

УДК 504.05:622.271:656.2

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2025.2\(500\).45](https://doi.org/10.15589/znп2025.2(500).45)

AN INTEGRATED MODEL FOR ASSESSING AND MANAGING ENVIRONMENTAL RISKS (BASED ON THE EXAMPLE OF THE TRANSPORT OPERATIONS OF MINING ENTERPRISES)

ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТА УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ (НА ПРИКЛАДІ СФЕРИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГІРНИЧОВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ)

Liudmyla O. Herasymchuk

gerasim4uk@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Ruslana A. Valerko

valerko_ruslana@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Nina P. Kyrylenko

kgt_knp@ztn.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7222-932

Iryna H. Patseva

rig@ztn.edu.ua

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Л. О. Герасимчук,

канд. с.-г. наук, доцент

Р. А. Валерко,

канд. с.-г. наук, доцент

Н. П. Кириленко,

асистент

І. Г. Пацева,

докт. техн. наук, професор

*State University “Zhytomyr Polytechnic”, Zhytomyr**Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир*

Abstract. Goal. The aim of the study is to provide a scientific rationale and develop a comprehensive model for managing environmental risks arising during transportation in quarrying conditions, taking into account technical, environmental, economic, and social factors.

Method. A systems approach was applied to analyze environmental risks associated with transportation, including methods of risk identification and classification, expert evaluation, scenario modeling, and an indicative approach using key performance indicators (KPIs). The use of these methods enabled the development of an integrated model for managing environmental risks during transportation in quarry environments and substantiated its practical effectiveness. Object of the study – environmental risks arising in the transportation processes of mining enterprises.

Subject of the study – methodological and applied approaches to integrated environmental risk management in the logistics processes of mining operations, taking into account technical, ecological, social, and economic factors.

The results. An integrated model for managing environmental transportation risks at mining enterprises has been proposed, comprising four key blocks: identification, analytical, managerial, and monitoring-corrective. The model is based on the principles of systematization, adaptability, integration, and predictability. Ten key environmental risks have been identified, quantitatively assessed by probability and impact scale, and prioritized through a risk matrix. The most critical risks are associated with outdated transport fleets, dust emissions, climate change, and social pressure. Three development scenarios were elaborated – baseline, adaptive, and stress – reflecting different levels of enterprise responsiveness to external challenges. A set of tools is proposed, including GIS route mapping, early warning systems, digital monitoring, and KPI systems (emissions, dust levels, incident frequency, etc.), allowing for the integration of environmental control into daily management practices. The model is oriented toward risk reduction, cost optimization, and ensuring the environmental and social responsibility of the enterprise.

Scientific novelty. The scientific novelty of the research lies in the development of a conceptual model for the assessment and management of environmental risks in the logistics of mining enterprises.

Practical significance. The developed integrated model for managing environmental risks can be implemented at mining enterprises to reduce the environmental impact of transportation, optimize logistics processes, prevent environmental incidents, and strengthen corporate environmental responsibility.

Key words: environmental risks; transportation; mining enterprise; risk management; environmental safety; integrated model; scenario modeling; monitoring; risk management strategy; KPI; sustainable development.

Анотація. *Мета.* Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка комплексної моделі управління екологічними ризиками, що виникають під час транспортування в умовах кар'єрної діяльності, з урахуванням технічних, екологічних, економічних та соціальних чинників.

Методика. Застосовано системний підхід до аналізу екологічних ризиків транспортування, включаючи: методи ідентифікації та класифікації ризиків, експертне оцінювання, сценарне моделювання, індикативний підхід із використанням КРІ. Застосування вказаних методів дозволило сформувати інтегровану модель управління екологічними ризиками транспортування в умовах кар'єрної діяльності та обґрунтувати її практичну ефективність. Об'єктом дослідження є екологічні ризики, що виникають у процесі транспортування на підприємствах гірничодобувної галузі.

Предметом дослідження є методологічні та прикладні підходи до інтегрованого управління екологічними ризиками в логістичних процесах гірничодобувного виробництва з урахуванням технічних, екологічних, соціальних та економічних чинників.

Результати. Запропоновано інтегровану модель управління екологічними ризиками транспортування на гірничодобувних підприємствах з 4 ключовими блоками: ідентифікаційний, аналітичний, управлінський і моніторингово-коригуючий. Модель базується на принципах системності, адаптивності, інтеграції та прогнозованості. Ідентифіковано 10 основних екологічних ризиків, здійснено їх кількісну оцінку за ймовірністю виникнення та масштабом впливу, сформовано матрицю ризиків та визначено пріоритети управління. Найвищу критичність мають ризики, пов'язані з технічним зношенням транспорту, пилоутворенням, кліматичними змінами та соціальним тиском. Розроблено три сценарії розвитку ситуації: базовий, адаптивний та стресовий, які враховують різний рівень реагування підприємства на зовнішні виклики. Запропоновано набір інструментів: GIS-картування маршрутів, систему раннього попередження, цифровий моніторинг, а також систему КРІ (викиди, пилоутворюваність, частота інцидентів тощо), що дозволяє інтегрувати екологічний контроль у щоденну управлінську практику. Модель орієнтована на зниження ризиків, оптимізацію витрат і забезпечення екологічної та соціальної відповідальності підприємства.

Наукова новизна. Наукова новизна проведеного дослідження полягає в розробленні концептуальної моделі оцінки та управління екологічними ризиками в логістиці гірничодобувного підприємства.

Практична значимість. Розроблена інтегрована модель управління екологічними ризиками може бути впроваджена на гірничодобувних підприємствах для зниження негативного впливу транспортування на довкілля, оптимізації логістичних процесів, запобігання екологічним інцидентам та посиленню екологічної відповідальності підприємств.

Ключові слова: екологічні ризики; транспортування; гірничодобувне підприємство; управління ризиками; екологічна безпека; інтегрована модель; сценарне моделювання; моніторинг; стратегія по управлінню ризиками; КРІ; сталий розвиток.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У сучасних умовах інтенсифікації гірничодобувної діяльності особливої актуальності набуває питання мінімізації екологічного навантаження, зокрема в процесі транспортування сировини. На підприємствах з видобутку цей етап виробництва є не лише критичним з точки зору енергоспоживання та технічного зносу обладнання, а й джерелом суттєвих екологічних ризиків.

На практиці часто відсутня цілісна система управління такими ризиками, що враховувала б комплексну взаємодію технічних, екологічних, соціальних і економічних чинників. Існуючі підходи до управління зазвичай фрагментарні, базуються на реактивному принципі (усунення наслідків), а не на системній профілактиці та стратегічному плануванні. У результаті, підприємства залишаються вразливими до зовнішніх викликів, зокрема – посилення регуляторного тиску, зростання цін на енергоносії, кліматичних змін і зростання суспільних очікувань щодо екологічної відповідальності.

Вирішення цієї проблеми потребує розроблення інтегрованої моделі оцінки та управління

екологічними ризиками, що поєднувала б сценарне планування, систему екологічних КРІ та адаптивні управлінські механізми. Така модель має не лише ідентифікувати та ранжувати ризики за критичністю, але й забезпечувати оперативну реакцію на динамічні зміни зовнішнього середовища (законодавчі, кліматичні, соціальні й економічні чинники).

Таким чином, актуальність дослідження обумовлена потребою у створенні ефективного інструментарію стратегічного управління екологічними ризиками в транспортному секторі гірничодобувної промисловості, який дозволив би підвищити екологічну та економічну стійкість підприємств, зменшити вплив на довкілля та підвищити соціальну прийнятність їх діяльності.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика екологічної безпеки та оцінювання екологічних ризиків, в тому числі й у видобувній галузі, досліджується в контексті сталого природокористування, екологічної безпеки та техногенного навантаження [1–5, 7, 8, 12–15].

У низці попередніх публікацій співавторів обґрунтовано підходи до кількісного аналізу та оптимізації транспортних процесів у гірничій галузі, які створюють підґрунтя для оцінки екологічних ризиків, пов'язаних із транспортуванням, зокрема: визначені основні технічні фактори впливу на паливну ефективність та сформовані висновки щодо екологічних наслідків нераціонального транспортування [6]; запропоновано методику розрахунку собівартості транспортування блоків у блочному кар'єрі на основі лінійного програмування, а запропонований підхід до оптимізації маршрутів транспортування дозволяє не лише знизити собівартість, а й мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище [5]; зроблено висновки щодо раціонального поєднання техніки для комерційних блоків і відходів, що є релевантним для оцінки загального екологічного навантаження [11]. Окрему увагу в наукових дослідженнях приділено використанню сучасних цифрових технологій – GPS-моніторингу, IoT-систем і автоматизованих платформ екологічного контролю [8, 9, 13]. Таким чином, попередній науковий доробок спрямований на дослідження техніко-економічних і логістичних характеристик транспортних процесів у гірничому виробництві, що дозволило у цьому дослідженні зосередитись на їх екологічному аспекті.

ВИДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, присвячених питанням екологічної безпеки та управління ризиками на підприємствах гірничодобувної галузі, досі недостатньо опрацьованими залишаються аспекти системного аналізу екологічних ризиків у сфері логістичного забезпечення діяльності підприємств, що розробляють родовища природного каменю. Зокрема, бракує узагальнених методичних підходів до ідентифікації, кількісної оцінки та інтегрального аналізу екологічних ризиків, які виникають на різних етапах логістичного ланцюга – від видобутку сировини до її транспортування і складування. Недостатньо вивченими залишаються й питання адаптивного управління екологічною безпекою логістики у контексті стійкого розвитку регіонів, де здійснюється розробка корисних копалин. Відсутність інтегрованих моделей, які б поєднували системний аналіз, логістичні стратегії та екологічні критерії оцінювання ризиків, ускладнює прийняття ефективних управлінських рішень у сфері охорони довкілля.

Наукова новизна проведеного дослідження полягає в розробленні концептуальної моделі оцінки та управління екологічними ризиками в логістиці гірничодобувного підприємства, яка базується на поєднанні методів системного аналізу, просторового моделювання та екологічного моніторингу; запропоновано інтегральний підхід до класифікації ризиків

за джерелами їх виникнення та масштабом впливу на довкілля; обґрунтовано практичні рекомендації щодо вибору логістичних сценаріїв з урахуванням екологічної доцільності та соціально-економічних обмежень регіону.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка комплексної моделі управління екологічними ризиками, що виникають під час транспортування в умовах кар'єрної діяльності, з урахуванням технічних, екологічних, економічних та соціальних чинників.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Застосовано системний підхід до аналізу екологічних ризиків транспортування, включаючи: методи ідентифікації та класифікації ризиків – для встановлення джерел небезпеки, їх частоти та масштабів впливу; експертне оцінювання – для формування матриці ризиків і визначення їх критичності; сценарне моделювання – для прогнозування можливих стратегій реагування (базової, адаптивної та стресової); індикативний підхід із використанням КРІ – для оцінки результативності заходів з управління екологічною безпекою. Застосування вказаних методів дозволило сформувати інтегровану модель управління екологічними ризиками транспортування в умовах кар'єрної діяльності та обґрунтувати її практичну ефективність.

Об'єктом дослідження є екологічні ризики, що виникають у процесі транспортування на підприємствах гірничодобувної галузі, зокрема в умовах відкритої розробки родовищ облицювального каменю.

Предметом дослідження є методологічні та прикладні підходи до інтегрованого управління екологічними ризиками в логістичних процесах гірничодобувного виробництва з урахуванням технічних, екологічних, соціальних та економічних чинників.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Модель управління екологічними ризиками є системою взаємопов'язаних управлінських, технічних та аналітичних заходів, спрямованих на виявлення, оцінку та ранжування екологічних ризиків; оптимальне використання внутрішніх ресурсів; адаптацію до зовнішніх регуляторних, економічних і соціальних впливів; зниження шкоди довкіл्लю при збереженні ефективності виробництва. Розроблена модель управління екологічними ризиками ґрунтується на принципах: системності (охоплення всіх етапів технологічного процесу транспортування), інтеграції (врахування екологічних, економічних, правових та соціальних аспектів), збалансованості (співвідношення витрат і екологічного ефекту), відкритості (залучення громадськості до екологічного моніторингу), адаптивності (здатність реагувати на зміну стратегічних умов та постійне оновлення рішень у відповідь

на зміну зовнішнього середовища), прогнозованості (врахування довготривалих наслідків і трендів).

Структурними компонентами моделі є 4 блоки: ідентифікаційний, аналітичний, управлінський, моніторингово-коригуючий (рис. 1).

Очікуваними результатами від впровадження моделі є наступні: зменшення рівня пилового навантаження та викидів CO₂; підвищення прозорості екологічного менеджменту на підприємстві; мінімізація ризиків адміністративних санкцій; зростання довіри з боку громадськості та регуляторів; оптимізація витрат за рахунок системного управління ризиками.

Комплексна модель оцінки екологічних ризиків транспортування в умовах кар'єрів має враховувати не лише технічні та екологічні параметри, але

й стратегічні чинники, які формують зовнішнє та внутрішнє середовище підприємства. Такий підхід дає змогу інтегрувати поточні загрози в довгострокову систему управління сталим розвитком підприємства.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Виявлено низку екологічних ризиків у процесі транспортування на каменедобувних підприємствах, що можуть мати суттєві наслідки як для навколишнього середовища, так і для ефективності виробничих процесів. Оцінку ризиків здійснено на основі двох ключових параметрів: ймовірність виникнення (low – трапляється рідко (1 раз на кілька років) / medium – може трапитися щороку / high – висока ймовірність виникнення протягом року), яка визначає частоту

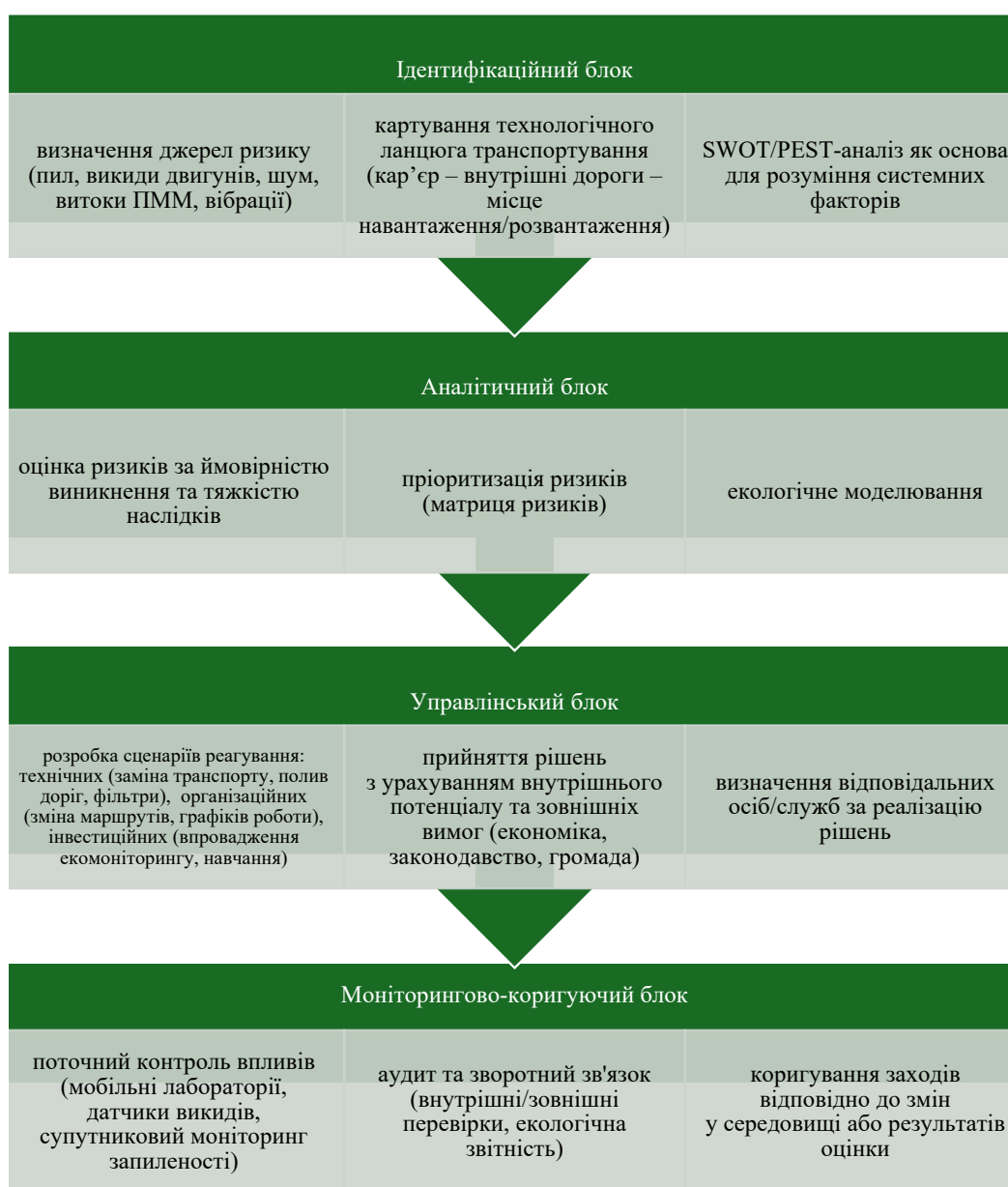


Рис. 1. Структурні компоненти моделі управління екологічними ризиками транспортування в кар'єрних умовах

появи ризикової події у виробничих умовах; масштаб впливу (локальний – впливає тільки в межах підприємства або кар’єру / регіональний – впливає на навколишні громади або інфраструктуру / системний – впливає на цілі галузі, екосистеми або регуляторні вимоги), що характеризує рівень потенційного впливу ризику на довкілля, громаду або діяльність підприємства. На основі зазначених параметрів сформовано матрицю ризиків (табл. 1), яка дозволяє візуалізувати критичність кожного ризику та забезпечує основу для пріоритизації управлінських дій (табл. 2). Особлива увага приділяється узгодженню ризиків із стратегічними викликами, серед яких – посилення екологічного законодавства, кліматичні зміни, соціальні очікування громад, а також економічні чинники (вартість енергоносіїв, технічне зношення транспорту тощо).

Проведена оцінка ризиків дозволяє зорієнтувати зусилля підприємства на найбільш критичні напрямки, зокрема – оновлення автопарку, посилення екологічного моніторингу, адаптацію до кліматичних ризиків і соціальної відповідальності.

Наступним кроком після оцінки ризиків для комплексної оцінки можливих шляхів розвитку ситуації з екологічними ризиками транспортування в умовах кар’єру є моделювання трьох стратегічних сценаріїв. Кожен з них враховує різні рівні впливу

управлінських рішень, інвестицій та зовнішнього регуляторного середовища:

– базовий сценарій (Business as Usual): передбачає відсутність значних змін у практиці управління транспортом та екологічною безпекою; технічний стан транспорту залишається без змін, екологічні заходи обмежуються мінімально необхідними, без впровадження систем моніторингу або модернізації; ризики залишаються на високому або середньому рівні, особливо в частині викидів, пилоутворення та соціального напруження;

– адаптивний сценарій: поступове впровадження інвестицій у модернізацію автопарку, перехід на екологічно чисті види пального, встановлення GPS-, EMS- та FMS-систем, підвищення автоматизації та інтеграції екологічного моніторингу; участь підприємства в програмах з енергоефективності та отриманні ESG-рейтингів; істотне зниження ризиків, особливо критичних і регіональних, а також поліпшення стійкості до зовнішніх викликів;

– стресовий сценарій (у разі різкого загострення зовнішніх умов: посилення екологічного законодавства, підвищення вартості енергоносіїв, загострення громадського тиску, екстремальні погодні умови або економічна криза): стрімке зростання екологічних і операційних ризиків; особливо вразливими стають

Таблиця 1. Матриця ризиків та їх оцінка

№ з/п	Ризик	Ймовірність	Вплив	Категорія ризику	Пріоритет
1	Застарілий автопарк → високі викиди та аварійність	high	регіональний	критичний	високий
2	Пилоутворення на дорогах → погіршення якості повітря	high	локальний	значний	середній
3	Відсутність моніторингу викидів → порушення норм	medium	регіональний	значний	середній
4	Розливи ПММ → локальне забруднення ґрунтів	medium	локальний	помірний	низький
5	Соціальний тиск громад → конфлікти, зупинка робіт	high	регіональний	критичний	високий
6	Кліматичні зміни → зниження прохідності та стійкості доріг	medium	системний	критичний	високий
7	Втрата біорізноманіття через шум та пил	medium	регіональний	значний	середній
8	Низька автоматизація оцінки впливу	medium	локальний	помірний	низький
9	Посилення еко-законодавства → штрафи та втрати	high	системний	критичний	високий
10	Висока вартість пального → неефективність логістики	high	регіональний	значний	середній

Таблиця 2. Пріоритизація ризиків відповідно до стратегічних викликів

Пріоритет	Ризики	Рекомендовані дії
Високий	№ 1, № 5, № 6, № 9	Негайна модернізація транспорту, ESG-стратегії, соціальні комунікації, інвестпроекти
Середній	№ 2, № 3, № 7, № 10	Впровадження систем моніторингу, екозаходів, адаптація логістики
Низький	№ 4, № 8	Планове оновлення процесів, цифровізація

підприємства зі зношеним обладнанням, неготові до оперативної реконфігурації логістики або переходу на «зелені» стандарти.

Результати оцінки екологічних ризиків транспортування в кар'єрних умовах набувають практичної цінності лише за умови їх інтеграції в управлінські процеси підприємства. Для цього доцільно впровадити комплекс інструментів, що забезпечать моніторинг, контроль і оперативне реагування на зміни екологічної ситуації в зоні діяльності транспорту. Серед них варто відмітити: створення системи раннього попередження для виявлення відхилення екологічних параметрів (викиди, пил, шум, вібрація) у режимі реального часу, що забезпечить зменшення ймовірності перевищення нормативів і забезпечить своєчасне реагування на критичні ситуації, включаючи аварійні розливи ПММ чи перевищення шумових навантажень; розробка карт ризиків для визначення найуразливіших ділянок внутрішньокар'єрних маршрутів (карти можуть бути інтегровані в геоінформаційні системи

(GIS) підприємства та використовуватись для планування маршрутів, зони пилозагасіння або встановлення додаткових екологічних бар'єрів); запровадження КРІ у сфері екологічної безпеки транспортування, що дасть змогу оцінювати динаміку екологічної безпеки та ефективність впроваджених заходів.

Серед рекомендованих КРІ: середній рівень викидів на 1 м³/т вантажу (як відношення обсягу викидів до перевезеного об'єму/маси вантажів); питома пилоутворюваність транспорту (як відношення маси пилу, утвореного на маршрутах до кількості рейсів); кількість випадків перевищення екологічних нормативів; частота екологічних інцидентів (як відношення кількості екологічних інцидентів до кількості днів роботи); середній строк безаварійної роботи транспорту; частка транспорту, обладнаного системами моніторингу (як відношення кількості одиниць транспорту з GPS/EMS/FMS до загальної кількості одиниць транспорту); обсяг інвестицій в екологічну модернізацію (як відношення інвестицій в екотехніку, системи

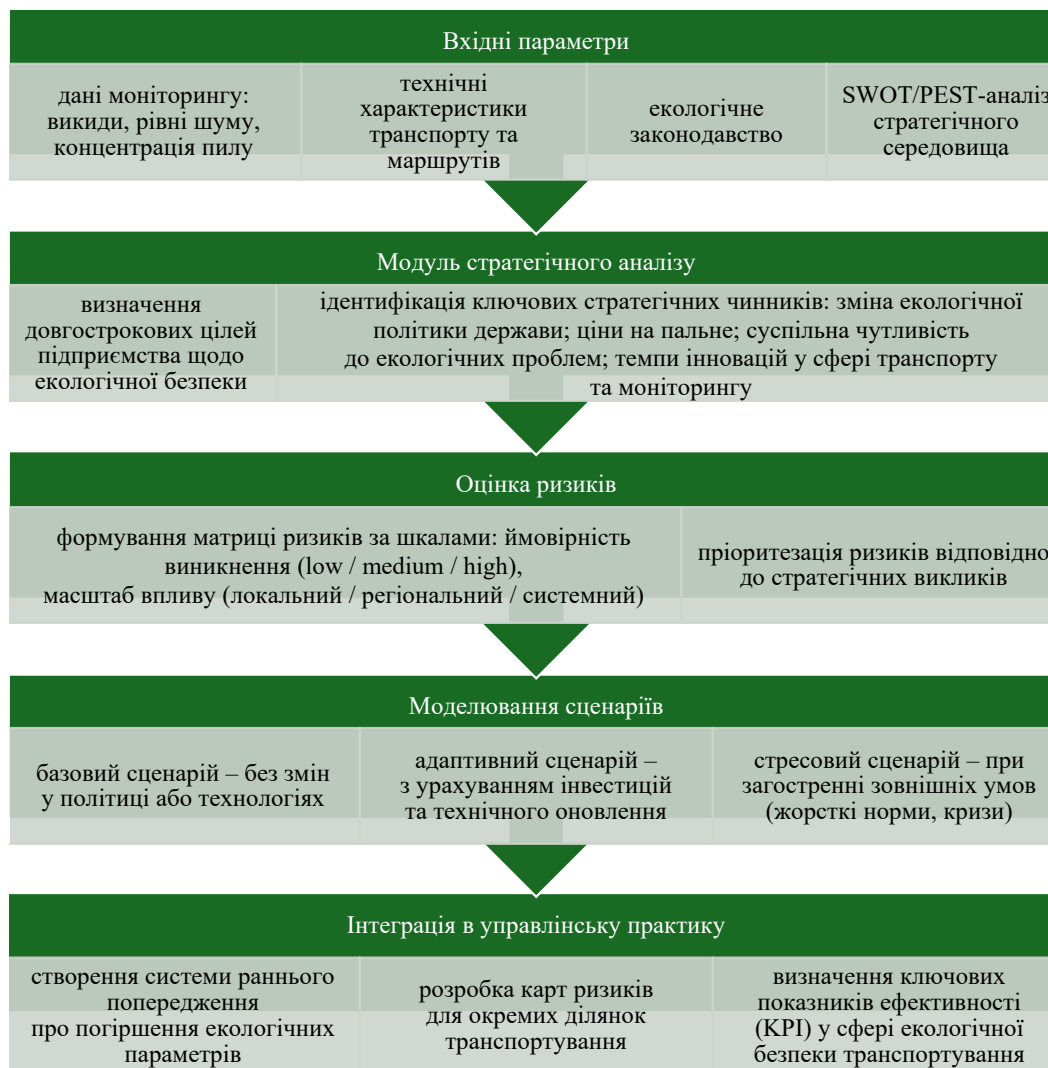


Рис. 2. Структура комплексної моделі управління екологічними ризиками транспортування в кар'єрних умовах

моніторингу тощо до загальних капітальних інвестицій підприємства).

Перевагами наведеної комплексної моделі є зв'язок короткострокової оцінки з довгостроковим стратегічним плануванням, врахування трендів та регуляторних змін, гнучкість моделі для різних сценаріїв розвитку підприємства, поєднання кількісних та якісних методів.

Застосування наведеного підходу забезпечує системність у прийнятті рішень щодо впровадження природоохоронних заходів, інвестицій у модернізацію техніки та розробки адаптивних логістичних стратегій з урахуванням сталого розвитку. Запропонована модель може бути імплементована на підприємствах видобутку облицювального каменю через екологічні паспорти виробничих процесів, оновлені технічні регламенти транспортування, модулі цифрового

моніторингу та систему екологічного аудиту й звітності. На основі вищевикладеного запропоновано стратегію по управлінню ризиками в контексті підприємства (рис. 3).

Отже, впровадження екологічних технологій та оптимізація логістичних процесів дозволить знизити витрати та покращити ефективність підприємства; постійне моніторинг і коригування стратегії допоможуть підприємству адаптуватися до змін у законодавстві та ринкових умовах; залучення громадськості до екологічних ініціатив та відповідальність за вплив на навколишнє середовище можуть підвищити репутацію підприємства та забезпечити довгострокову стабільність.

ВИСНОВКИ

Комплексна модель управління екологічними ризиками транспортування в умовах кар'єрів

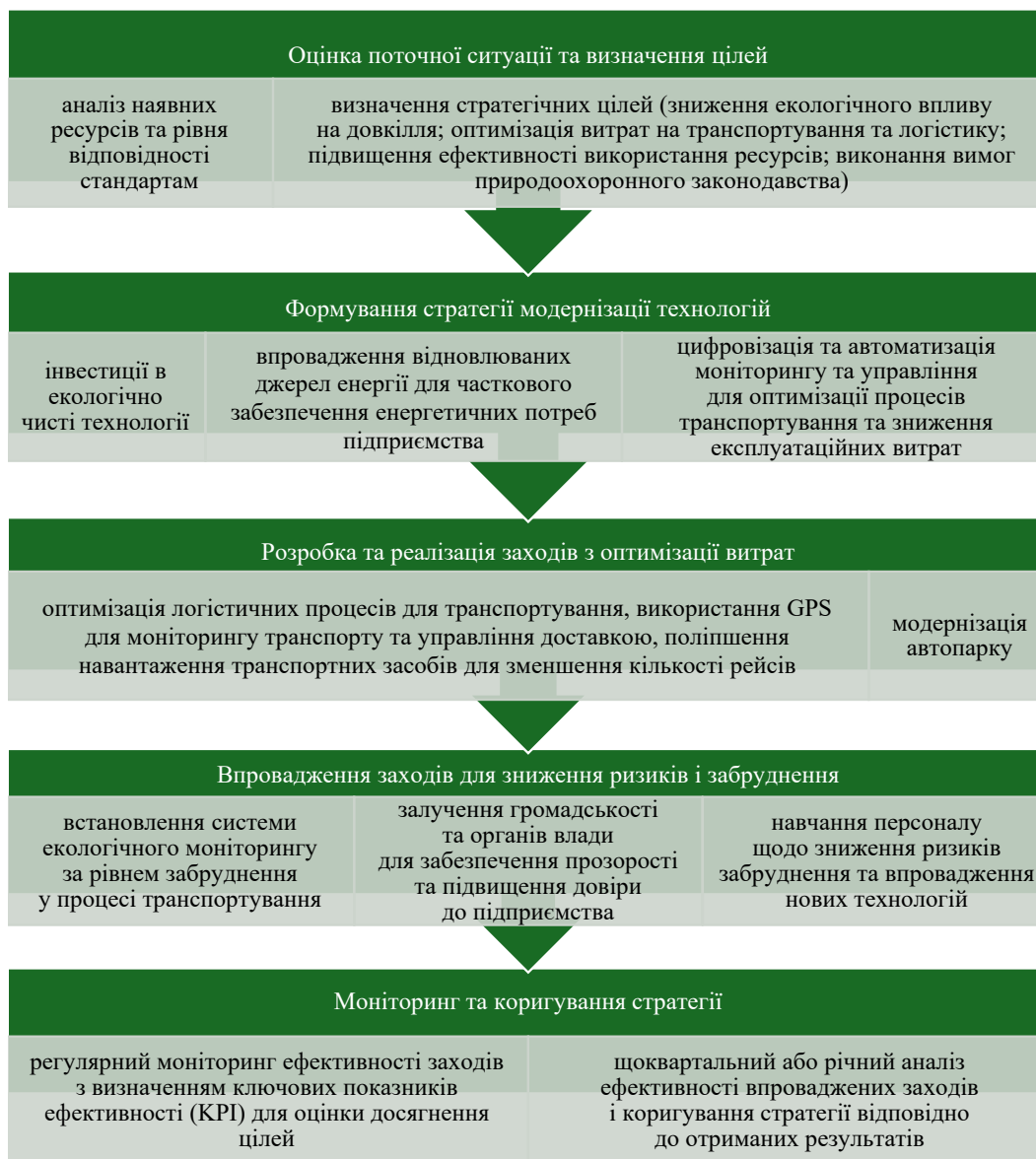


Рис. 3. Стратегія по управлінню ризиками в контексті підприємства

поєднує ідентифікаційний, аналітичний, управлінський та моніторингово-коригувальний блоки і враховує технічні, екологічні, соціальні та економічні аспекти функціонування підприємства. Серед ідентифікованих ключових екологічних ризиків – застарілий автопарк, соціальний тиск, кліматичні зміни, а також загроза посилення екологічного регулювання. Розроблено три стратегічні сценарії розвитку ситуації (базовий, адаптивний і стресовий), які дозволяють підприємству вибудувати адаптивну логістику й планувати інвестиції

залежно від змін у зовнішньому середовищі. Серед запропонованих інструментів інтеграції екологічного ризик-менеджменту в управлінські процеси підприємства: система раннього попередження, цифрова карта ризиків, екологічні KPI, автоматизований моніторинг та екологічний аудит. В результаті впровадження моделі очікується зменшення викидів і пилоутворення, зниження адміністративних ризиків, зростання довіри з боку громади, оптимізація витрат і підвищення ефективності управління.

REFERENCES

- [1] Valerko, R., & Herasymchuk, L. (2021). Otsinka ryzyku, pov'язanoho z nadkhodzhenniam zaliza z pytnoiu vodoiu, dlia zdorovia naselennia Zhytomyrskoi oblasti [Assessment of risk associated with the invention of iron with drinking water for the health of the population of the Zhytomyr region]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku – Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 10–16. doi: 10.32782/pcsd-2021-3-2 [in Ukrainian].
- [2] Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O., & Kasumova, V.Yu. (2022). Otsinka potentsiinoho ryzyku dlia zdorovia silskoho naselennia vnaslidok spozhyvannia pytnoi vody [Assessment of the potential risk to the health of rural population due to drinking water consumption]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurida Scientific Herald*, 125, 218–224. doi: 10.32851/2226-0099.2022.125.30 [in Ukrainian].
- [3] Herasymchuk, L., Valerko, R., & Zaluzhna, Ye. (2022). Otsinka rivnia ekolohichnoi bezpeky terytorii Zhytomyrskoi oblasti za obsiahamy utvorennia vidkhodiv [Assessment of the level of environmental safety of Zhytomyr region territories by volume of waste generation]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku – Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 3–9. doi: 10.32782/pcsd-2022-1-1 [in Ukrainian].
- [4] Herasymchuk, L., Valerko, R., Rozghon, V., & Malinovska, V. (2023). Tendentsii vykydiv dioksydu vuhletsu yak chynnyka klimatychnykh zmin v atmosferne povitria Zhytomyrskoi oblasti vid statsionarnykh dzherel ta prohnozuvannia yikh obsiahiv [Trends of carbon dioxide emissions as a factor of climate change into the atmospheric air of the Zhytomyr region from stationary sources and forecasting their volumes]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku – Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 49–58. doi: 10.32782/pcsd-2023-3-7 [in Ukrainian].
- [5] Kyrylenko, N., Shamrai, V., Kovalevych, L., Leblia, M., & Makhno, A. (2021). Obgruntuvannia transportnykh robiv v umovakh blochnoho kar'єru [Justification of transport works in the conditions of a block quarry]. *Heoizheneriia – Geoengineering*, 5, 14–23. doi: 10.20535/2707-2096.5.2021.230667 [in Ukrainian].
- [6] Kovalevych, L. A., Levytskyi, V. H., Bilobrov, D. M., Kyrylenko, N. P., & Shamrai, V. I. (2021). Dynamika spozhyvannia palyvno-mastylnykh materialiv samoskydamy na Omelianivskomu rodovyskhi hranitiv [Dynamics of fuel and lubricants consumption by dump trucks at the Omelyanivske granite deposit]. *Tekhnichna inzheneriia – Technical Engineering*, 1(87), 142–148. doi:10.26642/ten-2021-1(87)-142-148 [in Ukrainian].
- [7] Melnyk-Shamrai, V. V., Shamrai, V. I., Patseva, I. H., & Ihnatiuk, R. M. (2024). Otsinka vplyvu hirnycho-vydobuvnoi haluzi na dovkilia: sistema upravlinnia vidkhodamy [Assessment of the impact of the mining industry on the environment: the waste management system]. *Ekolohichni nauky – Ecological Sciences*, 4 (55), 164–168. doi: 10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.26 [in Ukrainian].
- [8] Agboola, O., Babatunde, D., Fayomi, O. S. I., Sadiku, R., Popoola, P., Yahaya, A., & Angela, M. (2020). A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. *Results in Engineering*, 8, 100181. doi: 10.1016/j.rineng.2020.100181.
- [9] Aguirre-Jofré, H., Eyre, M., Valerio, S., & Vogt, D. (2021). Low-cost internet of things (IoT) for monitoring and optimising mining small-scale trucks and surface mining shovels. *Automation in Construction*, 131, 1–30. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103918.
- [10] Korobiichuk, V., Iskov, S., Leonets, I., Davydova, I., & Kalchuk, S. (2024). Determination of the seismic effect of a mass explosion on the earthquake resistance of ledges of block products. *IOP Conference Series "Earth and Environmental Science"*, 1319, 012005. doi: 10.1088/1755-1315/1319/1/012005.
- [11] Kyrylenko, N. (2017). Substantiation of the wheel loader employment at dimension stone quarries in Ukraine. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 57–62. doi: 10.4408/IJEGE.2017-02.S-06.
- [12] Polishchuk, D., Panasiuk, A., Davydova, I., & Bondarchuk, V. (2024). Researching the optimal combination of UAV equipment for performing surveying measurements and software for processing the results. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 5th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters*, 1415(1). doi: 10.1088/1755-1315/1415/1/012029.
- [13] Popescu, C., Hysa, E., Kruja, A., & Mansi, E. (2022). Social Innovation, Circularity and Energy Transition for Environmental, Social and Governance (ESG) Practices – Comprehensive Review. *Energies*, 15, 9028. doi: 10.3390/en15239028.
- [14] Shamrai, V., Leonets, I., Melnyk-Shamrai, V., Patseva, I., & Naumov, Y. (2024). Reuse of stone working enterprise slurry in geopolymer and concrete products. *Mining of Mineral Deposits*, 18(4), 10–17. doi: 10.33271/mining18.04.010.
- [15] Valerko, R., Herasymchuk, L., Pitsil, A., & Palkevich, J. (2022). GIS-based assessment of risk for drinking water contamination to children's health in rural settlements. *Ekológia (Bratislava)*, 41(4), 312–321. doi: 10.2478/eko-2022-0032.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Валерко, Р., & Герасимчук, Л. (2021). Оцінка ризику, пов'язаного з надходженням заліза з питною водою, для здоров'я населення Житомирської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 10–16. doi: 10.32782/pcsd-2021-3-2.
- [2] Валерко, Р. А., Герасимчук, Л. О., & Касумова, В. Ю. (2022). Оцінка потенційного ризику для здоров'я сільського населення внаслідок споживання питної води. *Таврійський науковий вісник*, 125, 218–224. doi: 10.32851/2226-0099.2022.125.30.
- [3] Герасимчук, Л., Валерко, Р., & Залужна, Є. (2022). Оцінка рівня екологічної безпеки територій Житомирської області за обсягами утворення відходів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 3–9. doi: 10.32782/pcsd-2022-1-1.
- [4] Герасимчук, Л., Валерко, Р., Розгон, В., & Маліновська, В. (2023). Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 49–58. doi: 10.32782/pcsd-2023-3-7.
- [5] Кириленко, Н., Шамрай, В., Ковалевич, Л., Лебля, М., & Махно, А. (2021). Обґрунтування транспортних робіт в умовах блочного кар'єру. *Геоінженерія*, 5, 14–23. doi: 10.20535/2707-2096.5.2021.230667.
- [6] Ковалевич, Л. А., Левицький, В. Г., Білобров, Д. М., Кириленко, Н. П., & Шамрай, В. І. (2021). Динаміка споживання паливно-мастильних матеріалів самоскидами на Омелянівському родовищі гранітів. *Технічна інженерія*, 1(87), 142–148. doi: 10.26642/ten-2021-1(87)-142-148.
- [7] Мельник-Шамрай, В. В., Шамрай, В. І., Пацева, І. Г., Ігнатюк, Р. М. (2024). Оцінка впливу гірничо-видобувної галузі на довкілля: система управління відходами. *Екологічні науки*, 4 (55), 164–168. doi: 10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.26.
- [8] Agboola, O., Babatunde, D., Fayomi, O. S. I., Sadiku, R., Popoola, P., Yahaya, A., & Angela, M. (2020). A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. *Results in Engineering*, 8, 100181. doi: 10.1016/j.rineng.2020.100181.
- [9] Aguirre-Jofré, H., Eyre, M., Valerio, S., & Vogt, D. (2021). Low-cost internet of things (IoT) for monitoring and optimising mining small-scale trucks and surface mining shovels. *Automation in Construction*, 131, 1–30. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103918.
- [10] Korobiichuk, V., Iskov, S., Leonets, I., Davydova, I., & Kalchuk, S. (2024). Determination of the seismic effect of a mass explosion on the earthquake resistance of ledges of block products. *IOP Conference Series "Earth and Environmental Science"*, 1319, 012005. doi: 10.1088/1755-1315/1319/1/012005.
- [11] Kyrylenko, N. (2017). Substantiation of the wheel loader employment at dimension stone quarries in Ukraine. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 57–62. doi: 10.4408/IJEGE.2017-02.S-06.
- [12] Polishchuk, D., Panasiuk, A., Davydova, I., & Bondarchuk, V. (2024). Researching the optimal combination of UAV equipment for performing surveying measurements and software for processing the results. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 5th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters*, 1415(1). doi: 10.1088/1755-1315/1415/1/012029.
- [13] Popescu, C., Hysa, E., Kruja, A., & Mansi, E. (2022). Social Innovation, Circularity and Energy Transition for Environmental, Social and Governance (ESG) Practices – Comprehensive Review. *Energies*, 15, 9028. doi: 10.3390/en15239028.
- [14] Shamrai, V., Leonets, I., Melnyk-Shamrai, V., Patseva, I., & Naumov, Y. (2024). Reuse of stone working enterprise slurry in geopolymer and concrete products. *Mining of Mineral Deposits*, 18(4), 10–17. doi: 10.33271/mining18.04.010.
- [15] Valerko, R., Herasymchuk, L., Pitsil, A., & Palkevich, J. (2022). GIS-based assessment of risk for drinking water contamination to children's health in rural settlements. *Ekologia (Bratislava)*, 41(4), 312–321. doi: 10.2478/eko-2022-0032.

© Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Кириленко Н. П., Пацева І. Г.

Дата надходження статті до редакції: 26.05.2025

Дата затвердження статті до друку: 09.06.2025