

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Кириленко Ніни Павлівни

на тему «Комплексна оцінка та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю»,
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

На рецензування подано дисертацію, автореферат і публікації.

Аналіз дисертації Кириленко Ніни Павлівни «Комплексна оцінка та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю» дозволяє сформулювати висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості, основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 267 сторінок друкованого тексту, 39 рисунків, 18 таблиць та 4 додатки на 56 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 172 сторінки. Список використаних джерел містить 215 найменування на 25 сторінках.

За темою дисертації опубліковано 19 наукових праць, з них: 4 статті у наукових фахових виданнях України; 4 статті в закордонних наукових періодичних виданнях, з яких 3 – у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus; 2 статті в інших наукових періодичних виданнях України; 9 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Автореферат і публікації повністю розкривають основні положення дисертаційної роботи.

1. Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науковими програмами. Сучасний стан каменедобувної галузі України характеризується зростанням обсягів видобутку та необхідністю одночасного забезпечення екологічної безпеки, паливної ефективності й економічної доцільності виробництва. Особливої ваги ці питання набувають у контексті післявоєнної відбудови українських міст та зростання попиту на природний камінь як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. При цьому транспортні процеси в кар'єрах блочного каменю залишаються найбільш енергоємною й екологічно небезпечною складовою виробничого циклу, формуючи до 65 % собівартості продукції та понад 70 % викидів парникових газів підприємств.

Вплив цих процесів не обмежується лише економічною сферою, а має виразні екологічні та соціальні наслідки – від підвищених рівнів шуму та пилового забруднення до суттєвого внеску у зміну клімату. Незважаючи на масштабність проблеми, комплексні науково обґрунтовані підходи до оцінки та управління екологічними ризиками транспортування у кар'єрах природного облицювального каменю дотепер залишалися недостатньо розробленими.

У зв'язку з цим дисертаційне дослідження Кириленко Н.П. має важливе наукове й практичне значення. Воно не лише поглиблює теоретичні засади управління екологічними ризиками в гірничій промисловості, а й пропонує сучасний цифровий інструментарій для прогнозування витрат пального, собівартості перевезень та обсягів викидів. Актуальність дослідження особливо підкреслюється тим, що запропоноване рішення може бути впроваджене без додаткових капіталовкладень, не потребує реновації машинно-транспортного парку підприємств та може ефективно використовуватися навіть мінімально підготовленим персоналом.

Дисертаційна робота виконана в межах державних та регіональних програм, спрямованих на забезпечення сталого розвитку, зменшення техногенного навантаження та впливу змін клімату на урбанізоване середовище, екосистеми та якість життя населення. Робота відповідає завданням Стратегії екологічної безпеки та адаптації до змін клімату України на період до 2030 року від 20.10.2021 № 1363-р. і виконувалась в межах Перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Державного університету «Житомирська політехніка» за бюджетною програмою № 2201390 «Підтримка пріоритетних напрямів наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок у закладах вищої освіти» (наказ МОН від 25.03.2021 № 372). НДР «Оптимізація технологічних видобувних комплексів для умов родовищ високоміцного блочного облицювального каменю» (ДР № 0114U004257). Міжнародний науково-дослідний грант ЄС Erasmus Mundus EUROEAST (2015–2016) на базі Туринського політехнічного університету (м. Турин, Італія). Erasmus+ KA171 (2023) «Міжнародна кредитна мобільність» на базі Університету м. Кальярі (Італія).

Отже, актуальність і доцільність дослідження зумовлені сучасними екологічними та виробничими викликами гірничої галузі, які потребують якісно нових наукових і практичних рішень.

2. Наукова новизна, оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації та їх достовірності.

Наведені у дисертації наукові положення, теоретичні та практичні результати досліджень є достатньо обґрунтованими і змістовними, що підтверджується аналізом і узагальненням виконаних досліджень.

Об'єкт, предмет, мета та завдання дослідження логічно узгоджені між собою та відповідають паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека. Організаційно-методичні засади проведеного дослідження розкрито повною мірою: використано хронометраж транспортних циклів, GPS-моніторинг, методику IPCC Tier 3, цифрове моделювання у середовищі Google Colab, а також валідацію результатів на фактичних виробничих даних. Кількісний та якісний аналіз виконано коректно, із застосуванням сучасних статистичних методів і засобів машинного навчання. Надійність і вірогідність результатів підтверджуються апробацією моделі на підприємствах галузі, де середнє відхилення розрахункових показників від натурних даних не перевищило 5–7 %.

Достовірність підтверджується коректністю постановки і вирішенням завдань та використанням достовірних вихідних даних, які отримані за результатами теоретичних і експериментальних досліджень; використанням сучасного, апробованого математичного апарату; обґрунтованим коректним вибором використаних загальних показників і критеріїв математичних моделей.

Наукові положення, що захищаються в дисертації. Аналіз змісту дисертаційної роботи Кириленко Н.П. «Комплексна оцінка та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю» дає підстави зазначити, що в ній уперше сформовано цілісний підхід до прогнозування паливних витрат, собівартості транспортування та обсягів викидів шкідливих речовин на основі інтеграції математичного моделювання, імітаційних сценаріїв та алгоритмів машинного навчання для кар'єрів блочного облицювального каменю.

уперше:

- створено комплексну інтегровану цифрову модель транспортних процесів у кар'єрах блочного облицювального каменю, яка поєднує аналітичні математичні залежності, імітаційне моделювання, алгоритми машинного навчання та принципи цифрового двійника, що забезпечує можливість прогнозування витрат дизельного пального, собівартості транспортування та екологічних наслідків з урахуванням ухилу доріг, маси й геометрії блоків, технічного стану машин, швидкісного режиму та сезонних чинників;

- запропоновано комплексну систему оцінки екологічних ризиків транспортних процесів у кар'єрах, яка інтегрує прогнозування витрат пального та викидів парникових газів і забруднюючих речовин (CO_2 , NO_x , SO_2 , PM) з результатами екологічного аудиту та даними польового моніторингу, що дозволяє обґрунтувати потенціал зниження витрат дизельного пального до 31 % та скорочення викидів CO_2 на 30–42,5 % залежно від вибраної логістичної стратегії;

удосконалено:

- комплексну методологію багатофакторної оцінки енергоефективності та екологічної результативності транспортних процесів у кар'єрах блочного каменю шляхом інтеграції аналітичних розрахунків, імітаційного моделювання та прогнозних моделей машинного навчання (MLR, Random Forest), що, на відміну від існуючих підходів, забезпечує комплексного аналізу впливу виробничих, технічних і природних чинників на витрати пального та рівень викидів;

- методику сценарного аналізу логістичних стратегій (максимізація завантаження, скорочення кількості маршрутів, оптимізація швидкісного режиму, зниження простоїв), що, на відміну від традиційних розрахунків, дозволяє кількісно оцінювати ефекти від впровадження альтернативних управлінських рішень та обґрунтовувати їх екологічну доцільність;

- підхід до оцінювання екологічних наслідків транспортних процесів через поєднання прогнозування витрат пального та викидів CO_2 , NO_x , SO_2 , PM з результатами екологічного аудиту та даними польових досліджень, що, на

відміну від існуючих систем оцінювання, дозволяє врахувати як кумулятивний ефект впливу на довкілля, так і варіативність сценаріїв розвитку виробництва;

- інструментарій оперативного управління внутрішньокар'єрним транспортом шляхом інтеграції цифрової моделі з Google Colab та Google Sheets, що, на відміну від локальних моделей, забезпечує динамічне коригування параметрів, автоматизоване формування розрахунків та візуалізацію результатів у реальному часі для підвищення ефективності управлінських рішень;

набуло подальшого розвитку:

- методи оптимізації логістики внутрішньокар'єрного транспорту через інтеграцію цифрової моделі з середовищем Google Colab та Google Sheets, що дозволило реалізувати оперативне введення вхідних параметрів, автоматизований розрахунок та візуалізацію результатів у реальному часі з можливістю моделювання змінних виробничих і кліматичних сценаріїв;

- науково-методичний підхід до застосування принципів цифрового двійника в управлінні транспортними процесами у кар'єрах, який забезпечує динамічне коригування управлінських рішень, адаптацію до технічного стану обладнання та врахування сезонних чинників, що, на відміну від існуючих підходів, створює основу для побудови адаптивних систем управління;

- теоретичні основи комплексної оцінки екологічних ризиків транспортних процесів у гірничій галузі шляхом інтеграції прогнозних ML-моделей витрат пального і викидів (CO_2 , NO_x , SO_2 , PM) з результатами екологічного аудиту та польового моніторингу, що дозволяє формувати науково обґрунтовані рішення для зменшення енергоспоживання та мінімізації негативного впливу на довкілля.

У дисертаційній роботі чітко й повно розкрито зміст чотирьох розділів, висновки до яких логічно випливають із проведеного аналізу й експериментів. Дисертантці вдалося досягти поставленої мети та вирішити всі дослідницькі завдання, що зумовлено використанням сучасного комплексу методів, ґрунтовною перевіркою їхньої ефективності та гармонійним поєднанням теоретичного і прикладного аспектів.

3. Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці:

- *на регіональному рівні:* розроблено цифрові інструменти прогнозування витрат пального та оптимізації маршрутів транспортування блоків; алгоритми оцінки екологічного навантаження (ТОВ «Глобал Стоун Кастл»); розроблено та застосовано цифрові моделі планування перевезень (ТОВ «КЛМ Гранресурс», довідка без номера від 15.08.2025); впроваджено систему моніторингу витрат дизельного пального та цифрові методи оцінки собівартості транспортування; заходи оптимізації маршрутів і графіків роботи техніки (ТОВ «Магма-Пласт ЛТД», довідка без номера від 12.08.2025).

- *на рівні суб'єктів господарювання:* розроблено рекомендації щодо оцінки впливу на довкілля при плануванні та модернізації видобувних об'єктів (ТОВ «ЕКО-МБ», довідка № 12/01 від 12.08.2025 р.).

- *у навчальному процесі:* матеріали дисертаційного дослідження інтегровані у програми підготовки студентів за спеціальністю «Екологія», «Технології захисту навколишнього середовища» та «Гірництво» на першому

(бакалаврському) та другому (магістерському) рівнях вищої освіти у вигляді навчально-методичного забезпечення дисциплін: «Міжнародна діяльність в індустрії блочного каменю», «Основи рекультивації та ремедіації», «Фітомайнінг та екологічне відновлення гірничих територій», «Гейміфікація в еко-гірництві» та «Відкриті гірничі роботи» (Державний університет «Житомирська політехніка», довідка № 44-23.07/1051 від 11.08.2025 р.).

4. Аналіз змісту дисертаційної роботи.

У **першому розділі** «Аналіз сучасних досліджень з питань екобезпеки та енергоефективності транспортування у відкритій розробці родовищ» (с. 28–62) представлено результати ґрунтового аналізу наукової літератури та виробничих даних, що стосуються екологічних і енергетичних аспектів транспортування у кар'єрах блочного облицювального каменю. Авторка детально розглядає міжнародний та національний досвід організації транспортної логістики, узагальнює результати бібліометричного аналізу наукових джерел (с. 33–39), в якому виокремлено ключові напрями досліджень: моделювання транспортних процесів, вплив пилу та викидів на довкілля і здоров'я людини, використання цифрових інструментів для управління логістикою.

Особливу увагу приділено оцінці масштабів техногенного навантаження: встановлено, що транспортні процеси формують до 65 % собівартості продукції та понад 70–90 % прямих викидів парникових газів підприємств (с. 31–60). У роботі наведено розрахунки середньорічних витрат пального і відповідних викидів CO₂ (с. 48), а також аналіз факторів, що підсилюють екологічні ризики: перевищені ухили доріг (20–21 % при нормативних 8–10 %), застаріла техніка, пилове забруднення. Здійснено огляд сучасних технологічних рішень (с. 48–60), серед яких використання методики IPCC Tier 3 та систем FMS, впровадження біопалива та електрифікації ділянок транспортування.

Відмінними особливостями теоретичного аналізу є: 1) звернення до широкого кола зарубіжних та вітчизняних досліджень; 2) системна класифікація наукових підходів до оцінки екологічних ризиків; 3) обґрунтування власної позиції здобувачки щодо необхідності інтеграції математичного моделювання, імітаційних експериментів та алгоритмів машинного навчання у транспортну логістику кар'єрів.

Кожний підрозділ завершується узагальненням (с. 33, 39, 47, 54), яке логічно підводить до формулювання мети та завдань дослідження. Висновки до першого розділу чітко демонструють послідовність аналізу, доводять актуальність проблеми та обґрунтовують потребу у створенні комплексної цифрової моделі управління транспортними процесами як основи для подальших емпіричних досліджень (с. 61–62).

У **другому розділі** «Методика та методологія дослідження» (с. 63–92) представлено методологічну основу та емпіричні результати збору даних, які стали базою для подальшого моделювання. Авторкою чітко обґрунтовано вибір міжнародних стандартів (IPCC, ISO 14040/14044, EEA) як основи для екологічної оцінки та використано багаторічні польові вимірювання на каменедобувних підприємствах Житомирського регіону. У розділі детально

описано методи збору даних: хронометраж транспортних циклів, GPS-ідентифікація маршрутів, визначення геометрії блоків, вимірювання витрат пального та коефіцієнтів простою (с. 86–90).

Здобувачкою систематизовано отримані дані у вигляді комплексних таблиць і структурованих наборів, що включають характеристики доріг (довжина, ухил, тип покриття), техніки (вантажопідйомність, паспортні та фактичні витрати пального, пробіг та мотогодини роботи), блоків (маса, об'єм, щільність), а також економічні параметри (вартість пального, заробітна плата, коефіцієнт експлуатаційних витрат) (с. 83–88). Уточнено, що транспортна складова формує 50–65 % собівартості продукції, а середньодобове споживання дизельного пального становить 380–420 л, що відповідає 1,02–1,12 т CO₂-еквіваленту.

Особливістю цього розділу є комплексність підходу: теоретичні стандарти гармонійно поєднано з натурними вимірюваннями, що дало змогу створити достовірну базу для математичного моделювання. Значущим моментом є інтеграція цифрових інструментів (Python, Google Colab, Google Sheets) для візуалізації даних і моделювання сценаріїв транспортування блоків. Запропоновано сценарний аналіз (базовий, оптимізований, стресовий), що дозволяє оцінити чутливість системи до зміни ухилів, ваги блоків та погодних умов (с. 72–74).

Номенклатура використаних методів і систематизація даних дають повне уявлення про дослідницькі процедури та процеси. Отримані результати, що відзначаються ретельністю та наочністю (графіки, таблиці, схеми), забезпечують надійність і об'єктивність подальшого моделювання транспортних процесів. Усі викладені положення сприймаються переконливо, не викликаючи сумнівів у достовірності процедур і правильності інтерпретації результатів.

Третій розділ дисертації «Науково-практична оцінка та оптимізація екологічних параметрів транспортних процесів у кар'єрах блочного каменю» презентує авторську цифрову модель для прогнозування паливних витрат і викидів забруднюючих речовин у каменедобувних підприємствах та результати її апробації на прикладі Межирічського родовища граніту (с. 93–141).

Дослідження ґрунтується на припущенні, що ключовим фактором зниження екологічних ризиків транспортної логістики є її оптимізація за рахунок раціонального комплектування блоків у кузовах автосамоскидів, зменшення холостих пробігів та використання інтегрованого підходу до управління маршрутами. Саме тому розроблена модель враховує не лише технічні параметри транспорту і гірничо-геометричні умови, але й екологічні аспекти – викиди CO₂, NO_x, SO₂, твердих частинок.

У роботі обґрунтовано архітектуру цифрової моделі, що включає модулі геометричного аналізу блоків, розрахунку паливних витрат, економічної оцінки рейсів та прогнозування обсягів викидів. Особливістю рішення є інтеграція середовища Google Colab із Google Sheets, що робить інструмент зручним для практичного застосування та адаптації до умов різних підприємств.

Позитивний ефект запропонованої моделі підтверджується результатами порівняння базового і оптимізованих сценаріїв транспортування. Встановлено,

що завдяки оптимізації маршрутів питомі витрати пального скорочуються з 3,9 л/м³ до 2,2–2,7 л/м³, що відповідає зниженню викидів CO₂ на 30–42,5 % та собівартості транспортування на 26–31 % (с. 130). Достовірність результатів підтверджується низьким середнім відхиленням від натурних показників (5–7 %) і високим коефіцієнтом детермінації для прогнозу витрат пального ($R^2 = 0,94$) (с. 114).

Таким чином, результати третього розділу переконливо засвідчують, що створена модель є ефективним інструментом для кількісної оцінки та оптимізації транспортної логістики у кар'єрах блочного каменю, що має як наукове, так і прикладне значення.

Четвертий розділ дисертації «Стратегії зниження екологічних ризиків і використання результатів дослідження» присвячено розробці багаторівневих рішень з підвищення енергоефективності та екологічної безпеки транспортних процесів у кар'єрах блочного каменю, а також оцінці можливостей практичного впровадження створеної цифрової моделі (с. 142–181).

Автором запропоновано подальшу інтеграцію розробленої моделі у сучасні системи управління виробництвом (Fleet Management System) із синхронізацією телеметрії, GPS-навігації, диспетчерських модулів та IoT-сенсорів якості повітря. Такий підхід забезпечує можливість оперативного управління екологічними параметрами у режимі реального часу, що відповідає вимогам Європейського зеленого курсу та директив ЄС (зокрема 2008/50/ЄС).

У розділі представлено систему ключових показників ефективності (KPI), яка дозволяє кількісно оцінювати ефект від впровадження цифрової моделі. Доведено, що оптимізація маршрутів та завантаження техніки зменшує витрати пального на 25–40 %, а викиди CO₂ – у 1,6–1,7 раза. Для оксидів азоту, сірки та твердих частинок зафіксовано зниження на 30–60 %, що супроводжується економією 9–12 тис. грн на кожні 100 м³ перевезених блоків.

Важливим результатом четвертого розділу є формування багаторівневої стратегії декарбонізації транспорту, яка передбачає:

1. короткострокові заходи – застосування біопалива та цифрових інструментів логістики;
2. середньострокові – впровадження гібридних технологій і тролей-асистованих самоскидів;
3. довгострокові – повну електрифікацію техніки та інтеграцію підприємств у систему «зеленої» енергетики.

Практична апробація у кар'єрах Житомирщини (Межирічське, Кам'янобрідське, Губенківське, Пшеничне родовища) підтвердила, що застосування моделі забезпечує скорочення витрат пального на 26–31 % та зниження викидів CO₂ на 30–42,5 %. Це доводить не лише наукову, а й безпосередню виробничу значущість роботи.

Узагальнено, що запропонований інструментарій формує підґрунтя для переходу галузі до екологічно безпечного, ресурсоефективного та конкурентоспроможного розвитку в умовах євроінтеграційних процесів.

Головною перевагою аналізованого дослідження, на мій погляд, є те, що воно виконане з урахуванням комплексної взаємодії технічних, економічних та

екологічних параметрів транспортних процесів у кар'єрах блочного каменю, із застосуванням сучасних цифрових інструментів, алгоритмів машинного навчання та методів екологічного моніторингу.

Теоретичні узагальнення, відображені в загальних висновках дисертаційної праці, свідчать про глибоке проникнення автора у проблему дослідження, досягнення поставленої мети та успішне вирішення всіх завдань. Отримані результати демонструють як наукову новизну, так і прикладну цінність розробленої цифрової моделі для управління екологічними ризиками у каменедобувній галузі.

Отже, дисертація Кириленко Н.П. є логічним за своїм змістом і структурою, завершеним за змістом і науковою метою дослідженням, виконаним на високому теоретичному, прикладному й методичному рівня. Вона забезпечує вагомий внесок у розвиток наукових засад екологічної безпеки та створює основу для практичної трансформації транспортних процесів гірничодобувної промисловості України відповідно до вимог сталого розвитку та європейської інтеграції.

5. Зауваження щодо змісту дисертації та її оформлення.

1. У підрозділі 1.3 бажано було б розширити аналіз джерел екологічного впливу, зокрема доповнити оцінку шумового та вібраційного навантаження як важливих складових екологічного ризику транспортних процесів.

2. У підрозділі 2.4 при описі алгоритму розрахунку викидів забруднюючих речовин не зазначено, які саме коефіцієнти конверсії застосовувалися для перерахунку у CO₂-еквівалент і з яких нормативних джерел вони взяті (IPCC, ЕЕА тощо).

3. У розділі 3 доцільно було б навести більш розгорнутий опис функціональних блоків цифрової моделі та механізмів взаємодії між ними для кращого розуміння технічної архітектури розробки.

4. У підрозділі 3.4 доцільно було б доповнити оцінку запропонованих заходів аналізом їх економічної ефективності для підприємств різної потужності та рівня технічного забезпечення, з урахуванням можливих фінансових та організаційних обмежень впровадження.

5. У розділі 4 бажано було б чіткіше показати кореляцію результатів моделювання з напрямками досліджень, визначеними паспортом спеціальності 21.06.01 – «Екологічна безпека».

6. У висновках до роботи варто наголосити на універсальності та межах застосування моделі для інших типів гірничих підприємств.

Наведені зауваження не є принциповими і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок

1. Структурна побудова дисертації, стиль викладення та подача матеріалу досліджень логічні, послідовні та пов'язані єдиною цільовою спрямованістю.

2. Структура та склад автореферату повністю відповідають рукопису дисертаційної роботи.

3. Автореферат і публікації повністю розкривають основні положення дисертаційної роботи.

4. Дисертація Кириленко Н.П. відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека. Спрямованість дисертаційної роботи характеризується як технічна.

5. Дисертація Кириленко Н.П. «Комплексна оцінка та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому запропоновано новий комплексний теоретико-прикладний підхід до вирішення актуальних наукових завдань з екологічної безпеки та поглиблюються теоретичні засади управління екологічними ризиками в гірничій промисловості.

6. Робота відповідає вимогам положення «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 (зі змінами), а її автор, Кириленко Ніна Павлівна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри «Безпека праці та навколишнього середовища»

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор технічних наук

за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека,

професор

« 14 » жовтня 2025 року

