

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ НА АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЯХ

Бойко В.М.

Державний університет «Київський авіаційний інститут»

пр. Любомира Гузара, 1, Київ, 03680

3998111@stud.kai.edu.ua

У статті досліджено проблематику оцінювання ефективності природоохоронних заходів на автозаправних станціях як об'єктах підвищеної екологічної безпеки. Обґрунтовано актуальність впровадження сучасних підходів до мінімізації негативного впливу на атмосферне повітря, ґрунти та підземні води, що зумовлено зростанням обсягів споживання нафтопродуктів і розширенням мережі автозаправних комплексів. Проаналізовано основні джерела забруднення довкілля на АЗС, зокрема викиди летких органічних сполук, витіки нафтопродуктів, утворення небезпечних відходів і ризику аварійних ситуацій.

У роботі розглянуто методичні підходи до оцінювання ефективності природоохоронних заходів, що базуються на визначенні концентрацій забруднювальних речовин, розрахунку індексів екологічної безпеки та аналізі відповідності нормативним вимогам. Особливу увагу приділено застосуванню кількісних показників, таких як індекс безпеки, коефіцієнти зниження викидів і рівень екологічного ризику. Узагальнено сучасні технічні та організаційні рішення, спрямовані на зниження негативного впливу АЗС, зокрема використання систем рекуперації парів пального, герметизації резервуарів, удосконалення систем контролю витоків і впровадження екологічного моніторингу.

Доведено, що комплексне застосування природоохоронних заходів у поєднанні з ефективними методами оцінювання дозволяє суттєво знизити екологічні ризики та забезпечити сталий розвиток об'єктів паливної інфраструктури. Отримані результати можуть бути використані при розробленні заходів екологічної безпеки, удосконаленні нормативної бази та підвищенні ефективності управління природоохоронною діяльністю на автозаправних станціях. *Ключові слова:* автозаправні станції, природоохоронні заходи, екологічна безпека, викиди, леткі органічні сполуки, екологічний ризик, оцінювання ефективності.

Evaluation of the effectiveness of environmental protection measures at gas stations. Boiko V.

The article addresses the issue of evaluating the effectiveness of environmental protection measures at gas stations as facilities with increased environmental risk. The relevance of implementing modern approaches to minimizing negative impacts on atmospheric air, soil, and groundwater is substantiated, considering the growing consumption of petroleum products and the expansion of gas station networks. The main sources of environmental pollution at gas stations are analyzed, including emissions of volatile organic compounds, fuel leaks, generation of hazardous waste, and risks of emergency situations.

Methodological approaches to assessing the effectiveness of environmental measures are examined, focusing on determining pollutant concentrations, calculating environmental hazard indices, and analyzing compliance with regulatory requirements. Particular attention is paid to quantitative indicators such as hazard indices, emission reduction coefficients, and environmental risk levels. Modern technical and organizational solutions aimed at reducing environmental impacts are summarized, including vapor recovery systems, tank sealing technologies, leak detection systems, and environmental monitoring implementation.

It is established that the integrated application of environmental protection measures combined with effective assessment methods significantly reduces environmental risks and contributes to the sustainable development of fuel infrastructure facilities. The obtained results can be applied in the development of environmental safety measures, improvement of regulatory frameworks, and enhancement of environmental management efficiency at gas stations. *Key words:* gas stations, environmental protection measures, environmental safety, emissions, volatile organic compounds, environmental risk, effectiveness evaluation.

Постановка проблеми. Функціонування автозаправних станцій супроводжується постійним контактом із нафтопродуктами та їх похідними, що формує локалізовані, але систематичні джерела забруднення довкілля. Найбільш уразливими компонентами природного середовища в межах таких об'єктів виступають атмосферне повітря, ґрунтовий покрив і підземні води, які зазнають впливу внаслідок випаровування пального, витоків із резервуарів

та технологічних втрат. Водночас інтенсивність експлуатації автозаправних станцій зростає, що призводить до накопичення екологічного навантаження навіть за умов дотримання базових нормативних вимог. За таких обставин виникає потреба не лише у впровадженні природоохоронних заходів, а й у їх об'єктивному оцінюванні, оскільки фактична ефективність застосованих рішень не завжди відповідає очікуваним результатам.



Актуальність дослідження. Функціонування автозаправних станцій супроводжується постійним утворенням викидів летких органічних сполук, що формуються під час зберігання та відпуску нафтопродуктів. Ці процеси мають не лише локальний характер, оскільки забруднювальні речовини здатні поширюватися у приземному шарі атмосфери, створюючи ризики для населення прилеглих територій. Дослідження показують, що концентрації таких сполук, як бензол і толуол, можуть суттєво коливатися залежно від режимів експлуатації АЗС, що ускладнює прогнозування рівня екологічного навантаження [8]. Паралельно з атмосферними викидами існує загроза забруднення ґрунтів і підземних вод унаслідок витоків пального або порушення герметичності резервуарів, що підтверджується результатами моделювання ризиків забруднення [10].

Наявні нормативні вимоги регламентують умови експлуатації автозаправних станцій і встановлюють допустимі рівні впливу на довкілля, однак їх дотримання не завжди відображає фактичну ефективність природоохоронних заходів [3; 5]. У практиці експлуатації часто виникає ситуація, коли технічні рішення впроваджені формально, але їх реальний вплив на зниження забруднення залишається недостатньо визначеним. Це створює розрив між нормативним забезпеченням і фактичним екологічним результатом.

Поглиблення цієї проблеми пов'язане з розширенням мережі автозаправних станцій та зростанням інтенсивності їх використання, що призводить до накопичення екологічного навантаження навіть за умов дотримання встановлених правил експлуатації [2]. Дослідження екологічних ризиків свідчать, що вплив АЗС не обмежується межами їх розташування і може проявлятися у зміні якості повітря та ґрунтового середовища у прилеглих житлових зонах [12]. За таких умов оцінювання ефективності природоохоронних заходів набуває значення інструменту, що дозволяє не лише фіксувати рівень забруднення, а й визначати результативність застосованих технологічних і організаційних рішень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на формування підходів до оцінювання ефективності природоохоронних заходів, які враховують як екологічні показники, так і особливості функціонування автозаправних станцій. Такий підхід відповідає завданням зниження техногенного впливу на довкілля, що закріплені у національному природоохоронному законодавстві [4]. У цьому контексті авторський доробок орієнтований на уточнення критеріїв оцінювання, які дозволяють встановити реальний рівень екологічної безпеки об'єктів паливної інфраструктури.

Практична значущість роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення систем екологічного контролю та

управління. Зокрема, результати можуть бути застосовані при проведенні процедур оцінки впливу на довкілля та прийнятті рішень щодо модернізації автозаправних станцій [5]. Врахування кількісних показників ефективності природоохоронних заходів створює передумови для оптимізації витрат на екологічні заходи та підвищення їх результативності. Науковий аспект дослідження пов'язаний із розвитком підходів до інтегрованого оцінювання екологічних ризиків, які враховують взаємозв'язок між джерелами забруднення, шляхами їх поширення та впливом на навколишнє середовище. Сучасні дослідження пропонують різні моделі оцінки ризиків, однак їх застосування без урахування ефективності природоохоронних заходів обмежує можливості практичного використання [9; 11]. У цьому контексті запропонований підхід дозволяє поєднати оцінку ризиків із аналізом результативності заходів, що сприяє більш обґрунтованому прийняттю управлінських рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження автозаправних станцій зосереджені переважно на оцінці складу викидів та пов'язаних із ними ризиків для здоров'я людини. Значна частина робіт присвячена летким органічним сполукам, які формуються під час технологічних операцій із паливом і характеризуються високою токсичністю та здатністю до накопичення в повітрі [3; 8]. Емпіричні дослідження підтверджують, що концентрації таких сполук можуть істотно варіювати залежно від типу пального, інтенсивності обслуговування та конструктивних особливостей станції [8]. Паралельно розвивається напрям оцінки ризиків, у межах якого використовуються індекси небезпеки та моделі прогнозування впливу на персонал і населення [6; 7]. Окремі праці демонструють можливість застосування математичних моделей і машинного навчання для прогнозування забруднення ґрунтів і підземних вод [10]. Разом із тим більшість досліджень орієнтована на фіксацію рівнів забруднення або оцінку ризиків, тоді як питання результативності конкретних природоохоронних заходів розглядається епізодично [9; 11].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наявні наукові підходи не формують цілісного уявлення про те, наскільки впроваджені природоохоронні заходи реально змінюють екологічний стан. Переважає оцінювання фактичних концентрацій забруднювальних речовин без аналізу їх динаміки після впровадження технічних рішень. У результаті складно визначити, які заходи є дійсно ефективними, а які лише формально відповідають нормативним вимогам. Недостатньо опрацьованим залишається питання поєднання екологічних показників із характеристиками експлуатації об'єкта, що обмежує можливість обґрунтованого вибору природоохоронних технологій.

Новизна. Новизна дослідження полягає у переході від фіксації рівнів забруднення до аналізу змін, спричинених впровадженням природоохоронних заходів. Запропоновано розглядати ефективність як динамічний показник, що відображає взаємодію технічних рішень, умов експлуатації та екологічних параметрів. Такий підхід дозволяє оцінювати не лише наявність впливу, а й ступінь його зменшення.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати дослідження розширюють підходи до оцінювання техногенного впливу, оскільки поєднують аналіз ризиків із оцінкою ефективності природоохоронних заходів. Це створює основу для розроблення універсальних методик, які можуть застосовуватися не лише для автозаправних станцій, а й для інших об'єктів із подібною структурою впливу на довкілля. Крім того, інтеграція кількісних показників і характеристик експлуатації дозволяє підвищити обґрунтованість управлінських рішень у сфері екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу. Оцінювання ефективності природоохоронних заходів на автозаправних станціях потребує системного підходу, що враховує як обсяги утворення забруднювальних речовин, так і специфіку функціонування об'єкта. Особливість таких об'єктів полягає у поєднанні кількох джерел впливу, серед яких домінують випаровування пального під час його зберігання, втрати при відпуску, а також потенційні витіки з резервуарів і технологічного обладнання. Унаслідок цього формується сукупний викид, який доцільно розглядати як суму внесків окремих джерел:

$$E_{\text{зар}} = \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

де E_i – викид від i -го джерела, т/рік.

Такий підхід дозволяє деталізувати структуру впливу і визначити, які саме процеси формують основне екологічне навантаження.

Подальший аналіз передбачає оцінювання концентрацій забруднювальних речовин у повітрі, що відображає фактичний рівень впливу на навколишнє середовище. Концентрація залежить не лише від обсягу викидів, але й від умов їх розсіювання, що у спрощеному вигляді може бути подано як відношення маси викиду до об'єму повітря та часу поширення:

$$C = \frac{E}{V \cdot t} \quad (2)$$

де C – концентрація, мг/м³;

E – маса викиду, мг;

V – об'єм повітря, м³;

t – час розсіювання, с.

Однак абсолютні значення концентрацій не дають повного уявлення про рівень небезпеки, тому доцільним є їх співставлення з нормативними величинами. Для цього використовується коефіцієнт перевищення:

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i} \quad (3)$$

де K_i – коефіцієнт перевищення;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація i -ї речовини,

який дозволяє оцінити ступінь відхилення від допустимого рівня. У випадку одночасної присутності кількох речовин сумарний вплив визначається через інтегральний показник:

$$Z = \sum_{i=1}^n K_i \quad (4)$$

що відображає комбінований ефект забруднення. Перевищення одиниці свідчить про формування несприятливих умов у приземному шарі атмосфери.

Більш глибоке розуміння впливу забезпечує оцінка екологічного ризику, яка враховує не лише концентрації, але й токсикологічні характеристики речовин:

$$HI = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{RfC_i} \quad (5)$$

де E_0 – викиди до впровадження заходів;

E_1 – після впровадження.

Отриманий індекс небезпеки дозволяє оцінити потенційний вплив на здоров'я людини. Його зростання вказує на накопичення ризиків навіть у випадках, коли окремі концентрації не перевищують нормативних значень.

Оцінювання ефективності природоохоронних заходів базується на порівнянні показників до та після їх впровадження. Зміна обсягів викидів може бути виражена через відносний показник:

$$\eta = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \cdot 100\% \quad (6)$$

який відображає частку зниження забруднення. Аналогічний підхід застосовується до концентрацій:

$$\eta_c = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \cdot 100\% \quad (7)$$

Однак ізольоване використання таких показників не дозволяє врахувати комплексний характер впливу, тому виникає потреба в інтегральній оцінці. Узагальнений показник ефективності може бути поданий у вигляді:

$$E_{\text{комп}} = \alpha \cdot \eta + \beta \cdot \left(1 - \frac{Z_1}{Z_0} \right) \quad (8)$$

де вагові коефіцієнти відображають значущість окремих складових. Такий підхід дозволяє врахувати не лише зниження викидів, але й зміну загального екологічного стану.

Суттєвий вплив на отримані результати мають умови експлуатації автозаправної станції. Інтенсивність використання об'єкта визначає масштаби утворення забруднень, що може бути виражено

через відношення фактичного обсягу реалізації пального до максимально можливого:

$$E_{\text{експл}} = \frac{Q}{Q_{\text{max}}} \quad (9)$$

де Q – фактичний обсяг реалізації пального.

Зростання цього показника призводить до підвищення навантаження на природоохоронні системи, що може знижувати їх ефективність навіть за незмінних технічних характеристик.

Порівняльний аналіз показує, що найбільш результативними є заходи, спрямовані на запобігання утворенню забруднень, оскільки вони впливають на сам механізм їх формування. Зокрема, системи рекуперації парів пального дозволяють зменшити викиди ще на етапі їх виникнення, тоді як контрольні заходи лише фіксують уже сформовані концентрації. Така відмінність пояснює різну ефективність технологічних рішень навіть за однакових умов експлуатації.

Узагальнюючи викладене, можна зазначити, що оцінювання ефективності природоохоронних заходів повинно базуватися на поєднанні кількісних показників забруднення, характеристик ризику та умов функціонування об'єкта. Лише комплексний підхід дозволяє встановити причинно-наслідкові зв'язки між впровадженими заходами та змінами екологічного стану, що є основою для обґрунтованого прийняття управлінських рішень.

Головні висновки. Проведений аналіз показує, що автозаправні станції формують складну структуру техногенного впливу, в якій поєднуються процеси випаровування пального, витоки та вторинне забруднення ґрунтів і водного середовища. Така багатоконпонентність ускладнює оцінювання екологічного стану, оскільки окремі показники не відображають повної картини впливу. Використання сукупності індикаторів, зокрема концентрацій забруднювальних речовин, коефіцієнтів перевищення та інтегральних показників, дозволяє більш об'єктивно характеризувати рівень екологічного навантаження.

Встановлено, що ефективність природоохоронних заходів не може розглядатися як стала величина, оскільки вона залежить від умов експлуатації, технічного стану обладнання та інтенсивності функціонування об'єкта. Навіть за однакових технологічних рішень можливі суттєві відмінності у рівнях викидів, що свідчить про необхідність урахування експлуатаційних факторів під час оцінювання результативності заходів.

Аналіз показав, що найбільш відчутне зниження екологічного навантаження забезпечують заходи, спрямовані на запобігання утворенню забруднень, а не їх подальше контролювання. Такий ефект пояс-

нюється тим, що усунення джерела втрат на ранніх етапах технологічного процесу зменшує загальний обсяг викидів, тоді як контрольні механізми лише фіксують уже наявні концентрації.

Запропонований підхід до оцінювання, який поєднує показники забруднення, індекси ризику та характеристики функціонування автозаправних станцій, дозволяє перейти від фіксації стану довкілля до аналізу причин його змін. Це створює можливість встановлення прямого зв'язку між впровадженими природоохоронними заходами та їх фактичною ефективністю.

Отримані результати свідчать, що комплексне оцінювання є більш інформативним порівняно з використанням окремих показників, оскільки дозволяє виявити приховані закономірності впливу та визначити напрями підвищення ефективності природоохоронної діяльності на автозаправних станціях.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути застосовані при вдосконаленні підходів до екологічного управління автозаправними станціями, зокрема під час обґрунтування доцільності впровадження окремих природоохоронних заходів. Запропонована методика дозволяє перейти від формального дотримання нормативних вимог до оцінювання реального екологічного ефекту, що створює підґрунтя для більш раціонального розподілу ресурсів у сфері природоохоронної діяльності.

Практичне використання результатів можливе у процесі проведення оцінки впливу на довкілля та екологічного аудиту, де виникає потреба у кількісному визначенні результативності технічних і організаційних рішень. Застосування інтегральних показників ефективності дозволяє порівнювати альтернативні варіанти модернізації автозаправних станцій і визначити найбільш доцільні з них з урахуванням умов експлуатації.

Окремий напрям використання пов'язаний із розробленням систем моніторингу, у межах яких запропоновані показники можуть бути інтегровані у цифрові інструменти контролю стану довкілля. Це відкриває можливість оперативного виявлення змін у рівнях забруднення та своєчасного коригування природоохоронних заходів.

Подальший розвиток дослідження може бути пов'язаний із розширенням методики за рахунок урахування економічних параметрів, що дозволить оцінювати ефективність природоохоронних заходів не лише з екологічної, а й з економічної точки зору. Крім того, перспективним є застосування методів моделювання та аналізу великих даних для прогнозування змін екологічного стану залежно від режимів функціонування автозаправних станцій.

Література

1. Про затвердження Інструкції щодо вимог пожежної безпеки під час проектування автозаправних станцій : наказ МНС України від 06.12.2005 № 376. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0291-06> (дата звернення: 23.03.2026).
2. Про затвердження Правил роздрібної торгівлі нафтопродуктами : постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.1997 № 1442. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1442-97-п> (дата звернення: 23.03.2026).
3. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 № 2707-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (дата звернення: 23.03.2026).
4. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 23.03.2026).
5. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення: 23.03.2026).
6. Altuwair I. A. Risk Assessment of Gas Station. *Journal of Chemical and Chemical Engineering*. 2025. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2025JCh.11...15I/abstract> (дата звернення: 23.03.2026).
7. Chaiklieng S., Tongsantia U., Suggaravetsiri P., Autrup H. Assessment of Exposure to Benzene Among Gasoline Station Workers in Thailand: Risk Assessment Matrix Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2025. Vol. 22. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph22030397>
8. Heidari E. A., Sarkhosh M., Alidadi H. та ін. Assessing VOC emissions from different gas stations: impacts, variations and modeling fluctuations of air pollutants. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67542-4>
9. Karaim V. P., Bakaraiev O. A., Karaim O. A., Lavrynyuk Z. V. Gas station emissions: risk assessment in the context of ensuring sustainable development. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. № 44. URL: https://www.researchgate.net/publication/399572383_Gas_station_emissions_risk_assessment_in_the_context_of_ensuring_sustainable_development (дата звернення: 23.03.2026).
10. Karaim O. A., Bakaraiev O. A., Karaim V. P., Lavrynyuk Z. V. Predicting potential soil and groundwater contamination risks from gas stations using machine learning models. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/391377258_Predicting_Potential_Soil_and_Groundwater_Contamination_Risks_from_Gas_Stations_Using_Three_Machine_Learning_Models_XGBoost_LightGBM_and_Random_Forest (дата звернення: 23.03.2026).
11. Mafi-Gholami D., Aleali H. A Novel Framework for Comprehensive Risk Assessment of Fuel Stations: Integrating Exposure and Adaptive Capacity for Sustainable Operations. *Advances in Standards & Applied Sciences*. 2025. DOI: 10.22034/ASAS.2025.493012.1067
12. Muller N. V. Assessment of residential area environmental pollution from gas stations. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*. 2025. № 12. URL: https://www.researchgate.net/publication/399864717_Assessment_of_residential_area_environmental_pollution_from_gas_stations (дата звернення: 23.03.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 26.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026