вуглеводнів. Можуть бути повністю ліквідовані втрати від малих «дихань» та частково від великих «дихань»	Великий надлишковий тиск ускладнює конструкцію та збільшує вартість резервуарів. На оптимальну величину надлишкового тиску сильно впливає оборотність резервуару, фізико-хімічні властивості нафтопродукту та метеорологічні умови. Складність виготовлення та висока вартість заважають широкому використанню	До 98% при малих диханнях	[2; 28; 33; 34; 35; 36; 37].

Закінчення табл. 7

№ з/п	Засоби запобігання	Переваги використання	Недоліки використання	Ефективність	Літературні джерела
5	<p>Вловлювання парів нафтопродуктів, що витіскаються із резервуарів (СУЛФ):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- газозвирівнювальні системи (системи вловлювання легких фракцій) на основі ежекторного теплообмінника (холодильні ежекторні системи)</li> </ul>	<p>В умовах АЗС є найкращими засобами скорочення витрат. Наприклад, система вловлювання легких фракцій палива (СУЛФ). Її конструкція передбачає безупинну роботу в автоматичному режимі і не потребує присутності обслуговуючого персоналу. Має самозахист від випадкових відключень, здатну функціонувати постійно в режимі частих вмикань-вимикань, працездатну в умовах високоактивних середовищ</p>	<p>Ефективність скорочення витрат залежить від коефіцієнта співпадіння закачування та зливання. Втрати скорочуються на величину рівну коефіцієнту співпадіння операцій</p>	<p>До 98%</p>	<p>[2; 28; 33; 34; 35; 36; 37].</p>
6	<p>Організаційно-технічні заходи:</p> <p>Від малих «дыхань»:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зберігати при максимальному заповненні резервуарів;</li> <li>Від великих дыхань:</li> <li>- максимально скоротити внутрішньобазові перекачки нафтопродукту із резервуару в резервуар;</li> <li>нафтопродукти краще зберігати в резервуарах великого об'єму, щоб зменшити втрати від малих «дыхань»4</li> <li>технічний стан резервуарів і дихальної арматури ;</li> <li>регулярна перевірка герметичності даху резервуару та справності клапанів;</li> <li>встановлення дисків-відбивачів під дихальним клапаном</li> </ul>	<p>Правильна організація експлуатації резервуарів – одне із найважливіших заходів зменшення витрат нафтопродуктів.</p> <p>При використанні диска-відбивача зменшується переміщення ППС і ГП резервуара</p>	<p>Постійний контроль та аналіз стану попереджуючих засобів. Можливий людський фактор, недобросовісність виконання посадових обов'язків.</p>	<p>За допомогою диска-відбивача – зменшення витрат до 30-40%</p>	<p>[2; 28; 33; 34; 35; 36; 37].</p>

За даними інших літературних джерел, наведемо оцінку ефективності різних технологій запобігання втратам з принципом роботи засобу при зберіганні (табл. 8).

Таблиця 8

**Ефективність різних технологій запобігання втратам  
з принципом роботи засобу під час зберігання**

№ з/п	Обладнання	Ефективність зменшення втрат, %	Принцип роботи	Літературне джерело
1	Диск-відбивач	15–20	Пристрій у формі диска, що встановлюється на деякій відстані під монтажними патрубками дихальної арматури. Напрямок руху пароповітряної суміші надходить через дихальний клапан, змінюється диско-відбивачем з вертикального на майже горизонтальне, тому з резервуару витісняється пароповітряна суміш з меншою концентрацією вуглеводнів.	[41; 42]
2	Синтетичний понтон	70–80 80 % від «великих дихань», 70 % від «малих дихань»	Понтон монтується як у знову споруджуваних, так і в ті, що знаходяться в експлуатації резервуарах, застосовується в резервуарах зі стаціонарною покрівлею. Конструктивно понтон є жорсткою газонепроникною конструкцією у формі диска, забезпечену затвором, ущільнюючим кільцевий зазор між «диском» і стінкою резервуара. Скорочення втрат за рахунок безпосереднього контакту плаваючого покриття з дзеркалом нафти.	[41; 42]
3	Блочний алюмінієвий понтон	До 93		
4	Плаваючий дах	80–90	Застосовуються в резервуарах, що не мають стаціонарної покрівлі, в районах зі сніговим навантаженням не більше 1.5 кПа. Для видалення пароповітряної суміші і газів з-під плаваючого даху на ній встановлений запобіжний клапан. Плаваючі дахи забезпечуються ущільнювальними кільцевими затворами в основному тих же типів, що і понтони. Доступ до плаваючого даху забезпечується по сходах. Однак, через відсутність стаціонарної покрівлі їх постачають захисними козирками для запобігання потрапляння атмосферних опадів на затвор і далі – в нафту	[41; 42]
5	СУЛФ	До 95	Установка являє собою автоматизований блок, що забезпечує відбір зайвого газу з резервуарів і підкачування в них підживлювального газу для виключення можливості попадання в нього атмосферного повітря. При досягненні тиску в резервуарах 50 мм вод. ст. блок УЛФ вмикається і починає відкачування газу. При зниженні тиску в резервуарах до 6 мм вод. ст. відкривається клапан підживлення газу, що запобігає утворенню в них вакууму. Клапан автоматичного підживлення газу закривається, коли тиск в резервуарах перевищує 6 мм вод. ст. Якщо тиск в резервуарах збільшується до 50 мм вод. ст., процес роботи компресора поновлюється. На контрольній панелі УЛФ є відповідна індикація для визначення стану обладнання. Абсорбційні та адсорбційні системи УЛФ складні, конденсаційні-коштовні, компресорні капіталомісткі і пожежевибухонебезпечні. Як альтернативи традиційним засобам скорочення використовуються ежекторні системи УЛФ. Вони відносно прості, мають відносно невисоку вартість, вибухобезпечні, але методи розрахунку таких систем знаходяться в стадії розробки, не визначена область їх застосування. Керована камера (КК) встановлюється в герметичний резервуар і служить для компенсації «подихів», ліквідуючи контакт нафтопродукту з повітрям, скорочуючи втрати від випаровування [37]	[41; 42]

Закінчення табл. 8

№ з/п	Обладнання	Ефективність зменшення втрат, %	Принцип роботи	Літературне джерело
6	Газопорівняльна система	20–30	Система трубопроводів, що з'єднує газові простори резервуарів. Якщо одночасно з заповненням резервуара 1 проводиться викачка нафти з резервуара 2, завдяки газорівнювальній системі, частина пароповітряної суміші з резервуару 1 не піде в атмосферу, а по газорівнювальній системі перетече в резервуар 2	[41; 42]
7	Мікрошарик и із пластмас	60 %	Вони являють собою мікросфери діаметром від 10 до 250 мкм, виготовлені з фенольно-формальдегідних смол, заповнені інертним газом - азотом. Промислового застосування не знайшли через віднесення з резервуарів разом з відкачуваною нафтою, а також налипання на стінки резервуару	[41; 42]
8	Захисна емульсія	До 70 %	Полягає в тому, що на поверхні нафти поміщається текуча концентрована емульсія з меншою щільністю, ніж у нафти. Емульсія добре поширюється по всій поверхні нафти, ізолюючи її від газового простору. Може бути застосована у резервуарах, що уже експлуатуються з будь якою конструкцією покрівлі без її модернізації. Не знайшли промислового застосування через не тривалий термін служби, віднесення з резервуарів разом з відкачуваною нафтою	[41; 42]
9	Керована камера, заповнена азотом	До 80 %	Керована камера, заповнена азотом встановлюється в герметичний резервуар і слугує для компенсації «дихань», ліквідуючи контакт нафтопродукту з повітрям, скорочуючи втрати від випаровування	[43; 44]
10	Установка для уловлювання легких вуглеводнів при зберіганні Стірлінг-технологія	До 90–100 %	В основу установки покладена технологія охолодження ЛФВ з використанням низькотемпературних холодильних машин Стірлінга. Установка має високу економічну та екологічну ефективність	[45; 46]
11	Поверхнево-активний додаток на основі похідних синтетичних жирних кислот.	До 47 %.	Зниження тиску насичених парів бензину, внаслідок додавання в паливо поверхнево-активної присадки (ПАР) на основі похідних синтетичних жирних кислот зі значною активністю сурфактанту. Зниження тиску насичених парів дуже залежить від концентрації добавки – максимальний ефект спостерігається при концентрації добавки 9,25 мг/кг. Добавка, знижуючи тиск насичених парів надає дуже слабкий вплив на початкову температуру кипіння бензину і не впливає на температуру 10%, отже не призводить до погіршення холодного запуску	[38; 39].
12	Поверхнево-активна речовина. Плівкоутворююче покриття – клас фторгензидів. Аеровані гідрофільні розчини фторгензидів	До 99 %	Поверхнево-активна речовина має характеристики захисного плівкоутворюючого покриття, що у свою чергу зменшує емісію вуглеводнів із бензинів	[47]

Зменшення втрат вуглеводневого палива в резервуарних парках в умовах зберігання при малих та великих «диханнях» може бути досягнуто встановленням під «дихальний» клапан диска-відбивача. При використанні диска-відбивача зменшується переміщення ППС і ГП резервуара. Ефективне використання диска-відбивача зменшує втрати від випаровування до 30–40 %.

Особливо ефективно використання дисків-відбивачів при високих коефіцієнтах оборотності резервуарів у весняно-літній період [31].

Аналіз способів і засобів уловлювання парів нафтопродуктів з резервуарів дозволяє зробити висновок про те, що найбільш перспективними на сьогоднішній день є способи, в основі яких лежать принципи абсорбції. Особливо вдалим на наш погляд є комбінований метод, в основі якого лежить принцип абсорбції парів в охолоджену нафтопродукті. При цьому якщо як абсорбційну рідину застосовувати той самий продукт, що зберігається, то зберігається також і якість бензинів через повернення легких фракцій в резервуар [46].

### Висновки

Причинно-наслідковий аналіз з використанням методу Ісікави дозволив виявити взаємозв'язки між різними факторами, вивчити причини, систематизувати джерела та їх вплив на процес емісії вуглеводнів із горизонтальних резервуарів. Ми вважаємо, що системний аналіз причин і наслідків дозволить удосконалити технології обліку емісії компонентів бензинів, оптимізувати та підвищити ефективність технологічних операцій, а також економити цінну вуглеводневу сировину та мінімізувати техногенний вплив на довкілля. Цей висновок є безпосереднім підтвердженням нашої гіпотези.

Головним висновком цієї праці, до якого ми дійшли є той факт, що окрім різних технічних рішень (методів, засобів) для попередження втрат від випаровування надзвичайно важливу роль відіграє облік втрат вуглеводнів і організація системи моніторингу цих втрат, що є важливим заходом щодо їх зменшення. Тому метою подальшої роботи, що ми плануємо виконати, є вдосконалення методики розрахунку (обліку) втрат бензинів від випаровування, що буде створювати можливість оцінити ефективність застосування систем уловлювання летких вуглеводнів і стати головним інженерним інструментом для вирішення головної цілі – удосконалення системи обліку та мінімізація кількісних (в економічному аспекті) та якісних (екологічному аспекті) втрат від випаровування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Бойченко С. В.** Раціональне використання вуглеводневих палив: монографія. Київ: НАУ, 2001. 216 с.
2. **Бойченко С. В.,** Федорович Л. А, Черняк Л. Н., Вдовенко С. В., Кальницкая Ю. А. Потери углеводородов в ходе технологических процессов переработки, транспортировки, хранения и заправки. *Нефть и газ*. 2006. №3. С. 90–94.
3. **European** Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Emissions from Storage. Joint Research Centre, Institute of Prospective Technological Studies, EIPPCB. 2006. July.
4. **Environment** Accounts and Statistics Analytical and Technical Paper Series Gasolina Evaporative Losses from Retail Gasolina Outlets Across. Canada, 2009.
5. **Magaril E.** Reducing gasoline loss from evaporation by the introduction of a Surface-active fuel additive. *WIT Transactions on The Built Environment*. Vol. 146. 2015. *WIT Press*, doi:10.2495/UT150181
6. **Александров А. А.,** Архаров И. А., Емельянов В. Ю. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов. *Современная АЗС*. 2005. № 10–12.
7. **Dukhnevich L. N.** Development and research of methods for reducing technological losses in the preparation of oil for transport. Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences. Tyumen. 2009. P. 113.
8. **Сафонов А. С.,** Ушаков А. И. Орешенков А. В. Качество автомобильных топлив. Эксплуатационные свойства. Требования к качеству. Методы испытаний: монография. СПб., 2006. 394 с.
9. **Данилов В. Ф.,** Шурыгин В. Ю. К вопросу о решении проблемы потерь нефтепродуктов от испарения. *Успехи современного естествознания*. 2016. № 3. С. 141-145. URL: [https://repository.kpfu.ru/?p\\_id=129784](https://repository.kpfu.ru/?p_id=129784) (дата звернення 20.04.2020)
10. **Федюкін В. К.** Управління якістю процесів. Спб.:Пітер, 2005. 202 с.
11. **Ісікава К.** Японські методи управління якістю / сокр. пер. с англ. / під ред. Гличева А. В. М: Економіка, 1988. 214 с.
12. **Ishikawa K.** What is Total Quality Control The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.
13. **Ishikawa K.** Guide to Quality Control. Tokyo, Asian Produktivity Organization, 1976.
14. **Ciolek Michael** Emission Factor Documentation for AP42, Organic liquid storage tanks, September, 2006.
15. **Бойченко О. В.** Моніторинг природних втрат палив при зберіганні та застосування сорбентів для їх зменшення: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук. Київ: НАУ. 2001.

16. **Дорошенко Ю. І.** Люта Н. В. Огляд сучасних методик розрахунку втрат нафтопродуктів від випаровування за умов зберігання у наземних резервуарах. *Нафтогазова інженерія*. Науковий вісник ІФНТУНГ. 2012. <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/2437> (дата звернення 20.04.2020)
17. Зоря Е. И., Орехова И. В., Черезова А. С. Сравнительный анализ методик расчёта потерь лёгких фракций углеводородов из резервуаров хранения. *Промышленный сервис* №3. 2017.
18. Нормативи втрат нафтопродуктів: проект постанови КМУ. URL: <https://uteka.ua/ua/publication/news-14-novosti-zakonodatelstva-1-normativy-poter-nefteproduktov-proekt-postanovleniya-kmu> (data access 10.03.2020)
19. Belastingdienst Customs matters. The Tax and Customs Administration in the Netherlands. 2013. URL: <http://www.belastingdienst.nl> (data access 12.05.2020)
20. **Хомутко В.** Методы расчёта нормы естественной убыли нефтепродуктов URL: <https://neftok.ru/gaznoe/normy-estestvennoj-ubyli-nefteproduktov.html> (data access 20.04.2020)
21. **Бойченко С. В.** До питання про нормування природних втрат нафтопродуктів. *Нафтова і газова промисловість*. 2001. №1. С. 63–64.
22. API Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 19.4/ Recommended Practice for Speciation of Evaporative Losses, Second Edition, September, 2005.
23. **Бойченко С. В.**, Григоренко І. В. Розробка програмного забезпечення для оцінки та прогнозування втрат палив від випаровування внаслідок малих та великих «дыхань» резервуарів. *Методи та прилади контролю якості*. 2001. № 8. С. 96–99.
24. **Бойченко С. В.**, Сидоренко Н. А., Черняк Л. Н. Апробация методики оценки и прогнозирования физической стабильности автомобильных бензинов. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2010. № 1. С. 21–23.
25. **Бойченко С. В.**, Федорович Л. А., Турчак В. М., Новікова В. Ф., Романов С. Ф. Моніторинг фактичних втрат бензинів від випаровування. *Методи та прилади контролю якості*. 2007. № 18. С. 98–102.
26. **Бойченко С. В.** Рефрактометричний метод визначення втрат палива від випаровування. *Методи та прилади контролю якості*. 2000. № 6. С. 87–90.
27. **Бойченко С. В.** Метод определения потерь топлив от испарения. *Вісник КМУЦА*. 2000. № 2. С. 237–243.
28. **Бойченко С. В.**, Шутко В. М., Чернобаева Н. А. Визначення факторів, що впливають на величину втрат легких вуглеводнів від випаровування з бензинів у резервуарах сталевих. *Наукоємні технології*. 2014. №2. С. 236–239.
29. **Бойченко С. В.**, Иванов С. В., Федорович Л. А., Черняк Л. М. Взаємозв'язок втрат від випаровування та кондиційності бензину. *Вісник НАУ*. №4. 2004. С. 151–154
30. **Матвеева О. Л.** Еколого-економічна оцінка діяльності підприємств авіапаливозабезпечення. *Вісник НАУ*. 2001. №3. С. 178–181.
31. **Топчий Р. І.**, Іванченко О. В., П'янков А. А., Греков В. П. Шляхи зниження втрат бензину та підвищення пожежної й екологічної безпеки на складах та пунктах заправки паливними матеріалами. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2013. №2. С. 58–64.
32. **Бойченко С. В.**, Павлюх Л. І., Шкільнюк І. О., Яковлева А. В., Матвеева І. В., Гудзь А. В. Аналіз екологічних властивостей компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів. *Наукоємні технології*. 2019. № 2. С. 195–206.
33. **Черняк Л. М.** Перспективи впровадження сучасних екологічних систем на об'єктах системи нафтопродуктозабезпечення. *Вопросы химии и химической технологии*. 2013. №1. С. 156–160.
34. **Константинов К. В.** Модернизация дыхательного клапана РВС-500 для сокращения потерь нефти ГНПС «Тайшет». Институт нефти и газа. Красноярск, 2017. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/70923> (дата звернення 01.04.2020)
35. **Коршак А. А.** Современные средства сокращения потерь бензинов от испарения. Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2001. 144 с.
36. **Andisheh Tavakoli**, Mohamadreza Baktash. Numerical Analysis for Effect of Envelop Color of oil Tank Storage with Floating Roof?. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 2012. Corpus ID: 17072616.
37. **Iegor Butavsky**, Volodymyr Kogut, Volodymyr Bushmanov, Mykhailo Khmelniuk, Energy Efficiency of Refrigerating Ejector Systems for the Condensation of Oil products Liquid Hydrocarbons. *Energy Engineering and control systems*. 2017.
38. **Magaril, E.** Improving car environmental and operational characteristics using a multifunctional fuel additive. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 147, *WIT Press*: UK, 2011. Pp. 373–384.
39. **Marwan M.** Farhan, Muthana M. Al-Jumialy, Ahmed D. Al-Muhammadi, Ali S. Ismail. Development of a New Method for Reducing the Loss of Light Hydrocarbons at Breather Valve of Oil Tanks. *Energy Procedia*. 2017. Pages 471–478.
40. **Magaril E.** Reducing gasoline loss from evaporation by the introduction of a Surface-active fuel additive" *WIT Transactions on The Built Environment. WIT Press*. 2015. Vol 146. P. 233–242.
41. **Зоря Е. Н.**, Лощенко О. В. Оценка общедоступных технологий и методов определения потерь нефтепродуктов от испарения из резервуаров при хранении. *Экологический вестник России*. 2019. С. 24–30.



42. **Пархоменко В. В.** Обоснование параметров универсальной управляемой камеры для сокращения потерь нефтепродуктов при хранении в резервуарах: дисс. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. Санкт-Петербург. 2012.

43. **Управляемая** воздушная камера Пат. 2305655 РФ/Пархоменко В. В. Опубл. 10.09.2007.

44. **Управляемая** воздушная камера. Пат. 82685 РФ/Пархоменко В. В. Опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.

45. **Кириллов Н. Г.** Стирлинг-технологии – прорыв в автономной энергетике XXI века. Энергетика и промышленность России. *Наука и новые технологии*. 2004. №5 (45). URL:

<https://www.eprussia.ru/epr/45/3045.htm> (дата звернення 01.04.2020)

46. **Бешагина Е. В.**, Будова Е. А., Гавриков А. А. Повышение эффективности промышленной подготовки нефти с целью сокращения потерь лёгких углеводородов на месторождении западной Сибири. *Фундаментальные исследования*. 2013. №8 (часть 3). С. 545–550.

47. **Спаська О. А.**, Иванов С. В. Мінімізація втрат легких фракцій вуглеводневих рідин від аеродисипації стабілізованими плівкоутворюючими ПАР. *Вопросы химии и химической технологии*. 2011. № 1. С. 74–77.

**Бойченко С. В., Калмикова Н. Г.**

### **ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ АНАЛІЗ ВТРАТ НАФТОПРОДУКТІВ У РЕЗЕРВУАРНОМУ ПАРКУ**

*Підвищення ефективності використання моторних палив на сьогодні є одним із найреальніших напрямів вирішення енергетичних і екологічних проблем водночас. Втрати від випаровування є головною складовою частиною загального балансу втрат і досягають 75 % всіх втрат нафтопродуктів.*

*У статті проаналізовано, досліджено та виявлено закономірності процесу випаровування бензинів, взаємозв'язок та взаємозалежність процесу випаровування від джерел втрат, причин, факторів, що впливають на величину втрат, проаналізовано структуру втрат на об'єктах нафтопродуктозабезпечення. Методом цього дослідження було обрано причинно-наслідковий аналіз та графічний спосіб (діаграма Ісікави) вивчення та визначення найбільш значущих причинно-наслідкових зв'язків між факторами та наслідками в досліджуваному процесі випаровування бензинів із горизонтальних резервуарів. Приведена порівняльна характеристика існуючих засобів для запобігання втратам та уловлювання парів нафтопродуктів з оцінкою їх ефективності. Також, у статті проаналізовано три найважливіші аспекти наслідків втрат нафтопродуктів від випаровування, а саме: погіршення експлуатаційних властивостей нафтопродуктів, що у свою чергу призводять до обмеження технічного ресурсу двигуна; розглянуті економічні збитки, внаслідок втрат від випаровування та не менш актуальна проблема — забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами та загроза здоров'ю людини. Надано методичні та практичні рекомендації щодо ефективного та раціонального використання нафтопродуктів згідно аналізу існуючих способів та засобів запобігання втратам. Визначено, розглянуто та обґрунтовано найефективніші засоби та способи попередження втрат, а саме: поєднання обліку втрат нафтопродуктів (кількісна оцінка) та різних засобів попередження з організаційно-технічними заходами, як одними із найважливіших заходів зменшення втрат нафтопродуктів.*

**Ключові слова:** бензини; випаровування; діаграма Ісікави; втрати; джерела; фактори; наслідки; ефективність.

**Boichenko S., Kalmykova N.**

### **CAUSE AND CONSEQUENCE ANALYSIS OF LOSSES OF PETROLEUM PRODUCTS IN THE TANK PARK**

*Increasing the efficiency of the use of motor fuel is by far one of the most real pressures for energy and environmental productivity at the same time. Production losses are a major part of the total balance loss and account for 75% of all oil losses. The article analyzes, investigates and reveals the regularities of the process of evaporation of gasoline, the interconnection and interdependence of the process of evaporation from the sources of losses, causes, factors that affect the magnitude of losses, and analyzes the structure of losses at the objects of oil products. The method of this study was chosen causal analysis and graphical method (Ishikawa diagram) to study and determine the most significant causal relationships between factors and consequences in the studied process of evaporation of gasoline from horizontal tanks. The comparative characteristics of the existing means for the prevention of losses and the capture of vapors of petroleum products with an assessment of their effectiveness are presented. Also, the article analyzes three important aspects of the consequences of losses of petroleum products from evaporation, namely: deterioration of the operational properties of petroleum products, which in turn lead to a limitation of the technical life of the engine; economic losses, losses due to evaporation are considered, and an equally urgent problem is the pollution of atmospheric air with toxic substances and the threat to human health. Methodological and practical recommendations on the efficient and rational use of petroleum products are provided, based on an analysis of existing methods and means of loss prevention. The most effective means and methods of loss prevention have been identified, considered and substantiated, namely the combination of oil loss accounting (quantification) and various means of prevention with organizational and technical measures, as one of the most important measures for reducing oil losses.*

**Keywords:** gasoline; evaporation; diagram Ishikawa; losses; sources; factors; consequences; effectiveness.

**Бойченко С. В., Калмыкова Н. Г.**  
**ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ НЕФТЕПРОДУКТОВ В**  
**РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ**

*Повышение эффективности использования моторных топлив на сегодня является одним из наиболее реальных направлений решения энергетических и экологических проблем одновременно. Потери от испарения является главной составной частью общего баланса потерь и достигают 75% от всех потерь нефтепродуктов. В статье проанализированы, исследованы и выявлены закономерности процесса испарения бензина, взаимосвязь и взаимозависимость процесса испарения от источников потерь, причин, факторов, влияющих на величину потерь, проанализирована структура потерь на объектах нефтепродуктообеспечения. Приведена сравнительная характеристика существующих средств для предотвращения потерь и улавливания паров нефтепродуктов с оценкой их эффективности. Также, в статье проанализированы три важнейших аспекта последствий потерь нефтепродуктов от испарения, а именно: ухудшение эксплуатационных свойств нефтепродуктов, в свою очередь приводит к ограничению технического ресурса двигателя; рассмотрены экономические убытки, вследствие потерь от испарения, но не менее актуальная проблема — загрязнение атмосферного воздуха токсичными веществами и угроза здоровью человека. Даны методические и практические рекомендации по эффективному и рациональному использованию нефтепродуктов согласно анализу существующих способов и средств предотвращения потерь. Определены, рассмотрены и обоснованы эффективные средства и способы предупреждения потерь, а именно: сочетание учета потерь нефтепродуктов (количественная оценка) и различных средств предупреждения с организационно-техническими мероприятиями, как одними из важнейших мероприятий уменьшения потерь нефтепродуктов.*

**Ключевые слова:** бензины; испарение; диаграмма Исикавы; потери; источники; факторы; последствия; эффективность.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2020 р.

Прийнято до друку 15.06.2020 р.