

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

На правах рукопису

АНТОНЮК ВАДИМ СЕРГІЙОВИЧ

**ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИРОБНИЦТВА
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ
НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ**

Спеціальність 101 Екологія

Освітньо-професійна програма Екологія

Робота на здобуття освітнього ступеня Магістр

Науковий керівник:
КАРАЇМ ОЛЬГА АНАТОЛІЇВНА
кандидат економічних наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол № 4
засідання кафедри екології та охорони
навколишнього середовища
від 18 листопада 2025 р.

Завідувач кафедри



доц. Радзій В. Ф.

ЛУЦЬК – 2025

АНОТАЦІЯ

Антонюк В. С. Екологічна оцінка впливу виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на атмосферне повітря. На правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня Магістр за спеціальністю 101 Екологія, освітньо-професійна програма Екологія. Волинський національний університет імені Лесі Українки. Луцьк, 2025.

У кваліфікаційній роботі здійснено екологічну оцінку впливу виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на атмосферне повітря. У процесі дослідження висвітлено передумови забезпечення сталості дорожніх покриттів; здійснено порівняльну оцінку життєвого циклу асфальтобетонного дорожнього покриття; розкрито особливості впливу викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на здоров'я людини; охарактеризовано технологічний процес виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття; описано методичні підходи до визначення показників концентрацій та величин викидів; показано особливості інформаційного моделювання атмосферного розсіювання викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття; представлено результати розрахунку викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття в атмосферу; здійснено оцінку забруднення атмосферного повітря при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття; запропоновано заходи контролю впливу на атмосферу викидів забруднюючих речовин при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття.

Ключові слова: екологічна оцінка, вплив на атмосферне повітря, викиди забруднюючих речовин, виробництво асфальтобетону, дорожнє покриття.

SUMMARY

Antoniuk V. S. Environmental assessment of the impact of asphalt concrete pavement production on atmospheric air. Manuscript.

Qualification work for obtaining a Master's degree in specialty 101 Environmental Studies, educational-professional program Environmental Studies. Lesya Ukrainka Volyn National University. Lutsk, 2025.

The qualification work presents an environmental assessment of the impact of asphalt concrete pavement production on atmospheric air. The study highlights the prerequisites for ensuring the sustainability of road surfaces; provides a comparative evaluation of the life cycle of asphalt concrete pavement; reveals the specific effects of emissions from asphalt concrete production on human health; describes the technological process of asphalt concrete pavement production; outlines methodological approaches for determining pollutant concentration indicators and emission values; demonstrates the features of information modeling of atmospheric dispersion of emissions from asphalt concrete production; presents the results of emission calculations into the atmosphere; assesses air pollution caused by asphalt concrete production; and proposes measures to control the atmospheric impact of pollutant emissions during the production process.

Keywords: environmental assessment, impact on atmospheric air, pollutant emissions, asphalt concrete production, road pavement.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ.....	10
1.1. Передумови забезпечення сталості дорожніх покриттів.....	10
1.2. Порівняльна оцінка життєвого циклу асфальтобетонного дорожнього покриття.....	14
1.3. Вплив викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на здоров'я людини.....	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ.....	22
2.1. Характеристика технологічного процесу виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття.....	22
2.2. Методичні підходи до визначення показників концентрацій та величин викидів.....	29
2.3. Інформаційне моделювання атмосферного розсіювання викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття.....	31
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	34
3.1. Результати розрахунку викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття в атмосферу.....	34
3.2. Оцінка забруднення атмосферного повітря при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття.....	46
3.3. Контролювання впливу на атмосферу викидів забруднюючих речовин при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття.....	51
ВИСНОВКИ.....	54

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	66

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах інтенсивного розвитку транспортної інфраструктури питання зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище набуває особливої ваги. Одним із суттєвих джерел забруднення атмосферного повітря є підприємства з виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття, технологічні процеси яких супроводжуються викидами значних обсягів шкідливих речовин – пилу, оксидів азоту, вуглецю, летких органічних сполук та ін. Накопичення цих забруднювачів у приземному шарі атмосфери створює ризики для здоров'я населення, негативно впливає на стан довкілля та спричиняє порушення екологічної рівноваги.

У зв'язку з цим постає нагальна потреба в екологічній оцінці впливу виробничої діяльності асфальтобетонних заводів на атмосферне повітря, що дозволить обґрунтувати природоохоронні заходи, оптимізувати виробничі процеси та зменшити рівень шкідливих викидів. Дослідження такого спрямування є важливим елементом забезпечення сталого розвитку регіонів, раціонального природокористування та підвищення екологічної безпеки.

Особливості екологічної оцінки впливу виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на атмосферне повітря висвітлили у своїх роботах низка українських та зарубіжних вчених, зокрема: Аболмасова Г. В. [1], Бакараєв О. А. [19], Бондаренко Л. П. [41], Караїм О. А. [2; 19], Медведєва О. В. [30], Савенко В. Я. [41], Шевчук Ю. С. [46], Abdalla A., Faheem A. F., Walters E. [47], Bank W. [50], Barbieri D. M., Lou B., Wang F. [51] та ін.

Мета роботи – здійснити екологічну оцінку впливу виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на атмосферне повітря.

Для вирішення поставленої мети необхідне розв'язання наступних завдань:

- висвітлити передумови забезпечення сталості дорожніх покриттів;

- здійснити порівняльну оцінку життєвого циклу асфальтобетонного дорожнього покриття;
- розкрити особливості впливу викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на здоров'я людини;
- охарактеризувати технологічний процес виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття;
- описати методичні підходи до визначення показників концентрацій та величин викидів;
- показати особливості інформаційного моделювання атмосферного розсіювання викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття;
- представити результати розрахунку викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття в атмосферу;
- здійснити оцінку забруднення атмосферного повітря при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття;
- запропонувати заходи контролю впливу на атмосферу викидів забруднюючих речовин при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття.

Об'єктом дослідження є процес формування екологічного стану атмосферного повітря в межах території виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття та санітарно-захисної зони.

Предмет дослідження – викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря виробництвом асфальтобетонного дорожнього покриття.

Методи дослідження. У роботі використано низку загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, а саме:

- дедукції та індукції, логічного узагальнення, аналізу, синтезу – для висвітлення теоретичних аспектів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття;
- графічний – для наочного зображення статистичного матеріалу і схематичного подання низки теоретичних і практичних положень кваліфікаційної роботи;

- розрахунковий метод – для визначення величин викидів забруднюючих речовин;

- метод стратегічного планування – при розробці пропозицій щодо заходів із покращення екологічного стану при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття.

Інформаційну базу дослідження становили: збірники методик, законодавчі та нормативні акти з питань дослідження та збереження атмосферного повітря, матеріали виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття, Державної служби статистики України, монографії та науково-аналітичні статті вітчизняних і зарубіжних авторів, електронні джерела періодичних видань та результати авторських досліджень.

Наукова новизна роботи полягає в поглибленні теоретичних засад, обґрунтуванні необхідності та здійсненні комплексної екологічної оцінки впливу викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на атмосферне повітря, зокрема, *набули подальшого розвитку:*

- комплексний аналіз передумов забезпечення сталості асфальтобетонних дорожніх покриттів та впливу їх виробництва на здоров'я людини;

- підходи до визначення основних джерел забруднення та мінімізації викидів при виробництві асфальтобетонних дорожніх покриттів;

- моделювання процесу прогнозування розсіювання викидів при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття;

- методи встановлення кількісних показників викидів і їх екологічного впливу, що дозволяє обґрунтувати практичні заходи для покращення якості атмосферного повітря в зоні виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що основні положення, викладені в кваліфікаційній роботі, доведено до рівня практичних рекомендацій. Теоретико-методичні положення кваліфікаційної роботи можуть бути використані для прийняття практичних рішень органами

регіонального управління, місцевого самоврядування, фахівцями установ.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи викладено у доповіді: «Вплив на атмосферне повітря викидів асфальтобетонного заводу» на XIX Міжнар.наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень» (13–14 травня 2025 року), м. Луцьк [2].

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний зміст викладено на 65 сторінках друкованого тексту. Робота містить 13 таблиць. Список використаних джерел нараховує 68 найменувань і міститься на 9 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

1.1. Передумови забезпечення сталості дорожніх покриттів

Зі зростанням впливу зміни клімату зростає потреба та зобов'язання скорочувати викиди парникових газів (GHG), зокрема і в дорожньому будівництві [54].

Існує три основні типи дорожніх покриттів, а саме гнучкі (асфальтобетонне покриття), жорсткі (портландцементобетонне покриття) та композитні (гнучкі та жорсткі шари в одному покритті). Вибір типу для використання на певній дорозі включає багато чинників, таких як рух транспорту, характеристики матеріалу, конструкція та розташування. Відповідно до характеристик, згідно яких вибір покриття служить користувачам, забезпечуючи їм рух по дорожньому покриттю, яке є безпечним, гладким, тихим, довговічним, економічним та виготовленим з екологічно чистих матеріалів, проектувальники повинні вибрати відповідний тип. Традиційно процеси вибору типу покриття зазвичай використовуються транспортними департаментами, відповідальними за будівництво доріг, для визначення та вибору найміцнішої, економічно вигідної та найефективнішої конструкції покриття для нової дороги [65].

Асфальтове покриття використовує асфальт (нафтопродукт) для склеювання заповнювачів (піску та щебеню). Ця суміш виробляється на асфальтному заводі. У польових умовах суміш розподіляється та ущільнюється на дорожньому полотні. З іншого боку, бетонне покриття використовує портландцемент та воду для склеювання заповнювачів. У польових умовах бетон поміщається у сталеві форми до затвердіння [65].

Викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря, що утворюються внаслідок діяльності асфальтобетонних підприємств, є важливим показником

сталості цих інфраструктур. Сучасні дослідження повинні мати на меті попередню кількісну оцінку викидів, що виділяються на етапах виробництва, будівництва та використання дорожнього покриття. Іноваційний та глобально вагомий аналіз повинен проводитися з використанням підходу оцінки життєвого циклу [51].

Оцінка життєвого циклу (LCA) – це метод, спочатку розроблений для характеристики впливу на навколишнє середовище, пов'язаний з промисловою продукцією. Він включає «збір та оцінку вхідних, вихідних даних та потенційного впливу продукту на навколишнє середовище протягом його життєвого циклу», що розуміється як послідовні етапи від видобутку матеріалу до остаточної утилізації. Дослідження LCA включає чотири фази: 1) визначення мети та обсягу 2) аналіз інвентаризації 3) оцінка впливу 4) аналіз результатів.

Використовуючи методи LCA, низкою досліджень вже проаналізовано окремі параметри процесу виробництва асфальтобетону та проілюстровано потенційні покращення з точки зору скорочення викидів парникових газів. Однак дані більшості оцінок походять з окремих джерел та баз даних, і тому можуть запропонувати незначні підтвердження позитивної динаміки [54].

Рішення щодо проектування та управління дорожнім покриттям нині визначаються, як правило комплексними, зокрема, технічними, економічними та безпековими аспектами [60].

Невизначеність, пов'язана зі змінами клімату, а також швидке виснаження природних і невідновлюваних ресурсів, вказують на нагальну потребу у впровадженні інноваційних рішень, спрямованих на формування екологічно сприятливого майбутнього. Поглиблення глобальної економічної кризи та зростаючий суспільний тиск формують критичні чинники, які необхідно враховувати в процесах прийняття рішень на політичному та економічному рівнях. Усе це акцентує важливість переходу до сталих підходів, зокрема у сферах, що мають суттєвий вплив на формування зазначених викликів. Однією з таких сфер є транспорт, де дорожня

інфраструктура тісно пов'язана як з ресурсним споживанням, так і з викидами парникових газів, особливо CO₂, який є ключовим чинником змін клімату. У цьому контексті концепція сталого розвитку дорожніх покриттів покликана забезпечити збалансованість між екологічними, економічними та соціальними аспектами. У відповідь на ці виклики численні установи, компанії та організації вже впроваджують альтернативні, інноваційні та, головним чином, сталі стратегії з метою покращення екологічної ситуації, економічної ефективності та задоволення соціальних потреб [60].

Необхідно зазначити, що виробництво дорожніх покриттів є дороговартісним процесом. Так, у 2017 році інфраструктурні компанії США витратили на автомагістралі загалом 181 мільярд доларів США, що є найбільшими витратами на інфраструктуру.

Будівництво дорожніх покриттів також вимагає енергоємних процесів та матеріалів, що негативно впливають на навколишнє середовище. Сталій розвиток дорожніх покриттів значною мірою залежить від вибору відповідних матеріалів. Однією зі стратегій сталого розвитку стосовно матеріалів дорожніх покриттів є використання відходів. Вони можуть використовуватися як заповнювач або заміна бітуму в різних шарах дорожніх конструкцій, до таких матеріалів належать: регенероване асфальтове покриття (RAP), зола-винесення (FA), зольна зола (BA), перероблена асфальтова черепиця, лігнін, відходи пластику, подрібнена цегла, перероблене скло та гумова крихта [62].

Що стосується викидів шкідливих речовин, то виробництву матеріалів для дорожнього покриття та пов'язаним з ним промисловим процесам, відповідає 21 % світових викидів парникових газів (GHG) [60].

Крім того, в останні роки все більше підприємств задіяних у виробництві дорожніх покриттів виявляють дедалі активнішу зацікавленість до оцінки впливу своєї діяльності на навколишнє середовище. Оцінки викидів вуглекислого газу, що утворюються протягом терміну служби доріг, запитуються ще на етапі тендерів та проєктів.

Асфальтобетонний сектор стикається з кількома викликами, які, як очікується, посилюватимуться й у майбутньому, а саме: вартість та доступність будівельних матеріалів, збільшення обсягу дорожнього руху та навантажень, попит на довговічніші дорожні покриття та використання перероблених матеріалів. У світі дорожня інфраструктура складається приблизно зі 16,3 мільйони кілометрів, і очікується, що до 2050 року буде побудовано близько 25 мільйонів кілометрів нових доріг [51]. Близько 90 % асфальтованих доріг у світі будуються з використанням асфальтової суміші, а решта 10 % – це інші типи дорожнього покриття [65].

Європа та Північна Америка мають найрозгалуженішу у світі мережу доріг та автомагістралей з твердим покриттям. За оцінками, в Європі понад 90 % з 5,2 мільйона км доріг та автомагістралей з твердим покриттям мають асфальтове покриття. У Сполучених Штатах понад 92 % з 4 мільйонів км доріг та автомагістралей мають асфальтове покриття. Крім того, близько 85 % злітно-посадкових смуг аеропортів та 85 % паркувальних майданчиків у Сполучених Штатах мають також асфальтове покриття [65]. Тут нараховується близько 3600 майданчиків з виробництва асфальту, і у 2019 році було вироблено близько 420 мільйонів тонн [47]. Канада має близько 415 тис. км доріг з твердим покриттям, а Мексика – близько 178 тис. км. Щодо доріг з твердим покриттям, то відсоток асфальтованих доріг у Канаді становить близько 90 %, а в Мексиці – 96 % [65].

У Європі загальне виробництво гарячої асфальтової суміші (НМА) та теплої асфальтової суміші (WMA) становить приблизно 300 мільйонів метричних тонн щорічно [51].

1.2. Порівняльна оцінка життєвого циклу асфальтобетонного дорожнього покриття

Згідно аналізу літературних джерел, оцінка життєвого циклу (LCA) дорожнього покриття, здійснюється методом, що відповідає чинним європейським стандартам щодо екологічного менеджменту та складається з чотирьох кроків: (1) визначення мети та обсягу; (2) аналіз інвентаризації; (3) оцінка впливу; та (4) інтерпретація результатів.

Досліджені розвідки дозволяють кількісно оцінити вплив на навколишнє середовище гарячої асфальтобетонної суміші об'ємом 1 Мг для будівництва в'язучих шарів у конструкціях дорожнього покриття, виробленої на двох різних типах заводів з виробництва асфальтобетону (Компанії 1 та Компанії 2), використовуючи систему меж “from Cradle to Gate” («від колиски до воріт») (тобто, включаючи виробничі процеси, що передують виходу на поверхню, та основні виробничі процеси). Первинні та вторинні дані, що використовуються для дослідження, визначаються на основі європейського стандарту EN 15804 [53].

У проаналізованих роботах знаходимо, що досліджувані змішувальні установки відрізняються використанням метану як джерела палива (Компанії 1) замість газойлю та низькосірчаної сирої нафти (Компанії 2). Результати свідчать про те, що вплив Компаній 1 на навколишнє середовище з точки зору потенціалу глобального потепління (GWP) та використання природних енергетичних ресурсів є нижчим, ніж той, що отриманий для Компаній 2. Оцінка життєвого циклу (LCA) обох продуктів демонструє, що Компанії 2 мають нижчі показники потенціалу абіотичного виснаження викопних ресурсів (ADP) – викопного палива, споживання енергії та електроенергії, а також потенціал токсичності для людини (HTP). Це показує, що неправильно враховувати лише один показник для вибору «найзеленішого» процесу серед кількох альтернатив. Дійсно, у низці випадків описано, що кожен показник мав різні значення з точки зору впливу на навколишнє середовище, і що

внесок кожного етапу, пов'язаного з LCA обох варіантів сумішей (тобто придбання сировини та постачання палива, транспортування та виробництво), суттєво відрізнявся між показниками. Цей результат має першорядне значення, оскільки замовники часто розглядають GWP як єдиний екологічний критерій для оцінки або контролю впливу продукту чи процесу, тоді як результати, отримані у результаті досліджень, демонструють необхідність розгляду ширшого набору екологічних показників.

Таким чином, оцінка життєвого циклу «від колиски до воріт», проведена для досліджуваних виробництв асфальтобетону, демонструє, що можна використовувати неупереджений інструмент для розрахунку та дослідження екологічних характеристик дорожнього матеріалу. Крім того, результати цих оцінок надають достовірну інформацію для визначення потенційних дій, які можуть сприяти зменшенню впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з дорожнім будівельним виробництвом. Також, варто зазначити, що результати, отримані внаслідок оцінок життєвого циклу, можуть бути використані як надійні вхідні дані в більш комплексних екологічних аналізах, що включають будівництво та технічне обслуговування або реконструкцію доріг [58].

На основі досліджень низки науковців, відслідковуємо рекомендації вчених щодо використання теплого асфальтобетону (WMA) замість гарячого асфальтобетону (HMA) з метою зменшення екологічного навантаження на довкілля. Оскільки встановлено, що нижча температура виробництва WMA може значно зменшити викиди газів та випарів і таким чином зменшити глобальне потепління. Нижча температура виробництва також забезпечує здорове робоче середовище та зменшує вплив випарів. Заміна HMA на WMA може знизити виробничі витрати завдяки зниженню споживання енергії на 20–75 % у виробництві WMA. Також зазначається, що зниження споживання енергії залежить від типу палива, джерела енергії, теплоємності матеріалу, вмісту вологи та температури виробництва. Іншими перевагами використання WMA є покращена оброблюваність та ущільнення асфальтової суміші, оскільки добавки в WMA зменшують в'язкість асфальтового в'язучого. Це

також дозволяє включати більше відходів, таких як регенероване асфальтове покриття (RAP). Також рекомендуються використання відновлюваних, екологічно чистих та економічно ефективних матеріалів, таких як біоматеріали, як альтернативи традиційним добавкам WMA для більш стійких та зелених асфальтових покриттів [57].

Проте, незважаючи на чималу кількість переваг використання технології WMA у будівництві дорожніх покриттів, дослідження показали також наявність недоліків. Одним із них є обмежена довговічність WMA, яка може не відповідати вимогам для дуже важкого та екстремального руху, такого як покриття аеропортів. Така обмежена довговічність була виправдана короткостроковою та довгостроковою ефективністю технологій WMA проти механічних та екологічних умов, таких як транспортне навантаження та високотемпературна погода [49]. Іншим недоліком є схильність WMA до пошкодження водою або відшаровування через низькі температури змішування та ущільнення, що може зменшити адгезію заповнювача та в'язучого. Пошук альтернатив добавкам WMA з якомога більшою кількістю відходів та на основі технологій біоматеріалів для подальшого розвитку стійких та екологічно чистих технологій WMA також вважається ще одним викликом, що стоїть перед дослідниками та дорожньою галуззю. Впровадження матеріалів RAP у технологію WMA все ще стикається з проблемами, такими як окислені матеріали RAP, які негативно впливають на механізм адгезії та когезії системи розділу агрегат-в'язучої речовини. Тому поєднання технологій WMA та RAP в одному продукті, який є довговічним, економічно ефективним та екологічно чистим, потребує подальших досліджень. Крім того, ще однією проблемою, яку необхідно враховувати, є максимізація можливості переробки WMA до 100 % перероблених матеріалів зі зменшенням їхніх механічних та екологічних проблем [57].

Загалом системний підхід до методології LCA забезпечує прозорість у кількісній оцінці викидів від видобутку сировини до утилізації після закінчення терміну служби, тим самим дозволяючи проводити цілісну оцінку

сталого розвитку. Наприклад, проведені дослідження, зосереджені на викидах парникових газів протягом життєвого циклу переробленого бетону, що містить 30 % переробленого крупного заповнювача виявили, що етап виробництва цементу спричинив майже 90 % загальних викидів, що підкреслює його значний вплив на навколишнє середовище. Тим часом транспортування сировини, зокрема переробленого крупного заповнювача, становило приблизно 10 % викидів. Викиди CO_2 під час виробництва RCA зменшуються на 22–65 % порівняно з викидами природних заповнювачів. Ці висновки підкреслюють критичну роль виробництва цементу та транспортування сировини у впливі на загальний профіль викидів парникових газів від переробленого бетону. Крім того, кількість використаного цементу та відстань транспортування переробленого крупного заповнювача були визначені як ключові чинники, що впливають на викиди парникових газів у продуктах з переробленого бетону. Також, дослідження показали, що хімічні реакції під час виробництва цементу є основними джерелами викидів парникових газів, викидаючи приблизно 0,5 тонни вуглекислого газу на тонну виробленого цементу. Це підкреслює важливість оптимізації використання цементу та місцевого постачання матеріалів для мінімізації викидів, пов'язаних з транспортуванням. Загалом, ці висновки свідчать про те, що фази виробництва та транспортування сировини є ключовими у визначенні впливу переробленого бетону на навколишнє середовище. Зусилля щодо скорочення викидів парникових газів у продуктах з переробленого бетону повинні бути зосереджені на підвищенні ефективності виробництва цементу, оптимізації стратегій постачання матеріалів та мінімізації транспортних відстаней. Враховуючи ці чинники, дорожня будівельна галузь може підвищити стійкість практик будівництва дорожніх покриттів та зробити свій внесок у глобальні зусилля щодо скорочення викидів вуглецю [55].

Зазначимо, що карбонізація – це природний процес поглинання вуглекислого газу (CO_2) цементними компонентами бетону, зокрема гідратами кальцію, внаслідок чого утворюються карбонати. У контексті переробленого

бетону цей процес відіграє важливу роль у зниженні чистих викидів парникових газів (GHG), оскільки частина CO_2 , викинутого під час виробництва цементу, повертається у зв'язаному вигляді до структури матеріалу.

Інтеграція карбонізації перероблених заповнювачів та бетонної матриці в оцінку життєвого циклу дозволяє точніше оцінити реальний рівень викидів, оскільки компенсуючий ефект поглинання CO_2 може бути суттєвим. Цей аспект набуває все більшої ваги в сучасних дослідженнях, присвячених декарбонізації дорожніх будівельних матеріалів і створенню стійких дорожніх покриттів [55].

Щоб забезпечити чіткіше та відчутніше розуміння впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з викидами парникових газів від переробленого бетону протягом життєвого циклу, викиди були перетворені на екологічні витрати та еквівалентну площу зелених насаджень, необхідну для повного поглинання вуглецю. Цей метод перетворення пропонує практичний та інтуїтивно зрозумілий спосіб оцінки екологічних переваг використання переробленого бетону порівняно з традиційним первинним бетоном.

Спираючись на літературні дані, екологічні витрати на викиди парникових газів, виходячи з готовності суспільства платити, були розраховані приблизно на рівні 30,43 доларів США за тонну викидів CO_2 [50]. Крім того, за оцінками, 1 m^2 зелених насаджень може поглинати приблизно 4,3 кг CO_2 щорічно. Ці контрольні показники слугують важливими інструментами для оцінки екологічних витрат і вигод, пов'язаних з різними видами бетону та викидами протягом їх життєвого циклу.

Результати аналізу екологічних витрат наведено в табл. 1. Дані показують, що екологічні витрати на перероблений бетон (включаючи RC25, RC50, RC75 та RC100) були значно нижчими, ніж ті, що пов'язані з первинним бетоном (VC). Зокрема, екологічні витрати на викиди парникових газів від переробленого бетону RC100 становили приблизно 7,47 доларів США

за кубічний метр, що відповідає потребі в 57,09 м² зелених насаджень для повного поглинання викидів CO₂ [55].

Таблиця 1.1

Конвертовані екологічні витрати на виробництво асфальтобетону*

Ідентифікатор міксу	Чистий викид ПГ (кг)	Екологічні витрати (дол. США)	Зелена площа (м ²)
VC	313,4	9,54	72,88
PC25	295,6	8,99	68,74
RC50	279,4	8,50	64,98
RC75	263,5	8,02	61,28
RC100	245,5	7,47	57,09

*Джерело: [55].

На противагу цьому, первинний бетон продемонстрував значно вищі екологічні витрати, що вимагає більшої площі зелених насаджень для тієї ж кількості компенсації викидів вуглецю. Наприклад, порівняно з первинним бетоном, перероблений бетон RC100 міг би заощадити понад 2 долари США на кубічний метр екологічних витрат, а також зменшити необхідну зелену площу майже на 15,0 м² на кубічний метр. Ці скорочення відображають значні екологічні та економічні переваги, що ще більше підкреслює переваги сталого розвитку використання переробленого бетону.

Цей аналіз підкреслює значний потенціал для зменшення як екологічного, так і економічного впливу завдяки використанню переробленого бетону. Вплив карбонізації переробленого крупного заповнювача (RCA), у поєднанні з додатковою карбонізацією, що відбувається під час процесів змішування та твердіння, відіграє ключову роль у зменшенні викидів парникових газів протягом життєвого циклу. Ці висновки рішуче підкреслюють важливість інтеграції перероблених матеріалів у будівельну практику як засобу підвищення стійкості, мінімізації вуглецевого сліду та сприяння циркулярній економіці в забудованому середовищі. Результати також заохочують перехід до впровадження більш екологічно відповідальних матеріалів, підкреслюючи їхній потенціал відігравати вирішальну роль у досягненні довгострокових цілей сталого розвитку в будівельній галузі [55].

1.3. Вплив викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття на здоров'я людини

Асфальтобетонне виробництво та роботи з укладання асфальту супроводжуються викидами численних хімічних речовин, серед яких значну частку становлять леткі органічні сполуки, що можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Результати досліджень вказують на те, що у працівників, які безпосередньо контактують з асфальтом, частіше фіксуються симптоми, пов'язані з погіршенням самопочуття: підвищена втомлюваність, зниження апетиту, подразнення очей, гортані, носоглотки та ін. Ці прояви є більш вираженими, ніж у контрольної групи, яка не зазнавала впливу асфальтових матеріалів.

Хімічний аналіз виробничого середовища показав, що середньодобова концентрація летких органічних сполук лише зрідка перевищувала 1 ppm, а середній рівень асфальтових випарів становив близько 0,358 мг/м³. Хоча загальна кількість летких речовин не завжди прямо корелювала з частотою симптомів, було встановлено значущий зв'язок між окремими сполуками та погіршенням здоров'я. Зокрема, виявлено високу кореляцію між появою симптомів і наявністю 1,2,4-триметилбензолу – ароматичного вуглеводню, який є продуктом переробки нафтопродуктів і має виражені подразнюючі властивості.

Погіршення самопочуття працівників також залежало від температури асфальту: чим вища була температура обробки, тим інтенсивнішими були симптоми. Це пояснюється підвищеним випаровуванням шкідливих компонентів при нагріванні. Встановлено, що тверді типи асфальту, які потребують високих температур, мають більш виражений негативний вплив на здоров'я порівняно з м'якими типами, що обробляються при нижчих температурах. У той же час додавання аміну до складу не сприяло зростанню симптоматики, що вказує на його незначну роль у загальному токсичному ефекті [59; 64].

Цікаво, що зовнішні фактори, зокрема погодні умови, інтенсивність руху транспорту чи специфіка робочих операцій, не виявили суттєвого впливу на частоту або вираженість симптомів. Це підкреслює, що основними факторами ризику для працівників залишаються саме технологічні параметри виробництва асфальту. Враховуючи виявлені ризики, як профілактичні заходи пропонується підтримувати температуру асфальту на рівні не вище 150 °С, обмежувати концентрацію випарів до рівня нижче 0,40 мг/м³ і за можливості віддавати перевагу м'якшим типам асфальту. Дотримання цих рекомендацій здатне знизити вплив шкідливих чинників на здоров'я працівників, зменшити ризики виникнення хронічних захворювань органів дихання та покращити умови праці загалом [59; 64].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

2.1. Характеристика технологічного процесу виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття

Асфальтобетон являє собою суміш мінеральних матеріалів і органічної зв'язуючої речовини – бітуму. До складу мінеральної частини входять гравій, пісок і мінеральний порошок, при цьому їхнє співвідношення залежить від типу асфальтобетонної суміші. Для нижніх шарів дорожнього покриття характерна підвищена частка гравію з метою забезпечення конструктивної міцності, тоді як у верхніх шарах переважають пісок і мінеральний порошок, що сприяє створенню рівної та зносостійкої поверхні [30].

Асфальтобетонні суміші знаходять широке застосування у дорожньому та аеродромному будівництві, а також при облаштуванні різноманітних майданчиків. Крім того, їх використовують як основу під промислові споруди, а також як ізоляційний матеріал у гідротехнічному будівництві, електротехнічній галузі та для покрівельних робіт.

Відомості про район, розташування досліджуваного виробництва представлено у табл. 2.1; 2.2.

Таблиця 2.1

Геодезичні координати

Пн. широта			Сх. довгота		
Градуси (о)	Мінути (')	Секунди (")	Градуси (о)	Мінути (')	Секунди (")
1	2	3	4	5	6
Об'єкт					
50	49	52	25	28	59

Таблиця 2.2

Метеорологічні параметри та коефіцієнти, що характеризують умови розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері

Найменування характеристик	Величина
Коефіцієнт, що залежить від стратифікації атмосферного шару, А	180
Рельєфний коефіцієнт місцевості	1,0
Середньомісячна максимальна температура зовнішнього повітря в найспекотніший місяць, Т, °С	23,5
Середньомісячна температура зовнішнього повітря в найхолодніший місяць, Т, °С	-4,9
Середньорічний розподіл напрямків вітру, %	
П	8,0
ПС	5,2
С	11
ПдС	15,7
Пд	15,2
ПдЗ	12,5
З	18,8
ПЗ	13,6
Штиль	10,1
Швидкість вітру (за середніми багаторічними даними), повторення перевищення якої складає 5%, U^* , м/с	12–13

*Джерело: [4].

Ділянка на якій розташований проммайданчик межує: в північному напрямку – ліс, житлова забудова; в північно-східному напрямку – ліс, автошлях; в східному напрямку – ліс, автошлях; в південно-східному напрямку – ліс, автошлях; в південному напрямку – ліс, інше промислове підприємство, залізнична колія; в південно-західному напрямку – промзона іншого підприємства; в західному напрямку – ліс, не діюча промзона; в північно-західному напрямку – ліс, житлова забудова.

Відповідно до [34] розмір нормативної санітарно-захисної зони для асфальтобетонного виробництва повинен становити 1000 м. Проте, відповідно до [33], для підвищення безпеки руху та довговічності дорожнього покриття влаштування поверхневих обробок на автошляхах державного значення дозволено лише із застосуванням сучасної техніки та бітумоемульсійних технологій. Використання чорнов'яжучих матеріалів коксохімічного

походження (дьогтів, смол та ін.) на дорогах загального користування заборонено. Виробництво асфальтобетонних сумішей у сучасних умовах здійснюється з використанням готових бітумів, що забезпечує суттєве зниження обсягів викидів забруднюючих речовин під час роботи підприємств, які займаються виготовленням дорожньо-будівельних матеріалів. Отже, враховуючи оновлення технологічного процесу виробництва асфальтобетонних сумішей, що передбачає використання більш екологічно безпечних сировинних компонентів (зокрема, бітумів замість компаундних в'язучих на основі коксохімічних продуктів), відбувається зменшення рівнів негативного впливу на атмосферне повітря. Тому відповідно до [34] для виробництв, що впроваджують нові технології або проходять реконструкцію, розміри санітарно-захисної зони можуть бути зменшені, якщо розрахунки та дослідження підтвердять, що рівні шкідливих впливів на межі житлової забудови не перевищують гігієнічні нормативи.

Виробництво розташоване на орендованій земельній ділянці площею 1,6 га яка знаходиться поблизу магістральної дороги, що забезпечує безпосереднє транспортування сировини та готової асфальтобетонної суміші до об'єктів ремонту з мінімальними логістичними витратами. Це дозволяє зменшити викиди забруднюючих речовин в атмосферу внаслідок згоряння палива у двигунах внутрішнього згоряння спецтехніки, скоротити витрати на паливо та, відповідно, знизити собівартість виробленої продукції.

На підприємстві здійснюється виробництво асфальтобетону фактичною потужністю – 30 т/год. До виробничого процесу задіяні: прохідна; побутові приміщення; вагова; комплектна трансформаторна підстанція; стоянка автотранспорту; операторська; мобільна асфальтозмішувальна установка контейнерного типу CSD 1500; теплогенератор; цистерна для нагріву бітуму (50 м³); цистерна для нагріву бітуму (26 м³); наземний резервуар для зберігання дизельного палива (50 м³); наземний резервуар для зберігання СВГ (50 м³); майданчики для зберігання інертних матеріалів (щебінь, відсів), сушильна установка (сушильний агрегат, змішувальний агрегат,

подрібнювальний агрегат, дизельний пальник) оснащена рукавним фільтром Nomex 400 на сушильному, змішувальному та подрібнювальному агрегатах, що забезпечує ефективність очищення понад 95 %. Режим роботи підприємства становить 210 днів/рік, 1680 год/рік, робота забезпечується 10 працюючими.

Виробництво асфальтобетонних сумішей базується на використанні готових бітумів, що забезпечує суттєве зниження викидів забруднюючих речовин під час роботи підприємств, які виготовляють матеріали для дорожніх покриттів.

Будівництво мобільного асфальтобетонного заводу здійснено без зняття родючого шару ґрунту й без вирубки зелених насаджень, а також з максимальним збереженням існуючого ландшафту.

Технологія приготування асфальтобетонних сумішей включає наступні операції: приймання та зберігання сировини; нагрівання в'язучих матеріалів (бітуму); транспортування матеріалів від складу до установки грубого дозування; сушіння та нагрівання мінеральних складових; сортування гарячих мінеральних матеріалів за фракціями та їх дозування згідно з рецептурою; транспортування та дозування бітуму; ретельне змішування мінеральних компонентів із бітумом; вивантаження готової суміші у накопичувальний бункер та відвантаження продукції. Режим роботи підприємства становить 8 годин на день протягом 210 днів на рік.

Мобільна асфальто-змішувальна установка контейнерного типу LINTES CSD 1500, яка використовується підприємством, призначена для виробництва асфальтобетонних сумішей, для дорожнього та інших галузей будівництва. Вона забезпечує гнучкість технологічного процесу та швидку зміну рецептур сумішей відповідно до необхідних вимог.

Основні технологічні операції, які виконує установка, включають: попереднє дозування кам'яних матеріалів в агрегаті живлення з подальшою їх подачею до сушильного агрегату; сушіння та нагрівання мінеральних складників до робочої температури; транспортування нагрітих матеріалів до

грохоту змішувального агрегату; сортування кам'яних матеріалів на п'ять або шість фракцій з тимчасовим зберіганням у бункері гарячих матеріалів; дозування фракцій та подачу їх у змішувач.

Відпрацьовані гази проходять очищення в рукавному фільтрі, а уловлений пил за допомогою елеватора подається разом з мінеральним порошком до змішувача або тимчасово зберігається в спеціальному бункері. За потреби пил вивантажується у технологічний автотранспорт для подальшої утилізації.

Установка також передбачає прийом, тимчасове зберігання, дозування та подачу мінерального порошку і гранульованої целюлозної добавки, які вводяться у змішувач для поліпшення властивостей суміші. Бітум приймається, зберігається та нагрівається до заданої температури, після чого дозується і подається у змішувач.

Змішування компонентів суміші здійснюється у змішувальному агрегаті, а готовий продукт надходить у відсіки бункера тимчасового зберігання, звідки потім відвантажується у спеціальний автотранспорт для транспортування на будівельні майданчики.

Установка оснащена системою автоматичного дозування всіх складових – кам'яних матеріалів, мінерального порошку, пилу та бітуму, а також системою автоматичного змішування і видачі готової суміші. Управління усіма основними механізмами здійснюється дистанційно через централізовану мікропроцесорну систему керування, що забезпечує високу точність і стабільність технологічного процесу.

Кам'яний матеріал надходить на п'ятибункерний агрегат живлення за допомогою навантажувача, де відбувається його попереднє дозування з точністю $\pm 5\%$. В разі роботи з високовологими матеріалами здійснюється відповідна корекція врахування вологості. Віддозований матеріал транспортується горизонтальним стрічковим конвеєром, а потім – похилим конвеєром – до сушильного агрегату.

Сушіння мінеральних матеріалів здійснюється у сушильному барабані, де матеріали рівномірно нагріваються до температури 165–185 °C шляхом спалювання палива (природного газу або дизельного палива) у топці агрегату. Газ і дизельне паливо зберігаються у двох наземних резервуарах об'ємом по 50 м³ кожен. Температура і швидкість сушіння регулюються інтенсивністю горіння пального та подачею матеріалу в барабан. Під час сушіння гарячі гази оточують частинки матеріалу, випаровують вологу, яка виводиться з барабану разом з газами за допомогою вентилятора.

Відхідні гази очищаються у рукавному фільтрі Nomex 400 г/м² з ефективністю очищення понад 95 %. Принцип роботи фільтра базується на поділі пилу: запилене повітря потрапляє в камеру, де важкі частинки осідають, а решта проходить через фільтрувальні рукави, на яких затримується пил. Очищене повітря надходить у камеру очищеного повітря і через димосос викидається в атмосферу.

Система очищення рукавів працює за принципом зворотного продування повітрям, яке видаляє пил з поверхні фільтрувальних рукавів. Кожен із 15 рядів рукавів оснащений окремим клапаном для продування, роботою яких керує електронний контролер PneuAlpha.

Для захисту рукавів від перегріву використовується система з термопарами, герметичним клапаном та контролером типу 2TRM1. При перевищенні допустимої температури (наприклад, 190 °C) клапан відкривається, пропускаючи холодне повітря для охолодження газів. Якщо температура досягає критичного рівня (приблизно 200 °C), відбувається автоматичне відключення пального сушильного барабану.

Пил, зібраний у камері, видаляється за допомогою шнека та шлюзового затвору і транспортується в бункер-накопичувач для подальшого використання або утилізації. Пил надходить з сушильного, подрібнювального та змішувального агрегатів.

Після сушіння гарячий щебінь і відсів подаються елеватором на грохот для сортування за фракціями. Матеріали, які не проходять через верхнє сито,

відводяться в окремий бункер. Дозування здійснюється ваговими дозаторами з високою точністю.

Мінеральний порошок об'ємом 16 м³ подається закритим елеватором у відповідний відсік гарячого бункера, а потім у змішувач. Дозування порошку регулюється автоматично, що забезпечує стабільність рецептури. Агрегат для мінерального порошку герметично закритий, що виключає викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

У змішувальному агрегаті відбувається послідовне змішування мінеральних матеріалів без бітуму («на сухо»), а потім – із введенням попередньо дозованого бітуму під тиском. Розпилення бітуму у вигляді дрібнодисперсного туману сприяє рівномірному покриттю поверхні частинок матеріалу і забезпечує однорідність асфальтобетонної суміші.

Бітум доставляється автотранспортом (бітумовозами) і зберігається у двох герметичних цистернах об'ємом 50 м³ та 26 м³. Перша оснащена електричними нагрівальними елементами, друга – системою циркуляції рідкого теплоносія (масла), нагрів якого здійснюється дизельним паливом. Герметичність конструкцій запобігає викидам забруднюючих речовин під час нагріву.

Готова асфальтобетонна суміш вивантажується у спеціальні накопичувальні бункери об'ємом 60 м³ (2 шт.), 40 м³ (1 шт.) та 20 м³ (1 шт.) або безпосередньо в автомобіль-самоскид. Бункери мають герметичне виконання для мінімізації викидів забруднюючих речовин.

Інертні матеріали (щебінь, відсів) зберігаються на відкритих складах. Відходи виробництва збираються та направляються на повторне використання, що сприяє зменшенню екологічного навантаження.

Джерелами утворення забруднюючих речовин у процесі функціонування асфальтобетонного підприємства є кілька етапів технологічного циклу, зокрема: виробництво асфальтобетонної суміші, нагрівання бітуму до робочої температури, зберігання та транспортування

інертних матеріалів (відсіву, щебеню), зберігання палива у резервуарах, а також процес його спалювання.

Упродовж календарного року на підприємстві здійснюється переробка таких обсягів сировини: щебінь – 20 000 тонн, відсів – 30 000 тонн, бітум – 2 750 тонн, мінеральний порошок – 1 000 тонн. Загальний річний обсяг випуску готової продукції, тобто асфальтобетонної суміші, становить 49 374,75 тонн.

2.2. Методичні підходи до визначення показників концентрацій та величин викидів

Метою дослідження промислових викидів є встановлення характеристик технологічного процесу з точки зору утворення, складу та обсягів відведення забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Особлива увага приділяється ідентифікації параметрів стаціонарних джерел, а також виявленню й оцінюванню неорганізованих джерел викидів, які не оснащені організаційно оформленими системами збору та очищення.

Результати таких досліджень мають важливе значення для:

- формування вихідних даних, необхідних для розрахунку нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ) для новоідентифікованих джерел;
- обґрунтування режимів регулювання обсягів шкідливих викидів, що надходять в атмосферу;
- здійснення державного обліку викидів у сфері охорони атмосферного повітря;
- планування природоохоронних заходів підприємства на коротко- та довгострокову перспективу;
- розроблення регіональних і локальних програм щодо зменшення техногенного навантаження на довкілля.

Проведення досліджень здійснюється відповідно до джерела [35].

Інструментально-лабораторні вимірювання концентрацій забруднюючих речовин виконуються за умов номінального технологічного навантаження, із дотриманням вимог таких нормативно-методичних документів [11; 12; 20; 28; 40].

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. 2.3.

Таблиця 2.3

Методи визначення показників концентрацій
і методики визначення величин викидів

Код ЗР	Забруднююча речовина	Метод визначення показників концентрації	Методика визначення величин викидів
1	2	3	4
301	азоту оксиди (у перерахунку на діоксид)	газоаналізатор	Інструкція по експлуатації ОКЦИ-5М-5Н
330	сірки діоксид	газоаналізатор	Інструкція по експлуатації ОКЦИ-5М-5Н
333	сірководень	-	розрахунково
337	вуглецю оксид	газоаналізатор	Інструкція по експлуатації ОКЦИ-5М-5Н
402	бутан	-	розрахунково
602	бензол	-	розрахунково
2754	вуглеводні граничні C ₁₂ -C ₁₉	-	розрахунково
2902	Суспендовані твердих частинок	гравіметричний	МВВ№081/12-0161-05
		-	розрахунково
10304	пропан	-	розрахунково
11812	діоксид вуглецю	-	розрахунково
11815	оксид діазоту	-	розрахунково
18116	НМЛОС	-	розрахунково

Джерело: [14; 15; 18; 20; 21; 23; 25; 26; 27; 29].

Що стосується заходів здійснення контролю за дотриманням затверджених нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин, то при визначенні розмірів викидів основними є прямі методи виміру концентрації забруднюючих речовин і обсягу газоповітряної суміші з фіксуванням її температури. Виміри повинні проводитися за графіком, узгодженим з місцевими органами екологічного управління і затверджену керівництвом підприємства. У тих випадках, коли відсутні методики або прилади для виміру, використовують балансові методи розрахунку викидів у залежності від продуктивності агрегату, складу сировини та ін.

При визначенні величин викидів розрахунковим методом використовуються наступні джерела: [14; 15; 23; 25; 26; 27; 29].

2.3. Інформаційне моделювання атмосферного розсіювання викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття

Розрахунок концентрації в атмосферному повітрі забруднюючих речовин виконується програмним комплексом ЕОЛ+.

Алгоритми програми елементів комплексу реалізують Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, які знаходяться у викидах підприємства [28].

Пошук несприятливих швидкостей вітру здійснюється програмою автоматично виходячи із заданих швидкостей.

Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря здійснюється за даними результатів розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та даними, що одержані при проведенні інструментальних методів досліджень.

Для визначення необхідності проведення розрахунків розсіювання викидів шкідливих речовин в атмосферу, необхідно перевірити рівність згідно [28]:

$$\frac{M}{ГДК} > \Phi \text{ при } \Phi=0,1 \text{ при } \bar{H} < 10 \text{ м; } \Phi = 0,01 \bar{H} \text{ при } \bar{H} > 10 \text{ м,}$$

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

ГДК – максимально разова граничнодопустима концентрація, мг/м³;

$\bar{H}$ – середньозважена по підприємству висота джерел викиду, м.

Сумарні результати представлено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Доцільність проведення розрахунків розсіювання

№ п/п	Найменування речовини	ГДК, ОБРВ, мг/м ³	М, г/с	$\bar{H}$	М/ГДК	Φ	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	0,000000043	2,4	0,0000054	0,1	ні
5	Вуглецю оксид	5	0,63	9,2	0,13	0,1	ні
6	Бутан	200	0,79	2	0,0040	0,1	ні
7	Бензол	1,5	0,000000023	2,4	0,000000015	0,1	ні
8	Бенз(а)пірен	0,0001	0,0000085	9,2	0,085	0,1	ні
9	Одорант СПМ	0,00005	0,000026	2	0,52	0,1	так
10	Вуглеводні граничні	1	0,43	2,2	0,43	0,1	так
11	Речовини у вигляді твердих суспендованих частинок	0,5	2,93	3,75	5,86	0,1	так
12	Пропан	65	1,19	2	0,018	0,1	ні

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 завислих частинок. Водночас, відповідно до вимог [28], 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).

Розрахунок просторового розсіювання забруднюючих речовин, що надходять до атмосферного повітря від джерела викиду, було здійснено з використанням програмного забезпечення «ЕОЛ+», яке реалізує алгоритми, розроблені відповідно до Методики оцінки приземних концентрацій хімічних речовин. У межах моделювання враховано викиди таких речовин, як оксиди азоту, діоксид сірки, СПМ-одорант, граничні вуглеводні та пилоподібні компоненти у формі твердих частинок.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО
ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ3.1. Результати розрахунку викидів виробництва асфальтобетонного
дорожнього покриття в атмосферу

Представимо результати розрахунку викидів виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття в атмосферу послідовно для кожного із джерел.

Джерело № 1 – дозуючий бункер (відсів). Забруднюючими речовинами є суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом.

Вихідні дані: матеріал – відсів; витрата сировини – $G_{\text{рік}} = 15000$ т/рік; фонд робочого часу установки – $T = 1680$ год/рік.

Максимально разовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$q_m = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot V \cdot G_{\text{год}} \cdot 106/3600 = 0,00033 \text{ г/с} \quad (1)$$

де, – K_1 – вагова частка пилової фракції в матеріалі, [27, табл. 1] , $K_1 = 0,04$;

– K_2 – частка пилу (від усього вагового пилу), що переходить в аерозоль, $K_2 = 0,02$ [27, табл. 1];

– K_3 – коефіцієнт, який враховує місцеві метео умови, (при швидкості вітру до 10 м/с, [27, табл. 2] , $K_3 = 1,2$;

– K_4 – коефіцієнт, який враховує місцеві умови, ступінь захищеності приміщення від зовнішніх дій, умови пилоутворення (при умові бункер відкритий з однієї сторони, [27, табл. 3], $K_4 = 0,1$;

– K_5 – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу (до 7 %, [27, табл. 4], $K_5 = 0,1$;

– K_7 – коефіцієнт, який враховує зернистість сировини (при розмірі матеріалу 1–3 мм, [27, табл. 5], $K_7 = 0,8$;

- K_8 – поправочний коефіцієнт для різних матеріалів в залежності від типу грейфера [27, табл. 6], $K_8 = 0,427$;
- K_9 – поправочний коефіцієнт припотужному залповому скиданні матеріалу при завантаженні автосамосвала, $K_9 = 0,1$;
- B – коефіцієнт, що враховує висоту пересипання [27, табл. 7].

Валовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$M^{\text{БАЛ}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot B \cdot G_{\text{рік}} = 0,0020 \text{ т/рік} \quad (2)$$

Для джерела № 2 показники викидів забруднювачів в атмосферне повітря будуть аналогічними, оскільки вихідні умови такі ж самі.

Джерело № 3 – дозуючий бункер (щебінь). Забруднювачі: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом.

Вихідними даними є: матеріал – щебінь; витрата сировини – $G_{\text{рік}} = 7000$ т/рік; фонд робочого часу установки – $T = 1680$ год/рік.

Максимально разовий викид забруднюючої речовини розраховується за форм. 1, $q_m = 7,9E-05$ г/с.

Валовий викид забруднюючої речовини розраховуємо за форм. 2, $M^{\text{БАЛ}} = 0,00048$ т/рік.

Джерела № 4, 5 – дозуючий бункер (щебінь). Забруднювачі: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом.

Вихідними даними є: матеріал – щебінь; витрата сировини – $G_{\text{рік}} = 6500$ т/рік; фонд робочого часу установки – $T = 1680$ год/рік.

Максимально разовий викид забруднюючої речовини розраховується за форм. 1, $q_m = 7,3E-05$ г/с.

Валовий викид забруднюючої речовини розраховуємо за форм. 2, $M^{\text{БАЛ}} = 0,00044$ т/рік.

Джерело № 6. Стрічковий конвеєр. Забруднюючі речовини: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом.

Вихідними даними є: час роботи обладнання за рік – $T = 1680$ год/рік.

Максимально-разовий викид забруднюючої речовини при транспортуванні мінерального матеріалу стрічковим конвеєром розраховується за формулою [23]:

$$q_m = W_c \cdot l \cdot g \cdot L \cdot 10^3 \text{ г/с}$$

де, W_c – питома здуваємість пилу з конвеєрної стрічки, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $W_c = 0,00003$;

l – ширина конвеєрної стрічки, м, $l = 0,65$;

L – довжина конвеєрної стрічки, м, $L = 45$;

g – коефіцієнт подрібнення гірської породи, $g = 0,4$.

$$q_m = 0,35 \text{ г/с}$$

Валовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою [23]:

$$M^{\text{БАЛ}} = 3600 \cdot 10^{-6} \cdot T \cdot q_m, \text{ т/рік}$$

де: T – фонд робочого часу;

$$M^{\text{БАЛ}} = 2,12 \text{ т/рік}$$

Джерело № 7. Люк цистерни (Цистерна для нагрівання бітуму).
Джерело утворення з. р.: цистерна для нагріву бітуму об'ємом 26 м^3 .
Забруднюючими речовинами є вуглеводні граничні C_{12} - C_{19} . Час роботи обладнання становить 1680 год/рік.

Максимально разовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$q_m = 0,445 \cdot P_t^{\text{max}} \cdot m \cdot K_p^{\text{max}} \cdot K_B \cdot V_q^{\text{max}} / 10^2 \cdot (273 + t_{\text{ж}}^{\text{max}}), \text{ г/с}$$

де, P_t^{max} – тиск насичених парів індивідуальних речовин при температурі рідини, мм. рт.ст. [27, ст. 90]; $P_t^{\text{max}} = 19,91$;

m – молекулярна маса бітуму (прийнята по температурі початку кипіння ($T_{\text{кип}} = 280^\circ \text{C}$), г/моль ; $m = 187$;

K_p^{max} – коефіцієнт, що залежить від об'єму резервуара, при об'ємі 160 м^3 [25, дод. 8], $K_p^{\text{max}} = 0,90$;

K_B – коефіцієнт, що залежить від тиску, [25, дод. 9], $K_B = 1$;

V_q^{max} – максимальний обсяг пароподібної суміші, що витісняється з резервуара під час його закачування, $\text{м}^3/\text{год}$; $V_q^{\text{max}} = 12$;

$t_{ж}^{max}$ – максимальна температура рідини, °C, $t_{ж}^{max} = 140$;

$$q_m = 0,43 \text{ г/с}$$

Валовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$M^{BAL} = 0,160 \cdot (P_t^{max} \cdot K_B + P_t^{min}) \cdot m \cdot K_p^{cp} \cdot K_{ob} \cdot B / 10^4 \cdot \rho_{ж} \cdot (546 + t_{ж}^{max} + t_{ж}^{min}), \text{ т/рік}$$

де, P_t^{min} – тиск насичених парів індивідуальних речовин при температурі рідини, мм. рт.ст. [27, 90]; $P_t^{min} = 4,26$;

K_p^{cp} – коефіцієнт, що залежить від об'єму резервуара, при об'ємі 160 м³ [25, дод. 8], $K_p^{cp} = 0,63$;

K_{ob} – коефіцієнт, що залежить від річної оборотності резервуара $K_{ob} = 8000 / 0,95 \cdot 160 = 52,63$, [25, дод. 10]; $K_{ob} = 1,35$;

B – кількість бітуму, що закачується в резервуар протягом року, т/рік, $B = 1750$;

$\rho_{ж}$ – густина бітуму, т/м³, $\rho_{ж} = 0,95$;

$t_{ж}^{min}$ – мінімальна температура рідини, °C, $t_{ж}^{min} = 100$;

$$M^{BAL} = 0,14 \text{ т/рік}$$

Джерело № 8. Димова труба (Теплогенератор). Вихідні дані: витрата палива – $B_{рік} = 4$ т/рік; час роботи $T = 1680$ год/рік.

Розрахунок валових та максимально разових викидів здійснюється відповідно до джерела [9]. Результати розрахунків представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Зведена таблиця забруднюючих речовин при роботі теплогенератора

Найменування речовини	M^{BAL} , т/рік	q_m , г/с
Азоту оксиди (у перерахунку на діоксид)	0,010	0,0017
Вуглецю оксид	0,055	0,0091
Сірки діоксид	0,024	0,0040
Бенз(а)пірен	6,4E-06	1,1E-06
Суспенд. твердих частинок недиференц. за складом	0,0010	0,00017

Джерело № 9. Наземний резервуар для зберігання дизельного палива. Вихідні дані: наземний резервуар для зберігання дизельного палива ємністю 2 м³; річний об'єм дизпалива в резервуарі: $V_{жр} = 324,7$ м³/рік; викид

забруднюючих речовин в атмосферне повітря відбувається під час безпосереднього зберігання дизпалива в ємності; фонд робочого часу зберігання дизпалива в ємності: $T = 5040$ год/рік.

Максимально-разовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні дизпалива з ємності, розраховується за формулою:

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

де: 1) $V_{ж}^p$ – річний об'єм дизпалива в резервуарі, m^3 ;

2) $P_{s(38)}$ – тиск насичених парів рідини при максимальній температурі зберігання;

$$T_{\text{макс.}} = 38^\circ\text{C}, \text{ гПа.}$$

Визначається з [14, дод. 6.1], враховуючи $T_{\text{ЕКВ}}$ – еквівалентна температура початку кипіння рідини:

$$T_{\text{ЕКВ}} = T_{\text{П.К.}} + (T_{\text{К.К.}} - T_{\text{П.К.}})/8,8$$

де, $T_{\text{П.К.}}$ – температура початку кипіння рідини $^\circ\text{C}$. Для дизпалива $T_{\text{П.К.}} = 180^\circ\text{C}$;

$T_{\text{К.К.}}$ – температура кінця кипіння рідини $^\circ\text{C}$. Для дизпалива $T_{\text{К.К.}} = 360^\circ\text{C}$.

$$\text{Тоді, } T_{\text{ЕКВ}} = 180 + (360 - 180)/8,8 = 200^\circ\text{C}$$

Згідно [14, дод. 6.1], враховуючи $T_{\text{ЕКВ}} = 200^\circ\text{C}$; $P_{s(38)} = 1,3$ гПа

3) M_n – молекулярна маса парів рідини, г/моль, $M_n = 146$ г/моль

4) K_{5X} – коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів P і температури газового середовища за 6 найбільш холодних місяців року $T_{\text{РХ}}$, $^\circ\text{C}$. Визначається з [14, дод. 3.6].

$$T_{\text{РХ}} = K_{1X} + K_{2X} \cdot T_{\text{АХ}} + K_{3X} \cdot T_{\text{ЖХ}}$$

де, $T_{\text{АХ}}$ – середнє арифметичне значення температури атмосферного повітря за 6 найбільш холодних місяців.

$$T_{\text{АХ}} = -0,1^\circ\text{C}$$

$T_{\text{ЖХ}}$ – середня температура нафтопродуктів у резервуарах за 6 найбільш холодних місяців року.

$$T_{\text{ЖХ}} = 10^\circ\text{C}$$

K_{1X} , K_{2X} , K_{3X} – коефіцієнти за 6 найбільш холодних місяців, визначаються із [14, дод. 3.1], враховуючи середню температуру нафтопродуктів в резервуарі.

При $T_{ЖХ} = 10$, значення коефіцієнтів будуть такими:

$$K_{1X} = 1,62 \quad K_{2X} = 0,19 \quad K_{3X} = 0,74$$

тоді: $T_{PX} = 1,62 + 0,19 \cdot (-0,1) + 0,74 \cdot 10 = 9,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

згідно [14, дод. 3.6] $K_{5X} = 0,10$

5) K_{5T} – коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів P і температури газового середовища за 6 найбільш теплих місяців року T_{PT} , $^{\circ}\text{C}$. Визначається з [14, дод. 3.6].

$$T_{PT} = K_{1T} + K_{2T} \cdot T_{AT} + K_{3T} \cdot T_{ЖТ},$$

де, T_{AT} – середнє арифметичне значення температури атмосферного повітря за 6 найбільш теплих місяців.

$$T_{AT} = 14,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$T_{ЖТ}$ – середня температура нафтопродуктів у резервуарах за 6 найбільш теплих місяців року.

$$T_{ЖТ} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

K_{1T} , K_{2T} , K_{3T} – коефіцієнти за 6 найбільш теплих місяців, визначаються з [14, дод. 3.1], враховуючи середню температуру нафтопродуктів в резервуарі.

При $T_{ЖТ} = 20$, значення коефіцієнтів будуть такими:

$$K_{1T} = 6,1 \quad K_{2T} = 0,17 \quad K_{3T} = 0,36$$

$$T_{PT} = 6,1 + 0,17 \cdot 14,6 + 0,36 \cdot 20 = 15,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Тоді згідно дод. 3.6 [40] $K_{5T} = 0,18$

6) K_6 – поправочний коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів P і річної оборотності резервуарів. Визначається з [14, дод. 4.2].

Оборотність резервуара розраховується за формулою:

$$\Pi = V_{ЖP} / V_p = 150$$

V_p – об'єм резервуара, м^3 ;

$V_{ЖP}$ – річний об'єм дизпалива в резервуарах, м^3 ;

$$K_6 = 1,26$$

7) K_7 – коефіцієнт, що враховує оснащення резервуарів.

Визначається згідно [14, дод. 5.1], $K_7 = 1,0$

8) π – коефіцієнт газоефективності газовловлюючого обладнання резервуара, долі одиниць,

$$J = 0$$

Максимально-разовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні дизпалива з ємності, розраховується за формулою, згідно [14]:

$$P_p = 2,52 \cdot V_{ж}^p \cdot P_{s(38)} \cdot M_n \cdot (K_{5X} + K_{5T}) \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot (1-\pi) \cdot 10^{-9} = 5,5E-05 \text{ кг/год,}$$

що дорівнює:

$$q_m = P_p / 3,6 = 1,5E-05 \text{ г/с}$$

Валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні дизпалива з ємності розраховується по формулі:

$$M^{BAL} = P_p \cdot T / 1000 = 0,00028 \text{ т/рік}$$

Згідно [14, табл. 2.11.] відсоткове співвідношення за масою концентрації забруднюючих речовин для дизпалива становить:

- сірководень – 0,28 %;
- бензол – 0,15 %;
- вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$ – 99,57 %.

Максимально-разовий викид (г/с) та валовий викид (т/рік) для кожної забруднюючої речовини представлено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Максимально-разовий викид (г/с) та валовий викид (т/рік)
для кожної забруднюючої речовини

З/р	q_m , г/с	M^{BAL} , т/рік
сірководень	4,3E-08	7,8E-07
бензол	2,3E-08	4,2E-07
вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$	1,5E-05	0,00028

Джерело № 10. Димова труба (Сушильний барабан асфальто-змішувальної установки) Джерела утворення забруднюючих речовин:

сушильний, подрібнювальний, змішувальний агрегат. До вихідних даних належать: фонд робочого часу установки $T = 1680$ год/рік; ефективність очистки – $\eta = 95$ %.

Розрахунок максимально разового викиду забруднюючої речовини розраховується за формулою [29]:

$$q_m = V \cdot C \cdot 10^{-3} \cdot (1 - \eta / 100), \text{ г/с}$$

де: V – об'ємна витрата газоповітряної суміші, що відводиться від джерела забруднення за одиницю часу, приведена до нормальних умов, $V = 2,146 \text{ м}^3/\text{с}$;

C – масова (заміряна) концентрація забруднювальної речовини в газі, приведена до н.у., суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом, $C = 20000 \text{ мг/м}^3$.

$$q_m = 2,15 \text{ г/с}$$

Валовий викид розраховується за формулою [29]:

$$M_{\text{вал}} = q_m \cdot T \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік}$$

де: T – річний фонд робочого часу установки, год/рік;
суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом:

$$M_{\text{вал}} = 12,98 \text{ т/рік}.$$

Таблиця 3.3

Зведена таблиця забруднюючих речовин за джерелом – димова труба
(сушильний барабан асфальтозмішувальної установки)

Найменування речовини	$M^{\text{БАЛ}}$, т/рік	q_m , г/с
Азоту оксиди (у перерахунку на діоксид)	0,70	0,12
Вуглецю оксид	3,72	0,62
Сірки діоксид	1,60	0,26
Бенз(а)пірен	4,5E-05	7,4E-06
Суспенд. твердих частинок недиференц. за складом	12,98	2,15
Парникові гази		
Метан	1,3E-05	2,2E-06
Діоксид вуглецю	0,78	0,13
Оксид діазоту	1,3E-06	2,2E-07
НМЛОС	6,6E-05	1,1E-05

Джерело № 11. Резервуар для зберігання газу. Розрахунки здійснено відповідно до джерела [24]. Об'єм резервуару становить $V = 50 \text{ м}^3$. Максимальне заповнення – 85 %. Злив з автоцистерни в ємність АГЗП здійснюється за допомогою гумових рукавів довжиною 5м, діаметр рукава рідкої фази 40 мм, парової фази 32 мм.

Викиди забруднюючих речовин обраховувалися згідно процентного складу бутану і пропану в газі (з наближенням): пропану – 60 %, бутану – 40 %.

Відповідно, викиди при зливі з автоцистерн становлять:

Пропану: $q_m = 1,15 \text{ г/с}$; $M_{\text{вал}} = 0,021, \text{ т/рік}$.

Бутану: $q_m = 0,77 \text{ г/с}$; $M_{\text{вал}} = 0,014, \text{ т/рік}$.

Враховуючи природні втрати газу під час зберігання загальні викиди є наступними:

Пропану: $q_m = 1,19 \text{ г/с}$; $M_{\text{вал}} = 1,11, \text{ т/рік}$.

Бутану: $q_m = 0,79 \text{ г/с}$; $M_{\text{вал}} = 0,73, \text{ т/рік}$.

Викид одоранту при цьому: $q_m = 2,6\text{E-}05 \text{ г/с}$; $M_{\text{вал}} = 2,4\text{E-}05, \text{ т/рік}$.

Джерело № 12. Площадка для зберігання інертних матеріалів (щебінь, відсів). Забруднюючими речовинами є суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом.

При зберіганні та переміщенні щебеню вихідні дані: матеріал – щебінь; витрата сировини – $G_{\text{рік}} = 20000 \text{ т/рік}$; фонд робочого часу – $T = 6000 \text{ год/рік}$.

Максимально разовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$q_m = A + B, \text{ г/с}$$

$$A = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G_{\text{год}} \cdot h \cdot 10^6 / 3600, \text{ г/с}$$

$$B = K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot p \cdot f, \text{ г/с}$$

де, A – викиди при переміщенні матеріалу, г/с;

B – викиди при статичному зберіганні матеріалу;

K_1 – вагова частка пилової фракції в матеріалі [26, табл. 1], $K_1 = 0,04$;

K_2 – частка пилу (від усього вагового пилу), що переходить в аерозоль [26, табл. 1], $K_2 = 0,02$;

K_3 – коефіцієнт, який враховує місцеві метео умови, (при швидкості вітру до 10 м/с, [26, табл. 2], $K_3 = 1,0$;

K_4 – коефіцієнт, який враховує місцеві умови, ступінь захищеності приміщення від зовн. дій, умови пилеутворення(при умові склад відкритий з чотирьох сторін, [26, табл. 3], $K_4 = 0,3$;

K_5 – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу(до 10 %, [26, табл. 4], $K_5 = 0,1$;

K_7 – коефіцієнт, який враховує зернистість сировини(при розмірі матеріалу 50–10 мм, [26, табл. 5], $K_7 = 0,5$;

K_6 – коефіцієнт, що враховує профіль матеріалу, що складається (дані надаються підприємством), $K_6 = 1,2$;

$G_{\text{год.}}$ – сумарна кількість матеріалу, що переробляється за 1 годину т/год, $G_{\text{год.}} = 11,9$ т/год;

p – здуваємість пилу з 1 м² фактичної поверхні [26, табл. 6] г/(м²·с), $p = 0,0017$;

f – площа складу, м², $f = 3000$;

h – коефіцієнт, враховуючий висоту пересипання 1 м, [26, табл. 7], $h = 0,5$;

$A = 0,04$ г/с; $B = 0,092$ г/с; $q_m = 0,13$ г/с.

Валовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$M^{\text{БАЛ}} = (A \cdot T_A + B \cdot T_B) \cdot 0,0036, \text{ т/рік}$$

де, T_A – річний час переміщення матеріалу, год/рік; $T_A = 1680$;

T_B – річний час статичного зберігання матеріалу, год/рік, $T_B = 8760$;

$$M^{\text{БАЛ}} = 3,13 \text{ т/рік}$$

При зберіганні та переміщенні відсіву вихідні дані: матеріал – відсів;
витрата сировини – $G_{\text{рік}} = 30000$ т/рік.

Максимально разовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$q_m = A + B, \text{ г/с}$$

$$A = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G_{\text{год.}} \cdot h \cdot 10^6 / 3600, \text{ г/с}$$

$$B = K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot p \cdot f, \text{ г/с}$$

де, A – викиди при переміщенні матеріалу, г/с;

B – викиди при статичному зберіганні матеріалу;

K_1 – вагова частка пилової фракції в матеріалі [26, табл. 1], $K_1 = 0,04$;

K_2 – частка пилу (від усього вагового пилу), що переходить в аерозоль [26, табл. 1], $K_2 = 0,02$;

K_3 – коефіцієнт, який враховує місцеві метео умови, (при швидкості вітру до 10 м/с, [26, табл. 2], $K_3 = 1,2$;

K_4 – коефіцієнт, який враховує місцеві умови, ступінь захищеності приміщення від зовн. дій, умови пилеутворення (при умові склад відкритий з чотирьох сторін, [26, табл. 3], $K_4 = 0,3$;

K_5 – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу (до 10 %, [26], $K_5 = 0,1$;

K_7 – коефіцієнт, який враховує зернистість сировини (при розмірі матеріалу 3-5 мм, [26, табл. 5], $K_7 = 0,8$;

K_6 – коефіцієнт, що враховує профіль матеріалу, що складається (дані надаються підприємством), $K_6 = 1,2$;

$G_{\text{год.}}$ – сумарна кількість матеріалу, що переробляється за 1 годину т/год,

$G_{\text{год.}} = 17,9 \text{ т/год}$;

p – здуваємість пилу з 1 м² фактичної поверхні [26] г/(м²·с), $p = 0,00071$;

f – площа складу, м², $f = 7500$;

h – коефіцієнт, враховуючий висоту пересипання 1 м, [26, табл. 7], $h = 0,5$;

$A = 0,11 \text{ г/с}$; $B = 0,18 \text{ г/с}$; $q_m = 0,30 \text{ г/с}$;

Валовий викид забруднюючої речовини розраховується за формулою:

$$M^{\text{ВАЛ}} = (A \cdot T_A + B \cdot T_B) \cdot 0,0036, \text{ т/рік}$$

де, T_A – річний час переміщення матеріалу, год/рік; $T_A = 1680$;

T_B – річний час статичного зберігання матеріалу, год/рік, $T_B = 8760$;

$$M^{\text{ВАЛ}} = 6,50 \text{ т/рік}$$

Представимо сумарні викиди забруднюючих речовин від площадки для зберігання інертних матеріалів щебіню та відсіву.

Максимально-разові викиди розраховуються як сума показників максимально-разових викидів при зберіганні й переміщенні матеріалів (щебіню та відсіву) за відповідними таблицями.

Валові викиди визначаються як сума значень валових викидів при зберіганні та переміщенні відсіву та щебню.

Таблиця 3.4

Викиди забруднюючих речовин
при зберіганні й переміщенні відсіву та щебню

Найменування забруднюючої речовини	Максимально-разов. викид, q_m , г/с	Валовий викид, $M_{вал.}$, т/рік
Тверді суспендовані частинки	0,43	9,63

Узагальнені результати обрахунків викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря досліджуваного виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття представлено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Сумарні обсяги викидів забруднюючих речовин при виробництві
асфальтобетонного дорожнього покриття

Найменування речовини	Викид забр. речовин, т/рік	Найменування речовини	Викид забр. речовин, т/рік
Азоту діоксид	0,71	Бензапірен	0,000051
Сажа	0,069	Одорант СПМ	0,000024
Сірки діоксид	1,62	Вуглеводні	0,14
Сірководень	0,00000078	Тверді суспенд. частинки	24,74
Вуглецю оксид	3,78	Пропан	1,11
Бутан	0,73	Діоксид вуглецю	0,78
Метан	0,000013	Оксид діазоту	0,0000013
Бензол	0,00000042	НМЛОС	0,000066

Отже, при здійсненні виробництва асфальтобетонного дорожнього покриття спостерігаємо вплив на атмосферне повітря спричинений

зазначеними джерелами викидів, що у свою чергу потребує постійного контролю та моніторингу з метою недопущення перевищень встановлених нормативів.

3.2. Оцінка забруднення атмосферного повітря при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття

Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря здійснюється за даними результатів розрахунків розсіювання. Максимальні концентрації на межі СЗЗ без врахування фону та з фоновим забрудненням представлено в табл. 3,6; 3,7.

Таблиця 3.6

Максимальні концентрації на межі СЗЗ без врахування фону

Речовина	Максимальна концентрація	Речовина	Максимальна концентрація
Азоту діоксид:	0,008 мг/м ³ (0,04 ГДК)	Вуглеводні граничні	0,15 мг/м ³ (0,15 ГДК)
Сірки діоксид	0,015 мг/м ³ (0,03 ГДК)	Тверді суспендовані частинки	0,285 мг/м ³ (0,57 ГДК)
Одорант СПМ	0,0000045 (0,09 ГДК)		

Група сумації 30 (сірки діоксид + сірководень) становить 0,08 ГДК.

Група сумації 31 (азоту діоксид + сірки діоксид) становить 0,07 ГДК.

Таблиця 3.7

Фонові концентрації*

Речовина	Концентрація	Речовина	Концентрація
Азоту діоксид	0,08 мг/м ³ (0,4 ГДК)	Бензол	0,6 мг/м ³ (0,4 ГДК)
Сажа	0,06 мг/м ³ (0,4 ГДК)	Бенз(а)пірен	0,0000001 мг/м ³ (0,1 ГДК)
Сірки діоксид	0,2 мг/м ³ (0,4 ГДК)	Одорант СПМ	0,00002 мг/м ³ (0,4 ГДК)
Сірководень	0,0032 мг/м ³ (0,4 ГДК)	Вуглеводні граничні	0,4 мг/м ³ (0,4 ГДК)
Вуглецю оксид	2 мг/м ³ (0,4 ГДК)	Тверді суспендовані частинки	0,2 мг/м ³ (0,4 ГДК)
Бутан	80 мг/м ³ (0,4 ГДК)	Пропан	26 мг/м ³ (0,4 ГДК)

*Джерело: [42].

Відповідно максимальні сумарні з фоном концентрації забруднюючих речовин на межі СЗЗ становитимуть:

Азоту діоксид: $0,04 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,44 \cdot 0,2 = 0,088 \text{ мг/м}^3$;

Сажа: $0,05 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,45 \cdot 0,15 = 0,068 \text{ мг/м}^3$;

Сірки діоксид: $0,03 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,43 \cdot 0,5 = 0,22 \text{ мг/м}^3$;

Сірководень: $0,05 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,45 \cdot 0,008 = 0,0036 \text{ мг/м}^3$;

Вуглецю оксид: $0,05 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,45 \cdot 5 = 2,25 \text{ мг/м}^3$;

Бутан: $0,05 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,45 \cdot 200 = 90 \text{ мг/м}^3$;

Бензол: $0,05 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,45 \cdot 1,5 = 0,68 \text{ мг/м}^3$;

Бенз(а)пірен: $0,05 \text{ ГДК} + 0,1 \text{ ГДК} = 0,15 \cdot 0,000001 = 1,5\text{E-}07 \text{ мг/м}^3$;

Одорант СПМ: $0,09 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,49 \cdot 0,00005 = 0,000025 \text{ мг/м}^3$;

Вуглеводні граничні: $0,15 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,55 \cdot 1 = 0,55 \text{ мг/м}^3$;

Тверді суспенд. част.: $0,57 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,97 \cdot 0,5 = 0,49 \text{ мг/м}^3$;

Пропан: $0,05 \text{ ГДК} + 0,4 \text{ ГДК} = 0,45 \text{ ГДК} = 0,45 \cdot 65 = 29,25 \text{ мг/м}^3$;

Оцінювання ступеня забруднення атмосферного повітря, здійснюється шляхом порівняння сумарного індексу забруднення повітряного середовища ($\Sigma\Pi3$), сформованого сукупністю забруднювальних речовин, з граничним допустимим рівнем забруднення (ГДЗ). Рівень забруднення вважається прийнятним, якщо значення $\Sigma\Pi3$ не перевищує нормативного порогу – ГДЗ.

У процесі оцінки якості атмосферного повітря за екологічними та гігієнічними критеріями безпечним для населення вважається такий стан повітряного середовища, за якого концентрації як окремих забруднювальних компонентів, так і їх сукупний вплив не перевищують установлених нормативів: гранично допустимих концентрацій (ГДК), орієнтовно безпечних рівнів впливу (ОБРВ) або граничних рівнів забруднення (ГДЗ).

Показник забруднення кожної речовини, для якої відсутня сумісна дія, повинен відповідати умові:

$$\frac{C}{\text{ГДК}} \leq 1$$

де: C – концентрація конкретної речовини, мг/м^3 ;

ГДК – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі населених місць, мг/м³.

$$\frac{C_{\text{азоту діокс}}}{ГДК_{\text{азоту діокс}}} = \frac{0,008}{0,2} = 0,04 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{бензол}}}{ГДК_{\text{бензол}}} = \frac{0,075}{1,5} = 0,05 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{сажа}}}{ГДК_{\text{сажа}}} = \frac{0,0075}{0,15} = 0,05 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{бенз(а)пірен}}}{ГДК_{\text{бенз(а)пірен}}} = \frac{0,000005}{0,0001} = 0,05 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{сірки діоксид}}}{ГДК_{\text{сірки діоксид}}} = \frac{0,015}{0,5} = 0,03 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{бенз(а)пірен}}}{ГДК_{\text{бенз(а)пірен}}} = \frac{0,000005}{0,0001} = 0,05 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{сірководень}}}{ГДК_{\text{сірководень}}} = \frac{0,0004}{0,008} = 0,05 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{одорант СПМ}}}{ГДК_{\text{одорант СПМ}}} = \frac{0,0000045}{0,00005} = 0,09 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{вуглецю оксид}}}{ГДК_{\text{вуглецю оксид}}} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{вуглеводні граничні}}}{ГДК_{\text{вуглеводні граничні}}} = \frac{0,15}{1} = 0,15 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{бутан}}}{ГДК_{\text{бутан}}} = \frac{10}{200} = 0,05 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{тв.}}}{ГДК_{\text{тв.}}} = \frac{0,285}{0,5} = 0,57 \leq 1$$

$$\frac{C_{\text{пропан}}}{ГДК_{\text{пропан}}} = \frac{3,25}{65} = 0,05 \leq 1$$

Для всіх речовин зазначені вимоги справджуються, тобто перевищення гігієнічних норм у приземному шарі атмосфери на межі СЗЗ відсутні.

Показник граничнодопустимого забруднення (ГДЗ) розраховується на основі визначених коефіцієнтів комбінованої дії (К.К.Д.). Визначення К.К.Д. проводиться за формулою:

$$К.К.Д. = \sqrt{n},$$

де: n – число речовин, присутніх у повітряному середовищі, для яких офіційно не встановлено характер комбінованої дії (n = 1).

$$К.К.Д. = \sqrt{12} = 3,46$$

ГДЗ розраховується за формулою:

$$ГДЗ = К.К.Д. \cdot 100 \%, \quad ГДЗ = 3,46 \cdot 100 \% = 346 \%$$

Сумарний показник забруднення визначається за формулою:

$$\Sigma ПЗ = \left(\frac{C_{\text{тв.}}}{ГДК_{\text{тв.}} \cdot K_{\text{тв.}}} \right) \cdot 100 \%$$

де: K – значення коефіцієнтів, що враховують клас небезпечності речовини.

Таблиця 3.8

Оцінка забруднення атмосферного повітря

№ з/п	Найменування речовини	ГДК _{м.р.} , ГДК _{с.д.} , мг/м ³	Клас небезпеки	Коеф. класу небезпеки	Конц., долей ГДК	Конц., мг/м ³	ПЗ
1	Азоту діоксид	0,2	3	1	0,04	0,008	0,04
2	Сажа	0,15	3	1	0,05	0,0075	0,05
3	Сірки діоксид	0,5	3	1	0,03	0,015	0,03
4	Сірководень	0,008	2	0,9	0,05	0,0004	0,056
5	Вуглецю оксид	5	4	1,1	0,05	0,25	0,045
6	Бутан	200	4	1,1	0,05	10	0,045
7	Бензол	1,5	2	0,9	0,05	0,075	0,056
8	Бенз(а)пірен	0,0001	1	0,8	0,05	0,000005	0,063
9	Одорант СПМ	0,00005	-	-	0,09	0,0000045	0,09
10	Вуглеводні граничні	1	4	1,1	0,15	0,15	0,027
11	Тверді суспендовані частинки	0,5	3	1	0,57	0,285	0,57
12	Пропан	65	-	-	0,05	3,25	0,05

$$\Sigma \text{ПЗ} = \left(\frac{0,008}{0,2 \cdot 1} + \frac{0,0075}{0,15 \cdot 1} + \frac{0,015}{0,5 \cdot 1} + \frac{0,0004}{0,008 \cdot 0,9} + \frac{0,25}{5 \cdot 1,1} + \frac{10}{200 \cdot 1,1} + \frac{0,075}{1,5 \cdot 0,9} + \frac{0,000005}{0,0001 \cdot 0,8} + \frac{0,0000045}{0,00005} + \frac{0,15}{1 \cdot 1,1} + \frac{0,285}{0,5 \cdot 1} + \frac{3,25}{65} \right) \cdot 100\% = 112\%$$

$$\frac{\Sigma \text{ПЗ}}{\text{ГДЗ}} = \frac{112}{346} = 0,32 < 1$$

Отже, згідно [10] рівень забруднення в атмосферному повітрі визначається, як допустимий, рівень безпечності – безпечний, кратність перевищення ГДЗ < 1, процент випадків перевищення ГДЗ – 0 %.

Ключовими чинниками, що впливають на зміну клімату, є хімічне забруднення атмосфери, зокрема викиди парникових газів, а також теплове забруднення повітряного простору. Низка атмосферних газів – зокрема діоксид вуглецю, метан, оксиди азоту та інші – не перешкоджають проходженню видимого світла, але активно поглинають інфрачервоне випромінювання, затримуючи тепло в атмосфері. Такий механізм є основою утворення парникового ефекту.

Відповідно до рекомендацій Міжурядової групи експертів з питань змін клімату (МГЕЗК), в Україні до основних парникових газів прямої дії

відносять: вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4) та закис азоту (N_2O); до непрямих – оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x) і леткі неметанові органічні сполуки (НМЛОС), які не є безпосередніми парниковими газами, але беруть участь у вторинних хімічних процесах, що сприяють посиленню парникового ефекту.

У процесі виробництва, зокрема під час використання автотранспорту, в атмосферу потрапляють такі парникові гази, як метан, діоксид вуглецю, закис азоту та леткі органічні сполуки. Під час функціонування асфальтобетонного заводу також утворюються викиди парникових газів унаслідок спалювання природного газу. Обсяг цих викидів є незначним.

Обсяги викидів парникових газів представлено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Найменування речовини	Викид забруднюючих речовин, т/рік
Метан	0,000013
Діоксид вуглецю	0,78
Оксид діазоту	0,0000013
НМЛОС	0,000066

Основним джерелом теплового забруднення є розсіювання в навколишнє середовище теплоти, яка виділяється у багаточисельних теплових процесах, які пов'язані зі згоранням палива в сушильному барабані асфальто-змішувальної установки.

При дотриманні всіх діючих нормативно-правових актів у сфері охорони атмосферного повітря та використанні якісного пального вплив виробництва на клімат можна оцінити як допустимий.

3.3. Контролювання впливу на атмосферу викидів забруднюючих речовин при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття

Що стосується моніторингу та контролю впливу на довкілля викидів забруднюючих речовин. То згідно з результатами проведеної оцінки впливу викидів забруднюючих речовин на атмосферне повітря встановлено, що в процесі функціонування підприємства на довкілля та здоров'я населення чиниться вплив у межах допустимих норм.

З огляду на виявлені екологічні аспекти діяльності виробництва виникає необхідність упровадження програми екологічного моніторингу та контролю. Її мета полягає у забезпеченні регулярного спостереження за станом довкілля, фіксації рівнів впливів, а також оперативного реагування у разі перевищення допустимих показників.

В Україні для забезпечення системного збору, оброблення, зберігання та аналізу екологічної інформації, а також прогнозування змін стану навколишнього природного середовища та формування науково обґрунтованих управлінських рішень, функціонує державна система моніторингу довкілля.

Моніторинг стану довкілля та рівня його забруднення, спричиненого діяльністю об'єкта впливу, є обов'язковим компонентом у реалізації будь-якої господарської діяльності. Його здійснення забезпечує дотримання екологічних нормативів та дає змогу своєчасно виявляти і мінімізувати потенційні загрози.

Метою впровадження моніторингових заходів у сфері охорони атмосферного повітря є здійснення регулярного спостереження за якісними та кількісними характеристиками повітряного середовища, а також прогнозування потенційних наслідків впливу викидів забруднюючих речовин на здоров'я населення та стан довкілля.

Організація системи контролю за станом атмосферного повітря на підприємстві передбачає здійснення вимірювань безпосередньо на стаціонарних джерелах викидів, а також у контрольних точках, розташованих

на межі санітарно-захисної зони та в межах прилеглої житлової забудови. Основою ефективного контролю є порівняння фактичних величин викидів із затвердженими нормативами ГДВ.

До основних завдань контролю за дотриманням ГДВ належать:

- реалізація комплексу заходів, спрямованих на досягнення та утримання допустимого рівня викидів;
- виконання вимог приписів, актів перевірок та розпоряджень контролюючих органів;
- дотримання чинних нормативно-технічних регламентів та державних стандартів щодо контролю атмосферних викидів;
- вжиття заходів реагування у разі отримання повідомлень про настання несприятливих метеорологічних умов (НМУ), а також при виникненні аварійних ситуацій.

Виробничий екологічний контроль за дотриманням затверджених нормативів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря має здійснюватися виключно організаціями, що мають у своєму складі атестовану в установленому порядку лабораторію.

З метою запобігання перевищенню допустимих рівнів викидів в атмосферу у процесі господарської діяльності, необхідним є постійний контроль за обсягами та хімічним складом викидів, а також ведення відповідного обліку у журналі встановленого зразка.

При виборі місць для відбору проб, а також під час здійснення самого відбору з організованих стаціонарних джерел викидів, слід керуватися положеннями методичних вказівок [20].

Ще одним аспектом на який необхідно звернути увагу при наявності викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, це розмір екологічного податку на викиди.

Відповідно до [31] сума екологічного податку (Пвс) визначається за формулою:

$$Пвс = \sum_i^{\pi} = 1 (M_i \times Нп_i), \text{ грн.}$$

де: $Нп_i$ – ставки податку в поточному році за тону i -тої забруднюючої речовини у гривнях з копійками, грн./т;

M_i – фактичний обсяг викиду i -тої забруднюючої речовини в атмосферу, т;

Розрахунки екологічного податку за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря при виробництві асфальтобетонного дорожнього покриття введено в табл. 3.10

Таблиця 3.10

Визначення розміру екологічного податку

№ з/п	Назва забруднюючої речовини	M_i , т	$Нп_i$, грн./т	Пвс, грн
1	Азоту діоксид	0,71	2451,84	1740,81
2	Сажа	0,069	598,4	41,29
3	Сірки діоксид	1,62	2451,84	3971,98
4	Сірководень	0,00000078	7879,65	0,0061
5	Вуглецю оксид	3,78	92,37	349,16
6	Бутан	0,73	138,57	101,16
7	Бензол	0,00000042	4016,11	0,0017
8	Бенз(а)пірен	0,000051	3121217,74	159,18
9	Одорант СПМ	0,000024	738187,86	17,72
10	Вуглеводні граничні	0,14	138,57	19,40
11	Речовини у вигляді твердих суспендованих частинок	24,74	92,37	2285,23
12	Пропан	1,11	92,37	102,53

Суми податку, за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення, обчислюються платниками податку самостійно щокварталу виходячи з фактичних обсягів викидів та ставок податку.

ВИСНОВКИ

Головні наукові результати дослідження полягають у наступному:

1. Викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря, що утворюються внаслідок виробництва асфальтобетонних дорожніх покриттів, є важливим показником сталості дорожньо-будівельної інфраструктури. Сучасні дослідження повинні мати на меті попередню кількісну оцінку викидів, що виділяються на етапах виробництва, будівництва та використання дорожнього покриття.

2. Оцінка життєвого циклу дорожнього покриття, здійснюється методом, що відповідає чинним європейським стандартам щодо екологічного менеджменту та складається з чотирьох кроків: визначення мети та обсягу; аналіз інвентаризації; оцінка впливу; інтерпретація результатів.

3. Асфальтобетонне виробництво супроводжується викидами численних хімічних речовин, серед яких значну частку становлять леткі органічні сполуки, що можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Результати досліджень вказують на те, що у працівників, які безпосередньо контактують з асфальтом, частіше фіксуються симптоми, пов'язані з погіршенням самопочуття: підвищена втомлюваність, зниження апетиту, подразнення очей, гортані, носоглотки та ін.

4. Асфальтобетон являє собою суміш мінеральних матеріалів і органічної зв'язуючої речовини – бітуму. До складу мінеральної частини входять гравій, пісок і мінеральний порошок, при цьому їхнє співвідношення залежить від типу асфальтобетонної суміші. Мобільна асфальто-змішувальна установка контейнерного типу LINTEC CSD 1500, яка використовується підприємством, призначена для виробництва асфальтобетонних сумішей, для дорожнього та інших галузей будівництва. Технологія приготування асфальтобетонних сумішей включає наступні операції: приймання та зберігання сировини; нагрівання в'язучих матеріалів (бітуму); транспортування матеріалів від складу до установки грубого дозування;

сушіння та нагрівання мінеральних складових; сортування гарячих мінеральних матеріалів за фракціями та їх дозування згідно з рецептурою; транспортування та дозування бітуму; ретельне змішування мінеральних компонентів із бітумом; вивантаження готової суміші у накопичувальний бункер та відвантаження продукції.

5. Інструментально-лабораторні вимірювання концентрацій забруднюючих речовин виконуються за умов номінального технологічного навантаження, із дотриманням вимог таких нормативно-методичних документів. Наведений підхід поєднує лабораторні вимірювання з теоретичними розрахунками, що дозволяє комплексно оцінити екологічну небезпеку викидів та розробити ефективні заходи для її мінімізації.

6. Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря здійснюється за даними результатів розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та даними, що одержані при проведенні інструментальних методів досліджень. 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 завислих частинок.

7. У ході дослідження здійснено розрахунки валових та максимально-разових викидів забруднюючих речовин від 12 стаціонарних джерел.

8. Розрахунки розсіювання, виконані з врахуванням фонового забруднення атмосферного повітря, тобто з врахуванням вкладу інших забруднювачів повітря, показали відсутність перевищень над нормативами гранично допустимих концентрацій. У процесі виробництва, зокрема під час використання автотранспорту, в атмосферу потрапляють такі парникові гази, як метан, діоксид вуглецю, закис азоту та леткі органічні сполуки. Під час функціонування асфальтобетонного заводу також утворюються викиди парникових газів унаслідок спалювання природного газу. Обсяг цих викидів є незначним. Загалом рівень забруднення в атмосферному повітрі визначається,

як допустимий, рівень безпечності – безпечний, кратність перевищення ГДЗ < 1, процент випадків перевищення ГДЗ становить 0 %.

9. З огляду на виявлені екологічні аспекти діяльності виробництва виникає необхідність упровадження програми екологічного моніторингу та контролю. Її мета полягає у забезпеченні регулярного спостереження за станом довкілля, фіксації рівнів впливів, а також оперативного реагування у разі перевищення допустимих показників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. DOI: [https://doi.org/10.37700/enm.2019.4\(14\).75-85](https://doi.org/10.37700/enm.2019.4(14).75-85)
2. Антонюк В. С., Караїм О. А. Вплив на атмосферне повітря викидів асфальтобетонного заводу. *Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень* : матеріали XIX Міжнар.наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (13–14 травня 2025 року). Луцьк : Вежа-Друк, 2025. С. 906–907.
3. Бессажна А. А., Непошивайленко Н. О. Порівняльний аналіз комп'ютеризованих методів оцінки впливу на довкілля забруднюючих речовин. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2017. №. 50. С. 295–302. URL: <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/573230cc-5915-4e51-b68a-12001edbc85e/content>
4. Волинський обласний центр з гідрометеорології. URL: <https://www.meteolutsk.net.ua/>
5. Волошина Н. О. Волошин О. Г. Оцінка впливу на довкілля: навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 101 Екологія. Київ, 2019. 150 с.
6. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. 44 с.
7. ГДК та ОБРВ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць: Наказ МОЗ України від 21.11.1997 № 336. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0336282-97#Text> (дата звернення: 17.07.2025).
8. Гранично-допустимі (ГДК) та орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць.

Київ, 2000 р. 48 с.

9. ДБН А.2.2-1-2003 Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Київ, 2004. URL: https://dnaop.com/html/29815/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%90.2.2-1-2003

10. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП-201-97). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97#Text> (дата звернення: 14.07.2025 р).

11. 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

12. ДСТУ 8726:2017 Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення тиску та температури газопилових потоків. Київ, 2018. 19 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8726_2017.pdf

13. Збірник із розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах від неорганізованих джерел забруднення атмосфери. Донецьк, 2004. 155 с.

14. Збірник методик із розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах неорганізованих джерел забруднення атмосфери. ОАО «УкрНТЕК». Донецьк, 1994 р. 125 с.

15. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами, Український науковий центр технічної екології. Донецьк, 2004. Том I. 184 с.

16. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами, Український науковий центр технічної екології. Донецьк, 2004. Том II. 220 с.

17. Інструкція із експлуатації мобільної асфальто-змішувальної установки контейнерного типу CSD 1500. 2020. 135 с.

18. Інструкція із експлуатації газоаналізатора OKCI-5M-5H. Харків.

2010. 16 с.

19. Караїм О. А. Бакараєв О. А., Хомацький В. М. Техноекологічні аспекти розрахунку викидів забруднюючих речовин підприємством. *Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології: матеріали I Міжнар. наук. конф. (Луцьк, 1–3 червня 2022 року)*. Луцьк : Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2022. С. 130–132.

20. 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

21. 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/doc-page?id_doc=76450

22. Методика проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферу для автотранспортних підприємств (розрахунковим методом). 1998 р. 67 с.

23. Методика розрахунку викидів шкідливих речовин від підприємств дорожньо-будівельної галузі, в тому числі від асфальтобетонних заводів. 2002 р. 20 с.

24. Методика розрахунку втрат «Галузевого стандарту України «Гази вуглеводневі скраплені». Київ : Держнафтогазпром. 2000 р. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67172

25. Методичні вказівки щодо визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферу із резервуарів. 1999 р. 64 с.

26. Методичні вказівки із розрахунку викидів від неорганізованих джерел у промисловості будівельних матеріалів. 2016. 18 с.

27. Методичний посібник із розрахунку, нормування та контролю викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (Доповнений та перероблений). СП, 2012. 58 с.

28. ОНД-86. Методика розрахунку концентрацій у атмосферному повітрі шкідливих речовин, які у викидах підприємств. 68 с.

29. Паспорт мобільної асфальто-змішувальної установки контейнерного типу CSD 1500.

30. Пінчук А., Медведєва О. В. Оцінка впливу на довкілля процесів виготовлення асфальтобетону. *Наукові записки*. Вип.10. Част. II. 2010. С. 380–383.

31. Податковий кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (дата звернення: 14.07.2025 р).

32. Показники емісії (питомі викиди) забруднюючих речовин від процесів електро-, газозварювання, наплавлювання, електро-, газорізання та напилення металів, розроблені Інститутом гігієни та медичної екології ім. О. М. Марзеєва АМН України та затверджені Мінікоресурсів України 11.01.2003 р. 15 с.

33. Про вдосконалення влаштування захисних шарів на дорогах загального користування. Наказ державної служби автомобільних доріг України № 490 від 27.10.2005. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0490466-05#Text> (дата звернення: 14.07.2025 р).

34. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів. Наказ Міністерства охорони здоров'я № 173 від 19.06.96. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 14.07.2025 р).

35. 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> (дата звернення: 14.07.2025 р).

36. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел. Наказ Мінприроди № 309 від 27.06.2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06#Text> (дата звернення: 14.07.2025 р).

37. Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.11.2001 р. № 1598 Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1598-2001-%D0%BF> (дата звернення: 14.07.2025 р).

38. Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Наказ Мінекоресурсів України № 286. від 30.07.2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#Text> (дата звернення: 14.07.2025 р).

39. Про оцінку впливу на довкілля. Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2059-19>

40. РД 52.04.59-85. Вимоги до точності контролю за промисловими викидами. Методичні вказівки. 54 с.

41. Савенко В. Я., Бондаренко Л. П. Метод оцінки впливу дорожньо-транспортного комплексу на екологічний стан довкілля на основі компютерного моделювання. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2015. №. 94. С. 219–225.

42. Управління екології та природних ресурсів. Волинська обласна державна адміністрація. URL: <https://voladm.gov.ua/category/upravlinnya-ekologiyi-ta-prirodnih-resursiv/1/>

43. Чугай А., Колісник А., Демяненко О., Романенко С. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони північно-західного Причорномор'я. *Вісник Харківського національного університету*

імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2016. № 13. С. 91–97. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/5540>

44. Чугай А. В., Чернякова О. І., Бази́ка Ю. В. Аналіз техногенного навантаження на повітряний басейн окремих промислово-міських агломерацій Східної України (на прикладі міста Дніпро). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2018. № 19. С. 75–81. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-19-07>.

45. Шевченко О. Г. Основні джерела надходження забруднюючих речовин в атмосферу. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського Національного університету імені Тараса Шевченка*. 2006. Вип. № 5. С. 228–233.

46. Шевчук Ю. С. Асфальтобетонні заводи: оцінка впливу на довкілля. Asphalt and concrete plants: environmental impact assessment. Херсон, 2020. 102 с.

47. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132471>

48. Air Quality Dispersion Modeling - Preferred and Recommended Models. AERMOD. URL: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod>

49. d'Angelo J., Harm E., Bartoszek J., Baumgardner G., Corrigan M., Cowsert J., Yeaton B. Warm-mix asphalt: European practice (FHWA-PL-08-007). United States. Federal Highway Administration. *Office of International Programs*. 2008. URL: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/772>

50. Bank W. State and trends of carbon pricing 2020. World Bank: Washington, DC, USA. 2020. URL: <https://hdl.handle.net/10986/33809>

51. Barbieri D. M., Lou B., Wang F., Hoff I., Wu S., Li J., Vignisdottir H. R., Bohne 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100436>

52. CERC. ADMS model overview. Cambridge Environmental Research Consultants. URL: <https://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-model.html>

53. 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>

54. Gruber M. R., Hofko B. Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Recycled Asphalt Pavement Production. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(5). Article 4629. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15054629>

55. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100646>

56. ISO 14040:2006:amd:2020; Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2020.

57. 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. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192214863>

58. Moretti L., Mandrone V., D’Andrea A., Caro S. Comparative “from cradle to gate” life cycle assessments of Hot Mix Asphalt (HMA) materials. *Sustainability*. 2017. Vol. 9(3). Article 400. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9030400>

59. Norseth T., Waage J., Dale I. Acute effects and exposure to organic compounds in road maintenance workers exposed to asphalt. *American journal of*

industrial medicine. 1991. Vol. 20(6). P. 737–744.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.4700200604>

60. Plati C. Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 211. P. 539–555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.242>

61. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0681-6>

62. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127936>

63. Santero N. J., Masanet E., Horvath A. (2011). Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55(9–10). P. 801–809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.03.010>

64. Tepper A. L., Burr G. A., Feng H. A., Singal M., Miller A. K., Hanley K. W., Olsen L. D. (2006). Acute symptoms associated with asphalt fume exposure among road pavers. *American journal of industrial medicine*. 2006. Vol. 49(9). P. 728–739. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.20346>

65. Thives L. P., Ghisi E. Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 72. P. 473–484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.087>

66. White P., Golden J. S., Biligiri K. P., Kaloush K. Modeling climate change impacts of pavement production and construction. *Resources, Conservation and Recycling*. 2010. Vol. 54(11). P. 776–782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.12.007>

67. Yang R., Ozer H., Kang S., Al-Qadi I. L. (2014). Environmental impacts of producing asphalt mixtures with varying degrees of recycled asphalt materials. *In*

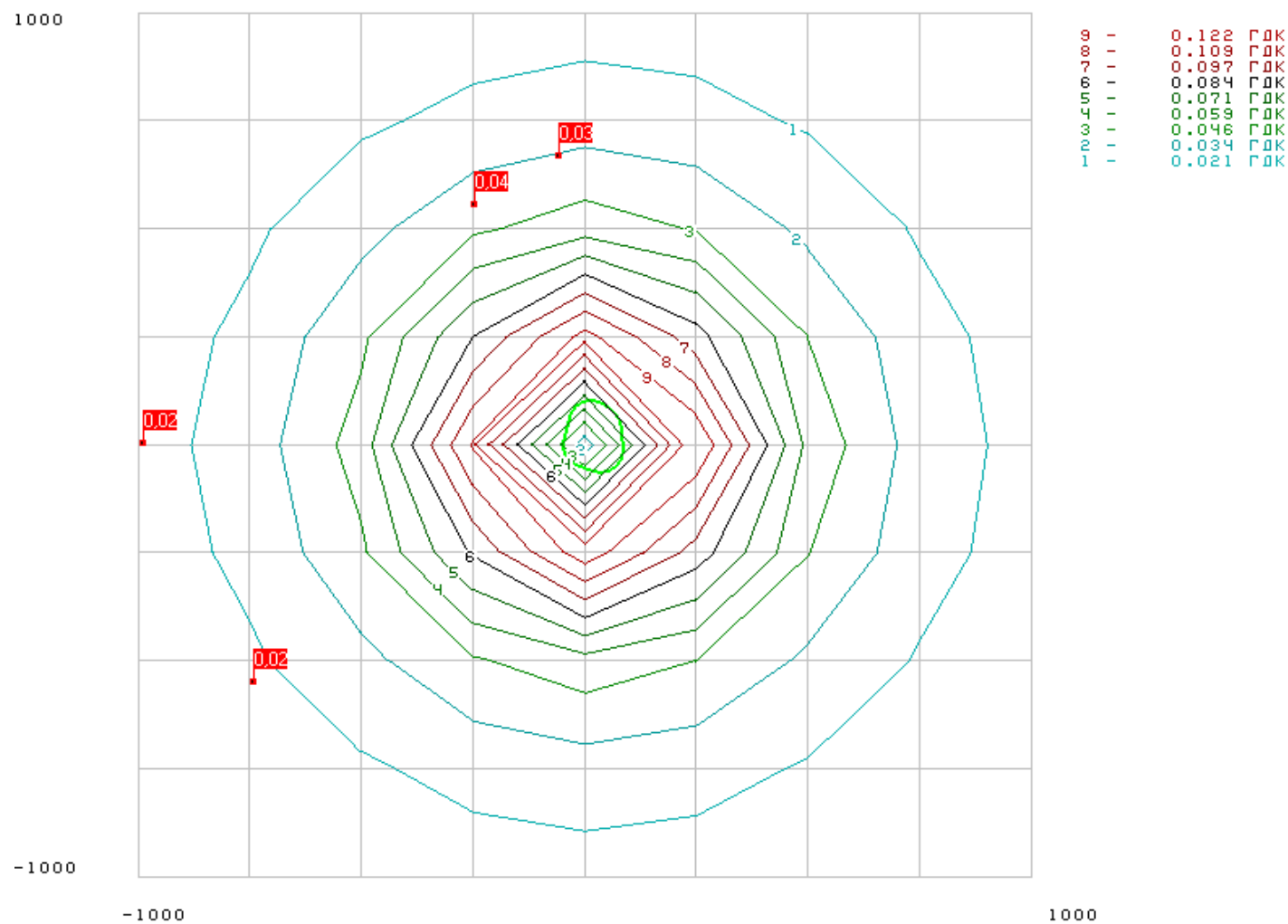
International Symposium on Pavement LCA. 2014. (pp. 14–16). URL: https://www.ucprc.ucdavis.edu/p-lca2014/media/pdf/Papers/LCA14_Producing%20Asphalt%20Mix%20Recycled%20Matls.pdf

68. 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. DOI: <https://doi.org/10.1515/gps-2022-8146>

ДОДАТКИ

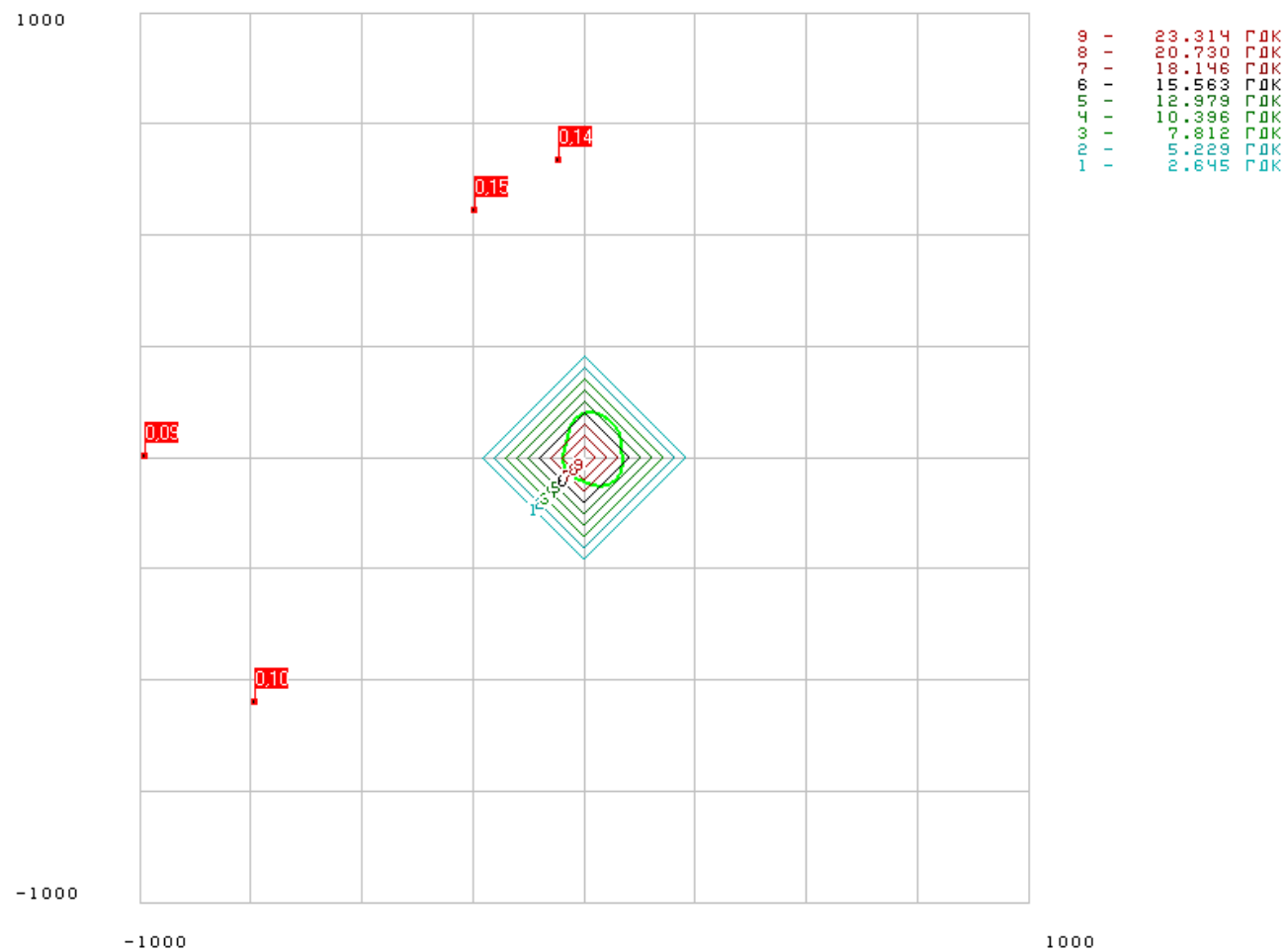
Додаток А

Концентрація оксидів азоту в приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони



Додаток В

Концентрація НМЛОС в приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони



Додаток Д

Концентрація речовин у вигляді суспендованих твердих частинок в приземному шарі атмосферного повітря
на межі санітарно-захисної зони

