

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-10>

УДК (UDC): 502.3:625.765]: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 ТОВ
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: lavyrnyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1906-3330>

В. С. АНТОНЮК¹,
магістр
e-mail: Antoniuk.Vadym2024@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9462-805X>
¹Волинський національний університет імені Лесі Українки,
просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., 43025, Україна

ОЦІНКА ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

Мета. Визначення складу та обсягів викидів забруднюючих речовин, що утворюються в процесі виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття та моделювання їх розсіювання в атмосферному повітрі

Методи. Експериментальні, аналітичні, моделювання та прогнозування.

Результати. Визначено, що джерелами утворення забруднюючих речовин є дозуючі бункери, стрічковий конвеєр, цистерна для нагріву бітуму, теплогенератор, наземні резервуари для зберігання палива та сушильна установка. Максимально разові та валові викиди в атмосферу визначалися на основі інструментальних вимірювань та аналітичних розрахунків. В атмосферне повітря потрапляють суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом, вуглеводні граничні C₁₂-C₁₉, пропан, бутан, бензол, сірководень, вуглецю оксид, азоту діоксид, сірки діоксид. Приземні концентрації забруднюючих речовин, з урахуванням фонових забруднень, на межі санітарно-захисної зони не перевищують гігієнічних нормативів. Проте, приземні концентрації суспендованих твердих частинок недиференційовані за складом наближаються до гранично допустимих значень. Це формує підвищений ризик погіршення якості повітря в межах санітарно-захисної зони та може негативно впливати на стан екосистем і умов перебування населення. Небезпечними залишаються малотоннажні, проте високотоксичні речовини – бенз(а)пірен, бензол і сірководень. Навіть за низьких концентрацій вони здатні спричинити хронічний канцерогенний вплив. Їх наявність відображає складність процесів утворення атмосферних викидів і підкреслює потребу в системному моніторингу цих компонентів.

Висновки. Виробництво асфальтобетонного дорожнього покриття формує комплексний вплив на атмосферне повітря, де переважають пилові та органічні забруднення. Найбільш критичними є значення суспендованих твердих частинок недиференційовані за складом та граничних вуглеводнів, тоді як низькотоннажні токсичні компоненти формують додаткові довгострокові ризики. Отримані характеристики концентрацій є підґрунтям для подальшого моделювання розсіювання викидів, визначення зон максимального впливу та розроблення природоохоронних заходів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *атмосферне повітря, оцінка, вплив на довкілля, забруднюючі речовини, викиди, асфальтобетонне дорожнє покриття*

© Караїм О. А., Бакараєв О. А., Караїм В. П., Лавринюк З. В., Антонюк В. С., 2025



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Як цитувати: Караїм О. А., Бакараєв О. А., Караїм В. П., Лавринюк З. В., Антонюк В. С. Оцінка викидів забруднюючих речовин та моделювання їх впливу на якість атмосферного повітря при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 33. С. 137-152. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-10>

In cites: Karaim, O. A., Bakaraiev, O. A., Karaim, V. P., Lavrynyuk, Z. V., Antoniuk, V. S. (2025). Assessment of pollutant emissions and modeling their impact on ambient air quality during asphalt concrete pavement production. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (33), 137-152. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-33-10> (in Ukrainian)

Вступ

Сучасний етап розвитку дорожньо-будівельної галузі характеризується зростанням обсягів виробництва асфальтобетонних покриттів, що в свою чергу, супроводжується техногенним навантаженням на довкілля. Під час виготовлення асфальтобетонних сумішей в атмосферу потрапляють оксиди азоту, сірки, вуглецю, леткі органічні сполуки та дрібнодисперсний пил, які зумовлюють погіршення якості повітря й формують потенційні ризики для здоров'я населення, особливо у зонах, прилеглих до виробничих майданчиків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемам забруднення атмосферного повітря при виробництві асфальтобетонних дорожніх покриттів присвятили свої роботи низка українських та зарубіжних вчених. Зокрема, дослідження авторів [1] акцентують увагу на комплексній екологічній оцінці взаємодії системи «автомобіль–дорога–середовище» з об'єктами довкілля, що дозволяє виявити основні джерела негативного впливу транспортно-дорожнього комплексу на якість атмосферного повітря, ґрунтів і водних ресурсів. Науковці [2] зосередили увагу на оцінюванні екологічних ризиків, пов'язаних із процесами виготовлення асфальтобетону, вказуючи на шкідливість газопилових викидів та на потребу оптимізації технологічних режимів для зменшення обсягів забруднення. У праці [3] удосконалили підходи до оцінювання екологічного стану довкілля за допомогою комп'ютерного моделювання, що підвищує точність визначення зон найбільшого техногенного навантаження. Вчені [4] дослідили особливості екологічного менеджменту підприємств, зокрема можливості його застосування для підвищення ефективності системи контролю забруднень на промислових підприємствах.

У закордонних дослідженнях велика увага приділяється аналізу життєвого циклу (Life Cycle Assessment) дорожніх матеріалів як інструменту визначення екологічних ризи-

ків. Зокрема, у роботах [5; 6] проведено порівняльні оцінки впливу на довкілля гарячих, теплих і перероблених асфальтобетонних сумішей. Результати доводять, що використання вторинних матеріалів і технологій warm-mix asphalt сприяє істотному скороченню енергоспоживання та викидів парникових газів.

Аналіз [7; 8] підтверджує, що перехід до екологічно чистих технологій дорожнього будівництва має не лише природоохоронний, а й економічний ефект за рахунок зниження вартості життєвого циклу матеріалів. На важливості оцінювання життєвого циклу і використання вторинних та відновлюваних матеріалів наголошено в працях [9; 10; 11].

Праці [12; 13; 14; 15] присвячені енергоспоживанню та напрямкам досягнення сталості. Вченими проаналізовано сучасні тенденції зменшення парникових газів та потенціал екологічно безпечних технологій.

У публікаціях [16; 17] розглянуто питання вуглецевого сліду виробництва асфальтобетонного покриття на різних етапах – від видобутку сировини до експлуатації доріг. Доведено, що саме стадія виготовлення асфальтобетону є найбільш енергоємною та характеризується високими викидами CO₂.

Дослідження [18] розширює цю тематику у напрямку використання переробленого бетону для дорожнього покриття, враховуючи процеси поглинання вуглецю.

Окрему групу становлять праці, присвячені санітарно-гігієнічним аспектам впливу асфальтобетонного виробництва. Так, у дослідженні [19; 20; 21; 22; 23] описано гострі та хронічні наслідки впливу парів бітуму та органічних сполук на працівників дорожньої галузі, що обґрунтовує необхідність упровадження сучасних систем очищення повітря та вентиляції. Науковцями запропоновано «чистішу» технологію виробництва асфальту шляхом додавання фенольних сполук, що пригнічують утворення токсичних парів.

Міжнародні нормативи [24; 25] встановлюють методологічні основи проведення оцінювання життєвого циклу будівельних матеріалів та розроблення екологічних декларацій продукції, а сучасні моделі атмосферного розсіювання забруднюючих речовин [26; 27] дають змогу прогнозувати рівень забруднення повітря в зонах впливу промислових підприємств.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Недостатня кількість комплексних досліджень, що поєднують інструментальні вимірювання, інвентаризацію викидів та моделювання їх розповсюдження,

ускладнює об'єктивну оцінку екологічного впливу асфальтобетонного виробництва. Це знижує можливість прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо мінімізації забруднення та забезпечення екологічної безпеки виробничих територій. Тому виникає потреба в удосконаленні підходів до кількісної оцінки атмосферних викидів і прогнозування їх впливу на якість атмосферного повітря.

Метою є визначення складу та обсягів викидів забруднюючих речовин, що утворюються в процесі виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття та моделювання їх розсіювання в атмосферному повітрі.

Об'єкти та методи дослідження

Джерелами утворення забруднюючих речовин на виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття, що досліджується, є: дозуючий бункер для відсіву (джерела 1, 2), дозуючий бункер для щебеню (джерела 3, 4, 5), стрічковий конвеєр (джерело 6), цистерна для нагрівання бітуму (джерело 7), теплогенератор (джерело 8), наземний резервуар для зберігання дизельного палива (джерело 9), сушильний барабан асфальто-змішувальної установки (джерело 10), резервуар для зберігання газу (джерело 11), площадка для зберігання інертних матеріалів – щебеню та відсіву (джерело 12).

Проведення дослідження здійснюється відповідно до [28]. Інструментально-лабораторні вимірювання концентрацій забруднюючих речовин виконуються за умов номінального технологічного навантаження із дотриманням вимог нормативно-методичних документів [29; 30]. Наведений підхід поєднує лабораторні вимірювання з теоретичними розрахунками, що дозволяє комплексно оцінити екологічну небезпеку викидів та розробити ефективні заходи для її мінімізації. Методи визначення показників концентрацій і методики визначення величин викидів представлені в табл. 1.

Визначення величин викидів розрахунковим методом здійснено згідно [31; 32; 36].

Розрахунок концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

виконувався програмним комплексом ЕОЛ+. Пошук несприятливих швидкостей вітру здійснювався програмою автоматично виходячи із заданих швидкостей.

Для визначення необхідності проведення розрахунків розсіювання викидів шкідливих речовин в атмосферу, необхідно перевірити рівність:

$$\begin{aligned} M/GDK > \Phi \text{ при } \Phi = 0,1 \text{ при } H < 10 \text{ м;} \\ \Phi = 0,01H \text{ при } H > 10 \text{ м,} \end{aligned}$$

де: М – сумарне значення викиду всіх джерел підприємства, г/с;

ГДК – максимально разова гранично-допустима концентрація, мг/м³;

Н – середньозважена за підприємством висота джерел викиду, м. Сумарні результати представлено в табл. 2.

На основі результатів проведених розрахунків встановлено доцільність моделювання процесів атмосферного розсіювання для таких забруднювальних компонентів: оксидів азоту, діоксиду сірки, одоранту СПМ, насичених вуглеводнів та речовин, присутніх у вигляді твердих суспендованих частинок.

Водночас, моделювання розсіювання для інших забруднювальних речовин не є обґрунтованим, оскільки їх приземні концентрації в атмосферному повітрі не перевищують 5 % від встановлених гранично допустимих концентрацій (0,05 ГДК).

Таблиця 1

Методи визначення показників концентрацій
і методики визначення величин викидів*

Table 1

Methods for determining concentration indicators
and techniques for calculating emission values

№ з/п	Забруднююча речовина	Метод визначення показників концентрації	Методика визначення величин викидів
1	Азоту оксиди (у перерахунку на діоксид)	Газоаналізатор	Інструкція з експлуатації ОКЦИ-5М-5Н
2	Сірки діоксид	Газоаналізатор	Інструкція з експлуатації ОКЦИ-5М-5Н
3	Сірководень	-	розрахунково
4	Вуглецю оксид	Газоаналізатор	Інструкція з експлуатації ОКЦИ-5М-5Н
5	Бутан	-	розрахунково
6	Бензол	-	розрахунково
7	Вуглеводні граничні C ₁₂ -C ₁₉	-	розрахунково
8	Суспендовані твердих частинок	Гравіметричний	МВВ № 081/12-0161-05
		-	розрахунково
9	Пропан	-	розрахунково
10	Діоксид вуглецю	-	розрахунково
11	Оксид діазоту	-	розрахунково
12	НМЛОС	-	розрахунково

*Джерело: [28; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36].

Таблиця 2

Доцільність проведення розрахунків розсіювання
викидів шкідливих речовин в атмосферу

Table 2

The feasibility of performing calculations
of pollutant dispersion in the atmosphere

№ з/п	Найменування речовини	ГДК, ОБРВ, мг/м ³	М, г/с	Н	М/ГДК	Ф	Доцільність, так/ні
1	Азоту діоксид	0,2	0,12	9,2	0,60	0,1	так
2	Сажа	0,15	0,011	9,2	0,073	0,1	ні
3	Сірки діоксид	0,5	0,26	9,2	0,52	0,1	так
4	Сірководень	0,008	4,3·10 ⁻⁸	2,4	5,4·10 ⁻⁶	0,1	ні
5	Вуглецю оксид	5	0,63	9,2	0,13	0,1	ні
6	Бутан	200	0,79	2	0,004	0,1	ні
7	Бензол	1,5	2,3·10 ⁻⁸	2,4	1,5·10 ⁻⁸	0,1	ні
8	Бенз(а)пірен	0,0001	8,5·10 ⁻⁶	9,2	0,085	0,1	ні
9	Одорант СПМ	5·10 ⁻⁵	2,6·10 ⁻⁵	2	0,52	0,1	так
10	Вуглеводні граничні	1	0,43	2,2	0,43	0,1	так
11	Речов. у вигл. сусп. тверд. част.	0,5	2,93	3,75	5,86	0,1	так
12	Пропан	65	1,19	2	0,018	0,1	ні

Результати та обговорення

Асфальтобетон – це композиційний матеріал, що складається з мінеральних компонентів та органічного в'язучого, яким є бітум. Мінеральна частина включає гравій, пісок і мінеральний порошок, співвідношення яких визначається типом асфальтобетонної суміші. Для нижніх шарів дорожнього полотна характерний підвищений вміст гравію, що забезпечує необхідну міцність конструкції, тоді як у верхніх шарах переважають пісок і мінеральний порошок, завдяки чому формується рівна та зносостійка поверхня [2].

Асфальтобетонні суміші широко застосовуються в дорожньому та аеродромному будівництві, а також під час облаштування різноманітних майданчиків. Окрім цього, їх використовують як основу для зведення промислових об'єктів, а також як ізоляційний матеріал у гідротехнічному, електротехнічному та покриттєвому будівництві.

Асфальтобетонний завод розташований в Ківерцівському районі, Волинської області. Географічні координати центральної промислового майданчика: 50°49'52" Пн. ш., 25°28'59" Сх. д. Виробництво займає земельну ділянку площею 1,6 га поблизу магістральної дороги, що забезпечує безпосереднє транспортування сировини та готової асфальтобетонної суміші до об'єктів ремонту з мінімальними логістичними витратами. Промисловий майданчик межує: на півночі – з лісом і житловою забудовою; на північному сході – з лісовими насадженнями та автомобільною дорогою; на сході – з лісом і автошляхом; на південному сході – з лісом і дорогою; на півдні – з лісом, іншим промисловим підприємством та залізничною колією; на південному заході – з промисловою зоною іншого підприємства; на заході – з лісом і недиючою промисловою територією; на північному заході – з лісом і житловою забудовою. На підприємстві здійснюється виробництво асфальтобетону фактичною потужністю – 30 т/год. У виробничому процесі задіяні такі об'єкти та установки: прохідна, побутові приміщення, вагова, комплектна трансформаторна підстанція, стоянка автотранспорту, операторська, мобільна асфальтозмішувальна установка контейнерного типу CSD 1500, теплогенератор, дві цистерни для нагріву бітуму об'ємом 50 м³ і 26 м³, наземні резервуари для зберігання дизельного палива та скрапленого вуглеводневого газу (по 50 м³ кожен), а

також майданчики для зберігання інертних матеріалів (щебеню та відсіву). Сушильна установка, до складу якої входять сушильний, змішувальний і подрібнювальний агрегати з дизельним пальником, обладнана рукавним фільтром Nomex 400, що забезпечує ефективність очищення повітря понад 95 %.

Підприємство функціонує 210 днів на рік, загальний річний фонд робочого часу становить 1680 годин. Виробничий процес обслуговують 10 працівників.

Джерела утворення забруднюючих речовин у процесі роботи асфальтобетонного заводу пов'язані з кількома етапами технологічного циклу, зокрема з виробництвом асфальтобетонної суміші, нагріванням бітуму до робочої температури, зберіганням і транспортуванням інертних матеріалів (щебеню, відсіву), зберіганням палива в резервуарах, а також зі спалюванням палива під час теплових процесів.

Представимо результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Під час використання джерел 1, 2 – дозуючих бункерів для відсіву з витратою сировини 15000 т/рік для кожного, джерела 3 – дозуючого бункеру для щебеню з витратою сировини 7000 т/рік, джерел 4,5 – дозуючих бункерів для щебеню з витратою сировини 6500 т/рік, та джерела 6 – стрічкового конвеєра у повітря потрапляють суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом. Максимально разові (q_m) та валові (M^{BAL}) викиди яких подано в табл. 4.

При функціонуванні джерела 7 – цистерни для нагрівання бітуму об'ємом 26 м³ в атмосферу виділяються вуглеводні граничні C₁₂–C₁₉ (табл. 5).

При роботі джерела 8 – теплогенератора з витратою палива 4 т/рік забруднюючими речовинами є азоту оксиди, вуглецю оксид, сірки діоксид, бенз(а)пірен та суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом. Результати розрахунків їх максимально разових та валових викидів представлено в табл. 6.

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин – сірководню, бензолу та вуглеводнів нвсичених C₁₂–C₁₉, які виділятимуться з джерела 9 – наземного резервуару для зберігання дизельного палива ємністю 2 м³ при річному об'ємі 324,7 м³/р подано в табл. 7.

Таблиця 4

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин з джерел 1–6

Table 4

Maximum single and total emissions of pollutants from sources 1–6

Джерело	Забруднююча речовина	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с
1, 2	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	0,0020	0,00033
3	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	0,00048	$7,9 \cdot 10^{-5}$
4,5	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	0,00044	$7,3 \cdot 10^{-5}$
6	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	2,12	0,35

Таблиця 5

Максимально-разовий та валовий викид забруднюючих речовин з джерела 7

Table 5

Maximum single and total emission of pollutants from source 7

№ з/п	Забруднююча речовина	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с
1	Вуглеводні граничні $C_{12}-C_{19}$	0,14	0,43

Таблиця 6

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин з джерела 8

Table 6

Maximum single and total emissions of pollutants from source 8

№ з/п	Найменування речовини	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с
1	Азоту оксиди (у перерахунку на діоксид)	0,010	0,0017
2	Вуглецю оксид	0,055	0,0091
3	Сірки діоксид	0,024	0,0040
4	Бенз(а)пірен	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
5	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	0,0010	0,00017

Таблиця 7

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин з джерела 9

Table 7

Maximum single and total emissions of pollutants from source 9

№ з/п	Найменування речовини	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с
1	Сірководень	$7,8 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-8}$
2	Бензол	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$
3	Вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$	0,00028	$1,5 \cdot 10^{-5}$

При роботі джерела 10 – сушильного барабану асфальтозмішувальної установки, утворення викидів відбувається в сушильному, подрібнювальному та змішувальному агрегатах, при цьому в атмосферу потрапляють азоту оксиди, вуглецю оксид, сірки діоксид, бенз(а)пірен, суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом, а та-

кож парникові гази: метан, діоксид вуглецю, оксид діазоту, НМЛЮС. Величини їх максимально-разових та валових викидів при ефективності очистки 95 % подано в табл. 8.

Загальні викиди забруднюючих речовин при використанні джерела 11 – резервуару для зберігання газу, об'ємом 50 м^3 з максимальним заповненням – 85 % та відсотковим співвідношенням пропану – 60 %, бутану –

40 %, враховуючи природні втрати газу під час зберігання представлено в табл. 9.

Забруднюючими речовинами джерела 12 – *площадки для зберігання інертних матеріалів* щебеню та відсіву є суспендовані тверді частинки недиференційовані за скла

дом, валовий та максимально-разовий викиди яких представлено в табл. 10.

Узагальнені результати викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря досліджуваним виробництвом асфальтобетонного дорожнього покриття представлено в табл. 11.

Таблиця 8

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин з джерела 10

Table 8

Maximum single and total emissions of pollutants from source 10

№ з/п	Найменування речовини	$M^{вал.}$, т/рік	q_m , г/с
1	Азоту оксиди (у перерахунку на діоксид)	0,70	0,12
2	Вуглецю оксид	3,72	0,62
3	Сірки діоксид	1,60	0,26
4	Бенз(а)пірен	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
5	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	12,98	2,15
Парникові гази			
6	Метан	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
7	Діоксид вуглецю	0,78	0,13
8	Оксид діазоту	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$
9	НМЛОС	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 9

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин з джерела 11

Table 9

Maximum single and total emissions of pollutants from source 11

№ з/п	Найменування речовини	$M^{вал.}$, т/рік	q_m , г/с
1	Пропан	1,11	1,19
2	Бутан	0,73	0,79
3	Викид одоранту	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 10

Викиди забруднюючих речовин при зберіганні й переміщенні відсіву та щебню

Table 10

Emissions of pollutants during the storage and transportation of screenings and crushed stone

№ з/п	Найменування речовини	$M^{вал.}$, т/рік	q_m , г/с
1	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	9,63	0,43

Таблиця 11

Сумарні обсяги викидів забруднюючих речовин при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття

Table 11

Total volumes of pollutant emissions during asphalt concrete pavement production

№ з/п	Найменування речовини	Викид речовин, т/рік	№ з/п	Найменування речовини	Викид речовин, т/рік
1	Азоту діоксид	0,71	9	Бенз(а)пірен	$5,1 \cdot 10^{-5}$
2	Сажа	0,069	10	Одорант СПМ	$2,4 \cdot 10^{-5}$
3	Сірки діоксид	1,62	11	Вуглеводні граничні $C_{12}-C_{19}$	0,14
4	Сірководень	$7,8 \cdot 10^{-7}$	12	Суспенд. тв. част. недиф.	24,74
5	Вуглецю оксид	3,78	13	Пропан	1,11
6	Бутан	0,73	14	Діоксид вуглецю	0,78
7	Метан	$1,3 \cdot 10^{-5}$	15	Оксид діазоту	$1,3 \cdot 10^{-6}$
8	Бензол	$4,2 \cdot 10^{-7}$	16	НМЛОС	$6,6 \cdot 10^{-5}$

Узагальнені результати засвідчують, що процес виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття супроводжується утворенням широкого спектра забруднювачів. Найбільший обсяг емісій припадає на суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом, маса яких становить 24,74 т/рік (табл. 11). Зокрема 22,61 т/рік, що становить 91,4 % усього обсягу твердих частинок на підприємстві є викидами джерела 10 сушильного барабану асфальтозмішувальної установки – 12,98 т/рік (табл. 8) та джерела 12 площадки для зберігання інертних матеріалів щебеню та відсіву – 9,63 т/рік (табл. 10). Такий розподіл підтверджує характерну для асфальтобетонного виробництва природу забруднення, зумовлену сушінням мінеральних матеріалів, транспортуванням та дозуванням компонентів суміші та вказує на першочергову необхідність спрямування природоохоронних заходів на зменшення цих викидів [37].

Значний внесок у загальну емісію також формують оксид вуглецю 3,78 т/рік та діоксид сірки 1,62 т/рік (табл. 11), при цьому 98,4 % 3,72 т/рік оксиду вуглецю та 98,8 % 1,6 т/рік діоксиду сірки генеруються джерелом 10 сушильним барабаном асфальтозмішувальної установки (табл. 8).

До групи забруднювачів із помірним рівнем утворення належать бутан (0,73 т/рік), діоксид азоту (0,71 т/рік), діоксид вуглецю (0,78 т/рік) та вуглеводні граничні C₁₂–C₁₉ (0,14 т/рік) (табл. 11). Їх концентрації відображають використання паливно-енергетичних ресурсів у технологічному циклі, а також випаровування органічних сполук із бітумних матеріалів. Викиди пропану (1,11 т/рік), хоча й нижчі за тверді частинки та оксид вуглецю, характеризують можливі втрати паливних газів під час роботи пальникового обладнання.

Значно нижчими є викиди малотоннажних, але токсикологічно значущих речовин. Серед них: сажа – 0,069 т/рік, неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС) – $6,6 \cdot 10^{-5}$ т/рік, одорант СПМ – $2,4 \cdot 10^{-5}$ т/рік, метан – $1,3 \cdot 10^{-5}$ т/рік. Викиди бензолу ($4,2 \cdot 10^{-7}$ т/рік), оксиду діазоту ($1,3 \cdot 10^{-6}$ т/рік) та сірководню ($7,8 \cdot 10^{-7}$ т/рік) мають малі значення, однак з екологічної точки зору ці сполуки є потенційно небезпечними навіть у низьких концентраціях, що потребує їх контролю через високий клас токсичності.

Важливо зазначити, щодо бенз(а)пірену, хоч його маса становить лише $5,1 \cdot 10^{-5}$ т/рік, він належить до 1 класу небезпеки та є особливо небезпечним канцерогеном, притаманним процесам термічного розкладу бітуму. Його наявність у спектрі емісій підтверджує необхідність безперервного екологічного моніторингу технологічних операцій із нагрівання компонентів.

Що стосується концентрацій забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони, то оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря здійснювалася за даними результатів розрахунків розсіювання. Максимальні сумарні з фоном концентрації забруднюючих речовин на межі СЗЗ наведено в табл. 12.

Схему моделювання розрахунку приземної концентрації сірки діоксиду 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.

Отже, з урахуванням фонових показників забруднення, концентрації шкідливих речовин у приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони не перевищують установлених гігієнічних нормативів. Однак, необхідно звернути увагу, що найбільша частка від ГДК з урахуванням фону встановлена для суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом, яка сягає 0,97 при максимальній концентрації 0,49 мг/м³ (табл. 12). Це свідчить про те, що пилові забруднення залишаються ключовим чинником погіршення якості атмосферного повітря, формуючи найбільш ризикову ситуацію в межах санітарно-захисної зони. Високе значення частки ГДК відображає інтенсивність пилових процесів, характерних для технологічних операцій сушіння та транспортування мінеральних матеріалів.

Досить високі значення часток ГДК також характерні для вуглеводнів граничних C₁₂–C₁₉ (0,55), максимальна концентрація яких становить 0,55 мг/м³, що вказує на значний внесок органічних сполук, утворених

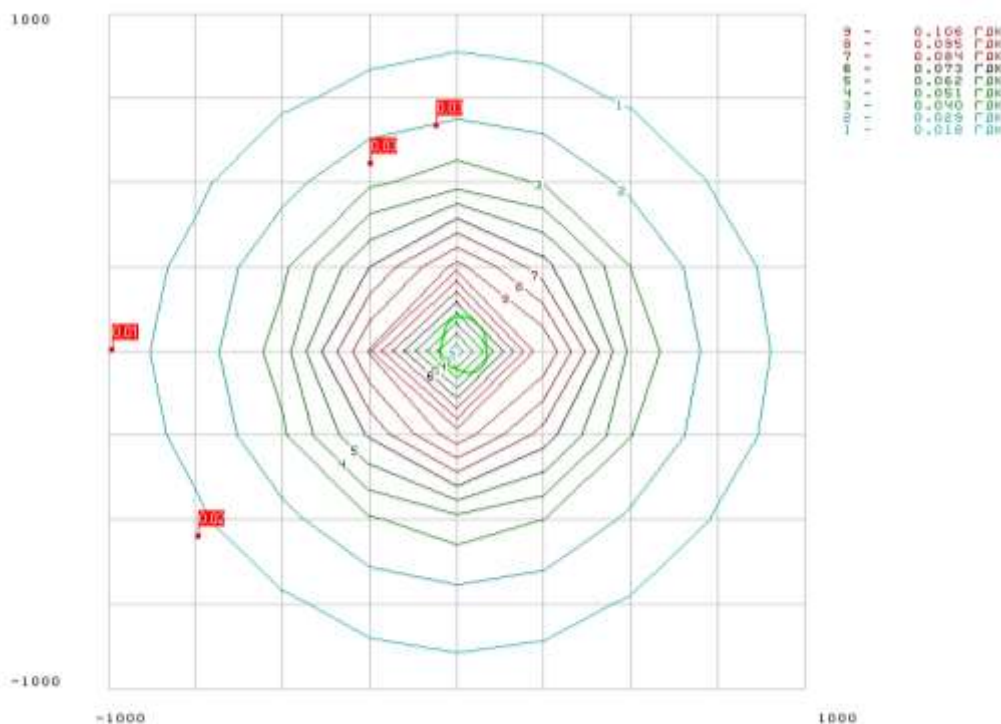
Таблиця 12

Максимальні сумарні з фоном концентрації забруднюючих речовин
на межі санітарно-захисної зони

Table 12

Maximum total concentrations of pollutants, including background levels, at the boundary of the
sanitary protection zone

№ з/п	Найменування речовини	Частка ГДК з врахуванням фону	Максимальна концентрація, мг/м ³
1	Азоту діоксид	0,44	0,088
2	Сажа	0,45	0,068
3	Сірки діоксид	0,43	0,22
4	Сірководень	0,45	0,0036
5	Вуглецю оксид	0,45	2,25
6	Бутан	0,45	90
7	Бензол	0,45	0,68
8	Бенз(а)пірен	0,15	$1,5 \cdot 10^{-07}$
9	Одорант СПМ	0,49	$2,5 \cdot 10^{-5}$
10	Вуглеводні граничні C ₁₂ –C ₁₉	0,55	0,55
11	Суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом	0,97	0,49
12	Пропан	0,45	29,25



Значення від –1000 до +1000 м на обох осях означають відстань від джерела викидів у метрах. У центрі (0;0) – точка розташування джерела, 4 точки дослідження виділені позначками.

Рис. 1 – Концентрація сірки діоксиду в приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони

Values from –1000 m to +1000 m on both axes indicate the distance from the emission source
In the center (0;0) is the point of the source location, 4 survey points are marked.

Fig. 1 – Concentration of sulfur dioxide in the ground-level atmospheric air at the boundary of the
sanitary protection zone

переважно під час нагрівання та обробки бітумовмісних матеріалів. Подібні значення мають одорант СПМ ($0,49; 2,5 \cdot 10^{-5}$ мг/м³), сажа ($0,45; 0,068$ мг/м³), сірководень ($0,45; 0,0036$ мг/м³), оксид вуглецю ($0,45; 2,25$ мг/м³), бутан ($0,45; 90$ мг/м³), бензол ($0,45; 0,68$ мг/м³) та пропан ($0,45; 29,25$ мг/м³). Характерною ознакою цієї групи є те, що їх частки ГДК становлять майже половину нормативного значення, що свідчить про потенційну можливість досягнення критичних концентрацій при збільшенні виробничого навантаження або несприятливих метеорологічних умовах.

Дещо нижче значення частки ГДК мають діоксид азоту ($0,44; 0,088$ мг/м³) та діоксид сірки ($0,43; 0,22$ мг/м³). Незважаючи на відносно менший внесок у загальний рівень забруднення, ці газоподібні компоненти мають важливе екотоксикологічне значення та можуть спричинити суттєві ризики для здоров'я населення за умов довготривалого впливу.

Незважаючи на низьку масову частку бенз(а)пірену, для якого частка ГДК становить $0,15$ за максимальної концентрації $1,5 \cdot 10^{-7}$ мг/м³, ця сполука належить до високонебезпечних канцерогенів і навіть дуже малі її концентрації можуть бути високими в аспекті канцерогенного ризику. Така ситуація потребує ретельного моніторингу процесів термообробки бітуму.

Отже, попри те, що показники викидів забруднюючих речовин асфальтобетонного дорожнього покриття знаходяться в межах норми, тривалий контакт з ними може становити потенційну небезпеку для працівників виробництва та мешканців прилеглих територій. Постійне перебування в зоні впливу навіть незначних концентрацій забруднюючих речовин може призвести до порушень

роботи дихальної системи, зниження імунної реактивності організму та розвитку хронічних захворювань.

Для зменшення негативного впливу викидів і забезпечення екологічно безпечного функціонування виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття доцільним є впровадження наступних заходів:

- модернізація технологічного обладнання (зокрема сушильних і змішувальних агрегатів) для зниження рівня викидів пилу, продуктів згоряння та летких органічних сполук;

- застосування сучасних систем очищення повітря (рукавних або касетних фільтрів) з ефективністю понад 95 %;

- раціональна організація процесів зберігання і транспортування інертних матеріалів для мінімізації пилоутворення;

- проведення регулярного технічного обслуговування теплогенераторів, пальників і систем подачі палива для запобігання витокам та неповному згорянню;

- створення зелених захисних насаджень навколо проммайdanчика для часткового поглинання забруднюючих речовин та зниження рівня шумового навантаження;

- організація постійного моніторингу атмосферного повітря в межах санітарно-захисної зони та періодичне проведення екологічного аудиту діяльності підприємства;

- підвищення екологічної компетентності персоналу шляхом проведення навчань і тренінгів з питань охорони довкілля та безпечного поводження з паливно-мастильними матеріалами.

Реалізація цих заходів сприятиме зменшенню техногенного навантаження на атмосферу, поліпшенню якості повітря на території підприємства, підвищенню безпеки умов праці та забезпеченню сталого розвитку території.

Висновки

Процес виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття створює багатокомпонентне техногенне навантаження на атмосферне повітря, у структурі якого домінують пилові та органічні забруднення. Виявлено, що найбільш критичними є викиди суспендованих твердих частинок недиференційовані за складом, концентрація яких у

приземному шарі атмосферного повітря наближаються до гранично допустимих рівнів. Саме це визначає основу формування підвищеного ризику деградації якості атмосферного повітря в межах санітарно-захисної зони та може спричинити появу несприятливих умов для функціонування екосистем і перебування людей.

Особливої уваги потребують низькотоннажні, але високонебезпечні токсичні речовини – бенз(а)пірен, бензол і сірководень. Незважаючи на порівняно низькі концентрації, їх небезпека полягає у здатності спричиняти хронічний канцерогенний вплив навіть при тривалому надходженні у малих дозах. Наявність таких компонентів у складі атмосферних емісій свідчить про складний характер термічних і хімічних процесів, що супроводжують приготування асфальтобетонної суміші, і зумовлює необхідність реалізації системного моніторингу цих речовин.

Отримані результати дослідження формують науково обґрунтовану основу для подальших етапів екологічного моделювання, зокрема для просторово-часового

аналізу розсіювання забруднювачів, визначення критичних зон впливу, оцінювання ризиків для здоров'я населення та формування регіональних екологічних обмежень. З огляду на виявлені закономірності, доцільним є розроблення цільових природоохоронних заходів, орієнтованих на мінімізацію пилових викидів, зниження утворення органічних сполук у процесах нагрівання бітуму та вдосконалення технологічних режимів роботи обладнання.

Таким чином, результати дослідження визначають ключові напрямки підвищення екологічної безпеки асфальтобетонного виробництва та слугують базою для подальших екологічних рішень у контексті забезпечення 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: автори зробили рівний внесок у цю роботу
В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Аболмасова Г. В., Пісня Л. А., Черепньов І. А., Калінін І. В. Комплексна екологічна оцінка впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» на об'єкти навколишнього природного середовища. *Інженерія природокористування*. 2019. № 4(14). С. 75–85. [https://doi.org/10.37700/enm.2019.4\(14\).75-85](https://doi.org/10.37700/enm.2019.4(14).75-85)
2. Пінчук А., Медведєва О. В. Оцінка впливу на довкілля процесів виготовлення асфальтобетону. *Наукові записки*. Вип.10. Част. II. 2010. С. 380–383.
3. Савенко В. Я., Бондаренко Л. П. Метод оцінки впливу дорожньо-транспортного комплексу на екологічний стан довкілля на основі комп'ютерного моделювання. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2015. №. 94. С. 219–225.
4. 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)
5. Abdalla A., Faheem A. F., Walters E. Life cycle assessment of eco-friendly asphalt pavement involving multi-recycled materials: A comparative study. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 362. Article 132471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132471>
6. Gruber M. R., Hofko B. Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Recycled Asphalt Pavement Production. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(5). Article 4629. <https://doi.org/10.3390/su15054629>
7. Milad A., Babalghaith A. M., Al-Sabaei A. M., Dulaimi A., Ali A., Reddy S. S., Yusoff N. I. M. A comparative review of hot and warm mix asphalt technologies from environmental and economic perspectives: towards a sustainable asphalt pavement. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19(22). Article 14863. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214863>
8. Salehi S., Arashpour M., Kodikara J., Guppy R. Sustainable pavement construction: A systematic literature review of environmental and economic analysis of recycled materials. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 313. Article 127936. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127936>
9. Diab L., Al-Qadi I. L. Life cycle assessment for the use of waste plastics in asphalt concrete mixes. *Transportation Research Record*. 2024. Vol. 2678 № 11. 1601–1613. <https://doi.org/10.1177/03611981241245674>
10. Azam A., Gabr A., Ezzat H., Arab M., Alshammari T. O., Alotaib E., Zeiada W. Life cycle assessment and pavement performance of recycled aggregates in road construction. *Case Studies in Construction Materials*. 2024. Vol. 20. Article e03062. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03062>

11. Zhao W., Yang Q. Life cycle assessment and multi-index performance evaluation of semi-flexible pavement after composite modification by using fly ash, rubber particles, warm mixing asphalt and recycled asphalt pavement. *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 364. Article 129945. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129945>
12. Liu Y., Liu Z., Zhu Y., Zhang H. A review of sustainability in hot asphalt production: Greenhouse gas emissions and energy consumption. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(22). Article 10246. <https://doi.org/10.3390/app142210246>
13. Ferrotti G., Mancinelli E., Passerini G., Canestrari F. Comparison of energy and environmental performance between warm and hot mix asphalt concrete production: A case study. *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 418, Article 135453. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135453>
14. Kharat D. S. Emissions from hot mix asphalt plants and their impact on ambient air quality. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2022. Vol. 233. Article 464. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05950-w>
15. Schönauer P., Gruber M. R., Hofko B. Case study of a batch asphalt mix plant: Energy consumption and emission allocation based on primary data. *Case Studies in Construction Materials*. 2024. Vol. 21. Article e03669. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03669>
16. Barbieri D. M., Lou B., Wang F., Hoff I., Wu S., Li J., Vignisdottir H. R., Böhne R. A., Anastasio S., Kristensen T. Assessment of carbon dioxide emissions during production, construction and use stages of asphalt pavements. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2021. Vol. 11. Article 100436. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100436>
17. Zhang X., Zeng Y., Feng Y., Zhang C. Zhang L. Carbon emissions analysis of producing modified asphalt with natural asphalt. *Green Processing and Synthesis*. 2023. Vol. 12(1). Article 20228146. <https://doi.org/10.1515/gps-2022-8146>
18. Huang X., Ouyang Y., Zhang D., Yu H. Greenhouse gas emission of recycled concrete production for pavement construction considering carbon uptake. *Developments in the Built Environment*. 2025. Vol. 22. Article 100646. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100646>
19. Raulf-Heimsoth M., Pesch B., Kendzia B., Spickenheuer A., Bramer R., Marczyński B., Brüning T. Irritative effects of vapours and aerosols of bitumen on the airways assessed by non-invasive methods. *Archives of toxicology*. 2011. Vol. 85. P. 41–52. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0681-6>
20. Mousavi M., Emrani J., Teleha J. C., Jiang G., Johnson B. D., Shamshiripour A., Fini E. H. Health risks of asphalt emission: State-of-the-art, advances and research gaps. *Journal of Hazardous Materials*. 2024. Vol. 480. Article 136048. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136048>
21. Wang Z., Li H., Jia M., Du Q. Emission risk and inhibition technology of asphalt fume from crumb rubber modified asphalt. *Sustainability*. 2024. Vol. 16(20). Article 8840. <https://doi.org/10.3390/su16208840>
22. Chlebnikovas A., Marčiulaitienė E., Šernas O., Škulček J., Januševičius T. Research on air pollutants and odour emissions from paving hot-mix asphalt with end-of-life tyre rubber. *Environment International*. 2023. Vol. 181. Article 108281. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108281>
23. Pahlavan F., Gholipour A., Zhou T., Fini E. H. Cleaner asphalt production by suppressing emissions using phenolic compounds. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2023. Vol. 11(7). P. 2737–2751. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05345>
24. EN 15804+A2:2019; Sustainability of Construction Works—Environmental Product Declarations—Core Rules for the Product Category of Construction Products. CEN-CENELEC: Bruxelles, Belgium, 2019. URL: https://nmfv.dk/wp-content/uploads/2024/01/EN-15804-A2.pdf?utm_source=chatgpt.com
25. International Organization for Standardization (ISO). URL: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14001>
26. Air Quality Dispersion Modeling – Preferred and Recommended Models. AERMOD. URL: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod>
27. CERC. ADMS model overview. Cambridge Environmental Research Consultants. URL: <https://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-model.html>
28. Про затвердження Інструкції про вимоги до оформлення документів, в яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами. Наказ Міндовкілля № 448 від 27.06.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1475-23#Text>
29. ДСТУ 8725:2017. Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення швидкості та об'ємної витрати газопилових потоків. Київ, 2018. 50 с. URL: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU4/dstu_8725-2017.pdf
30. КНД 211.2.3.063-98 Охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Метрологічне забезпечення. Відбір проб промислових викидів. Інструкція. Зі зміною № 1. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=51576
31. Збірник методик із розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах неорганізованих джерел забруднення атмосфери. ОАО «УкрНТЕК». Донецьк, 1994 р. 125 с.

32. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами, Український науковий центр технічної екології. Донецьк, 2004. Том I. 184 с.
33. Інструкція із експлуатації газоаналізатора ОКЦИ-5М-5Н. Харків. 2010. 16 с.
34. МВВ № 081/12-0161-05. Викиди газопилові промислові. Методика виконання вимірювань масової концентрації речовини у вигляді суспендованих твердих частинок в організованих викидах стаціонарних джерел гравіметричним методом. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage?id_doc=76450
35. Паспорт мобільної асфальто-змішувальної установки контейнерного типу CSD 1500.
36. Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 286 від 30.07.2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#Text>
37. Караїм О. А., Цьось О. О., Бакараєв О. О., Бедункова О. О., Караїм В. П., Хомацький В. М. Екологічний контроль впливу на довкілля викидів забруднюючих речовин при виробництві асфальтобетону. *Вісник НУБГП. Сільськогосподарські науки* 2023. Вип. 3 (103). С. 97–115. <https://doi.org/10.31713/vs320237>

Стаття надійшла до редакції 10.10.2025
Стаття рекомендована до друку 30.11.2025

Переглянуто 28.11.2025
Опубліковано 30.12.2025

O. A. KARAIM¹, PhD (Economic), Associate Prof,
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 of LLC
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>

V. S. ANTONIUK¹,
Master's Student,
e-mail: Antoniuk.Vadym2024@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9462-805X>;
¹Lesya Ukrainka Volyn National University
13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, 43025, Ukraine

ASSESSMENT OF POLLUTANT EMISSIONS AND MODELING THEIR IMPACT ON AMBIENT AIR QUALITY DURING ASPHALT CONCRETE PAVEMENT PRODUCTION

Purpose. To determine the composition and volumes of pollutant emissions generated during asphalt concrete pavement production and to model their dispersion in the ambient air.

Methods. Analytical, computational, experimental, comparative methods, as well as information modeling and forecasting.

Results. The analysis showed that the main emission sources include dosing hoppers, the belt conveyor, the bitumen heating tank, the heat generator, above-ground fuel storage tanks, and the drying unit. Maximum single and total emissions were determined based on instrumental measurements and analytical calculations. It was established that the production process releases suspended particulate matter (not differentiated by composition), saturated hydrocarbons C₁₂–C₁₉, propane, butane, benzene, hydrogen sulfide, carbon monoxide, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. The calculated ground-level concentrations of pollutants, taking background

levels into account, do not exceed hygienic standards at the boundary of the sanitary protection zone. However, ground-level concentrations of suspended particulate matter approach their maximum allowable limits. This indicates an increased risk of air quality degradation within the sanitary protection zone and may adversely affect ecosystem health and living conditions for the population. Low-mass yet highly toxic components—benzo[a]pyrene, benzene, and hydrogen sulfide—remain of particular concern. Even at low concentrations, they can exert chronic carcinogenic effects. Their presence reflects the complex chemical and thermal processes underlying emission formation and underscores the need for systematic monitoring of these substances.

Conclusions. Asphalt concrete pavement production exerts a complex impact on ambient air quality, dominated by particulate and organic pollutants. The most critical are the concentrations of suspended particulate matter and saturated hydrocarbons, while low-volume toxic components (benzo[a]pyrene, benzene, hydrogen sulfide) contribute additional long-term risks. The obtained concentration characteristics form the basis for further dispersion modeling, identification of zones of maximum impact, and the development of environmental protection measures.

KEYWORDS: *ambient air, assessment, environmental impact, pollutants, emissions, asphalt concrete pavement production*

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Abolmasova, H. V., Pisia, L. A., Cherepnov, I. A., & Kalinin, I. V. (2019). Comprehensive ecological assessment of the “vehicle–road–environment” system’s impact on surrounding natural-environment objects. *Engineering of Nature Management*, 4(14), 75–85. [https://doi.org/10.37700/enm.2019.4\(14\).75-85](https://doi.org/10.37700/enm.2019.4(14).75-85) (in Ukrainian).
2. Pinchuk, A., & Medvedieva, O. V. (2010). Environmental impact assessment of asphalt concrete production processes. *Naukovi zapysky*, (10), Part II, 380–383. (in Ukrainian).
3. Savenko, V. Y., & Bondarenko, L. P. (2015). A method for assessing the impact of a road–transport complex on the ecological state of the environment based on computer modelling. *Automobile Roads and Road Construction*, 94, 219–225. (in Ukrainian).
4. Karaim, O. A., Mylko, I. P., & Karaim, V. P. (2022). Formation of an enterprise environmental management system in the context of restoring sustainable regional development. *Naukovi pratsi 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).
5. Kherson.Abdalla, A., Faheem, A. F., & Walters, E. (2022). Life cycle assessment of eco-friendly asphalt pavement involving multi-recycled materials: A comparative study. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132471>
6. Gruber, M. R., & Hofko, B. (2023). Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Recycled Asphalt Pavement Production. *Sustainability*, 15(5), 4629. <https://doi.org/10.3390/su15054629>
7. Milad, A., Babalghaith, A. M., Al-Sabaei, A. M., Dulaimi, A., Ali, A., Reddy, S. S., ... & Yusoff, N. I. M. (2022). A comparative review of hot and warm mix asphalt technologies from environmental and economic perspectives: towards a sustainable asphalt pavement. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 14863. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214863>
8. Salehi, S., Arashpour, M., Kodikara, J., & Guppy, R. (2021). Sustainable pavement construction: A systematic literature review of environmental and economic analysis of recycled materials. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127936. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127936>
9. Diab, L., & Al-Qadi, I. L. (2024). Life cycle assessment for the use of waste plastics in asphalt concrete mixes. *Transportation Research Record*, 2678(11), 1601–1613. <https://doi.org/10.1177/03611981241245674>
10. Azam, A., Gabr, A., Ezzat, H., Arab, M., Alshammari, T. O., Alotaib, E., & Zeida, W. (2024). Life cycle assessment and pavement performance of recycled aggregates in road construction. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03062. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03062>
11. Zhao, W., & Yang, Q. (2023). Life cycle assessment and multi-index performance evaluation of semi-flexible pavement after composite modification by using fly ash, rubber particles, warm mixing asphalt and recycled

- asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 364, 129945. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129945>
12. Liu, Y., Liu, Z., Zhu, Y., & Zhang, H. (2024). A review of sustainability in hot asphalt production: Greenhouse gas emissions and energy consumption. *Applied Sciences*, 14(22), 10246. <https://doi.org/10.3390/app142210246>
13. Ferrotti, G., Mancinelli, E., Passerini, G., & Canestrari, F. (2024). Comparison of energy and environmental performance between warm and hot mix asphalt concrete production: A case study. *Construction and Building Materials*, 418, 135453. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135453>
14. Kharat, D. S. (2022). Emissions from hot mix asphalt plants and their impact on ambient air quality. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233, 464. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05950-w>
15. Schönauer, P., Gruber, M. R., & Hofko, B. (2024). Case study of a batch asphalt mix plant: Energy consumption and emission allocation based on primary data. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03669. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03669>
16. Barbieri, D. M., Lou, B., Wang, F., Hoff, I., Wu, S., Li, J., Vignisdottir, H. R., Bohne, R. A., Anastasio, S., & Kristensen, T. (2021). Assessment of carbon dioxide emissions during production, construction and use stages of asphalt pavements. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 11, 100436. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100436>
17. Zhang, X., Zeng, Y., Feng, Y., Zhang, C. & Zhang, L. (2023). Carbon emissions analysis of producing modified asphalt with natural asphalt. *Green Processing and Synthesis*, 12(1), 20228146. <https://doi.org/10.1515/gps-2022-8146>
18. Huang, X., Ouyang, Y., Zhang, D., & Yu, H. (2025). Greenhouse gas emission of recycled concrete production for pavement construction considering carbon uptake. *Developments in the Built Environment*, 22, 100646. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100646>
19. Raulf-Heimsoth, M., Pesch, B., Kendzia, B., Spickenheuer, A., Bramer, R., Marczyński, B., ... & Brüning, T. (2011). Irritative effects of vapours and aerosols of bitumen on the airways assessed by non-invasive methods. *Archives of toxicology*, 85, 41-52. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0681-6>
20. Mousavi, M., Emrani, J., Teleha, J. C., Jiang, G., Johnson, B. D., Shamshiripour, A., & Fini, E. H. (2024). Health risks of asphalt emission: State-of-the-art, advances and research gaps. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 136048. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136048>
21. Wang, Z., Li, H., Jia, M., & Du, Q. (2024). Emission risk and inhibition technology of asphalt fume from crumb rubber modified asphalt. *Sustainability*, 16(20), 8840. <https://doi.org/10.3390/su16208840>
22. Chlebnikovas, A., Marčiulaitienė, E., Šernas, O., Škuldeckė, J., & Januševičius, T. (2023). Research on air pollutants and odour emissions from paving hot-mix asphalt with end-of-life tyre rubber. *Environment International*, 181, 108281. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108281>
23. Pahlavan, F., Gholipour, A., Zhou, T., & Fini, E. H. (2023). Cleaner asphalt production by suppressing emissions using phenolic compounds. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(7), 2737–2751. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05345>
24. EN 15804+A2:2019; Sustainability of Construction Works—Environmental Product Declarations—Core Rules for the Product Category of Construction Products. CEN-CENELEC: Bruxelles, Belgium, 2019. https://nmfv.dk/wp-content/uploads/2024/01/EN-15804-A2.pdf?utm_source=chatgpt.com
25. International Organization for Standardization (ISO). (n.d.). <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14001>
26. Air Quality Dispersion Modeling – Preferred and Recommended Models. AERMOD. URL: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod>
27. CERC. ADMS model overview. Cambridge Environmental Research Consultants. URL: <https://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-model.html>
28. Ministry of Environment of Ukraine. (2023, June 27). Order No. 448: Approval of the Instruction on requirements for documents substantiating volumes of pollutant emissions into the atmospheric air from stationary sources. Retrieved July 14, 2025, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1475-23#Text> (in Ukrainian).
29. DSTU 8725:2017. (2018). Air quality: Emissions from stationary sources. Methods for determination of velocity and volumetric flow of gas–dust streams. Kyiv: Derzhspozhyvstandart. (Ukrainian State Standard)
30. KND 211.2.3.063-98. (n.d.). Environmental protection and rational use of natural resources. Metrological support. Sampling of industrial emissions. Instruction. (Amendment № 1). Retrieved July 14, 2025, from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=51576 (in Ukrainian).
31. OAO “UkrNTEK”. (1994). Collection of methods for calculation of pollutant contents from unorganised atmospheric pollution sources. Donetsk: OAO UkrNTEK (in Ukrainian).

32. Ukrainian Scientific Centre of Technical Ecology. (2004). Collection of emission indicators (specific emissions) of pollutants into the atmospheric air from various productions, Vol. I. Donetsk: Author.
33. Manufacturer's Instruction. (2010). Manual for gaseous analyser OKSI-5M-5H. Kharkiv (in Ukrainian).
34. MVV No. 081/12-0161-05. (n.d.). Industrial gas–dust emissions: Methodology for measurement of mass concentration of suspended solids in organised emissions of stationary sources by gravimetric method. Retrieved July 14, 2025, from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76450 (in Ukrainian).
35. Manufacturer's technical passport. (n.d.). Mobile container-type asphalt mixing unit CSD 1500.
36. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (2001, July 30). Order No. 286: Approval of the Procedure for determining background concentrations of pollutants in atmospheric air. Retrieved July 14, 2025, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#Text> (in Ukrainian).
37. Karaim, O. A., Tsos, O. O., Bakaraiev, O. O., Bedunkova, O. O., Karaim, V. P., & Khomatskyi, V. M. (2023). Environmental control of pollutant emissions impact during asphalt concrete production. *Visnyk NUVGP. Agricultural Sciences*, 3(103), 97–115. <https://doi.org/10.31713/vs320237> (in Ukrainian).

The article was received by the editors 10.10.2025
The article is recommended for printing 30.11.2025

The article was revised 28.11.2025
This article published 30.12.2025