

Михайло БОЖИНСЬКИЙ¹,

аспірант кафедри організації та управління будівництвом

ORCID: 0000-0002-8681-4675

Катерина ГАЄВА²,

провідний інженер

ORCID: 0009-0000-7142-8395

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

²Науково-дослідний інститут будівельного виробництва
імені В.С. Балицького, м. Київ

ОЦІНКА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ З ТИМЧАСОВОГО ПІДПИРАННЯ ПОШКОДЖЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У статті досліджується проблема удосконалення організаційно-технологічних рішень з тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій у випадках аварійних руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. Підкреслюється, що своєчасне та ефективне тимчасове підпирання є критично важливим етапом, який забезпечує стабільність будівлі до моменту виконання основних відновлювальних робіт. Традиційні підходи до вибору технологій у більшості випадків спиралися на однофакторні технічні перевірки, що не враховують повною мірою суперечливість та багатокритеріальність завдання. Водночас останні наукові розробки у сфері будівництва демонструють перехід до застосування багатокритеріальних методів прийняття рішень (MCDM-підходів), які дозволяють формувати прозорі, обґрунтовані та відтворювані алгоритми вибору.

Метою дослідження є апробація можливостей MCDM для оцінки альтернативних способів тимчасового підпирання та визначення найбільш ефективних рішень з урахуванням технічних, організаційних та технологічних факторів. У роботі запропоновано ієрархічну структуру критеріїв, що охоплює понад сорок параметрів, які характеризують безпеку, вартість, терміни, ресурсну забезпеченість, рівень механізації та логістичні обмеження. Особлива увага приділена методам визначення ваг критеріїв: від класичних процедур парних порівнянь (АНР) до групових експертних оцінок із перевіркою узгодженості. Для подальшого ранжування використано метод TOPSIS, що дозволив оцінити відносну близькість реальних альтернативних способів підпирання до ідеального рішення.

Практичну цінність має застосування наведеної методики до чотирьох реальних сценаріїв тимчасового підпирання пошкоджених залізобетонних конструкцій покрівлі промислових будівель. Аналіз результатів показав, що найбільш ефективним є поєднання використання монтажного майданчика з інформаційно-математичною системою оптимізації процесу підпирання, яке забезпечує мінімізацію термінів простою підприємства та підвищення надійності виконання робіт. У дослідженні також використано нечіткі оцінки та

лінгвістичні шкали для врахування якісних параметрів, що посилює адаптивність підходу в умовах невизначеності.

У висновках підкреслено, що інтеграція АНР і TOPSIS створює ефективний інструментарій для формування обґрунтованих рішень у сфері протиаварійного будівництва. Методика може бути використана для стандартизації процесів прийняття рішень у надзвичайних ситуаціях, підготовки методичних рекомендацій для будівельних організацій, а також для розробки спеціалізованих програмних засобів підтримки інженерних рішень. Результати підтверджують перспективність застосування багатокритеріальних методів для оптимізації організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, що дозволяє підвищити ефективність і безпеку будівельних процесів.

Ключові слова: організаційно-технологічні рішення, аварійні руйнування, багатокритеріальні методи прийняття рішень, тимчасове підпирання, методи відновлення, монтажний майданчик.

Постановка проблеми. Для скорочення термінів ліквідації наслідків аварійних руйнувань та відновлення пошкоджених конструкцій необхідно вдосконалювати організаційно-технологічні рішення з протиаварійного тимчасового підпирання елементів будівельних конструкцій, оскільки даний напрям у галузі недостатньо розглянутий та потребує більш детального висвітлення.

Метою статті є аналіз можливості вдосконалення організаційно-технологічних рішень для скорочення термінів ліквідації наслідків аварійних руйнувань та відновлення пошкоджених конструкцій за рахунок використання багатокритеріальних методів прийняття рішень (MCDM-підходів).

Аналіз останніх досліджень. В публікаціях останніх років видно зсув від «однокритеріальної» технічної перевірки до гібридних MCDM-підходів (АНР/ФАНР, TOPSIS, VIKOR, EDAS) для швидкої оцінки альтернатив тимчасового підпирання за суперечливими критеріями – безпека та стійкість, час монтажу, вартість, доступність ресурсів і ризики в умовах невизначеності [1, 2].

Загалом вітчизняні наукові праці містять матеріали ДСНС щодо ліквідації наслідків руйнувань, а також застосування АНР/TOPSIS у суміжних будівельних рішеннях. Таким чином це дає всі складові, щоб розробити та стандартизувати процедуру прийняття багатокритеріальних рішень саме для вибору альтернативних методів тимчасового підпирання.

Виклад основного матеріалу. Багатокритеріальні методи прийняття рішень стали інструментом для вирішення інженерних задач, оскільки вони дозволяють моделювати складні завдання. Ці методи можна використовувати для вибору найкращих альтернатив, коли існує кілька суперечливих критеріїв у контексті невизначеності [3].

У задачі прийняття рішення завжди є кілька елементів: критерії прийняття рішення $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, умови, які дозволяють нам диференціювати альтернативи та встановити переваги особи, яка приймає рішення; вага або виміри важливості критеріїв для особи, яка приймає рішення, тобто кожен вектор критеріїв пов'язаний з вектором ваг $[w] = (w_1, \dots, w_n)$. Ваги можна встановити методами прямого розподілу або іншими методами, такими як метод Сімоса [4], метод Дельфі [5] або парними порівняннями, процесом аналітичної ієрархії (АНР) [6] та іншими.

Альтернативи, різні рішення, які слід прийняти в задачі прийняття рішення, які призначаються як $A_s = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ($I = 1, 2, \dots, m$) є можливими альтернативами.

І нарешті, матриця оцінювання або прийняття рішень, за допомогою якої для всіх врахованих критеріїв та для кожного альтернативного сценарію особа, яка приймає рішення, може надати числове або символічне значення a_{ij} , яке виражає оцінку або думку про альтернативу A_i щодо критеріїв C_j [7].

При виникненні аварійних ситуацій застосовують багатокритеріальні методи прийняття рішень, щоб пріоритизувати вибір технологій та сценаріїв тимчасового підпирання окремих типів конструкцій. Це дає актуальний перелік елементів, які потребують першочергового підпирання та скорочує час на прийняття рішень.

Метод аналізу ієрархій (англ. Analytic Hierarchy Process, АНР) – це універсальний підхід до прийняття рішень, який був розроблений американським науковцем Томасом Сааті (T.L. Saaty) у 1970-х роках. Він дозволяє формалізувати складні багатокритеріальні задачі шляхом побудови ієрархічної моделі та проведення попарного порівняння альтернатив за визначеними критеріями. Метод базується на експертному оцінюванні і є зручним інструментом у випадках, коли важко застосувати чіткі кількісні методи через невизначеність або багатofакторність завдання [6].

Метод АНР передбачає такі основні етапи:

1. Формулювання мети прийняття рішення.
2. Визначення критеріїв і побудова ієрархічної структури задачі.

Ієрархія складається з:

- Вершини – мета прийняття рішення.
 - Середнього рівня – критерії (та підкритерії, якщо є).
 - Нижнього рівня – альтернативні варіанти.
3. Збір експертних оцінок у формі попарного порівняння елементів ієрархії.
 4. Розрахунок ваг (пріоритетів) для кожного з критеріїв та альтернатив.

Створюється матриця попарних порівнянь, з якої обчислюють власний вектор (вектор пріоритетів), часто методом нормалізації або через власні числа.

5. Перевірка узгодженості експертних суджень. Обчислюється індекс узгодженості (CI) та коефіцієнт узгодженості (CR). Якщо $CR < 0.1$ – порівняння вважаються узгодженими.

6. Агрегація результатів – визначення найкращої альтернативи. Зважування пріоритетів на всіх рівнях ієрархії дає змогу знайти глобальні пріоритети альтернатив.

Для порівняння використовують шкалу Сааті, яка включає значення від 1 до 9 та обернені значення ($1/2$, $1/3$ і т.д.), які відображають інтенсивність переваги одного елемента над іншим.

У задачі пришвидшення (зменшення тривалості виконання) робіт з відновлення та ліквідації пошкоджених об'єктів внаслідок впливів, не передбачених при проектуванні, мета полягає у виборі найоптимальнішого способу виконання робіт. В ієрархії першого рівня розглядаються три основні групи факторів:

- F1 Технічні – фактори, пов'язані з матеріально-технічною базою будівництва, рівнем механізації, інженерними рішеннями (F1.1 – людські, F1.2 – економічні, F1.3 – механізація).

- F2 Організаційні – фактори, пов'язані з управлінням, координацією, плануванням та логістикою (F2.1 – людські, F2.2 – економічні, F2.3 – механізація).

- F3 Технологічні – фактори, пов'язані з особливостями самого будівельного процесу, вибраної технології, способів виконання робіт (F2.1 – людські, F2.2 – економічні, F2.3 – механізація).

На другому рівні розглядаються деталізовані підкритерії C1–C45. У рамках дослідження експерти проводять попарне порівняння кожного критерію за впливом на зменшення тривалості виконання процесів. Наприклад, при оцінюванні впливу "наявності технічного обстеження" (C1) проти "документального забезпечення" (C2), експерт надає значення, що відображає перевагу одного критерію над іншим. Це значення конвертується у матрицю попарного порівняння, з якої далі розраховуються локальні ваги через нормалізацію та визначення власного вектора. Оцінка проводилася окремо для групи експертів з проектних організацій та групи експертів з підрядних організацій на основі того самого набору вагових коефіцієнтів критеріїв.

На підставі розрахунків визначається рейтинг (BNP) для деталізованих підкритеріїв другого рівня (рис.1) та факторів першого рівня ієрархії (рис.2) щодо головної мети – зменшення тривалості виконання робіт.

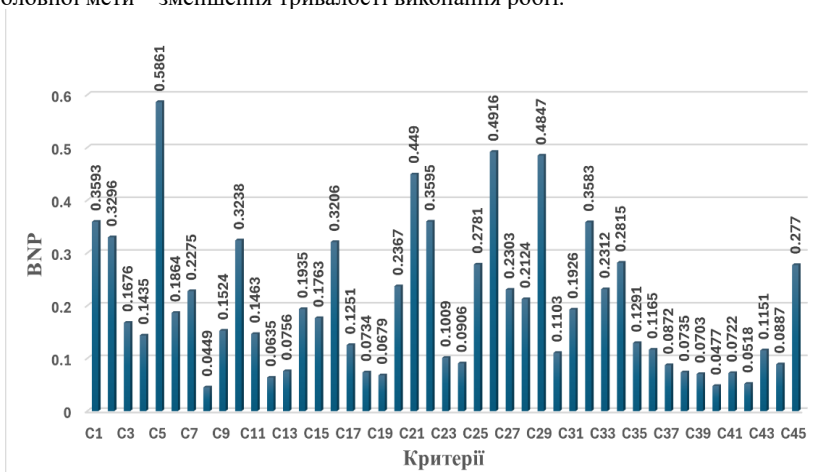


Рис.1. Рейтинг підкритеріїв другого рівня ієрархії

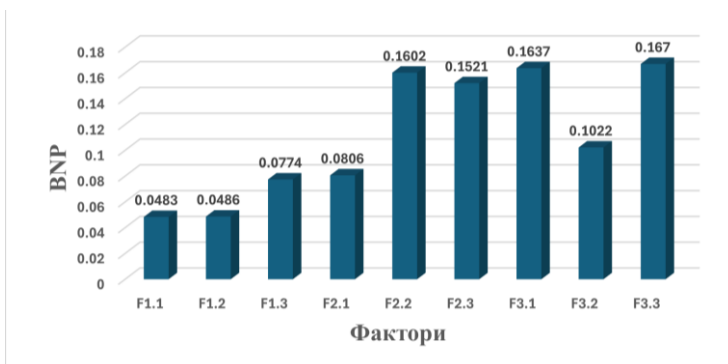


Рис.2. Рейтинг факторів першого рівня ієрархії

Для оцінки рейтингу альтернативних методів відновлення пропонується система оцінки із використанням лінгвістичних термінів, коли критерій має якісний вимір (метод TOPSIS).

TOPSIS – це метод, який використовується для ранжування альтернатив на основі їхньої відносної близькості до ідеального рішення [8]. Загальна процедура TOPSIS складається з таких кроків: 1) побудова та нормалізація матриці рішень, 2) застосування вагових коефіцієнтів критеріїв для отримання зваженої нормалізованої матриці, 3) визначення ідеальних та негативно-ідеальних рішень, 4) обчислення відносної близькості кожної альтернативи до ідеального рішення [9].

Ідеальне рішення представляє найкращу досягну продуктивність для кожного критерію серед усіх альтернатив, тоді як негативно-ідеальне рішення відповідає найгіршому [10]. Альтернативам, які ближче до ідеального рішення D_i^+ та далі від негативно-ідеального рішення D_i^- , присвоюються вищі рейтинги [11]. У цьому дослідженні метод TOPSIS було використано для оцінки чотирьох реальних альтернатив тимчасового підпирання з можливістю відновлення залізобетонних конструкцій покрівлі промислових будівель, з використанням зважених значень 45 критеріїв, отриманих з аналізу АНР. Як альтернативні способи тимчасового підпирання розглядаються: А – виконання робіт з використанням класичних риштувань, В – виконання робіт за допомогою ножичного підйомника, С – виконання робіт з монтажного майданчика, D – виконання робіт з монтажного майданчика та використання Інформаційно-математичної системи оптимізації підпирання.

Зважену нормалізовану матрицю було використано для розрахунку евклідових відстаней як до ідеального, так і до негативно-ідеального рішень. Потім для кожної альтернативи було обчислено індекс відносної близькості для визначення її рейтингу. Бали TOPSIS були визначені для обох груп експертів, що дозволило провести порівняльний аналіз різних уподобань зацікавлених сторін. Для отримання загальної оцінки було отримано остаточний інтегрований рейтинг шляхом усереднення нормалізованих значень близькості з обох точок зору.

Для оцінки рейтингу альтернативних методів відновлення пропонується система оцінки із використанням лінгвістичних термінів, коли критерій має якісний вимір. У цьому випадку використовуються п'ять лінгвістичних термінів (табл. 1) для оцінювання параметрів кожного методу відновлення по кожному якісному критерію.

Таблиця 1

Лінгвістична шкала для оцінки методів відновлення	
Лінгвістичний набір	Нечітке число
Рівень 1	(0, 0, 0.2)
Рівень 2	(0.1, 0.25, 0.4)
Рівень 3	(0.3, 0.5, 0.7)
Рівень 4	(0.6, 0.75, 0.9)
Рівень 5	(0.8, 1.0, 1.0)

Лінгвістичні рейтинги чотирьох альтернативних методів відновлення по різних критеріях прийняття рішень зведені у нормалізовану матрицю нечітких рішень, з результатів якої отримано зважену дефазифіковану нормалізовану нечітку матрицю

рішень. Виконано розрахунок коефіцієнту близькості CC_i кожного методу відновлення та визначено найбільш відповідну до поставлених задач альтернативу (табл. 2).

Таблиця 2

Значення коефіцієнта CC_i для кожного запропонованого методу відновлення

Метод відновлення	D_i^+	D_i^-	CC_i	Рейтинг
A	0.032019	0.015329	0.323755	4
B	0.028756	0.020299	0.413799	3
C	0.015488	0.031854	0.672851	2
D	0.015329	0.032019	0.676245	1

Згідно коефіцієнтів близькості для чотирьох альтернативних методів відновлення статуси оцінки є такими: метод А – слабо відповідає вимогам, метод В – слабо відповідає вимогам, метод С – рекомендується, метод D – рекомендується. Однак згідно з коефіцієнтами близькості метод D кращий за метод А, оскільки $CC_D > CC_C > CC_B > CC_A$. Отже, за результатами проведених обчислень був обраний метод D – виконання робіт з монтажного майданчика та використання Інформаційно-математичної системи оптимізації підпирання – як такий, що забезпечує найбільш ефективне скорочення тривалості виконання робіт та зменшення термінів простою критично важливого підприємства.

Висновки. Метод АНР дозволяє оцінити рівень узгодженості експертних оцінок через індекс узгодженості (Consistency Index, CI) та відношення узгодженості (Consistency Ratio, CR). Значення CR менше або дорівнює 0.1 свідчить про прийнятний рівень узгодженості. Це критично важливо для обґрунтованості вибору та надійності результатів.

Переваги застосування АНР у будівництві:

- Дає змогу враховувати як кількісні, так і якісні фактори.
- Адаптований до умов невизначеності.
- Підтримує колективну думку (збір експертних оцінок).
- Простий для реалізації за допомогою електронних таблиць або спеціалізованого ПЗ (наприклад, Expert Choice, Super Decisions).

Метод TOPSIS дозволяє виконати ранжування альтернатив на основі їхньої відносної близькості до ідеального рішення та визначити найбільш ефективний метод тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій з подальшим їх відновленням.

Використання наведених методів доводить доцільність їх застосування для удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій внаслідок впливів, не передбачених при проектуванні.

Список літератури:

1. Velasquez, Mark & Hester, Patrick. (2013). An analysis of multi-criteria decision-making methods. *International Journal of Operations Research*. 10 (2). pp. 56-66.

2. Opricovic S., G.H.Tzeng, Compromise solution by MCDM METHODS: A Comparative analyses of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operations Research*. 156 (2) (2004) 445–455.
3. Chen, Y., Kilgour, D.M., Hipel, K.W. (2008). Screening in multiple criteria decision analysis. *Decision Support Systems*. 45, pp. 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2007.12.017>
4. Siskos, E., Tsotsolas, N. (2015). Elicitation of criteria importance weights through the Simos method: A robustness concern. *European Journal of Operational Research*. 246, pp. 543–553. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.037>
5. Sierra, L.A., Yepes, V., Pellicer, E. (2018). A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures. *Journal of Cleaner Production*. 187. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.022>
6. Saaty, T.L. (1994) How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Aestimum*. 24, pp. 75–105. DOI: [10.13128/Aestimum-7138](https://doi.org/10.13128/Aestimum-7138)
7. Fülöp, J. (2008) Introduction to Decision Making Methods. *Decision Support Systems*. 45(2). pp. 278–290. DOI: [10.1016/j.dss.2007.12.017](https://doi.org/10.1016/j.dss.2007.12.017)
8. Çelikkilek, Y.; Tüysüz, F. (2020) An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An experimental analysis. *Journal of Management Analytics*. 7, pp. 281–300. DOI: <https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528>
9. Park, C., Son, M., Kim, J., Kim, B., Ahn, Y., & Kwon, N. (2025). TOPSIS and AHP-Based Multi-Criteria Decision-Making Approach for Evaluating Redevelopment in Old Residential Projects. *Sustainability*, 17(15), 7072. <https://doi.org/10.3390/su17157072>
10. Kamaç, H.; Marinkovic, D.; Petchimuthu, S.; Riaz, M.; Ashraf, S. (2022). Novel Distance-Measures-Based Extended TOPSIS Method under Linguistic Linear Diophantine Fuzzy Information. *Symmetry*. 14, 30 p. <https://doi.org/10.3390/sym14102140>
11. Fu, X.-L.; Ni, H.; Jiang, Z.-Y.; Jiang, N.-J.; Du, Y.-J. (2023). An integrated fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approach for screening backfill materials for contaminant containment in slurry trench cutoff walls. *Journal of Cleaner Production*. 419, 138242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138242>

Mykhailo BOZHYSKYI, Kateryna HAIEVA

Evaluation of alternative organizational and technological solutions for temporary supporting damaged structures based on multi-criterion decision-making methods

The article addresses the problem of improving organizational and technological solutions for temporary shoring of damaged structures in cases of accidental failures caused by impacts not anticipated at the design stage. It emphasizes that timely and efficient temporary shoring is a critically important stage that ensures the structural stability of a building prior to the implementation of permanent repair works. Traditional approaches to the selection of technologies have predominantly relied on single-factor technical inspections, which do not fully account for the complexity, contradictions, and multi-criteria nature of the task. At the same time, recent scientific developments in the field of construction demonstrate a transition towards the application of multi-criteria decision-making (MCDM) methods, which make it possible to develop transparent, well-founded, and reproducible selection algorithms.

The aim of the study is to test the potential of MCDM for assessing alternative methods of temporary shoring and identifying the most effective solutions considering technical, organizational, and technological factors. The paper proposes a hierarchical structure of criteria covering more than forty parameters, characterizing safety, cost, duration, resource availability, degree of mechanization, and logistical constraints. Particular attention is given to the methods of determining the weights of criteria, ranging from classical pairwise comparison procedures (AHP) to group expert evaluations with consistency verification. For further ranking of alternatives, the TOPSIS method was applied, enabling the assessment of the relative closeness of actual shoring alternatives to the ideal solution.

The practical value of the research lies in the application of the proposed methodology to four real-world scenarios of temporary shoring of damaged reinforced concrete roof structures of industrial buildings. The analysis of results demonstrated that the most effective option is the combination of using a mounting platform with an information-mathematical system for optimizing the shoring process, which minimizes enterprise downtime and enhances the reliability of construction works. The study also applied fuzzy evaluations and linguistic scales to incorporate qualitative parameters, which strengthen the adaptability of the approach under conditions of uncertainty.

The conclusions emphasize that the integration of AHP and TOPSIS provides an effective toolkit for developing well-substantiated decisions in the field of emergency construction. The methodology can be applied to standardize decision-making processes in emergency situations, to prepare methodological guidelines for construction organizations, and to develop specialized software tools for engineering decision support. The results confirm the potential of multi-criteria methods for optimizing organizational and technological solutions aimed at eliminating the consequences of accidental structural failures, thereby improving the efficiency and safety of construction processes.

Keywords: *organizational and technological solutions, accidental failures, multi-criteria decision-making methods, temporary shoring, restoration methods, mounting platform.*