

DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2025\(56\)07](https://doi.org/10.31617/2.2025(56)07)
УДК 001.82:528]:624.21/.8



ПАЛІЄНКО Олена

<https://orcid.org/0000-0002-4460-5576>

к. т. н., доцент, доцент кафедри
інжинірингу та землеустрою
Державного торговельно-економічного
університету
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
o.paliyenko@knute.edu.ua

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ГЕОДЕЗИЧНИХ РИЗИКІВ У МОСТОВУДУВАННІ

Розглянуто проблему управління ризиками геодезичних робіт у мостобудівних проєктах, яка є актуальною через високу чутливість точності монтажу конструкцій до похибок вимірювань, та їхній вплив на безпеку персоналу. Дослідження спирається на гіпотезу, що включення показника безпеки S до інтегрованого індексу ризику підвищує точність пріоритизації ризиків і забезпечує превентивний характер управління. Методологія базується на модифікації методу MORAG, доповненого критерієм безпеки й алгоритмом розрахунку вагових коефіцієнтів за методом аналітичної ієрархії (АНР). Проведено кількісний аналіз ризиків на основі даних п'яти аналогічних мостобудівних проєктів. Результати показали, що найбільший інтегральний ризик ($R = 0.342$) пов'язаний із відхиленням положення опор конструкції, а найменший ($R = 0.087$) – із порушенням точності геодезичної мережі. Запропонований підхід узгоджується з міжнародними стандартами ISO 31000 та ISO/IEC 31010 і може бути використаний для планування та моніторингу геодезичних робіт у складних інженерних проєктах.

Ключові слова: управління ризиками, геодезичні роботи, мостобудування, MORAG, безпека праці, ISO 31000.

JEL Classification: C44, L74, D81, O18.

Вступ

Геодезичні роботи в мостобудівних проєктах є критично важливими для точності монтажу конструкцій та безпеки персоналу. Помилки на цьому етапі призводять до затримок, додаткових робіт і підвищення ризиків травматизму (Kowacka et al., 2021; Wu et al., 2024). Міжнародні стандарти ISO 31000 та ISO/IEC 31010 визначають принципи управління ризиками, але їх застосування в геодезичних роботах мостобудування

PALIENKO Olena

<https://orcid.org/0000-0002-4460-5576>

PhD (Technical Sciences), Associate
Professor of the Department
of Engineering and Land Management
State University of Trade and Economics
19, Kyoto St., Kyiv, 02156, Ukraine
o.paliyenko@knute.edu.ua

METHODOLOGY FOR ASSESSING GEODETIC RISKS IN BRIDGE CONSTRUCTION

The issue of risk management in geodetic works for bridge construction projects is examined, which is relevant due to the high sensitivity of structural assembly accuracy to measurement errors and their impact on personnel safety. The study is based on the hypothesis that including the safety indicator S in the integrated risk index improves risk prioritization accuracy and ensures a preventive approach to management. The methodology is based on a modification of the MORAG method, supplemented with the safety criterion and an algorithm for calculating weighting coefficients using the Analytic Hierarchy Process (AHP). A quantitative risk analysis was conducted using data from five similar bridge construction projects. The results showed that the highest integrated risk ($R = 0.342$) is associated with the deviation in the position of structural supports, while the lowest ($R = 0.087$) is related to geodetic network inaccuracy. The proposed approach aligns with international standards ISO 31000 and ISO/IEC 31010 and can be applied for planning and monitoring geodetic works in complex engineering projects.

Keywords: risk management, geodetic works, bridge construction, MORAG, occupational safety, ISO 31000.



Copyright © 2025. Автор(и). Це стаття відкритого доступу, яка розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution License 4.0 \(CC-BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) Міжнародна ліцензія

залишається недостатньо дослідженим (ISO 31000, 2018; ISO/IEC 31010, 2019). Проблема полягає у відсутності методів, що інтегрують критерії охорони праці в оцінку ризиків геодезичних робіт (ISO 31000, 2018; ISO/IEC 31010, 2019; Kowacka et al., 2019; Wu et al., 2024).

Останні дослідження пропонують різні кількісні підходи: від системної динаміки (Tu et al., 2024) до алгоритмів машинного навчання (Wu et al., 2024). Проте більшість моделей орієнтовані на фінансові аспекти, а не на безпеку персоналу (Li et al., 2022; Yin et al., 2023). Метод MORAG, розроблений для проєктів з будівництва доріг, продемонстрував ефективність у ранжуванні ризиків геодезичних робіт (Kowacka et al., 2019). На відміну від класичних детермінованих підходів, MORAG враховує похибки вимірювань, стохастичний характер даних та просторово-часову динаміку процесів, що забезпечує більш точну оцінку ризиків. Метод дає змогу інтегрувати результати сучасних технологій моніторингу, таких як GNSS, InSAR та LiDAR. Крім того, MORAG підтримує багатофакторний аналіз, поєднуючи технічні, геотехнічні та організаційні ризики в єдиній системі оцінки, але потребує адаптації для мостобудування з урахуванням безпекових параметрів (Li et al., 2022; Yin et al., 2023). Невирішена частина проблеми полягає у відсутності методів, що поєднують технічні та безпекові критерії в єдиному індексі ризику. Це обмежує можливості превентивного управління ризиками та створює загрозу життю і здоров'ю персоналу.

Мета статті – перевірити ефективність модифікації методу MORAG для аналізу ризиків геодезичних робіт у мостобудуванні з урахуванням критеріїв безпеки.

Гіпотеза: включення показників безпеки до інтегрованого індексу ризику підвищує точність пріоритизації ризиків та сприяє інтеграції охорони праці в управління ризиками. Методологія дослідження: у роботі використано модифікований метод MORAG (*Method of Risk Analysis for Geodesy*), доповнений критерієм безпеки S та алгоритмом визначення вагових коефіцієнтів за методом аналітичної ієрархії (AHP). Розрахунок інтегрального індексу ризику здійснено на основі показників часу (T/T_{ref}), якості (Q), безпеки (S) та ймовірності виникнення ризику (P).

Перший розділ основної частини статті містить детальний опис методології, у другому викладено результати аналізу геодезичних ризиків та їхнього інтегрального впливу на безпеку робіт.

1. Розроблення модифікованого методу MORAG: вибір вагових коефіцієнтів та алгоритм розрахунку

1.1. Концептуальні засади

Метод MORAG (*Method of Risk Analysis for Geodesy*) застосовується для кількісної оцінки ризиків геодезичних робіт у транспортному будівництві (Kowacka et al., 2019). Його базова версія враховує часові та якісні аспекти похибок, але не інтегрує критерії охорони праці. Для мостобудування пропонується модифікація, що включає показник безпеки S , який відображає рівень професійного ризику (відхилення при

розмітці осі конструкції; відхилення в геодезичних висотних даних; відхилення положення опор конструкції від проєктного значення; порушення точності геодезичної мережі; вплив температурних деформацій на конструкцію тощо).

Вибір методу *MORAG* як базової методики для аналізу ризиків геодезичних робіт у мостобудуванні зумовлений низкою факторів.

Спеціалізація на геодезичних процесах. На відміну від загальнобудівельних моделей (*AHP-Fuzzy*, *Cloud Model*, *Monte Carlo*), *MORAG* розроблений саме для оцінки ризиків геодезичних операцій у транспортному будівництві. Це забезпечує релевантність показників і можливість деталізації похибок, що впливають на точність трасування та монтажу.

Простота інтеграції в календарно-мережеве планування. Метод використовує кількісні параметри (часові затримки, якість), що легко узгоджуються з графіками робіт і системами управління проєктами (*MS Project*, *Primavera*).

Можливість модифікації. Структура *MORAG* дозволяє додати нові критерії без порушення логіки розрахунку. У нашому випадку інтеграція показника безпеки *S* формує комплексний індекс ризику, що враховує професійні загрози поряд із технічними аспектами.

Відповідність міжнародним стандартам. Модифікований *MORAG* узгоджується з принципами *ISO 31000* (2018) та *ISO/IEC 31010* (2019), які рекомендують використання індексних методів для багатокритеріальної оцінки ризиків і проведення чутливісного аналізу.

Недостатність альтернатив. Методи *Fuzzy AHP* та *Cloud Model* добре працюють із невизначеністю, але вони орієнтовані на загальні будівельні ризики і не мають адаптованих параметрів для геодезії. *Monte Carlo* потребує великої статистичної бази, що обмежує його застосування на етапі планування.

1.2. Методологія оцінки ризиків геодезичних робіт у будівельних проєктах

Методологічна основа дослідження ґрунтується на кількісному аналізі ризиків, що дає змогу інтегрувати технічні та безпекові параметри в єдину систему оцінки (*ISO 31000*, 2018; *ISO/IEC 31010*, 2019). Для цього використано модифіковану формулу індексу ризику:

$$I = W_t + \frac{T}{T_{ref}} + W_q + Q + W_s \cdot S, \quad (1)$$

де: T – фактична затримка виконання роботи (дні);

T_{ref} – нормативний показник виконання робіт (дні);

Q – показник впливу на якість (інтервал $[0;1]$);

S – показник безпеки (інтервал $[0;1]$);

W_t , W_q , W_s – вагові коефіцієнти, визначені методом аналітичної ієрархії (*AHP*).

Інтегрований ризик розраховувався за формулою (2):

$$R = P \cdot I, \quad (2)$$

де: P – ймовірність виникнення ризику, що визначається як відношення кількості випадків до кількості операцій;

I – індекс ризику.

Для отримання вихідних даних проведено аналіз журналів виконаних робіт, звітів технічного нагляду та помилок у п'яти аналогічних мостобудівних проєктах. У дослідженні розглядалися найбільш поширені небезпечні фактори: відхилення при розмітці осі конструкції, помилки у висотних даних, зміщення опор, порушення точності геодезичної мережі та вплив температурних деформацій.

Наступним етапом було визначення вагових коефіцієнтів W_t , W_q , W_s , що характеризують вплив часу, якості та безпеки на загальний ризик. Для цього застосовано метод аналітичної ієрархії (*Analytic Hierarchy Process, AHP*), розроблений Т. Сааті, який дозволяє структурувати багато-критеріальні задачі у вигляді ієрархії та визначати пріоритети шляхом парних порівнянь елементів за дев'ятибальною шкалою (від 1 – рівна важливість до 9 – абсолютна перевага) (*Saaty, 1980*).

Процедура включала формування ієрархії: на верхньому рівні – мета (оцінка ризику), на нижньому – критерії (час, якість, безпека). За результатами парних порівнянь побудовано матрицю та обчислено власний вектор пріоритетів (*табл. 1*), що визначає вагові коефіцієнти для кожного критерію.

Таблиця 1

Матриця парних порівнянь та вагові коефіцієнти

	Час (T)	Якість (Q)	Безпека (S)	Вагові коефіцієнти
T	1	1	3	0.429
Q	1	1	3	0.429
S	1/3	1/3	1	0.143
Σ	2.33	2.33	7	–

Джерело: складено автором.

Показники Q та S нормалізуються до інтервалу $[0;1]$ для забезпечення порівнянності та розраховуються за формулами (3) та (4):

$$Q = \frac{\text{Відсоток бездефектного виконання робіт}}{100} \quad (3)$$

$$S = \frac{\text{Відсоток безаварійного виконання робіт}}{100} \quad (4)$$

Результати розрахунків наведено в *табл. 2*, що відображає значення ймовірності P , відносної затримки T/T_{ref} , показників Q , S , інтегрального індексу I та загального ризику R для кожного фактора.

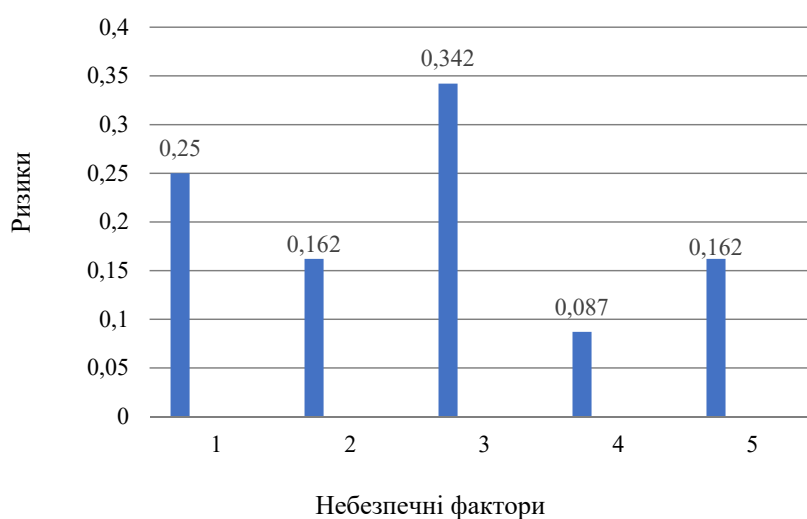
Таблиця 2

Розраховані показники ризиків для геодезичних робіт
у мостобудівних проєктах

Ризики	P	T/T_{ref}	Q	S	I	R
Відхилення при розмітці осі конструкції	0.3	0.875	0.82	0.86	0.85	0.255
Відхилення в геодезичних висотних даних	0.2	0.812	0.8	0.84	0.812	0.162
Відхилення положення опор конструкції від проєктного значення	0.4	0.938	0.78	0.82	0.854	0.342
Порушення точності геодезичної мережі	0.1	1	0.76	0.8	0.869	0.087
Вплив температурних деформацій на конструкцію	0.2	0.75	0.85	0.88	0.812	0.162

Джерело: складено автором.

Для наочності та спрощення аналізу отриманих числових даних (*табл. 2*) побудовано графік пріоритетів ризиків за показником R (*рис. 1*) та теплову карту показників ризику. Це дає змогу швидко визначити критичні фактори та оцінити їхній вплив на загальний рівень ризику.

Рис. 1. Пріоритети ризиків за показником R

Джерело: складено автором.

Аналіз *рис. 1* свідчить, що максимальне значення інтегрального ризику R спостерігається для фактора "Відхилення положення опор конструкції від проєктного значення" (0.342), що вказує на його критичний вплив на точність монтажу. Найнижчий рівень ризику зафіксовано для "Порушення точності геодезичної мережі" (0.087), що свідчить про його відносно незначний вплив у загальній структурі ризиків.

Окрім графіка пріоритетів ризиків за показником R , для комплексного аналізу побудовано теплову карту. Теплова карта використовується для багатовимірної візуалізації параметрів ризику, що дозволяє оцінити вплив кожного показника на загальний рівень ризику. На відміну від графіка пріоритетів, який відображає лише інтегральний показник R , теплова карта демонструє значення шести параметрів (T/T_{ref} , Q , S , I , P , R) для кожного небезпечного фактора. Кольорова шкала (рис. 2) варіюється від темно-червоного (високі значення, близько 1.0) до світло-жовтого (низькі значення, близько 0.1), що забезпечує швидке виявлення критичних компонентів ризику. Такий підхід рекомендований сучасними методами управління ризиками для комплексного аналізу багатокритеріальних даних (ISO, 2018; ISO, 2019).

1.	0.875	0.82	0.86	0.85	0.3	0.255
2.	0.812	0.8	0.84	0.812	0.2	0.162
3.	0.938	0.78	0.82	0.854	0.4	0.342
4.	1	0.76	0.8	0.869	0.1	0.087
5.	0.75	0.85	0.88	0.812	0.2	0.162
	T/T_{ref}	Q	S	I	P	R

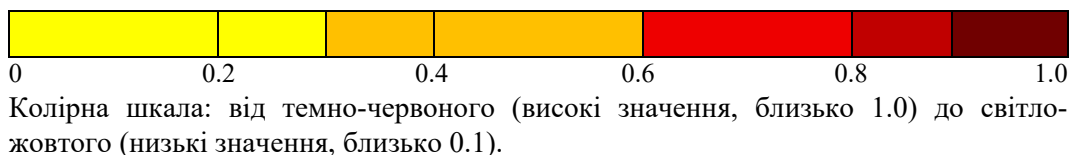


Рис. 2. Теплова карта показників ризику

Джерело: складено автором.

Отримані графічні матеріали дають змогу не лише порівняти величини ризиків, але й виявити ключові чинники, що найбільше впливають на точність геодезичних робіт. Зокрема, аналіз діаграми пріоритетів і теплової карти показав, що критичними є відхилення положення опор конструкції та нестабільність геодезичної мережі, тоді як вплив температурних деформацій залишається мінімальним. Така інформація є основою для формування рекомендацій щодо управління ризиками, оптимізації технологічних процесів та безпекових параметрів.

2. Аналіз геодезичних ризиків та їхній інтегральний вплив на безпеку робіт

Інтеграція показника безпеки S у багатокритеріальний індекс ризику за методом *MORAG* підсилює орієнтацію управління ризиками на превентивні заходи. Це дозволяє не лише оцінювати технічні похибки,

а й враховувати їхній вплив на охорону праці. Аналіз отриманих даних, представлених у вигляді графіка пріоритетів ризиків та теплової карти, дає змогу оцінити не лише загальний рівень ризику, але й вплив окремих параметрів на безпеку виконання робіт. Кожен геодезичний ризик має свій вплив на умови праці: відхилення при розмітці осі конструкції – додаткові роботи на висоті, збільшення часу перебування в небезпечних зонах; відхилення у геодезичних висотних даних – демонтаж/переміщення важких елементів, ризик травм; відхилення положення опор конструкції від проєктного значення – роботи в зоні нестабільних конструкцій, небезпека обвалу; порушення точності геодезичної мережі – повторні виходи на майданчик, контакт з рухомою технікою; вплив температурних деформацій на конструкцію – робота на відкритих прольотах за несприятливих умов.

Для глибшого розуміння впливу окремих факторів на загальний рівень ризику доцільно розглянути, як високі значення ключових показників змінюють умови виконання робіт та підвищують небезпеку для персоналу. Нижче наведено деталізований аналіз кожного показника (табл. 3) з погляду його практичного впливу на безпеку та організацію монтажних процесів при зведенні мосту.

Таблиця 3

Геодезичні ризики та їхній вплив на безпеку

Критерій оцінки ризику	Характеристика впливу	Практичний вплив на безпеку
$\frac{T}{T_{ref}} \uparrow$	Відхилення від нормативної тривалості робіт	Збільшення часу перебування персоналу в небезпечних зонах (робота на висоті, біля важких конструкцій); підвищення ризику травм через втому та порушення графіка; додаткові витрати на організацію безпечних умов у продовжений період робіт
$Q \downarrow$	Низька якість або вплив на якість	Демонтаж/корекція конструкцій; додаткові операції у складних умовах; збільшення ризику аварійних ситуацій через нестабільність конструкцій
$S \uparrow$	Високий рівень небезпеки	Роботи на висоті без достатніх огорожень; монтаж у зоні ризику обвалу та падіння елементів; необхідність додаткових страхувальних систем та контролю метеоумов
$I \uparrow$	Комплексний негативний вплив часу, якості та безпеки	Зріст ймовірності помилок; ризик зриву графіка робіт та аварійних ситуацій; перегляд технологічних карт та плану робіт
$P \uparrow$	Часте повторення помилок	Збільшення кількості додаткових виходів на будівельний майданчик; підвищення контакту з рухомою технікою; зростання ризику травматизму через повторні операції
$R \uparrow$	Критичний вплив на безпеку	Роботи в зоні нестабільних конструкцій; небезпека обвалу або падіння елементів; необхідність негайного впровадження додаткових заходів безпеки

Джерело: складено автором.

Аналіз показників ризику за методом *MORAG* з інтеграцією критерію безпеки *S* підтвердив, що геодезичні похибки мають не лише

технічний, а й критичний вплив на умови праці. Найбільш небезпечними є ситуації, що призводять до:

- роботи на висоті без достатніх огорожень;
- монтажу в зоні ризику обвалу та падіння елементів;
- необхідності додаткових страхувальних систем та контролю метеоумов.

Отже, запропонований підхід забезпечує комплексне управління ризиками в мостобудівних проєктах, орієнтоване на підвищення рівня охорони праці.

Висновки

Модифікація методу *MORAG* з інтеграцією показника безпеки *S* забезпечує комплексний підхід до управління ризиками геодезичних робіт у мостобудівних проєктах. Це дозволяє враховувати не лише технічні похибки, а й їхній вплив на охорону праці, що підсилює превентивний характер управління.

Аналіз даних п'яти аналогічних проєктів показав, що найбільший інтегральний ризик ($R = 0.342$) пов'язаний із відхиленням положення опор конструкції від проєктного значення, що потребує особливої уваги до точності монтажу. Найменший ризик ($R = 0.087$) зафіксовано для порушення точності геодезичної мережі.

Включення критерію безпеки до багатокритеріального індексу ризику дає змогу формувати пріоритети управління з урахуванням професійних загроз. Найбільш небезпечними є ситуації, що призводять до: робіт на висоті без достатніх огорожень; монтажу в зоні ризику обвалу та падіння елементів; необхідності додаткових страхувальних систем та контролю метеоумов.

Практична значущість дослідження полягає в можливості застосування модифікованого методу *MORAG* для планування та моніторингу геодезичних робіт у складних інженерних проєктах відповідно до міжнародних стандартів *ISO 31000* та *ISO/IEC 31010*.

Обмеження та перспективи: дослідження базується на аналізі п'яти проєктів, що обмежує статистичну узагальненість. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розширення бази даних, адаптацію методики для інших типів споруд та інтеграцію цифрових технологій моніторингу (*GNSS*, *InSAR*, *LiDAR*).

REFERENCE

ISO 31000:2018. *Risk management – Guidelines*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/65694.html>

ISO/IEC 31010:2019. *Risk management – Risk assessment techniques*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/72140.html>

Kowacka, M. et al. (2019). Risk analysis in geodetic works for transport construction projects. *Journal of Civil Engineering*, 45(3), 112–124.

Li, X., & Yin, Y. (2022). Multi-criteria risk assessment in infrastructure projects. *Engineering Structures*, 250, 112–130.

Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.

Tu, Z. et al. (2024). System dynamics approach for risk control in large-scale construction. *Safety Science*, 160, 109–125.

Wu, D. et al. (2024). Machine learning approaches for risk prediction in construction. *Automation in Construction*, 152, 104–118.

Yin, Y., et al. (2023). Safety-oriented risk management in bridge engineering. *Structural Safety*, 101, 200–215.

Конфлікт інтересів. Автор заявляє, що не має фінансових чи нефінансових конфліктів інтересів щодо цієї публікації; не має відносин із державними органами, комерційними або некомерційними організаціями, які могли б бути зацікавлені у поданні цієї точки зору. З огляду на те, що автор афілійований з установою, яка є видавцем журналу, що може зумовити потенційний конфлікт або підозру в упередженості, остаточне рішення про публікацію цієї статті (включно з вибором рецензентів та редакторів) приймалося тими членами редколегії, які не пов'язані з цією установою.

Автор не отримував прямого фінансування для цього дослідження.

Палієнко, О. (2025). Методологія оцінки геодезичних ризиків у мостобудуванні. *Товарознавство. Технології. Інжиніринг*, 4(56), 82–90. [https://doi.org/10.31617/2.2025\(56\)07](https://doi.org/10.31617/2.2025(56)07)

Надійшла до редакції 20.10.2025.

Прийнято до друку 28.11.2025.

Публікація онлайн 16.12.2025.