

УДК 69:001.89;69.059

¹ **І.В. Шумаков**, д.т.н., професор, завідувач кафедри технології та організації будівельного виробництва ННІБЦІ, <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>;

² **О.В. Горда**, к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, <https://orcid.org/0000-0001-7380-0533>;

³ **А.П. Григоровський**, здобувач, <https://orcid.org/0000-0003-0009-2358>.

¹ Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків.

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

³ ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького», Київ

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНИХ, ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТРИВАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ЛІКВІДАЦІЇ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ РУЙНУВАНЬ

Анотація. Аналіз впливу технічних, організаційних та технологічних факторів на тривалість процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань є важливим етапом дослідження цього процесу. Для порівняння варіантів систем ліквідації та локалізації розвитку руйнувань аварійної будівлі проаналізовано три варіанти систем підкріплення для: металеві типової, дерев'яної індивідуальної та комбінованої систем. В роботі використано метод аналізу ієрархій – математичний інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень. Метод не нав'язує «правильного» варіанту, а дозволяє в інтерактивному режимі знайти альтернативу (раціональний варіант підкріплення), що найкращим чином узгоджується з вимогами до вирішення оптимізаційних завдань. Для зменшення суб'єктивності прийняття обґрунтованого оптимізаційного рішення в умовах складних багатокритеріальних оптимізаційних задач запропоновано рішення локальної задачі пошуку оптимальної за критерієм тривалості альтернативи, або групи альтернатив з урахуванням відношення переваг на основі векторного критерію. Для наведення впливу переваг у кількісному виразі використано шкалу парних порівнянь, яка полягає у якісній і кількісній оцінці відносної переваги: однакові за значущістю – 1; слабка перевага – 2; середній ступінь переваги – 3; перевага вище середнього ступеню – 4; помірно сильніша перевага – 5; сильна перевага – 6; значно сильніша перевага – 7; найбільш значима перевага – 8; абсолютна перевага – 9. Отримано вихідні дані для вибору варіанту тимчасового підкріплення шляхом порівняння розрахункової тривалості виконання демонтажних і відновлювальних робіт та оптимізовано послідовність їх виконання для трьох варіантів з використанням дерев'яних індивідуальних, металевих типових та комбінованих систем тимчасового підкріплення. Встановлено, що неможливо забезпечити повну уніфікацію елементів підкріплення з використанням тільки типових елементів, тому ефективним є використання комбінованих систем підкріплення з використанням типових металевих та індивідуальних дерев'яних елементів.

Ключові слова: технологія, техногенні впливи, руйнування, будівлі, інформаційне моделювання, відновлення, аналіз ієрархій, фактори впливу

Постановка проблеми

В роботі використано метод аналізу ієрархій – математичний інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень [7]. Метод не нав'язує «правильного» варіанту, а дозволяє в інтерактивному режимі знайти альтернативу (раціональний варіант підкріплення), що найкращим чином узгоджується з вимогами до вирішення оптимізаційних завдань [1].

У відповідності до задачі вибору для порівняння призначено три варіанти систем підкріплення: металева типова (В3), дерев'яна індивідуальна (В2) та комбінована (В1). Необхідно оцінити їх ефективність за критерієм тривалості робіт. Очікуємо, що за критерієм тривалості В2 триваліший за В1, а В1 триваліший за В3. Аналогічно можна порівняти відносну важливість будь-яких кількісно невизначених факторів. Обробка результатів практичного використання варіантів показує, що не існує можливості виконати підкріплення із використанням тільки одного із наведених варіантів [1]. Наприклад, металеві типові елементи підкріплення завдяки їх уніфі-

кації дозволяють швидко виконати їх встановлення, але багатоваріантність пошкоджень не дозволяє врахувати всі можливості їх застосування, тобто передбачити уніфікацію елементів для нетипових випадків підкріплення. В той же час дерев'яні індивідуальні елементи підкріплення дозволяють пристосувати ці елементи до нетипових випадків підкріплення шляхом виготовлення «по місцю».

Мета статті полягає в формуванні системи факторів впливу технічних, організаційних та технологічних факторів на тривалість процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань та прогнозування оптимальної альтернативи системи підкріплення з їх взаємозв'язками, що є важливим етапом дослідження процесу ліквідації наслідків аварійних руйнувань, а також порівняння варіантів ліквідації та локалізації розвитку руйнувань аварійної будівлі.

Результати досліджень

Для порівняння варіантів ліквідації та локалізації розвитку руйнувань аварійної будівлі проаналізовано три варіанти систем підкріплення для: металева

типова, дерев'яна індивідуальна та комбінована. Найбільш ефективним пропонується комбінований варіант з використанням типових елементів для типових випадків та індивідуальних для нетипових випадків підкріплення. Тому для зменшення суб'єктивності прийняття обґрунтованого оптимізаційного рішення в умовах складних багатокритеріальних оптимізаційних задач запропоновано рішення локальної задачі пошуку оптимальної за критерієм тривалості альтернативи, або групи альтернатив з урахуванням відношення переваг на основі векторного критерію.

Для наведення впливу у кількісному виразі Т. Саати [1, 2, 3] вводить шкалу парних порівнянь, яка полягає у якісній і кількісній оцінці відносної переваги: однакові за значущістю – 1; слабка перевага – 2; середній ступінь переваги – 3; перевага вище середнього ступеню – 4; помірно сильніша перевага – 5; сильна перевага – 6; значно сильніша перевага – 7; найбільш значима перевага – 8; абсолютна перевага – 9. Перевагою означеного підходу є можливість безрозмірної оцінки технічних, організаційних та технологічних факторів та можливість їх порівняння за бальною шкалою.

За допомогою принципу декомпозиції визначаємо найбільш важливі елементи прогнозування оптимальної альтернативи системи підкріплення з їх взаємозв'язками. Графічне відображення виконано у вигляді повної ієрархії або мережі (рис. 1), де наведені результати ранжирування факторів впливу на тривалість робіт з ліквідації та локалізації розвитку руйнувань, що отримані методом експертних оцінок [4]. На рис. 2 згруповані оціночні критерії для технічних (К 1.1 К 1.3), організаційних (К 2.1 К 2.3) та технологічних (К 3.1 К 3.3) факторів: К 1.1 – «Конструктивні особливості елементи системи підкріплення (елементи підкріплення: телескопічні, гідравлічні, пневматичні, механізовані, автоматизовані; тип стикування елементів підкріплення між собою; тип стикування елементів підкріплення з конструк-

цією, яка підкріплюється)»; К 1.2 – «Матеріал системи підкріплення (дерево, метал, тощо)»; К 1.3 – «Допоміжна оснастка (несучі тяги та канати, вантажозахоплювальні засоби)»; К 2.1 – «Застосування типових або індивідуальних систем підкріплення (типові металеві елементи, індивідуальні дерев'яні елементи, комбіновані металево-дерев'яні елементи)»; К 2.2 – «Характеристики ділянок будівлі, що підлягають підкріпленню (розмір ділянок, що складаються з декількох конструкцій, що підлягають спільному підкріпленню; склад конструктивних елементів в межах ділянки, що підлягають підкріпленню)»; К 2.3 – «Особливості конфігурації конструктивних елементів системи підкріплення (точкові елементи, точкові кутові елементи, лінійні елементи, лінійні кутові елементи, просторові елементи, просторові кутові елементи)»; К 3.1 – «Застосування типових або індивідуальних систем підкріплення для заданого об'єкту з урахуванням можливостей підрядної організації (типові металеві елементи, індивідуальні дерев'яні елементи, комбіновані металево-дерев'яні елементи)»; К 3.2 – «Характеристики ділянок заданої будівлі, що підлягають підкріпленню (розмір ділянок, що складаються з декількох конструкцій, що підлягають спільному підкріпленню, склад конструктивних елементів в межах ділянки, яка підлягає підкріпленню)»; К 3.3 – «Особливості конфігурації конструктивних елементів системи підкріплення для заданої будівлі з урахуванням можливостей підрядної організації (точкові елементи, точкові кутові елементи, лінійні елементи, лінійні кутові елементи, просторові елементи, просторові кутові елементи)».

Згідно з наведеними в табл. 2 даними за узгодженою думкою експертів основними факторами впливу на тривалість робіт з відновлення будівель, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів, є: 1.1 – «Конструктивні особливості елементів системи підкріплення»; 1.2 – «Матеріал системи підкріплення»; 1.3 – «Допоміжна оснастка (для групи технічних

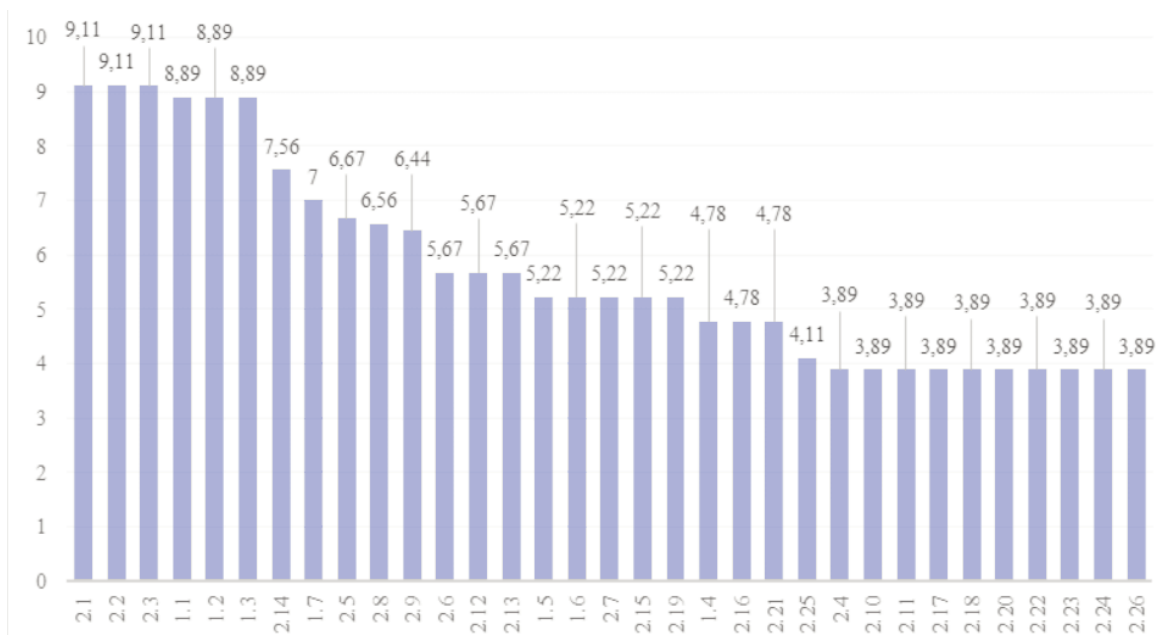


Рис. 1 Гістограма ранжирування технічних, організаційних та технологічних факторів впливу на тривалість робіт з ліквідації та локалізації розвитку руйнувань



Рис. 2 Дерево ієрархії для вибору оптимальної альтернативи системи підкріплення за критерієм тривалості

факторів); 2.1, 3.1 – «Застосування типових або індивідуальних систем підкріплення»; 2.2, 3.2 – «Характеристики ділянок будівлі, що підлягають підкріпленню»; 2.3, 3.3 – «Особливості конфігурації конструктивних елементів системи підкріплення (для груп організаційних та технологічних факторів)». Результати ранжування технологічних факторів є тотожним до ранжування організаційних факторів. Таким чином у подальших дослідженнях саме ці фактори, як найважливіші, доцільно брати до урахування для прогнозування тривалості робіт з ліквідації та локалізації розвитку руйнувань будівель [5, 6].

Етапи вибору оптимальної альтернативи системи підкріплення запропоновано сформулювати наступним чином:

Етап 1. Побудова ієрархічної структури передбачає наявність оціночних критеріїв у вигляді технічних, організаційних та технологічних факторів процесів та вибору факторів максимального впливу на тривалість.

Етап 2. Для порівняльних суджень виявляємо пріоритети елементів завдання, що полягають у ступені впливу факторів на критерій тривалості:

на основі шкали порівнянь Сааті будуються оціночні матриці для порівняння критеріїв та альтернатив за кожним критерієм матриці що задовольняють умові оберненої симетричності і мають розмірність $n \times n$;

для кожної матриці обчислюються значення власного вектору:

$$v_i = \frac{as_i}{S},$$

де

$$as_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n w_{ij}}$$

– середнє геометричне значення для кожного рядка матриці,

$$S = \sum_{i=1}^n a_i$$

n – розмірність матриці;

– обчислюємо значення максимального власного числа:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n a_{i,j} \cdot v_i \right);$$

$$IY = \frac{\lambda_{max}}{n-1}$$

– індекс узгодженості;

$$BY = \frac{IY}{M(IY)}$$

– відношення узгодженості.

Значення $M(IY)$ визначається з таблиці за розмірністю матриці.

Якщо $BY < 0,1$ підтверджується узгодженість оцінки відношення узгодженості, і отримані на її підставі оцінки є достовірними.

Етап 3 – Синтез. Отриману інформацію використовуємо для розробки рішень щодо вибору ефективного варіанту підкріплення та оцінки його якості. Складаємо матрицю з власних векторів оціночних матриць альтернатив за кожним критерієм K і перемножуємо її на власний вектор V оціночної матриці порівняння альтернатив: $K \times V$. В результаті отримуємо вектор оцінок для кожної альтернативи за сукупністю критеріїв. Максимальне значення вектора відповідає кращій альтернативі.

Застосуємо описану процедуру до нашої задачі. Дерево ієрархій наведено на рис. 2.

При спільному використанні критеріїв для вибору альтернатив на рис. 3 наведено дерево ієрархій без урахування поділу на параметри.

Далі, виконаємо операції, які передбачені на другому кроці.

Використовуючи шкалу Сааті, побудуємо матрицю оцінок, що відповідають технічним (К 1.1-1.3), організаційним (К 2.1-2.3) та технологічним факторам (К 3.1-3.3). Оцінюючи значимість цих факторів, отримуємо матрицю оцінок.

Визначимо IO та VO для нашої матриці. Матриця має розмірність 9×9 ($n=9$). Для цього необхідно знайти власні числа.

На підставі значень власного вектору, найбільш важливим є критерій К 3.1 – «Застосування типових або індивідуальних систем підкріплення для заданого об'єкту з урахуванням можливостей підрядної організації» (табл. 1).

Таблиця 1 Оцінка пріоритетів та узгодженості оціночної матриці



Рис. 3 Дерево ієрархій для вибору оптимальної альтернативи системи без урахування їх поділу на групи факторів

Матриця власних векторів альтернатив

Таблиця 2

	Матриця									Середнє геометричне рядка	Власний вектор
	К 1.1	К 1.2	К 1.3	К 2.1	К 2.2	К 2.3	К 3.1	К 3.2	К 3.3		
К 1.1	1	6	5	1/8	1/8	1/6	1/8	1/8	1/6	0.48776	0.03878
К 1.2	1/6	1	1/5	1/9	1/7	1/5	1/9	1/7	1/8	0.2846	0.02263
К 1.3	1/5	5	1	1/7	1/6	1/6	1/7	1/7	1/7	0.42609	0.03388
К 2.1	8	9	7	1	1/7	1/6	1/8	1/6	1/6	0.96551	0.07677
К 2.2	8	7	6	7	1	1/5	1/6	1/9	1/7	1.12983	0.08983
К 2.3	6	5	6	6	5	1	1/9	1/7	1/9	1.27652	0.1015
К 3.1	8	9	7	8	6	9	1	1/8	1/8	4.6938	0.3732
К 3.2	8	7	7	6	9	7	8	1	1/7	1.25992	0.10018
К 3.3	6	8	7	6	7	9	8	7	1	2.05304	0.16324
$\lambda_{max} = 10.07206$											
Індекс узгодженості, ІУ = 0.13401											
Відношення узгодженості, ВУ = 0.09242											

Результати перевірки узгодженості локальних пріоритетів шляхом розрахунку трьох характеристик наведено в табл. 1, де видно, що отримане значення отже матриця є добре узгодженою.

Для попарного порівняння альтернатив за кожним критерієм складено оціночні матриці з використанням шкали Сааті. Обчислюємо компоненти власних векторів та перевіряємо узгодженість кожної матриці. Оскільки вони узгоджені, складаємо і обчислюємо матрицю з власних векторів для альтернатив за кожним критерієм.

Для отримання оптимальної альтернативи матрицю множать на нормований власний вектор матриці попарних оцінок критеріїв (табл. 1). Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Графічне подання переваги варіантів наведено на рис. 4. Серед отриманих значень обираємо максимальне значення вагових коефіцієнтів. Наведене значення відповідає кращій альтернативі. За результатами порівняння вагових коефіцієнтів для задачі вибору системи підкріплення в якості «оптимальної» обрано першу альтернативу В1 – «Комбінована система підкріплення», використання якої максимально зменшить тривалість процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань.

Висновки

Встановлено, що аналіз впливу технічних, організаційних та технологічних факторів на тривалість процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань є важливим етапом дослідження процесу ліквідації наслідків аварійних руйнувань.

Для порівняння варіантів ліквідації та локалізації розвитку руйнувань аварійної будівлі, з використанням методу аналізу ієрархій -, математичного інструменту системного підходу до складних проблем прийняття рішень, проаналізовано три варіанти систем підкріплення аварійних конструкцій для варіантів: металева типова, дерев'яна індивідуальна та комбінована система.

Для зменшення суб'єктивності прийняття обґрунтованого оптимізаційного рішення в умовах складних багатокритеріальних оптимізаційних задач запропоновано рішення локальної задачі пошуку оптимальної за критерієм тривалості альтернативи, або групи альтернатив з урахуванням відношення переваг на основі векторного критерію. Для наведення впливу переваг у кількісному виразі використано шкалу парних порівнянь, яка полягає у якісній і кількісній оцінці відносної переваги: однакові за значущістю

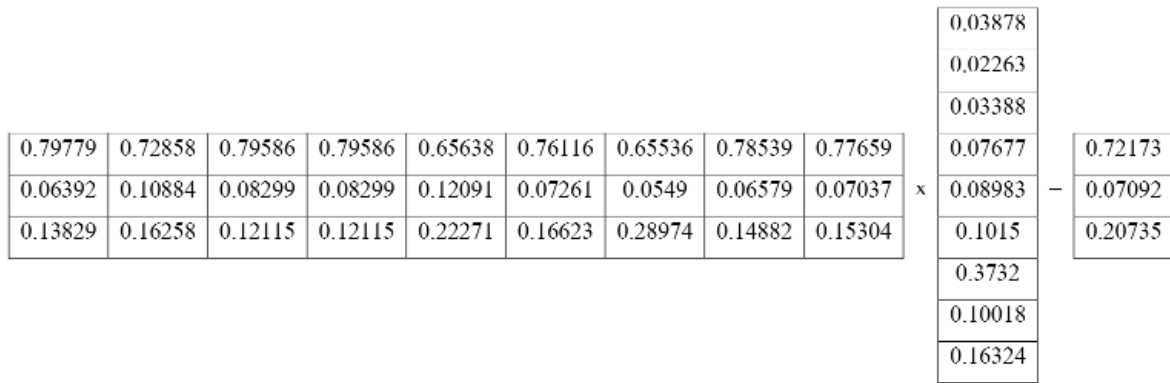


Рис. 4 Графічне подання переваг варіантів В1 – «Комбінована система підкріплення», В2 – «Індивідуальна дерев'яна», та В3 – «Типова металева система підкріплення»

Отримано вихідні дані для вибору варіанту тимчасового підкріплення шляхом порівняння розрахункової тривалості виконання демонтажних і відновлювальних робіт та оптимізовано послідовність їх виконання для трьох варіантів з використанням дерев'яних індивідуальних, металевих типових та комбінованих систем тимчасового підкріплення.

Встановлено, що неможливо забезпечити повну уніфікацію елементів підкріплення з використанням тільки типових елементів, тому ефективним є використання комбінованих систем підкріплення з використанням типових металевих та індивідуальних дерев'яних елементів.

Література

1. Saaty T.L. *Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* University of Pittsburgh, 1990.
2. Васецька, Т. М. Моделювання модифікованого методу аналізу ієрархій засобами конструктивно-продукційних структур. *Наука та прогрес транспорту.* 2016. №4 (64), С. 81–95.
3. M. Thewes, Markus, S. Kamarianakis. *Multi-criteria decision making of construction methods using the analytical hierarchy process based on fuzzy scales.* 2013. *Proceedings of the 13th World Conferenece of ACUUS: Advances in Underground Space Development, ACUUS 2012.* 1058-1072.
4. Самохвалов Ю.Я., Науменко Є.М. *Експертне оцінювання. Методичний аспект.* Київ : Видавництво ДУІКТ. 2007. 263 с.
5. Григоровський А.П. *Порівняльний аналіз та вибір варіанту організаційно-технологічних рішень процесу ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Будівельне виробництво : наук.-техн. зб.* 2022. №74. С. 17-24.
6. Григоровський П.Є., Максименко В.П., Басанський В.О., Григоровський А.П. *Вдосконалення технології демонтажу аварійних великопанельних будівель за результатами оцінки їх стійкості до обвалення. Будівельне виробництво: наук.-техн. зб.* Київ. №72. 2021. С. 3-11.
7. Beraldi, P., Boccia, M. & Sterle, C. *Special issue on: Optimization methods for decision making: advances and applications. Soft Comput 23,* 2849–2852 (2019).

Reference

1. Saaty T.L. *Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* University of Pittsburgh, 1990.
2. Vasetska, T. M. *Modeling of the modified method of analysis of hierarchies by means of constructive and production structures. Science and progress of transport.* 2016. No. 4 (64), pp. 81–95.
3. M. Thewes, Markus, S. Kamarianakis. *Multi-criteria decision making of construction methods using the analytical hierarchy process based on fuzzy scales.* 2013. *Proceedings of the 13th World Conference of ACUUS: Advances in Underground Space Development, ACUUS 2012.* 1058-1072.
4. Yu.Ya. Samokhvalov, E.M. Naumenko. *Expert assessment. Methodical aspect.* Kyiv: DUIKT Publishing House. 2007. 263 p.
5. Hryhorovskiy A.P. *Comparative analysis and selection of organizational and technological solutions for the process of elimination of the consequences of emergency destruction. Construction production: science and technology. coll.* 2022. No. 74. P. 17-24.
6. Hryhorovskiy P.E., Maksimenko V.P., Basanskyi V.O., Hryhorovskiy A.P. *Improvement of the dismantling technology of emergency large-panel buildings based on the results of assessing their resistance to collapse. Construction production: science and technology. coll. Kyiv.* No. 72. 2021. P. 3-11.
7. Beraldi, P., Boccia, M. & Sterle, C. *Special issue on: Optimization methods for decision making: advances and applications. Soft Comput 23,* 2849–2852 (2019).

¹ **I. V. Shumakov**, doctor of technical sciences, professor, head of the Department of Technology and Organization of Construction Production of the National Institute of Construction, <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>;

² **O. V. Gorda**, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Information Technologies, <https://orcid.org/0000-0001-7380-0533>;

³ **A. P. Hryhorovskiy**, acquirer, <https://orcid.org/0000-0003-0009-2358>.

¹ O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv.

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv.

³ SE "Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytskyi", Kyiv.

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNICAL, ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE DURATION OF THE PROCESS OF LIQUIDATION AND LOCALIZATION OF THE DEVELOPMENT OF DESTRUCTIONS

Abstract. *Analysis of the influence of technical, organizational and technological factors on the duration of the process of liquidation and localization of the development of destruction is an important stage of research into the process of liquidation of the consequences of accidental destruction. In order to compare options for liquidation and localization of the development of destruction of an emergency building, three options for reinforcement systems were analyzed: metal typical, wooden individual and combined. The work uses the method of analysis of hierarchies - a mathematical tool of a systematic approach to complex decision-making problems. The method does not impose the "correct" option, but allows you to interactively find an alternative (rational reinforcement option) that best matches the requirements for solving optimization tasks. To reduce the subjectivity of making a justified optimization decision in the conditions of complex multi-criteria optimization problems, a solution to the local problem of finding the optimal alternative according to the duration criterion, or a group of alternatives, taking into account the ratio of advantages based on the vector criterion, is proposed. To indicate the influence of advantages in quantitative expression, a pairwise comparison scale was used, which consists in a qualitative and quantitative assessment of relative advantage: equal in importance - 1; weak advantage - 2; average degree of preference 3; preference above the average degree 4; moderately stronger advantage 5; strong advantage 6; much stronger advantage 7; the most significant advantage is 8; absolute advantage 9. Initial data for choosing a temporary reinforcement option were obtained by comparing the estimated duration of dismantling and restoration works and optimizing the sequence of their execution for three options using wooden individual, metal typical and combined temporary reinforcement systems. It was established that it is impossible to ensure complete unification of reinforcement elements using only typical elements, therefore it is effective to use combined reinforcement systems using typical metal and individual wooden elements.*

Key words: *technology, technogenic influences, destruction, buildings, information modeling, restoration, analysis of hierarchies, influencing factors*