

Модифікація методу FMEA для оцінки ризиків надійності баштового крана

Богдан Соловей, аспірант ¹ (ORCID: 0009-0008-0328-1123),

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, 03037, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31, Україна

АНОТАЦІЯ

Результати методу «аналіз видів і наслідків відмов» для оцінки ризиків надійності баштового крана можуть бути такі, що унеможливають формування дій щодо зниження або уникнення ризиків надійності при експлуатації крана. Мета даної роботи є запропонувати підхід для зниження ймовірності отримання необґрунтованих оцінок ризиків надійності крана і шляхом цього, підвищити рівень управління ризиками надійності крана. Для досягнення мети в роботі проведено аналіз методу «аналіз видів і наслідків відмов»; визначені передумови при яких формування дій щодо управління ризиками стає неможливим; запропоновано доповнення до методу «аналіз видів і наслідків відмов» для підвищення якості управління ризиками.

Ключові слова: FMEA, рейтинг пріоритету ризику (РПР), математичне сподівання, ентропія, «гіпер-ентропія»

1. ВСТУП

Експлуатація будівельного крана пов'язана з ситуаціями, при яких можуть виникати відмови механізмів або складових частин [1]. Метод «аналіз видів і наслідків відмов» (FMEA – Failure Mode Effect Analysis) широко використовується для оцінювання ризиків надійності баштових кранів під час експлуатації і управління ризиками, тобто визначення дій для уникнення або зниження ризиків надійності крана [2,3].

Основний показник методу FMEA для оцінки ризиків потенційних відмов надійності баштового крана є рейтинг пріоритету ризику (РПР), значення якого дорівнює добутку $O \times S \times D$, де O - ймовірності виникнення відмов в роботі крана; S - ймовірності й серйозності потенційних відмов на надійність крана; D - ймовірність попередження виникнення відмов. Заходи для зниження i -го потенційного ризику відмов надійності визначаються за прийнятими правилами на основі значень РПР (рис.1).

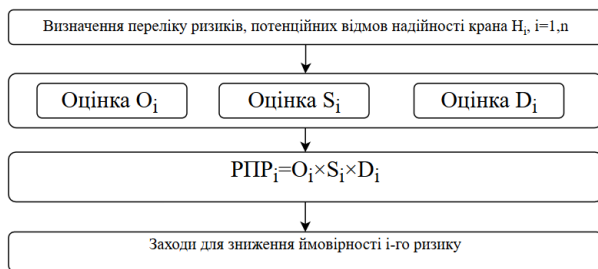


Рисунок 1. Кроки методу FMEA для аналізу ризиків

Серед недоліків традиційного методу FMEA визначені наступні [4]:

- 1.Оцінки експертів є суб'єктивними, що може негативно впливати на оцінку ризику у випадках, коли оцінки базуються на: «передчутті»; недостатньому досвіді тощо.
- 2.Оцінки експертів у формі чітких чисел є обмеженими, через те, що не дають можливість враховувати типи невизначеностей, які описуються інтервалами або діапазонами, але не точними значеннями;
- 3.Добуток $O \times S \times D$ не враховує вагу кожної з трьох характеристик порівняно з іншими;

4.Для різних режимів відмов можна отримати однакові значення добутку $O \times S \times D$, що ускладнює визначення порядку ранжирування ризиків, а значить і пріоритети заходів при управлінні надійністю крана.

Наприклад, в таблиці 1 розглянуті дві події потенційної відмови роботи баштового крана. Для кожної події характеристики ризику оцінено по різному, але РПР має однакове значення, що унеможливає визначити для якої з подій треба виконати запобіжні заходи в першу чергу.

5.Формула визначення РПР є дуже чутливою до варіації оцінок хоча б по одній характеристиці.

Для ілюстрації, розглянемо приклад з таблиці 2, де представлені альтернативні оцінки для ризиків, оцінених в таблиці 1. Для події «Втрата вантажу» оцінка збільшилась за характеристикою «D» на 2, при цьому значення РПР збільшилось в двічі.

Таблиця 1: Оцінки ризиків з однаковим значенням РПР

Ризик	Причина	O	S	D	РПР	Ранг ризику
Втрата вантажу	висмикання кінця канату	5	8	2	80	1
Обвалення крана	руйнування фундаменту	8	2	5	80	1

Таблиця 2: Альтернативні оцінки для ризиків з таблиці 1

Ризик	Причина	O	S	D	РПР	Ранг ризику
Втрата вантажу	висмикання кінця канату	5	8	4	160	1
Обвалення крана	руйнування фундаменту	8	3	5	120	2

Однією з причин, коли можуть виникати проблеми описані в таблицях 1-2 є необґрунтовані коливання в оцінках експертів за характеристиками O, S, D . Цієї причини можна уникнути, якщо включити в схему методу FMEA (рис.1) блок перевірки «рівня довіри» для отриманої оцінки експерта на відповідність «еталонній» оцінці (рис.2).

Далі, запропонуємо метод для перевірки оцінок експертів на основі теорії інформаційної ентропії [4].

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

«Еталонну» оцінку T_o, T_s, T_d для характеристик O, S, D опишемо трійкою параметрів $\langle E_x, E_n, H_n \rangle$, де

$E_{x_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n o_{ij}$ – очікуване (математичне сподівання) оцінки ймовірності появи i -го ризику за j -ю характеристикою.

$E_{n_j} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{ij} - E_{x_j})^2}$ – ентропія, яка вказує на ступінь невизначеності у розподілі оцінок оцінки ймовірності появи i -го ризику за j -ю характеристикою.

$H_{e_j} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (o_{ij} - E_{x_j})^2 - (E_{n_j})^2}$ – «гіпер-ентропія», значення вказує на стабільність параметра E_{n_j} .

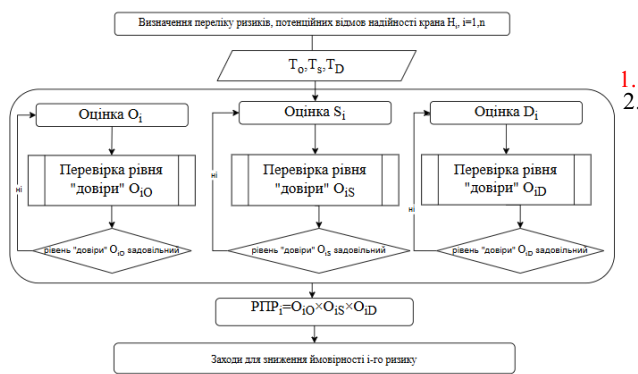


Рисунок 2. Метод FMEA з перевіркою оцінок експертів на відповідність «еталону».

Оцінки o_{ij} – для визначення T_o, T_s, T_d відберемо на основі аналізу оцінок, які збирались протягом певного часу і були визначені, як такі, яким можна «довіряти».

Метод перевірки рівня довіри оцінок експерта $O_{i \times O}, O_{i \times S}, O_{i \times D}$ опишемо алгоритмом 1.

Алгоритм 1. Визначення рівня довіри оцінки експерта

Вхідні параметри:

«Еталонні» оцінки $T_j (E'_x, E'_n, H'_e)$, $j \in [o, s, d]$

Оцінки експерта $O_{i \times O}, O_{i \times S}, O_{i \times D}$

Поріг $\theta \in [0,1]$ для визначення, чи можна довіряти оцінці експерта.

Кроки:

1. Для кожної $O_{i \times O}, O_{i \times S}, O_{i \times D}$ визначити характеристики (E_x, E_n, H_e) .

2. Згенерувати випадковий елемент ξ нормального розподілу з характеристиками $N(E_n, H_e)$.

3. Згенерувати випадковий елемент x нормального розподілу з характеристиками $N(E_x, \xi)$.

4. Згенерувати випадковий елемент $\bar{E}_n = N(E'_n, H'_e)$.

5. Обчислити рівень належності $\mu = \exp \frac{-(x-E'_x)^2}{2(\bar{E}_n)^2}$.

6. Повторити кроки 2-5 N разів.

7. Обчислити середнє $\delta_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu$.

8. Оцінити рівень довіри: чим ближче δ_j до одиниці тим більше «рівень довіри» до оцінки експерта.

Результат: «рівень довіри» є достатній, якщо $\delta_j > \theta$

¹ Робота виконана під керівництвом (д.т.н, проф., Олександра Терентьєва).

На кроці 5 рівень належності μ визначається на основі функції Гауса (рис. 3), сконструйованої на основі оцінок o_{ij} , які збирались протягом певного часу і були визначені, як такі, яким можна «довіряти».

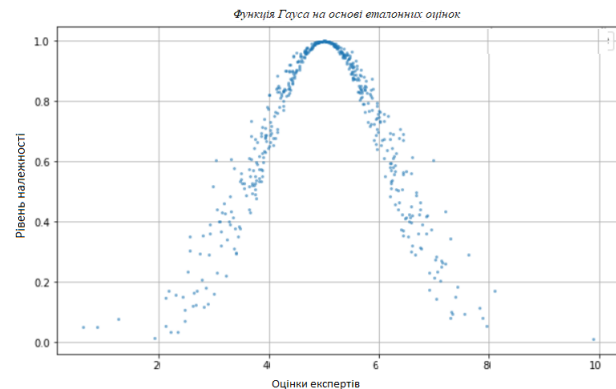


Рисунок 3. Функція Гауса для визначення рівня належності оцінки експерта

3. ВИСНОВКИ

В даній роботі запропоновано включити крок перевірки оцінок експертів на відповідність еталонній оцінці. Запропоновано не включати в розрахунок рейтингу пріоритету ризику методу «аналіз видів і наслідків відмов» оцінки з рівнем довіри нижче заданого. В роботі визначено алгоритм для обчислення рівня довіри оцінки експерта.

Аналіз ризиків надійності баштового крана на основі запропонованого підходу дасть можливість зменшити кількість випадків, коли оцінки ймовірності ризику є необґрунтованими і таким чином дозволить підвищити якість управління ризиками надійність баштового крана.

Список літератури

[1] Терентьєв О.О., Соловей Б.А. Фактори ризику в інформаційній технології оцінювання ризиків аварії баштового крану під час експлуатації. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС–2024) : матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» » [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – Т. 2. – 255-256 с.

[2] Jiang, L., Zhao, T., Zhang, W. and Hu, J., 2021. System hazard analysis of tower crane in different phases on construction site. *Advances in civil engineering*, 2021(1), p.70-78.

[3] Jiang, Ling, Tingsheng Zhao, Wei Zhang, and Junjie Hu. "System hazard analysis of tower crane in different phases on construction site." *Advances in civil engineering* 2021, no. 1 (2021): 7026789.

[4] Chang, K.H., Chen, Y.J. and Liao, C.C.. A novel improved FMEA method using data envelopment analysis method and 2-tuple fuzzy linguistic model. *Annals of Operations Research*, 2024. 1-23 p.

[5] Zhao, H. and Wang, Y., 2023. The Evaluation of Alternative Risk Control Schemes Based on Cumulative Prospect Theory. *Journal of Architectural Research and Development*, 7(6), pp.17-22.