

ВІДГУК

офіційного опонента

Павличенка Артема Володимировича

на дисертаційну роботу **Кириленко Ніни Павлівни**на тему **«Комплексна оцінка та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю»**,подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Актуальність теми дисертації. Актуальність дисертаційного дослідження комплексної оцінки та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю зумовлена потребою у забезпеченні сталого розвитку будівельної галузі та підвищенні вимог до екологічної безпеки добувного сектору промисловості. Видобування та транспортування природного каменю супроводжується значними витратами дизельного пального, високим рівнем викидів забруднюючих речовин, шумовим і пиловим навантаженням, що формує суттєві екологічні ризики для довкілля та населення прилеглих територій. Зі зростанням попиту на природний камінь для внутрішнього та зовнішнього ринків виникає необхідність забезпечувати потреби розвитку інфраструктури та відбудови українських міст і водночас зменшувати шкідливий вплив на довкілля шляхом впровадження енергоефективних і екологічно безпечних рішень.

Особливу роль у формуванні екологічних ризиків відіграють транспортні процеси у кар'єрах блочного каменю. Витрати дизельного пального на перевезення блоків становлять одну з найбільших статей собівартості видобутку – за різними оцінками, від 35 % до 65 %. Такий показник засвідчує значний потенціал для ресурсозбереження й скорочення викидів шкідливих речовин за умови оптимізації транспортних операцій. Запровадження раціональної системи організації руху техніки, використання енергоефективних транспортних засобів та реалізація заходів декарбонізації у межах гірничодобувних підприємств сприятиме істотному підвищенню рівня екологічної безпеки та зниженню антропогенного навантаження на довкілля.

Дослідження заявленої тематики базується на міждисциплінарному підході, що інтегрує методологію гірничої справи, принципи екологічної безпеки та інструментарій цифрових технологій. У контексті сучасної концепції Industry 5.0 розвиток гірничодобувних підприємств відбувається у напрямі «зеленого гірництва», коли цифрові двійники, імітаційне моделювання та автоматизовані системи управління забезпечують підвищення екологічної безпеки технологічних процесів. Застосування інтелектуальних систем моніторингу транспортних операцій дозволяє своєчасно ідентифікувати відхилення у роботі машин, оперативно коригувати виробничі параметри та маршрути, що сприяє зниженню енерговитрат, оптимізації використання палива та мінімізації викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Врахування цілей декарбонізації є невід'ємним компонентом державної екологічної політики України. У затверджених стратегічних документах

передбачено поетапне впровадження європейських технологічних стандартів, спрямованих на зменшення викидів забруднюючих речовин та адаптацію промислового комплексу до викликів зміни клімату. Реалізація цих завдань охоплює модернізацію технологічного обладнання, підвищення енергоефективності виробництва, удосконалення систем екологічного моніторингу на всіх стадіях господарської діяльності. Важливим аспектом є й виконання Україною міжнародних зобов'язань за Паризькою кліматичною угодою, що зумовлює актуальність комплексного вирішення питань стійкого функціонування та екологічної безпеки гірничодобувної галузі.

Водночас зовнішньополітичні та безпекові чинники суттєво підсилюють актуальність досліджуваної проблематики. Процес євроінтеграції України супроводжується необхідністю гармонізації національного екологічного законодавства зі стандартами Європейського Союзу, визначеними «Європейським зеленим курсом», що передбачає досягнення кліматичної нейтральності та зниження антропогенного навантаження на довкілля. Повномасштабна війна, у свою чергу, спричинила масштабні екологічні втрати: за експертними оцінками, сумарні викиди парникових газів в Україні за період бойових дій перевищили 230 млн тон CO₂. У сукупності зазначені обставини обумовлюють нагальну потребу у впровадженні інтегрованих підходів до управління екологічними ризиками, здатних забезпечити стійкість промислового виробництва в умовах сучасних кліматичних і безпекових викликів.

Таким чином, дисертаційне дослідження Н.П. Кириленко виконано у руслі провідних національних та міжнародних наукових ініціатив у сфері сталого розвитку й екологічної безпеки. Воно узгоджується з пріоритетними напрямками державних наукових програм, орієнтованих на створення сучасних інформаційно-аналітичних систем моніторингу промислових викидів та розроблення інноваційних методів зниження техногенного навантаження. Отримані прикладні результати можуть бути використані як наукове підґрунтя для впровадження ефективних механізмів управління екологічними ризиками у гірничодобувній галузі, що безпосередньо відповідає стратегічним завданням державної екологічної політики та євроінтеграційним зобов'язанням України.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі. Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані у дисертаційній роботі Кириленко Ніни Павлівни, є теоретично й практично обґрунтованими, логічно послідовними та базуються на глибокому аналізі сучасних науково-технічних джерел з досліджуваної проблематики. Мета та завдання дослідження сформульовані коректно й узгоджені зі змістом дисертаційної роботи, а застосовані методи – математичне моделювання, імітаційні експерименти, алгоритми машинного навчання, аналіз техніко-експлуатаційних характеристик транспортних засобів та сучасні методики екологічної оцінки – є адекватними поставленим завданням, науково обґрунтованими та відповідають світовим тенденціям у галузі.

Обґрунтованість сформульованих у дисертації висновків підтверджується послідовним поєднанням теоретичних положень із результатами прикладних розрахунків та виробничих спостережень, зокрема апробацією розробленої

цифрової моделі транспортних процесів у реальних умовах каменедобувних підприємств. Проведений автором порівняльний аналіз результатів моделювання з фактичними експлуатаційними показниками підтверджує достовірність отриманих даних і підкреслює високу прикладну цінність запропонованих рекомендацій для практики каменедобувної галузі.

Формулювання висновків виконано на високому науково-методичному рівні, вони є логічними, чіткими та достатньо повно відображають результати дослідження. Рекомендації мають практичну спрямованість і можуть бути використані у виробничих умовах для зниження екологічних ризиків транспортних процесів та підвищення їх енергоефективності.

Достовірність теоретичних та експериментальних результатів досліджень дисертаційної роботи Кириленко Ніни Павлівни не викликає сумнівів, оскільки дослідження виконано на високому методологічному та науково-технічному рівні із використанням сучасного інструментарію математичного моделювання, методів машинного навчання, статистичного аналізу та процедур верифікації результатів на основі виробничих даних. Отримані результати узгоджуються з натурними спостереженнями, підтверджуються матеріалами апробації у виробничих умовах та коректно співвідносяться з відомими науковими аналогами, що свідчить про їх достовірність і практичну значимість.

Достовірність отриманих висновків підсилюється застосуванням комплексного підходу, що інтегрує математичне моделювання, імітаційні експерименти та аналіз експлуатаційних показників транспортних засобів у реальних умовах каменедобувних підприємств. Технічна новизна та висока прикладна значущість розробленої цифрової моделі транспортних процесів підтверджені результатами її апробації у виробничих умовах, а також актами впровадження на підприємствах галузі, що засвідчує можливість практичного використання отриманих наукових результатів.

Основні наукові положення дисертаційної роботи є обґрунтованими, відзначаються науковою новизною, викладені коректно, послідовно і системно, мають практичну спрямованість і базуються на отриманих теоретичних та експериментальних результатах. До основних нових наукових результатів дисертації Кириленко Ніни Павлівни належать:

- вперше створено комплексну інтегровану цифрову модель транспортних процесів у кар'єрах блочно-облицювального каменю, яка поєднує аналітичні математичні залежності, імітаційне моделювання та алгоритми машинного навчання, що дозволяє прогнозувати витрати пального, собівартість транспортування та рівень шкідливих викидів;

- удосконалено методику багатofакторної оцінки енергоефективності транспортних операцій, яка враховує ухил доріг, масу й геометрію блоків, технічний стан машин, швидкісний режим та сезонні чинники, що забезпечує більш точне визначення екологічних ризиків;

- розроблено підхід до декарбонізації транспортних процесів у кар'єрах за рахунок оцінки викидів у перерахунку на CO₂-еквівалент, що дозволяє

інтегрувати результати моделювання у стратегії скорочення викидів парникових газів;

- встановлено залежності між продуктивністю транспортного комплексу, витратами пального та величиною екологічного навантаження, що забезпечує можливість одночасної оптимізації економічних та екологічних показників;

- обґрунтовано можливість використання розробленої цифрової моделі як адаптивної для різних умов кар'єрів блочного каменю, що підтверджує її універсальність та прикладну значимість для галузі;

- запропоновано рекомендації щодо практичного застосування результатів дослідження у виробничих умовах, зокрема подальшої інтеграції моделі в системи диспетчеризації кар'єрного автотранспорту з використанням IoT-сенсорів для моніторингу в реальному часі.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання. Результати теоретичних та експериментальних досліджень Кириленко Ніни Павлівни мають суттєве наукове й прикладне значення. Наукова цінність дисертаційної роботи полягає у формуванні інтегрованого підходу до оцінки та управління екологічними ризиками транспортних процесів у кар'єрах блочного каменю, що базується на поєднанні математичного моделювання, імітаційних експериментів та алгоритмів машинного навчання. Такий підхід забезпечує новий рівень точності прогнозування витрат дизельного пального, собівартості транспортування й рівня шкідливих викидів, що становить вагомий внесок у подальший розвиток теоретичних основ екологічної безпеки у каменедобувній промисловості.

Практична значимість дисертаційної роботи полягає у розробленні цифрової моделі, призначеної для оптимізації транспортних процесів на каменедобувних підприємствах. Запропонований інструмент дозволяє ідентифікувати найбільш енергоємні та екологічно небезпечні операції, формувати науково обґрунтовані рекомендації щодо їх удосконалення та забезпечувати прийняття ефективних управлінських рішень у сфері екологічної безпеки виробництва. Важливою перевагою є адаптивність моделі, яка дає змогу застосовувати її для різних родовищ блочного каменю з урахуванням специфічних геологічних, технічних та організаційних умов, що визначає її універсальність та високу прикладну цінність для галузі.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничу практику каменедобувних підприємств сприятиме скороченню витрат дизельного пального, зниженню обсягів викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, а також підвищенню екологічної ефективності транспортних процесів. Реалізація запропонованих підходів забезпечить не лише зменшення техногенного навантаження на довкілля, але й зростання конкурентоспроможності українських виробників природного каменю на міжнародному ринку. Крім того, розроблена цифрова модель може бути інтегрована у сучасні системи управління транспортними комплексами типу Fleet Management System (FMS), що узгоджується з актуальними тенденціями цифровізації гірничої промисловості та відповідає євроінтеграційним вимогам у сфері екологічної безпеки.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основні результати дисертаційного дослідження Кириленко Ніни Павлівни повністю відображені у наукових публікаціях здобувача. За темою дисертації опубліковано 10 наукових праць, з яких 4 статті в наукових фахових журналах, 2 – в інших наукових періодичних виданнях України, 1 – закордонному науковому періодичному виданні, 3 публікації індексуються наукометричною базою даних Scopus, які відповідно до класифікації Scimago Journal & Country Rank відносяться до першого квартилю (Q1) – 1, третього (Q3) – 2; 11 тез у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій. Крім того, результати підтверджено актами впровадження на підприємствах каменедобувної галузі.

Участь здобувача у працях, що опубліковані у співавторстві, чітко зазначена у дисертаційній роботі, при цьому використано лише ті матеріали, які є результатом особистого наукового внеску здобувача. Опубліковані наукові праці в повному обсязі відображають основний зміст дисертаційної роботи, відповідають її меті, завданням та отриманим науковим результатам.

Рівень та повнота представлення результатів дослідження у публікаціях відповідає вимогам пункту 12 положення про «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із змінами згідно з Постановою №607 від 15.07.2020 р., які висуваються до кандидатських дисертацій.

Аналіз змісту і структури дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Кириленко Ніни Павлівни складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 267 сторінок друкованого тексту, з яких 172 сторінки займає основний текст дисертації, 24 сторінки – список використаних джерел (215 найменувань), 56 сторінок – додатки. Дисертація містить 39 рисунків та 18 таблиць, що ілюструють результати дослідження.

В **анотаціях** (українською та англійською мовами) відображено основний зміст дисертаційної роботи, наведено мету, завдання, методи та результати дослідження.

У **вступі** автором розглянуто стан питання та обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та основні завдання досліджень для досягнення мети, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, а також сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості щодо апробації результатів дисертаційної роботи, публікацій автора, показано зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, а також відзначено особистий внесок здобувача. Дисертантом наводяться відомості щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

У **першому розділі** здійснено ґрунтовний аналіз сучасного стану каменедобувної промисловості та виявлено основні екологічні й енергетичні виклики, пов'язані з транспортними процесами у кар'єрах блочного облицювального каменю. Показано, що транспортування є найбільш

енергоємною складовою виробничого циклу, формуючи до 45–65 % собівартості продукції та генеруючи значні обсяги викидів CO₂ та інших шкідливих речовин. Узагальнено міжнародний і вітчизняний досвід, наведено результати бібліометричного аналізу наукових публікацій, що засвідчив актуальність напрямів, пов'язаних із моделюванням транспортних процесів, оцінкою екологічних ризиків та впровадженням технологій декарбонізації. На основі проведеного аналізу сформульовано мету, завдання та основні напрями дослідження, спрямовані на створення комплексної цифрової моделі управління транспортними процесами з метою підвищення паливної ефективності, зниження викидів та забезпечення балансу між економічною результативністю і екологічною безпекою.

У **другому розділі** дисертаційної роботи обґрунтовано методологічні та методичні засади дослідження транспортних процесів у кар'єрах блочного каменю. Визначено вихідні техніко-екологічні параметри об'єкта та сформовано програму подальшого моделювання. Методологічна база побудована на інтеграції міжнародних стандартів IPCC та ISO 14040/14044, рекомендацій Європейського агентства з довкілля (EEA), а також на багаторічних польових дослідженнях, проведених на підприємствах Житомирського регіону. Для збору первинних даних використано хронометраж транспортних циклів, вимірювання витрат пального, GPS-ідентифікацію маршрутів, визначення геометричних параметрів блоків та їх маси.

Узагальнення емпіричних результатів показало, що транспортна складова сягає 50-65 % собівартості видобутку, а середньодобові витрати дизельного пального становлять близько 380-420 л, що відповідає 1,02-1,12 т CO₂-еквіваленту на добу. У масштабах галузі річні викиди перевищують 66,7 тис. т CO₂, що становить понад 18 % загальних викидів добувної промисловості України. Для обробки зібраних даних розроблено цифрову модель мовою Python із використанням середовища Google Colab, інтегровану з Google Sheets для оперативного обміну інформацією. Застосування бібліотек Matplotlib та Plotly забезпечило побудову графіків, діаграм і 3D-моделей, що дозволило верифікувати ухили та довжини трас, відтворити маршрути та здійснити аналіз просторових параметрів транспортних процесів.

Сформовано структурований набір даних, що охоплює параметри трас (довжина, ухил, тип покриття), техніки (вантажопідйомність, витрати пального, коефіцієнти простою), блоків (геометрія, маса, щільність), а також економічні характеристики (вартість пального, тарифи оплати праці, кількість працівників, коефіцієнт експлуатаційних витрат). Запропоновані алгоритми дозволили здійснити розрахунок витрат пального, оцінку викидів, аналіз економічної ефективності та логістичної оптимізації. Виконано сценарне моделювання, що дало змогу оцінити вплив ухилів, маси блоків та погодних умов на результати транспортних операцій.

У **третьому розділі** проведено кількісну оцінку екологічних параметрів внутрішньокар'єрних транспортних процесів та розроблено цифрові моделі для оптимізації логістики на прикладі Межирічського родовища граніту. Встановлено, що транспортні операції формують до 65 % собівартості продукції

та понад 70–90 % прямих викидів парникових газів підприємства. Середньодобове споживання дизельного пального складає 250–400 л, що відповідає 0,675–1,08 т CO₂-екв./добу, а річні витрати палива сягають до 70–100 тис. л з утворенням понад 226 т CO₂-еквіваленту. Детальний аналіз структури викидів засвідчив домінування викидів CO₂ (понад 85 %) та суттєві перевищення допустимих рівнів NO_x і CO₂ (на 20–30 %).

З метою підвищення точності оцінки запропоновано цифрову модель у середовищі Google Colab із інтеграцією до Google Sheets, яка враховує параметри доріг, техніки та товарних блоків. Її архітектура включає модулі геометричного аналізу, розрахунку витрат пального, оцінки викидів та економічної ефективності. Розроблена модель дозволяє автоматично визначати собівартість транспортування, масу викидів CO₂, NO_x, SO₂, PM, а також аналізувати придатність блоків до переміщення різними видами техніки. Модульна структура спрощує адаптацію моделі до різних умов експлуатації та підприємств.

Верифікація моделі за фактичними виробничими даними засвідчила високу достовірність результатів (середнє відхилення не перевищує 5–7 %, коефіцієнт детермінації для прогнозу витрат пального $R^2=0,94$). Порівняльний аналіз базового та оптимізованого сценаріїв транспортування показав можливість зменшення питомих витрат пального з 3,9 до 2,2–2,7 л/м³.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи розроблено стратегії мінімізації екологічних ризиків транспортних процесів та обґрунтовано практичну значущість цифрової моделі прогнозування паливних витрат і викидів. Показано можливість її інтеграції у сучасні системи управління виробництвом із використанням телеметрії, GPS-навігації та IoT-сенсорів, що забезпечує оперативний моніторинг і проактивне управління екологічними параметрами.

Оптимізація логістики дозволила скоротити витрати пального на 25–40 % і знизити викиди CO₂ на 30–42,5 %, а також досягти зменшення NO_x, SO₂ і твердих часток на 30–60 %. Практична апробація на кар'єрах Житомирської області підтвердила високу ефективність розробленого інструментарію. Запропонована багаторівнева стратегія декарбонізації (біопаливо, гібридні та електричні технології) відповідає вимогам ЄС та завданням Європейського зеленого курсу.

Узагальнено, що впровадження цифрової моделі забезпечує поєднання екологічного та економічного ефектів, підвищує конкурентоспроможність підприємств і створює передумови для інноваційного розвитку галузі.

Висновки до розділів та за результатами дисертаційної роботи сформульовані чітко, є ґрунтовними і повністю відображають результати виконаних досліджень, показують наукову новизну і практичне значення роботи.

У **додатках** подано структуру та зміст вхідних таблиць цифрової моделі в Google Sheets, інструкція користувача цифрової моделі з повним набором кодів для використання в Google Colab та інформацію про акти впровадження результатів дослідження у виробничих умовах підприємств галузі.

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації. Зміст анотацій українською та англійською мовами відображає зміст дисертації та в достатньому обсязі висвітлює її основні результати та висновки.

Академічна доброчесність. Жодних порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в дисертаційній роботі відсутні. Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Зауваження та пропозиції до дисертаційної роботи:

1. Характеризуючи екологічну небезпеку транспортних процесів на кар'єрах, авторка переважно зосередилась на викидах забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Варто було б провести всебічний аналіз впливу як окремих транспортних засобів, так і логістичних процесів на рівні забруднення атмосфери не лише робочої зони кар'єру, а також об'єктів навколишнього середовища на територіях, прилеглих до кар'єрів та автошляхів.

2. Який внесок транспортних процесів в забруднення об'єктів навколишнього середовища гірничопромислових регіонів, в порівнянні з іншими технологічними процесами на гірничих підприємствах?

3. У третьому розділі опис технічної реалізації цифрової моделі (зокрема структури її модулів) подано стисло. Бажано було б більш детально зупинитися на характеристиці функціональних блоків та механізмах їх взаємодії, що дозволило б краще відобразити технічну складову розробки.

4. При формуванні висновків до четвертого розділу можна було б детальніше відобразити аспекти декарбонізації, зокрема розрахунки у перерахунку на CO₂-еквівалент, що підкреслило б значення роботи у контексті виконання міжнародних кліматичних зобов'язань України.

5. Яким чином здійснюється оперативне коригування даних про необхідні швидкості руху автосамоскидів залежно від технологічних змін профілю кар'єру, ухилів ділянок доріг кар'єрів, рівня їх завантаження та відстані транспортування (у завантаженому стані та порожняком)?

6. Чи можна адаптувати розроблену цифрову модель для її використання в умовах інших кар'єрів?

7. Чи проводилась оцінка зміни рівнів екологічної небезпеки транспортних процесів на кар'єрах до та після реалізації запропонованих технологічних рішень?

8. Попри те, що дисертація у рівній мірі охоплює технічний і екологічний аспекти транспортних процесів, у висновках акценти дещо зміщені в бік екологічної складової. Було б доцільно збалансувати їх із додатковим наголосом на технічній продуктивності транспортних комплексів.

9. У тексті трапляються окремі стилістичні неточності та друкарські помилки.

Вказані недоліки мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної дисертаційної роботи. Наукова новизна, практичне значення результатів та їх апробація аргументовані, кількість публікацій цілком достатня.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота **Кириленко Ніни Павлівни** на тему «**Комплексна оцінка та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю**», подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека, є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково обгрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливу науково-практичну задачу, що полягає у створенні комплексної цифрової моделі транспортних процесів у кар'єрах блочного каменю, яка дозволяє прогнозувати витрати дизельного пального, собівартість транспортування та рівень шкідливих викидів, а також визначати оптимальні рішення для зниження екологічних ризиків без втрати технічної продуктивності та економічної ефективності підприємства.

Дисертаційна робота «**Комплексна оцінка та управління екологічними ризиками транспортних процесів на кар'єрах блочного облицювального каменю**», за актуальністю і новизною отриманих результатів, їхньою достовірністю й обгрунтованістю, науковою і практичною цінністю, повнотою викладення матеріалу в наукових публікаціях, структурою та обсягом відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а саме вимогам пунктів 11, 12, 13 і 14 положення про «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із змінами згідно з Постановою №607 від 15.07.2020 р., а здобувач **Кириленко Ніна Павлівна** заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент:

Перший проректор,
професор кафедри екології та технологій
захисту навколишнього середовища
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»,
лауреат Державної премії України в галузі
науки і техніки, доктор технічних наук
(21.06.01 – екологічна безпека), професор

Артем ПАВЛИЧЕНКО

15.10.2025 р.

Підпис офіційного опонента посвідчую:
Вчений секретар
НТУ «Дніпровська політехніка»



Таїсія КАЛЮЖНА