

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-05>

УДК (UDC): 502.3:[629.3.065]:005.334

О. А. КАРАЇМ¹, канд. екон. наук, доц.,

доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища

e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1722-4110>

О. А. БАКАРАЄВ,

засновник

e-mail: Vepp@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6876-2840>

ТОВ «ВОЛИНЬЕКОПРОМПРОЕКТ»

вул. Гулака-Артемівського, 7, кв.75, м.Луцьк, Волинська обл., 43005, Україна

В. П. КАРАЇМ¹,

аспірант

e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4053-8019>

З. В. ЛАВРИНЮК¹, канд. хім. наук, доц.,

доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища

e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1906-3330>

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки,

просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., 43025, Україна

ВИКИДИ АВТОЗАПРАВНОГО КОМПЛЕКСУ: ОЦІНКА РИЗИКУ В АСПЕКТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Мета. Здійснення інвентаризації викидів забруднюючих речовин спричинених функціонуванням автозаправного комплексу та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику в аспекті забезпечення сталого розвитку.

Методи. Експериментальні, аналітичні, також методи математичного моделювання та прогнозування.

Результати. Проведено аналіз викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря автозаправним комплексом, розташованим у Луцькому районі Волинської області. Джерелами утворення забруднюючих речовин на об'єкті є підземні сталеві горизонтальні циліндричні резервуари для зберігання бензину та дизельного палива, двосторонні заправні колонки, сталеві наземні резервуари для скрапленого вуглеводневого газу та газозаправна колонка. Максимально разові та валові викиди в атмосферу визначалися на основі інструментальних вимірювань, аналітичних розрахунків, проектних даних і технологічних нормативів. За сумарними обсягами викидів об'єкт належить до третьої групи. Вв атмосферне повітря потрапляють: сірководень, вуглеводні насичені, бензол, ксиліл, толуол, пропан, бутан. Розраховані приземні концентрації забруднюючих речовин, з урахуванням фонових забруднень, на межі санітарно-захисної зони та житлової забудови не перевищують гігієнічних нормативів. Значення індексу небезпеки для чотирьох контрольних точок відповідають насторожуючому рівню сумарного неканцерогенного ризику. Визначений рівень ризику потребує подальшого моніторингу та впровадження заходів із мінімізації викидів, що є безумовною передумовою забезпечення сталого розвитку.

Висновки. Концентрації викидів забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони не перевищують нормативів. Проте насторожуючий рівень сумарного неканцерогенного ризику потребує подальшого контролю, оцінювання можливих наслідків для здоров'я населення та впровадження ефективних природоохоронних заходів. Сприяння мінімізації викидів є необхідною умовою безпечного функціонування автозаправного комплексу та забезпечення сталого розвитку території.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: оцінка ризику, атмосферне повітря, забруднення, викид, автозаправний комплекс, сталий розвиток

Як цитувати: Караїм О. А., Бакараєв О. А., Караїм В. П., Лавринюк З. В. Викиди автозаправного комплексу: оцінка ризику в аспекті забезпечення сталого розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 44. С. 60-73. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-05>

In cites: Karaim, O. A., Bakaraiev, O. A., Karaim, V. P., Lavrynyuk, Z. V. (2025). Gas station emissions: risk assessment in the context of ensuring sustainable development. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (44), 60-73. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-05> (in Ukrainian)

Вступ

Сучасний розвиток транспортної інфраструктури супроводжується зростанням кількості автозаправних комплексів, які є потенційними джерелами забруднення атмосферного повітря. Під час зберігання, транспортування та відпуску нафтопродуктів у повітря надходять леткі органічні сполуки, сірководень, вуглеводні та інші токсичні компоненти, що можуть негативно впливати на стан довкілля та здоров'я населення. Проблема ускладнюється тим, що значна частина автозаправних станцій розташована в межах або поблизу житлової забудови, де концентрація шкідливих речовин навіть у межах допустимих рівнів може становити потенційну небезпеку при тривалому впливі.

В умовах переходу до моделі сталого розвитку особливої актуальності набуває необхідність оцінювання ризиків забруднення атмосферного повітря, пов'язаних із функціонуванням автозаправних комплексів, з метою запобігання деградації повітряного середовища та негативного впливу на здоров'я людини. Визначення рівнів забруднення атмосферного повітря та розробка превентивних заходів є важливою складовою забезпечення принципів сталого розвитку.

Проблемам забруднення атмосферного повітря внаслідок роботи автозаправних комплексів присвятили свої роботи низка українських та зарубіжних вчених. Зокрема, дослідження авторів [1] розкривають особливості оцінювання потенційного токсичного ефекту викидів вуглеводнів із резервуарів автозаправних станцій для міського населення, що є важливим з огляду на формування локальних осередків забруднення в межах урбанізованих територій. У праці [2] акцентовано увагу на тенденціях розвитку систем контролю викидів та удосконаленні технічного забезпечення автозаправних комплексів з метою підвищення екологічної безпеки їх функціонування. Дослідження [3] спрямоване на аналіз екологічних впливів та ризиків, що виникають у процесі експлуатації автозаправних станцій, з урахуванням рівня концентрацій шкідливих речовин у повітрі та стану навколишнього середовища. У роботі [4] розглянуто методичні підходи до оцінки впливу автозаправних станцій на атмосферне повітря та визначено основні шляхи мінімізації шкідливих викидів. Авторами

[5] дослідили особливості екологічного менеджменту підприємств, зокрема можливості його застосування для підвищення ефективності системи контролю забруднень на промислових підприємствах. Дослідження [6] присвячене оцінці екологічного стану території автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей, де спостерігається підвищене антропогенне навантаження. У праці [7] проаналізовано наслідки експлуатації автозаправних станцій для навколишнього природного середовища, зокрема визначено рівні викидів летких органічних сполук і шляхи їх розповсюдження.

Іноземні дослідження також роблять вагомий внесок у вивчення даної проблематики. Так, автори [8] довели, що реальні обсяги токсичних викидів з автозаправних станцій значно перевищують раніше прийняті нормативні показники, що підкреслює необхідність удосконалення методів контролю за емісіями. У праці [9] висвітлено недоліки для автозаправних станцій з регіонально різними коефіцієнтами викидів та прийнятними ризиками для здоров'я. Оцінку екологічного ризику автозаправних станцій з використанням принципів управління безпекою здійснено в [10]. У науковій роботі [11] представлено результати проведеного порівняльного аналізу екологічних стандартів на автозаправних станціях європейських країн, звертаючи увагу на системний підхід до забезпечення екологічної безпеки. Вченими [12] встановлено, що ґрунт поблизу транспортних об'єктів, зокрема автозаправних станцій, може виступати довготривалим резервуаром для накопичення токсичних речовин з атмосферного повітря з подальшим їх надходження у підземні води, що створює додаткові ризики для довкілля. Авторами [13] здійснено оцінку сумарного неканцерогенного ризику та впливу на здоров'я поблизу автозаправних станцій у міських населених пунктах. У праці [14] проаналізовано склад викидів, що утворюються на автосервісах і заправних комплексах, та окреслено перспективи впровадження біотехнологічних методів їх очищення. Дослідження [15] присвячено оцінці забруднення ґрунтових вод нафтовими вуглеводнями у межах житлових територій, спричиненого експлуатацією автозаправних станцій. Авторами наголошують на

небезпеці витоків паливно-мастильних матеріалів для стану підземних вод. Окремий напрям досліджень стосується оцінювання ризиків та наслідків потрапляння небезпечних речовин у довкілля під час експлуатації паливної інфраструктури. Так, у роботі [16] проаналізовано потенційні екологічні наслідки аварійних ситуацій на автозаправних станціях і підкреслено важливість впровадження систем екологічного моніторингу та управління ризиками.

Значна кількість наукових публікацій [17–25] присвячена дослідженню викидів летких органічних сполук, що виділяються під час роботи автозаправних станцій та їх впливу на здоров'я працівників та жителів прилеглих територій. Зокрема, автори [20] розробили модель оцінювання довгострокових ризиків виникнення онкологічних захворювань, спричинених впливом бензолу, що викидається з кластерів автозаправних стан-

цій. У статті [21] подано результати вимірювань концентрацій бензолу та інших летких органічних сполук у повітрі на заправках міста Делі та проведено оцінку інгалаційного ризику для працівників.

Проведений аналіз наукових джерел свідчить про зростання інтересу до проблеми екологічної безпеки автозаправних комплексів. Водночас залишається актуальною потреба інвентаризації викидів забруднюючих речовин та оцінювання ризиків забруднення атмосферного повітря з урахуванням локальних особливостей функціонування АЗК в аспекті забезпечення сталого розвитку території.

Метою роботи є здійснення інвентаризації викидів забруднюючих речовин спричинених функціонуванням автозаправного комплексу та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику в аспекті забезпечення сталого розвитку.

Об'єкти та методи дослідження

Джерелами утворення забруднюючих речовин на досліджуваному автозаправному комплексі є три підземних сталевих горизонтальних циліндричних резервуари для зберігання бензину ємністю 25 м³ (джерело 1) і два по 50 м³ (джерела 2, 3), підземний сталевий горизонтальний циліндричний резервуар для зберігання дизпалива ємністю 50 м³ (джерело 4), чотири двосторонніх заправних колонки (на кожній по вісім пістолетів) (джерела 5–12), два сталевих наземних резервуари зберігання скрапленого вуглеводневого газу об'ємом по 4,8 м³ (джерело 13) та газозаправна колонка (джерело 14).

Максимально разові (г/с) і валові викиди (т/рік) в атмосферне повітря джерел викиду визначені на підставі аналізу результатів інструментальних замірів, аналітичних розрахунків, проєктних даних та технологічних нормативів.

Величини викидів сірководню, бутану, бензолу, ксилолу, толуолу, вуглеводнів насичених C₁₂–C₁₉, пропану необхідних для оцінки впливу на атмосферне повітря автозаправного комплексу визначаються розрахунково відповідно до [26–28].

Максимально-разовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні бензину з ємності, розраховується за формулою (1):

$$q_m = P_p / 3,6 \quad (1)$$

$$P_p = 2,52 \cdot V_{жр} P_{s(38)} M_n (K_{5X} + K_{5T}) K_6 K_7 (1 - p) 10^{-9}, \text{ кг/год} \quad (2)$$

Де: $V_{жр}$ – річний об'єм палива в резервуарі, м³;

$P_{s(38)}$ – тиск насичених парів рідини при максимальній температурі зберігання $T_{\text{макс.}} = 38^\circ\text{C}$, гПА;

M_n – молекулярна маса парів рідини, г/моль;

K_{5X} – коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів P і температури газового середовища за 6 найхолодніших місяців року TRX , $^\circ\text{C}$;

K_{5T} – коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів P і температури газового середовища за 6 найбільш теплих місяців року TPT , $^\circ\text{C}$;

K_6 – поправочний коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів P і річної оборотності резервуарів;

K_7 – коефіцієнт, що враховує оснащення резервуарів;

p – коефіцієнт газоефективності газовловлюючого обладнання резервуара, доли одиниць.

Валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні палива з ємності розраховується за формулою (3):

$$M^{\text{ВАЛ}} = P_p T / 1000 \quad (3)$$

Максимально-разовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при заправці автотранспорту з колонки розраховується за формулою (4):

$$q_m = M 1000 / 3600 \quad (4)$$

$$M = Q K g, \text{ кг/год} \quad (5)$$

де: K – коефіцієнт, що залежить від концентрації парів палива;

g – густина палива, кг/м^3 ;

Q – потужність паливороздавальної колонки.

Валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при заправці автотранспорту, розраховується за формулою (6):

$$M^{\text{ВАЛ}} = M T 10^{-3} \quad (6)$$

де, T – фонд робочого часу заправки автотранспорту з колонки для бензину.

Що стосується визначення викидів забруднюючих речовин із наземних резервуарів зберігання скрапленого вуглеводневого газу (СВГ), то на першому етапі розраховуються втрати газу під час зливу з автомобільних цистерн. Розрахунок викидів здійснюється за формулою (7):

$$B = B^p + B^n + B^{nn}, \text{ кг} \quad (7)$$

де, B^p – втрати СВГ у рідкій фазі під час зливу з цистерн, кг ;

B^n – втрати СВГ у паровій фазі під час зливу з цистерн, кг ;

B^{nn} – втрати СВГ у вигляді повернення парової фази, що заповнює об'єм цистерни під час зливу СВГ, кг (викиди в атмосферне повітря не відбуваються за рахунок повернення парової фази в автоцистерну при застосуванні газової обв'язки).

$$B^p = P_p V_{pp} \quad (8)$$

де, V_{pp} – об'єм рукава рідкої фази;

P_p – густина рідкої фази СВГ, кг/м^3 .

$$P_p = 100 / (P_{\text{пропан}} / \rho_{\text{пропан}} + P_{\text{бутан}} / \rho_{\text{бутан}}) \quad (9)$$

$$V_{pp} = 0,785 \cdot 10^{-6} d_{pp}^2 I_{pp} \quad (10)$$

де, d_{pp} – внутрішній діаметр зливно-наливного рукава, мм ;

I_{pp} – довжина зливно-наливного рукава, м .

$$B^n = P_n V_{pn} \quad (11)$$

де, V_{pn} – об'єм рукава парової фази;

P_n – густина парової фази СВГ, кг/м^3 .

$$P_n = 100 / (P_{\text{пропан}} / \rho_{\text{пропан}} + P_{\text{бутан}} / \rho_{\text{бутан}}) \quad (12)$$

$$V_{pn} = 0,785 \cdot 10^{-6} d_{pn}^2 I_{pn} \quad (13)$$

де, d_{pn} – внутрішній діаметр рукава парової фази, мм ;

I_{pn} – довжина рукава парової фази, м .

Втрати СВГ під час наповнення балонів газобалонних автомобілів розраховуються за формулою (14):

$$B_{гб} = 13 \cdot 10^{-6} P_p, \text{ кг} \quad (14)$$

Валовий викид розраховується за формулою (15):

$$M^{\text{ВАЛ}} = (B_{гб} n) / 1000, \text{ т/рік} \quad (15)$$

де, n – кількість заправок газобалонних автомобілів.

$$n = V 1000 / P \quad (16)$$

де, V – витрата скрапленого вуглеводневого газу, $\text{м}^3/\text{рік}$;

P – потужність газозаправної колонки, л/хв .

Максимально-разовий викид визначаємо за формулою (17):

$$q_m = B_{гб} 1000 / T, \text{ г/с} \quad (17)$$

Розрахунок концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі виконано програмним комплексом ЕОЛ+. Пошук несприятливих швидкостей вітру здійснено програмою автоматично виходячи із заданих швидкостей. Розмір розрахункового майданчика прийнято $500 \times 500 \text{ м}$, інтервал розрахункової сітки $25 \times 25 \text{ м}$. Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря визначається за показниками результатів розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та даними, що одержані при проведенні інструментальних методів досліджень. Проводиться розрахунок розсіювання на межі нормативної санітарно-захисної зони (СЗЗ) (50 м) та біля найближчої житлової забудови на усі забруднюючі речовини.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого інгалаційного впливу хімічних речовин проведено на основі розрахунку індексу небезпеки НІ відповідно до [29]:

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i \quad (18)$$

де, n – кількість досліджених речовин;

HQ_i – коефіцієнт небезпеки, відношення концентрації речовини до нормативу,

$$HQ_i = C_i / ГДК_i \quad (19)$$

Якщо отримане значення коефіцієнта небезпеки для речовини не перевищує 1, імовірність формування у працівника несприятливих критичних наслідків за умов її щоденного надходження є низькою, а вплив вважається прийнятним. Натомість перевищення цього показника понад одиницю свідчить про поступове зростання ризику появи шкідливих ефектів у людини, яке підвищується відповідно до збільшення величини HQ_i .

Індекс небезпеки, визначено для чотирьох контрольних точок.

Оцінювання сумарного неканцерогенного ризику викидів автозаправного комплексу здійснено на основі розрахованих коефіцієнтів та індексу небезпеки. Класифікацію рівнів неканцерогенного ризику представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація рівнів неканцерогенного ризику [29]

Table 1

Classification of non-carcinogenic risk levels [29]

Коефіцієнт небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів HQ_i для окремих сполук/ Hazard ratio for the development of non-carcinogenic effects HQ_i for individual compounds	Індекс небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів (HI) для групи сполук односторонньої дії/ Hazard index for the development of non-carcinogenic effects (NI) for a group of compounds of unidirectional action	Рівень ризику/ Risk level
>2	>6	Високий/High
1,1 – 3	3,1 – 6	Насторожуючий/ Alert
0,11 – 1,0	1,1 – 3,0	Допустимий/ Acceptable
0,1 і менше/ and less	1,0 і менше/ and less	Мінімальний (цільовий)/ Minimal (target)

Результати та обговорення

Автозаправний комплекс розташований у Луцькому районі, Волинської області. Географічні координати центрів промислового майданчика: 50°43'12" Пн. ш., 25°20'20" Сх. д. Підприємство знаходиться поруч із різними типами територій, зокрема, зі сходу прилягають землі загального користування та житлова забудова на відстані 167 м, з півдня – землі загального користування, із заходу – зелені насадження та житлова забудова, що знаходиться за 58 м, а з півночі межує із землями загального користування та іншим підприємством. Основним видом діяльності є роздрібна торгівля паливом.

Представимо результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу із джерела 1 – підземного резервуару для зберігання бензину А-92 об'ємом 25 м³, джерела 2 – підземного резервуару для зберігання бензину А-92 євро об'ємом 50 м³, дже-

рела 3 – підземного резервуару для зберігання бензину А-95 євро об'ємом 50 м³. Викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря відбувається під час безпосереднього зберігання бензину в ємності.

Визначені максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні бензину, представлено в табл. 2. Показники викидів забруднюючих речовин в атмосферу з джерела 4 – підземного резервуару для зберігання дизельного палива ємністю 50 м³ представлено у табл. 3.

Результати розрахунків викидів забруднюючих речовин в атмосферу із джерел 5, 7, 9, 11 – бензинових паливо-роздавальних колонок, подано у табл. 4. Загалом для цих джерел максимально-разовий викид подвоюється, оскільки в двосторонніх колонках можуть працювати одночасно два пістолети.

Таблиця 2

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря з джерел 1–3

Table 2

Maximum one-time and total emissions of pollutants into the atmospheric air from sources 1–3

№	Забруднюючі речовини/ Pollutants	Джерело 1/Source 1		Джерела 2, 3/Sources 2.3	
		q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік
1	Бензол/Benzene	$1,98 \times 10^{-05}$	0,000624	$2,06 \times 10^{-05}$	0,000651
2	Ксилол/Xylene	$1,17 \times 10^{-05}$	0,000369	$1,22 \times 10^{-05}$	0,000385
3	Толуол/Toluene	$1,89 \times 10^{-05}$	0,000596	$1,97 \times 10^{-05}$	0,000622
4	Вуглеводні насичені /Saturated Hydrocarbons $C_{12}-C_{19}$	0,00445	0,140	0,00464	0,146

Таблиця 3

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин
в атмосферне повітря з джерела 4

Table 3

Maximum one-time and total emissions of pollutants
into the atmospheric air from source 4

№	Забруднюючі речовини/ Pollutants	q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік
1	Сірководень/ Hydrogen sulfide	$1,41 \times 10^{-07}$	$4,44 \times 10^{-06}$
2	Бензол/Benzene	$7,55 \times 10^{-08}$	$2,38 \times 10^{-06}$
3	Вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$ / Saturated hydrocarbons $C_{12}-C_{19}$	$5,01 \times 10^{-05}$	0,00158

Таблиця 4

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря
з джерел 5, 7, 9, 11

Table 4

Maximum one-time and total emissions of pollutants into the atmospheric air
from sources 5, 7, 9, 11

№	Забруднюючі речовини/ Pollutants	Джерело 5 (одна сторона) / Source 5 (one side)		Джерела 7, 9, 11/ Sources 7, 9, 11	
		q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік
1	Бензол/Benzene	$4,23 \cdot 10^{-05}$	$1,71 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,71 \cdot 10^{-05}$
2	Ксилол/Xylene	$7,05 \cdot 10^{-05}$	$2,85 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,85 \cdot 10^{-05}$
3	Толуол/Toluene	$9,87 \cdot 10^{-05}$	$3,99 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,99 \cdot 10^{-05}$
4	Вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$ /Saturated hydrocarbons $C_{12}-C_{19}$	0,0280	0,0113	0,0560	0,0113

Показники викидів забруднюючих речовин в атмосферу із джерел 6, 8, 10, 12 – дизельні паливо-роздавальні колонки, подано у табл. 5. Для вказаних колонок також у результаті одночасної роботи двох пістолетів максимально-разовий викид збільшується у два рази.

Надамо розрахунок викидів забруднюючих речовин із наземних резервуарів збері

гання СВГ. Показники втрати газу під час заливу з автомобільних цистерн будуть наступними. Злив СВГ проводиться 123 рази на рік для одного резервуара, звільнення рукавів продовжується 30 хвилин.

Відповідно максимально-разовий та валовий викиди становитимуть: $q_m = 1,922$ г/с; $M^{BAL} = 0,426$ т/рік.

Таблиця 5

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря
з джерел 6, 8, 10, 12

Table 5

Maximum one-time and total emissions of pollutants into the atmospheric air
from sources 6, 8, 10, 12

№	Забруднюючі речовини / Pollutants	Джерело 6 (одна сторона) / Source 6 (one side)		Джерела / Sources 8, 10, 12	
		q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік
1	Сірководень/ Hydrogen sulfide	$6,16 \cdot 10^{-05}$	$2,52 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,52 \cdot 10^{-05}$
2	Бензол/Benzene	$3,30 \cdot 10^{-05}$	$1,35 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,35 \cdot 10^{-05}$
3	Вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$ /Saturated Hydrocarbons $C_{12}-C_{19}$	0,0219	0,00896	0,0438	0,00896

Викиди забруднюючих речовин визначались згідно процентного складу бутану і пропану в газі (з наближенням): пропану – 60 %, бутану – 40 %. Таким чином викиди мають наступні значення:

пропану: $q_m = 1,153$ г/с; $M^{BAL} = 0,256$ т/рік;
 бутану: $q_m = 0,769$ г/с; $M^{BAL} = 0,170$ т/рік.

Згідно розрахунків максимально-разова та валова втрати газу під час зберігання (природні втрати) становлять:

пропану: $q_m = 0,00586$ г/с; $M^{BAL} = 0,185$ т/рік;
 бутану: $q_m = 0,00390$ г/с; $M^{BAL} = 0,123$ т/рік.

Відповідно, загальні викиди від джерела 13:

пропану: $q_m = 1,159$ г/с; $M^{BAL} = 0,441$ т/рік;
 бутану: $q_m = 0,773$ г/с; $M^{BAL} = 0,293$ т/рік.

При одоризації газу, для того щоб надати йому сильного специфічного запаху, головним чином попереджувального, або за яким визначають місця витікання, до скрапленого газу добавляють одорант. Процент одоризації становить 0,0017 % від суми викидів пропану та бутану.

Тому викид одоранту СПМ (суміш природних меркаптанів) становитиме:

$q_m = 3,3 \cdot 10^{-05}$ г/с;
 $M^{BAL} = 1,2 \cdot 10^{-05}$ т/рік.

Максимально-разовий та валовий викиди під час наповнення балонів газобалонних автомобілів становлять:

пропану: $q_m = 0,069$ г/с; $M^{BAL} = 0,0827$ т/рік;
 бутану: $q_m = 0,046$ г/с; $M^{BAL} = 0,0551$ т/рік.

Викид одоранту становитиме:

$q_m = 2,0 \cdot 10^{-06}$ г/с; $M^{BAL} = 2,3 \cdot 10^{-06}$ т/рік.

Загалом, у результаті роботи автозаправного комплексу в атмосферне повітря потрапляють:

0,00010524 т/рік сірководню,
 0,51462 т/рік вуглеводнів насичених $C_{12}-C_{19}$,
 0,00205078 т/рік бензолу,
 0,001253 т/рік ксилолу,
 0,0019996 т/рік толуолу,
 0,5237 т/рік пропану,
 0,3481 т/рік бутану.

На основі обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря визначено, що об'єкт відноситься до 3 групи – об'єкти, які не належать до підприємств із суттєвим рівнем впливу на атмосферу та не беруться на державний облік.

Точки визначення приземних концентрацій на межі санітарно-захисної зони автозаправного комплексу відраховувалися безпосередньо від джерел забруднення атмосфери. Необхідно зазначити, що загалом розмір СЗЗ згідно [30] витриманий, де відсутні житлові забудови, дитячі дошкільні заклади, школи, лікувально-профілактичні установи, спортивні споруди, охоронні зони джерел водопостачання. Максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин наведені в табл. 6.

Схему моделювання розрахунку приземної концентрації вуглеводнів насичених $C_{12}-C_{19}$ в приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони представлено на рис. 1. Картограма розсіювання представлена у прямокутній системі координат, що дозволяє оцінити максимальні концентрації у різних напрямках. Горизонтальна вісь (X) і вертикальна вісь (Y) – це координатні осі, що задають напрямки розсіювання у просторі. У центрі (0;0) – точка розташування джерела. Інтервал розрахункової сітки 25×25 м.

Таким чином, концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, з врахуванням існуючого фонових забруднення, на межі нормативної санітарно-захисної зони та на межі житлової забудови не перевищують гігієнічних нормативів (рис.1).. Якість атмосферного повітря санітарно-захисної зони відповідає граничнодопустимому вмісту забруднюючих речовин.

Однак, необхідно зазначити, що домінуючими за складом компонентами викидів є вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$, концентрації яких сягають 0,67–0,72 часток ГДК з урахуванням фонових значень. Ці речовини формують основну масу парів пального, що надходять у повітря. Особливу увагу привертає 0,48–0,50 часток ГДК сірководню, який належить до 2 класу небезпеки, а також ароматичні вуглеводні – бензол (2 клас) та ксилол і толуол (3 клас), концентрації яких із урахуванням фону досягають 0,4 часток ГДК. Хоча ці значення не перевищують нормативів, наявність навіть відносно малих концентрацій сполук II–III класу небезпеки є потенційно небезпечною для довготривалого впливу на населення і персонал [14; 17–25].

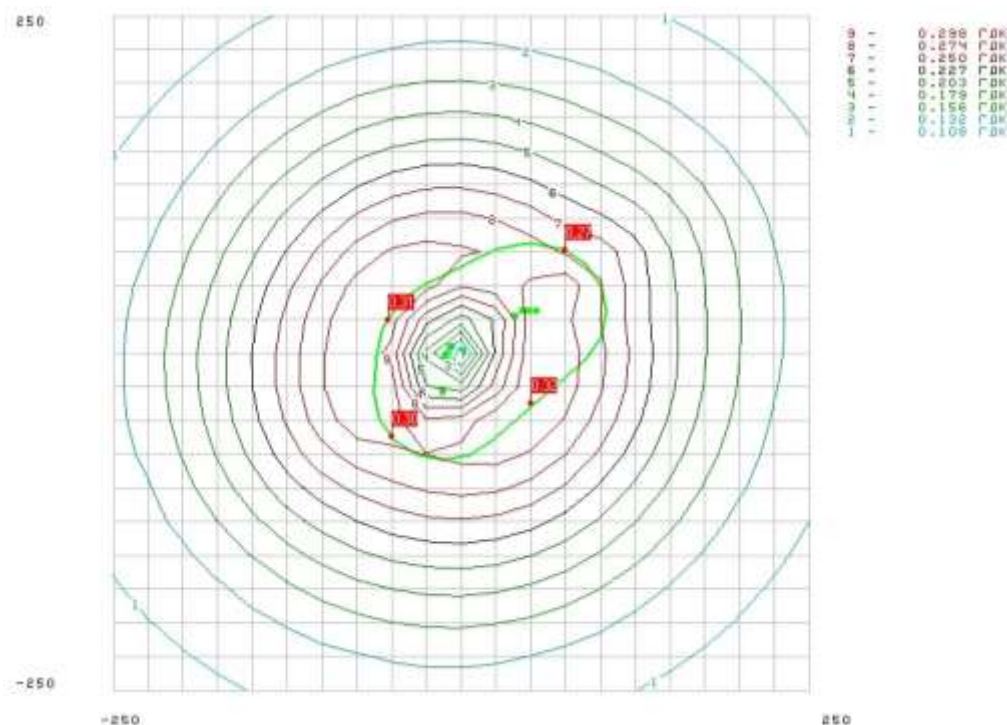
Таблиця 6

Максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин
без урахування фону / з урахуванням фону

Table 6

Maximum ground-level concentrations of pollutants
without background / with background

Речовини/ Pollutants	Точки			
	Точка № 1 / Point 1 (Пн/N – 50м/м)	Точка № 2/ Point 2 (Сд/ E – 50м/м)	Точка № 3/ Point 3 (Пд/ S – 50м/м)	Точка № 4/ Point 4 (Зх/ W –58м/м)
	X=75, Y=75	X=50, Y= -39	X= -50, Y= -63	X= -52, Y= 23
	Долей ГДК, без урахування фону / з урахуванням фону MPC fraction, excluding background / including background			
Сірководень/ Hydrogen sulfide	0,08/0,48	0,10/0,50	0,09/0,49	0,10/0,50
Бутан/ Butane	0,01/0,41	0,02/0,42	0,02/0,42	0,02/0,42
Вуглеводні насичені C ₁₂ –C ₁₉ /Saturated Hydrocarbons C ₁₂ –C ₁₉	0,27/0,67	0,32/0,72	0,30/0,70	0,31/0,71
Пропан/Propane	0,05/0,45	0,07/0,47	0,07/0,47	0,07/0,47
Бензол/Benzene	0,001/0,40	0,001/0,40	0,001/0,40	0,001/0,40
Ксилол/Xylene	0,004/0,40	0,004/0,40	0,004/0,40	0,004/0,40
Толуол/Toluene	0,002/0,40	0,002/0,40	0,002 /0,40	0,002/0,40



Значення від –250 м до +250 м на обох осях означають відстань від джерела викидів і 4 точки дослідження виділені позначками.

Рис. 1 – Концентрація вуглеводнів насичених C₁₂–C₁₉ в приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони

Values from –250 m to +250 m on both axes indicate the distance from the emission source and 4 survey points are marked.

Fig. 1 – Concentration of saturated hydrocarbons C₁₂–C₁₉ in the ground-level atmospheric air at the boundary of the sanitary protection zone m

Таблиця 7

Розрахунок сумарного неканцерогенного ризику

Table 7

Calculation of the total non-carcinogenic risk

Точка/Point	Індекс небезпеки, HI Hazard Index, HI	Рівень сумарного неканцерогенного ризику/ Total Non-Carcinogenic Risk Level
№ 1	3,21	Насторожуючий/Alert Level
№ 2	3,31	Насторожуючий/Alert Level
№ 3	3,28	Насторожуючий/Alert Level
№ 4	3,30	Насторожуючий/Alert Level

На основі результатів розрахунків приземних концентрацій забруднюючих речовин для чотирьох контрольних точок (рис.1) визначено індекс небезпеки. Для обчислення індексу небезпеки для кожної точки та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику використано значення «з урахуванням фону» (табл. 7).

Таким чином, для всіх точок спостереження індекс небезпеки (HI) має значення 3,21–3,31, що відповідає насторожуючому рівню сумарного неканцерогенного ризику.

Оскільки результати оцінювання сумарного неканцерогенного ризику вказують на насторожуючий рівень, це потребує подальших досліджень, оскільки при постійному контакті зі шкідливими речовинами, навіть якщо вони не перевищують нормативів, можливе погіршення стану здоров'я, що підтверджують розвідки [14; 17–25].

Оцінювання сумарного неканцерогенного ризику є важливою складовою забезпечення сталого розвитку. Воно сприяє прийняттю управлінських рішень, спрямованих на зниження негативного впливу та планування ефективних природоохоронних заходів.

Зменшення сумарного неканцерогенного ризику означатиме покращення якості життя населення та збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь. Інтеграція результатів ризик-аналізу у систему екологічного менеджменту підприємства забезпечить баланс між економічним зростанням та охороною довкілля. Визначення зон підвищеного ризику сприятиме реалізації концепції «зеленого» розвитку.

Здійснення інвентаризації викидів забруднюючих речовин та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику, спричиненого їх впливом, є важливим аналітичним інструментом, який безпосередньо корелює з ключовими цілями сталого розвитку (ЦСР). Тут слід відмітити ЦСР 3 «Міцне здоров'я і благополуччя», оскільки отримані результати

дозволяють ідентифікувати речовини, що становлять найбільшу небезпеку для населення.

Визначення перевищення індексів небезпеки для окремих речовин або їх сукупної дії забезпечує підґрунтя для запровадження превентивних заходів, спрямованих на зниження захворюваності, пов'язаної з впливом забрудненого атмосферного повітря.

Водночас отримані результати підтримують реалізацію ЦСР 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», оскільки вони стимулюють модернізацію технологічних процесів та впровадження екологічно орієнтованих інновацій. Виявлені проблеми вказують на необхідність удосконалення технологічних режимів роботи обладнання, підвищення енергоефективності та зниження рівнів викидів, що відповідає принципам розвитку «чистішого» виробництва.

Оцінка ризику також тісно пов'язана з ЦСР 11 «Сталий розвиток міст і громад», адже результати моделювання розсіювання забруднювачів дозволяють визначити території з найбільшим екологічним навантаженням, оцінити якість повітря в межах санітарно-захисної зони та сформулювати рекомендації щодо її оптимізації. Це сприяє підвищенню екологічної стійкості урбанізованих територій і створенню безпечного середовища проживання.

Не менш суттєвим є зв'язок із ЦСР 13 «Боротьба зі зміною клімату», адже зниження концентрацій шкідливих речовин і впровадження заходів зі зменшення викидів сприяє обмеженню антропогенного впливу на кліматичну систему.

Отже, інтеграція результатів інвентаризації викидів автотранспортного комплексу та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику у систему екологічного управління не лише забезпечує повне розуміння рівня загроз для здоров'я населення, але й сприяє досягненню ключових цілей сталого розвитку.

Такий підхід формує науково обґрунтоване підґрунтя для розроблення природоохоронних стратегій, модернізації виробничої інфраструктури та створення екологічно безпечних умов для життя і праці, що в комплексі сприяє зміцненню стійкості та конкурентоспроможності регіону.

На основі результатів дослідження менеджменту автозаправного комплексу необхідно сприяти забезпеченню мінімізації викидів. З цією метою основними напрямками повинні стати:

- удосконалення технологічних процесів для зменшення обсягів викидів летких органічних сполук та продуктів згоряння палива;
- регулярне технічне обслуговування резервуарів, паливороздавальних колонок і вентиляційних систем для запобігання витокам парів пального;

– впровадження систем рекуперації парів бензину під час заправки транспортних засобів;

– озеленення території для часткового поглинання забруднюючих речовин і покращення мікроклімату;

– проведення постійного моніторингу якості повітря та періодичного екологічного аудиту діяльності комплексу;

– підвищення екологічної обізнаності працівників шляхом навчань і тренінгів з питань охорони навколишнього середовища.

Реалізація цих заходів сприятиме зниженню рівня викидів, покращенню якості повітря на території автозаправного комплексу, створенню безпечних умов праці для персоналу та забезпеченню сталого розвитку території.

Висновки

Здійснено оцінку викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря автозаправним комплексом, розташованим у Луцькому районі Волинської області. Джерелами утворення забруднюючих речовин на підприємстві є три підземні резервуари для зберігання бензину, один резервуар для дизельного палива, два наземні резервуари для скрапленого газу і чотири двосторонні заправні колонки. Максимальні разові та валові викиди визначалися за результатами інструментальних вимірювань та розрахунків. За сумарними обсягами викидів об'єкт належить до третьої групи. Основні забруднювачі атмосфери: сірководень, насичені вуглеводні, бензол, ксилол, толуол, пропан, бутан. Розрахункові значення часток гранично допустимих концентрацій для основних речовин знаходяться у межах 0,40–0,72 з урахуванням фонових забруднень. Індекс безпеки для чотирьох контрольних точок,

перебуває в діапазоні 3,21–3,31, що відповідає насторожуючому рівню сумарного неканцерогенного ризику.

Отримані результати створюють основу для подальшої інвентаризації викидів та проведення інформаційного моделювання, включно з просторово-часовим аналізом розсіювання забруднювальних речовин, визначенням зон максимального впливу та оцінюванням ризиків для здоров'я населення. Виявлені екологічні загрози засвідчують необхідність розробки спеціалізованих природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення обсягів викидів і оптимізацію технологічних параметрів роботи обладнання. Таким чином, результати дослідження окреслюють пріоритетні шляхи підвищення екологічної безпеки автозаправного комплексу та формують підґрунтя для подальших управлінських рішень у сфері сталого розвитку.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Антропченко А. К., Рабомська М. М., Черняк М. М., Бойченко, С. В. Оцінювання потенційного токсичного ефекту викидів вуглеводнів із резервуара типової АЗС для міського населення. *Нафтогазова галузь України*. 2016. № 2. С. 40–43.

2. Бусигіна Г. А., Івасенко В. М. Тенденція контролю викидів і якості роботи АЗС. Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали XII Всеукр. наук.-практ. конф. (15–16 травня 2019 р.). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 252–254. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28117>
3. Желновач Г. М., Прокопенко Н. В., Желновач А. Н. Аналіз екологічних впливів та ризиків при експлуатації автозаправних станцій. *Вісник ХНАДУ*. 2014. № 67. С. 78–88. URL: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/caa5a8e9-02a7-410f-80f3-91089d90911b/content>
4. Івасенко В. М., Винниченко Т. О. Оцінка впливу автозаправних станцій на навколишнє середовище. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2017. № 16. С. 123–131. URL: <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/102469>
5. Караїм О. А., Милько І. П., Караїм В. П. Формування системи екологічного менеджменту підприємств в аспекті відновлення сталого розвитку регіонів. *Наукові праці ДонНТУ*. Серія: «Економічна». 2022. № 2 (26). С. 29–38. [http://doi.org/10.31474/1680-0044-2022-2\(26\)-29-38](http://doi.org/10.31474/1680-0044-2022-2(26)-29-38)
6. Рабош І. О., Кофанова О. В., Підгорний А. В. Оцінка екологічного стану територій автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей. *Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 9. С. 236–242. <http://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.09.34>
7. Чугай А. В. Оцінка впливу експлуатації автозаправних станцій на навколишнє природне середовище. *Вісник ХНАДУ*. 2015. Вип. 71. С. 97–101. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/3ea83d13-c315-4d63-b431-b431f9114a84>
8. Hilpert M., Rule A. M., Adria-Mora B. Gas stations vent far more toxic fumes than previously thought. *Science of the Total Environment*. 2018. P. 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.303>
9. Hilpert M. Setbacks for gas stations in a world with regionally varying emissions factors and acceptable health risks. *Front. Environ. Health*. 2023. Article 2:1214376. <https://doi.org/10.3389/fenvh.2023.1214376>
10. Mäkkä K., Kampová K., Loveček T., Petřlová K. An Environmental Risk Assessment of Filling Stations Using the Principles of Security Management. A Case Study in the Slovak Republic. *Sustainability*. 2021. Vol. 13(22). Article 12452. <https://doi.org/10.3390/su132212452>
11. Nieminen P. M. Environmental Protection Standards at Petrol Stations: A comparative study between Finland and selected European countries. *Tampere: University of Technology*. 2015. 164 p. URL: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-200810021073>
12. Robinson H. K., Hasenmueller E. A., Chambers L. G. Soil as a reservoir for road salt retention leading to its gradual release to groundwater. *Applied Geochemistry*. 2017. Vol. 83. SI. P. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.01.018>
13. Zafar M., Zaidi S. T. H., Husain S. S., Bukhari, N. M. Risk assessment of ambient air pollutants and health impact around fuel stations in urban cities of KSA. *International Journal of Preventive Medicine*. 2021. Vol. 12(1). Article 91. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_331_19
14. Singh P., Berawala N., Patil Y. Automobile service station waste assessment and promising biological treatment alternatives: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. Vol. 194.(10). Article 753. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10387-z>
15. Fei-Baffoe B., Badu E., Miezah K., Adjiri Sackey L. N., Sulemana A., Yahans Amuah E. E. Contamination of groundwater by petroleum hydrocarbons: Impact of fuel stations in residential areas. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. Article e25924. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25924>
16. Mäkkä K., Šiser A., Mariš L., Kampová K. Impact of filling stations: Assessing the risks and consequences of the release of hazardous substances. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(1), Article 22. <https://doi.org/10.3390/app14010022>
17. Heidari E. A., Sarkhosh M., Alidadi H., Najafpoor A. A., Esmaily H., Shamsara, E. Assessing VOC emissions from different gas stations: Impacts, variations, and modeling fluctuations of air pollutants. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article 16617. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67542-4>
18. Periago J. F., Prado C. Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Annals of Occupational Hygiene*. 2015. Vol. 49. P. 233–240. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh083>
19. Yu T.-K., Chang I.-C. Predicting potential soil and groundwater contamination risks from gas stations using three machine learning models (XGBoost, LightGBM, and Random Forest). *Process Safety and Environmental Protection*. 2025. Vol. 199. Article 107249. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107249>
20. Hsieh P. Y., Shearston J. A., Hilpert M. Benzene emissions from gas station clusters: a new framework for estimating lifetime cancer risk. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2021. Vol. 19. P. 273–283. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00601-w>
21. Kumari P., Garg G., Soni D., Aggarwal S. G. Measurement of benzene and other volatile organic compounds: implications for its inhalation health risk associated with the workers at a fuel station in Delhi. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 2023. Vol. 17(7). P. 1–11. <https://doi.org/10.1007/s44273-023-00007-8>
22. Anigilaje E. A., Nasir Z. A., Walton C. Exposure to benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) at Nigeria's petrol stations: a review of current status, challenges and future directions. *Frontiers in Public Health*. 2024. Vol. 12. Article 1295758. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1295758>

23. Allahabady A., Yousefi Z., Mohammadpour T. R. A., Payandeh S. Z. Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) concentration at gas stations. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 2022. Vol. 9. P. 23–31. <https://doi.org/10.34172/EHEM.2022.04>
24. Ghahri A., Seydi P., Ranjbar A., Hatami H., Beheshti T., Seydi E. Evaluation of exposure to volatile organic compounds (BTEX) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in gas station workers and oxidative stress assessment in Karaj city. *Toxicology Reports*. 2024. Vol. 13. Article 101767. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101767>
25. Mendes T. M. C. Surveillance of occupational exposure to volatile organic compounds in gas stations – a scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health (MDPI)*. 2024. Vol. 21(5). Article 518 (2024). <https://doi.org/10.3390/ijerph21050518>
26. Збірник методик із розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах неорганізованих джерел забруднення атмосфери. ОАО «УкрНТЕК». Донецьк, 1994. 125 с.
27. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Український науковий центр технічної екології. Донецьк, 2004. Том I. 184 с.
28. Методика розрахунку втрат галузевого стандарту України «Гази вуглеводневі скраплені». м. Київ : Держнафтогазпром, 2000. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67172
29. Про затвердження Методичних рекомендацій «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря». Наказ МОЗ України від 18.10.2023 № 1811. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text>
30. Газопостачання. ДБН В.2.5-20:2018. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/DBN00074>

Отримано: 18.09.2025 / Переглянуто: 15.11.2025 / Прийнято: 21.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

O. A. KARAIM¹, PhD (Economic),

Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1722-4110>

O. A. BAKARAEV,

Founder

e-mail: Vepp@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6876-2840>

"VOLYNEKOPROMPROEKT" LLC

7 Gulaka-Artemovsky St., apt. 75, Lutsk, Volyn region, 43005, Ukraine

V. P. KARAIM¹,

PhD Student,

e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4053-8019>

Z. V. LAVRYNYUK¹, PhD (Chemistry),

Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1906-3330>

¹Lesya Ukrainka Volyn National University,
13 Voli Ave., Lutsk, Volyn region, 43025, Ukraine

GAS STATION EMISSIONS: RISK ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

Purpose. To carry out an inventory of pollutant emissions generated by the operation of a filling station and to assess the total non-carcinogenic risk in the context of ensuring sustainable development.

Methods. Experimental and analytical methods, as well as mathematical modeling and forecasting techniques.

Results. An analysis of atmospheric emissions from a filling station located in the Lutsk district of the Volyn region was conducted. The sources of pollutant formation at the facility include underground steel horizontal cylindrical tanks for gasoline and diesel fuel storage, double-sided fuel dispensers, above-ground steel tanks for liquefied petroleum gas, and a gas-filling dispenser. Maximum one-time and annual emissions were determined using instrumental measurements, analytical calculations, design data, and technological standards. According to the total annual volume of emissions, the facility belongs to the third category. The operation of the filling station results in the release of hydrogen sulfide, saturated hydrocarbons, benzene, xylene, toluene, propane, and butane into the atmospheric air. The calculated ground-level concentrations of pollutants, including

background pollution, at the boundary of the sanitary protection zone and residential areas do not exceed hygienic standards. The hazard index values for the four control points correspond to a warning level of total non-carcinogenic risk. The identified level of risk requires further monitoring and the implementation of emission-reduction measures, which is an essential prerequisite for ensuring sustainable development.

Conclusions. Pollutant concentrations at the boundary of the sanitary protection zone do not exceed regulatory limits. However, the warning level of total non-carcinogenic risk necessitates continued monitoring, assessment of potential health impacts, and the implementation of effective environmental protection measures. Reducing emissions is a critical condition for the safe operation of the filling station and for supporting the sustainable development of the surrounding area.

KEYWORDS: risk assessment, atmospheric air, pollution, emission, filling station, sustainable development

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the authors have fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Antropchenko, A. K., Rabomska, M. M., Chernyak, M. M., & Boichenko, S. V. (2016). Assessment of the potential toxic effect of hydrocarbon emissions from a typical gas station reservoir for urban population. *Oil and Gas Industry of Ukraine*, (2), 40–43. (in Ukrainian)
2. Busyhina, H. A., & Ivasenko, V. M. (2019). The trend of controlling emissions and the performance quality of gas stations. In *A Look into the Future of Instrument Engineering: Proceedings of the 12th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 252–254). Kyiv: Igor Sikorsky KPI. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28117> (in Ukrainian)
3. Zhelnovach, H. M., Prokopenko, N. V., & Zhelnovach, A. N. (2014). Analysis of environmental impacts and risks during the operation of gas stations. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, (67), 78–88. Retrieved from <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/caa5a8e9-02a7-410f-80f3-91089d90911b/content> (in Ukrainian)
4. Ivasenko, V. M., & Vynnychenko, T. O. (2017). Assessment of the impact of gas stations on the environment. *Bulletin of the National Technical University "KhPI." Series: Mechanical and Technological Systems and Complexes*, (16), 123–131. Retrieved from <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/102469> (in Ukrainian)
5. Karaim, O. A., Mylko, I. P., & Karaim, V. P. (2022). Formation of an environmental management system for enterprises in the context of restoring sustainable regional development. *Scientific Works of DonNTU. Series: Economic*, 2(26), 29–38. [https://doi.org/10.31474/1680-0044-2022-2\(26\)-29-38](https://doi.org/10.31474/1680-0044-2022-2(26)-29-38) (in Ukrainian)
6. Rabosh, I. O., Kofanova, O. V., & Pidhorniy, A. V. (2018). Assessment of the environmental condition of gas station areas located near highways. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute." Series: New Solutions in Modern Technologies*, (9), 236–242. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.09.34>
7. Chuhai, A. V. (2015). Assessment of the impact of gas station operation on the natural environment. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, (71), 97–101. Retrieved from <https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/3ea83d13-c315-4d63-b431-b431f9114a84> (in Ukrainian)
8. Hilpert, M., Rule, A. M., & Adria-Mora, B. (2018). Gas stations vent far more toxic fumes than previously thought. *Science of the Total Environment*, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.303>
9. Hilpert, M. (2023). Setbacks for gas stations in a world with regionally varying emissions factors and acceptable health risks. *Frontiers in Environmental Health*, 2, 1214376. <https://doi.org/10.3389/fenvh.2023.1214376>
10. Mäkkä, K., Kampová, K., Loveček, T., & Petřlová, K. (2021). Environmental risk assessment of filling stations using the principles of security management: A case study in the Slovak Republic. *Sustainability*, 13(22), 12452. <https://doi.org/10.3390/su132212452>
11. Nieminen, P. M. (2015). Environmental Protection Standards at Petrol Stations: A Comparative Study between Finland and Selected European Countries. *Tampere University of Technology*. Retrieved from <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-200810021073>
12. Robinson, H. K., Hasenmueller, E. A., & Chambers, L. G. (2017). Soil as a reservoir for road salt retention leading to its gradual release to groundwater. *Applied Geochemistry*, 83(SI), 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.01.018>
13. Zafar, M., Zaidi, S. T. H., Husain, S. S., & Bukhari, N. M. (2021). Risk assessment of ambient air pollutants and health impact around fuel stations in urban cities of KSA. *International Journal of Preventive Medicine*, 12(1), 91. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_331_19

14. Singh, P., Berawala, N., & Patil, Y. (2022). Automobile service station waste assessment and promising biological treatment alternatives: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 753. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10387-z>
15. Fei-Baffoe, B., Badu, E., Miezah, K., Adjiri Sackey, L. N., Sulemana, A., & Yahans Amuah, E. E. (2024). Contamination of groundwater by petroleum hydrocarbons: Impact of fuel stations in residential areas. *Heliyon*, 10, e25924. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25924>
16. Mäkkä, K., Šiser, A., Mariš, L., & Kampová, K. (2024). Impact of filling stations: Assessing the risks and consequences of the release of hazardous substances. *Applied Sciences*, 14(1), 22. <https://doi.org/10.3390/app14010022>
17. Heidari, E. A., Sarkhosh, M., Alidadi, H., Najafpoor, A. A., Esmaily, H., & Shamsara, E. (2024). Assessing VOC emissions from different gas stations: Impacts, variations, and modeling fluctuations of air pollutants. *Scientific Reports*, 14, 16617. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67542-4>
18. Periago, J. F., & Prado, C. (2015). Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Annals of Occupational Hygiene*, 49, 233–240. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh083>
19. Yu, T.-K., & Chang, I.-C. (2025). Predicting potential soil and groundwater contamination risks from gas stations using three machine learning models (XGBoost, LightGBM, and Random Forest). *Process Safety and Environmental Protection*, 199, 107249. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107249>
20. Hsieh, P. Y., Shearston, J. A., & Hilpert, M. (2021). Benzene emissions from gas station clusters: a new framework for estimating lifetime cancer risk. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19, 273–283. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00601-w>
21. Kumari, P., Garg, G., Soni, D., & Aggarwal, S. G. (2023). Measurement of benzene and other volatile organic compounds: implications for its inhalation health risk associated with the workers at a fuel station in Delhi. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 17(7), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s44273-023-00007-8>
22. Anigilaje, E. A., Nasir, Z. A., & Walton, C. (2024). Exposure to benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) at Nigeria's petrol stations: a review of current status, challenges and future directions. *Frontiers in Public Health*, 12, 1295758. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1295758>
23. Allahabady, A., Yousefi, Z., Mohammadpour, T. R. A., & Payandeh, S. Z. (2022). Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) concentration at gas stations. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 9, 23–31. <https://doi.org/10.34172/EHEM.2022.04>
24. Ghahri, A., Seydi, P., Ranjbar, A., Hatami, H., Beheshti, T., & Seydi, E. (2024). Evaluation of exposure to volatile organic compounds (BTEX) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in gas station workers and oxidative stress assessment in Karaj city. *Toxicology Reports*, 13, 101767. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101767>
25. Mendes, T. M. C., (2024). Surveillance of occupational exposure to volatile organic compounds in gas stations – a scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health (MDPI)*, 21(5), 518. <https://doi.org/10.3390/ijerph21050518>
26. Collection of Methods for Calculating the Content of Pollutants in Emissions from Unorganized Sources of Atmospheric Pollution. (1994). Donetsk: OAO "UkrNTEK". (in Ukrainian)
27. Collection of Emission Indicators (Specific Emissions) of Pollutants into the Atmosphere by Various Industries. (2004). Vol. 1. Donetsk: Ukrainian Scientific Center for Technical Ecology. (in Ukrainian)
28. Methodology for Calculating Losses of the Industry Standard of Ukraine "Liquefied Hydrocarbon Gases." (2000). Kyiv: Derzhnaftogazprom. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67172 (in Ukrainian)
29. Ministry of Health of Ukraine. (2023, October 18). Methodological recommendations "Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic risks to public health from chemical pollution of ambient air" (Order No. 1811). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text> (in Ukrainian)
30. Gas Supply. DBN V.2.5-20:2018. (2018). Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/DBN00074> (in Ukrainian)

Submission received: 18.09.2025 / Revised: 15.11.2025 / Accepted: 21.11. 2025 / Published: 30.12. 2025