

УДК 510.6; 51-7

DOI: 10.15587/2313-8416.2019.177945

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ МАТЕМАТИКИ В ЗАДАЧАХ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

С. М. Картавих

Досліджено характер невизначеності, що супроводжує задачі оцінювання та порівняння будівельних проектів. Систематизовано нечіткі фактори, що найчастіше ускладнюють експертизу проектів, в яких об'єкти будівництва не сформовані остаточно на момент оцінювання. Формалізовано частинні критерії оцінки, урахування яких забезпечує надійне обґрунтування вибору найкращого проекту в умовах композиційної невизначеності. Запропоновано схему формування інтегрального критерію оцінки. При формалізації частинних і формуванні інтегрального критеріїв оцінки використано моделі та методи нечіткої математики

Ключові слова: будівельний проект, ефективні об'єкти, композиційна невизначеність, критерії оцінки, нечіткий фактор

Copyright © 2019, S. Kartavykh.

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

1. Вступ

Зростання попиту на унікальні будівлі та споруди (об'єкти) висуває на перший план задачу обґрунтування вибору найкращого проектного рішення із множини прийнятних альтернатив. Вибір одного будівельного проекту (БП) постає перед особою, що приймає рішення, і супроводжується невизначеністю, яка пов'язана з оцінкою можливості композицій різних факторів впливу на об'єкти в майбутньому [1]. Обґрунтування вибору здійснюється на основі експертного оцінювання та порівняння проектів, в яких об'єкти не сформовані остаточно на момент оцінювання. В таких умовах оцінка компетентності експертів ускладнюється невизначеністю, що пов'язана з неповнотою знань про властивості об'єкта [2].

Таким чином, розробка моделей, методів і засобів оцінки БП, які дозволять реалізувати послідовну несуперечливу підтримку прийняття рішень щодо вибору найкращого проекту із множини прийнятних альтернатив, є актуальною задачею.

2. Літературний огляд

Аналітичний огляд досвіду будівництва показав, що передпроектна стадія та стадія проектування передбачає багатоваріантність вибору одного об'єкта із множини ефективних об'єктів.

Ефективними об'єктами в роботі називаються проекти на будівництво, реконструкцію чи ремонт, що конкурують на передпроектній стадії життєвого циклу об'єктів.

При оцінюванні кожного проекту виконується прогнозування та порівняння технічних, технологічних, організаційних, екологічних, політичних, соціальних і економічних факторів, які суттєво впливають на вибір. Таким чином, багатоваріантність вибору БП супроводжується композиційною невизначеністю,

яка пов'язана з тим, що призначені для виконання заданої функції в заданих умовах будівельні об'єкти і процеси можуть бути по-різному реалізовані [3].

Під терміном «*композиційна невизначеність*» будемо розуміти композицію стохастичної і нечіткої невизначеності [4, 5].

Стохастична невизначеність пов'язана з використанням даних, які характеризуються статистичними оцінками. Мова йде про використання статистичних даних оцінок технічного стану і даних автоматизованих систем моніторингу та управління об'єктів-аналогів, які експлуатуються [6, 7].

Нечітка невизначеність пов'язана з прогнозуванням природних і техногенних ризиків, оскільки оцінки апріорних ймовірностей виникнення надзвичайних ситуацій в кожному випадку здійснюється експертами і залежить від їх особистих знань та інформації про об'єкти-аналоги [4, 8]. Невизначеність вибору будівельного проекту може ускладнитись наявністю документів з технічного регулювання в будівництві, що містять нечіткість, некоректність і протиріччя [7, 9].

Таким чином, нечітка невизначеність притаманна задачам експертного оцінювання (ЗЕО) в цілому і є наслідком суб'єктивності, що спричинена існуванням таких нечітких факторів, як [4]:

- неповнотою знань експерта про властивості об'єктів;
- недостатнім ступенем впевненості в правильності оцінок;
- суперечливістю даних і експертних знань;
- нечіткістю представлення інформації;
- недовизначеністю факторів, що привнесені ззовні предметної області та ролі суб'єктивних факторів;
- семантичною невизначеністю, що пов'язана з неоднозначністю понять;

– особливістю агрегування індивідуальних експертних оцінок.

Аналіз технологій вибору проектних рішень показав, що всі вони ґрунтуються на оцінках, що характеризуються нечіткими факторами, які розподіляють на дві групи [4]. До першої групи відносяться нечіткі фактори, що проявляються в судженнях експертів у явному вигляді. Тут мова йде про неточність, нечіткість невизначеність та недовизначеність. До другої групи відносяться такі нечіткі фактори, для виявлення яких застосовують спеціальні механізми, автоматичні установки чи системи. Це може бути: некоректність, недетермінованість, немонотонність, неповнота, ненормованість чи протиріччя.

3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є формування інтегрального критерію (ІК) оцінки, за значенням якого можна прийняти рішення про вибір найкращого будівельного проекту з множини прийнятних альтернатив в умовах композиційної невизначеності.

Для досягнення цієї мети були сформовані такі задачі:

- дослідити характер невизначеності, що супроводжує оцінку і вибір будівельних проектів;
- формалізувати частинні критерії оцінки будівельних проектів, урахування яких забезпечить наукове обґрунтування вибору найкращого з проектів в умовах композиційної невизначеності;
- запропонувати схему формування інтегрального критерію оцінки.

4. Матеріали і методи

Матеріалом дослідження є критерії оцінки будівельних проектів, які відображають властивості об'єктів, що проєктуються. Для розв'язання задачі експертного оцінювання використовуються методи нечіткої математики, які здатні забезпечити роботу

інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень щодо вибору будівельних проектів в умовах композиційної невизначеності.

Для формального представлення задач експертного оцінювання використовують кортеж $\langle A, S, R, E, C, P \rangle$,

де A – множина проектів;

S – множина обмежень;

R – множина принципів оптимальності,

E – множина формальних характеристик експертів;

C – множина цілей;

P – система переваг групи експертів [3].

Під ЗЕО розуміють пару $\langle R, A \rangle$, яка називається [4]:

- задачею прийняття рішення, якщо R та A не задані апріорно і можуть варіюватися;
- задачею вибору, якщо множина A є заданою, а принцип оптимальності R варіюється;
- загальною задачею оптимізації, якщо R та A задані.

Розв'язком ЗЕО є підмножина $A_0 \subset A$, яка сформована з використанням принципу оптимальності $A_0 = R(A)$.

Задача полягає в тому, що експерту необхідно оцінити кожен проект із множини прийнятних проектів за множиною заданих критеріїв.

5. Результати дослідження

Розв'язання ЗЕО будівельних проектів може здійснюватись експертами без формального представлення їх властивостей. Проте множина прийнятних проектів $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, які необхідно порівнювати між собою можуть бути описані множиною об'єктивних і суб'єктивних критеріїв.

На рис. 1 надано схему формування ІК оцінки будівельного проекту [10].

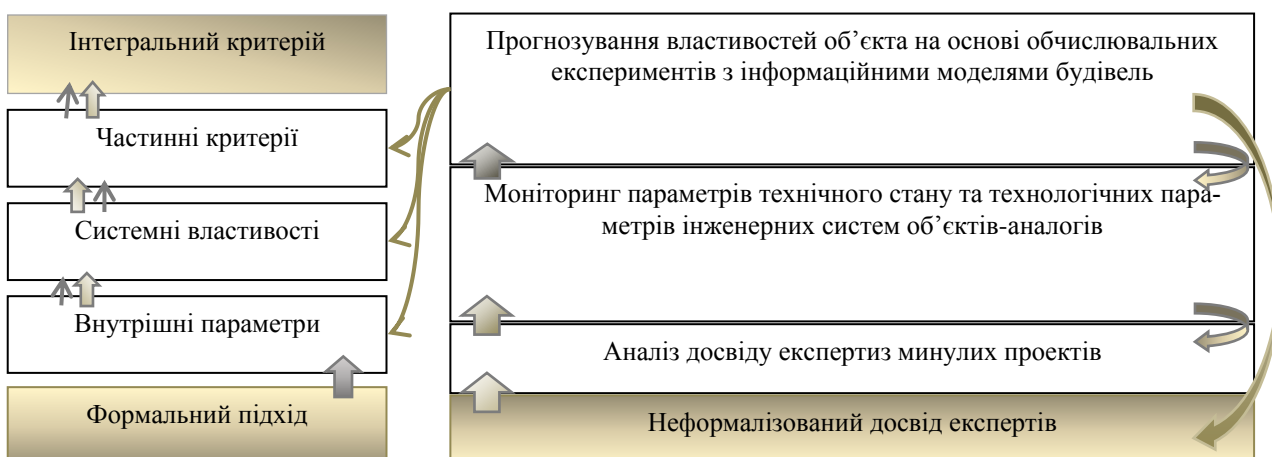


Рис. 1. Схема формування інтегрального критерію оцінки будівельного проекту

Нехай: в результаті попереднього аналізу об'єктів-аналогів, процесів їх функціонування та адаптації встановлено, що характеристики об'єкта, який потрібно побудувати, відображаються множиною критеріїв $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$.

При цьому: X – універсальна множина внутрішніх параметрів, які можуть впливати на впевненість експерта при побудові функції належності для кожного нечіткого критерію.

Тоді: кожен з проектів A_q ($q = 1, \dots, m$) характеризується системною властивістю $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}$, що містить в собі частинні критерії Z_p ($p = 1, \dots, k$), а задача формування інтегрального критерію оцінки будівельного проекту полягає у визначенні множини факторів, композиція яких забезпечить наукове обґрунтування вибору найкращого варіанту.

Дослідження нечітких частинних критеріїв оцінки будівельних проектів детально описане в [4].

В результаті цих досліджень запропоновано повну систему критеріїв, що мають універсальну множину значень від 0 до 1.

1. Якісні критерії, що вказують на наявність чи відсутність певної характеристики із множини Y :

$$y_i = \chi_{A_q}(Z_p) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } A_q \text{ має властивість } z_p; \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (1)$$

де $i = 1, \dots, n$, $q = 1, \dots, m$, $p = 1, \dots, k$.

2. Якісні критерії, що вказують на:
- наявність характеристики;
 - вибір одного із способів її реалізації;
 - ефективність кожного способу:

$$y_i = \rho_i \cdot \chi_{z_p}(z_p^i), \quad (2)$$

де ρ_i – ваговий коефіцієнт ефективності i -го способу реалізації p -го варіанту; $\rho_i \in (0, 1)$; $\sum_{i=1}^d \rho_i = 1$, d – кількість способів.

3. Якісні критерії, що вказують, на обмеженість вибору способів реалізації p -го варіанту тільки із множини I :

$$y_i = \sum_{i \in I} \rho_i \cdot \chi_{z_p}(z_p^i). \quad (3)$$

4. Кількісні критерії, що відображають міру системних властивостей, таких як прогнозована енергоефективність.

5. Якісні критерії, що ґрунтуються на неформалізованих знаннях експертів, що зазвичай базуються на досвіді та інформації про об'єкти-аналогі:

$$y_i = [a; b] \rightarrow [0; 1], \quad (4)$$

де a і b – мінімальне і максимальне числові значення системної характеристики, $y_i(a_i)$ – критерій оптимальності внутрішнього параметра a_i .

Якщо можливе визначення вагових коефіцієнтів частинних критеріїв β_i , $i = 1, \dots, n$, то існує декілька підходів до формування інтегрального критерію

Один з них полягає в тому, що IK визначається таким чином [4, 11]:

$$IK = \Lambda_{i=1}^n y_i, \text{ якщо } y_i \wedge y_j = \min\{\beta_{i_1} \cdot y_{i_1}, \beta_{i_2} \cdot y_{i_2}\}. \quad (5)$$

Таким чином, інтегральний критерій дорівнює найменшому добутку значення частинного критерію на його вагу. При такому підході можливі два особливі випадки. В першому випадку критерій має незначну вагу у системі критеріїв, а в другому – порівняно малим є значення вагового коефіцієнту при великому значенні ваги критерію. В цих випадках рішення про можливість вилучення критерію приймається за результатами дослідження структури критеріальної функції.

Інший підхід застосовується до IK адитивного чи мультиплікативного типу [4, 11]:

$$IK = \sum_{i=1}^n \beta_i y_i \text{ або } IK = \prod_{i=1}^n y_i^{\beta_i}. \quad (6)$$

Мультиплікативні критерії доцільно використовувати, якщо частинні критерії характеризуються нечіткими факторами другої групи. А саме: серед частинних критеріїв є такі, що визначені на множинах внутрішніх параметрів, які перетинаються. Тоді мультиплікативні критерії зводять до адитивних шляхом логарифмування після застосування процедур тестування на мультиколінеарність та вилучення залежних критеріїв.

6. Обговорення результатів дослідження

Інтегральний критерій утворюється з комбінації частинних критеріїв п'яти типів, які мають універсальну множину значень від 0 до 1. Критерії з іншою семантичною структурою можна звести до одного з наведених вище. Це означає, що інтегральний критерій оцінки будівельного проекту, який буде сформовано описаним чином, надасть можливість урахувати нечіткі фактори різного характеру. Сформований інтегральний критерій, який утворюється із комбінації частинних є зручним критерієм для оцінки проектів.

Проте, процедура агрегування частинних критеріїв в інтегральний відбувається лише за умови детермінованості їх вагових коефіцієнтів, що є можливим лише у разі ортогональності системних властивостей. Якщо ця умова не виконується, то виявлення функціональних залежностей із застосуванням формалізованих процедур, зазвичай, неможливо. Крім того, існує багато особливих умов, за яких працює той чи інший метод.

Саме тому, в роботі особлива увага приділяється нечітким методам формування інтегрального критерію оцінки будівельних проектів. Оскільки ці методи в подальшому планується використовувати в інтелектуальних системах і технологіях підтримки прийняття рішення щодо вибору найкращого проекту із множини конкуруючих альтернатив в умовах компріційної невизначеності.

7. Висновки

1. Дослідження характеру невизначеності, що супроводжує процес прийняття проектних рішень у будівництві, показали, що вибір найкращого об'єкта із множини прийнятних альтернатив потребує розробки спеціальних методів і засобів обробки нечіткої інформації.

2. Формалізація частинних критерії оцінки будівельних проєктів надає можливість урахувати і стохастичну і нечітку невизначеність та реалізувати системи підтримки прийняття рішень щодо вибору будівельного проєкту із множини прийнятних альтернатив в умовах композиційної невизначеності.

3. Запропонована схема формування інтегрального критерію оцінки із застосуванням моделей і методів нечіткої математики передбачає використання штучних нейронних мережі для оцінки будівельних проєктів, що є предметом подальших досліджень.

Література

1. ДБН. В. 1.2.-2:2006 (2007). Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проєктування. Київ: Сталь, 60. Available at: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-753>
2. Гнатієнко, Г. М.; Дурдинець, В. В., Саєнко, Ю. І. (Ред.) (2000). Методи оцінки компетентності спеціалістів. Математичні та інформаційні проблеми прогнозування наслідків техногенних та природних катастроф. Соціально-економічні наслідки техногенних та природних катастроф: експертне оцінювання. Київ: Стило, 260.
3. Ісаєнко, Д. В. (2018). Аналіз математичного забезпечення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві. Управління розвитком складних систем, 36, 95–99.
4. Снитюк, В. Є. (2000). Задача вибору оптимальної альтернативи в умовах композиційної невизначеності. Вісник ЧПІ, 2, 140–145.
5. Ghoreishi, S. F., Allaire, D. L. (2016). Compositional Uncertainty Analysis via Importance Weighted Gibbs Sampling for Coupled Multidisciplinary Systems. 18th AIAA Non-Deterministic Approaches Conference. doi: <http://doi.org/10.2514/6.2016-1443>
6. ДСТУ-Н Б В.2.5-37:2008 (2008). Настанова з проєктування, монтування та експлуатації автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями і спорудами. Available at: <http://profdom.com.ua/v-2/v-2-5/1796-dstu-n-b-v-2-5-372008-nastanova-z-projektuvanna-montuvanna-ta-jekspluataciji-avtomatizovanih-sistem-monitoringu-ta-upravlinna-budivlami-i-sporudami>
7. Ruzczyński, A., Shapiro, A. (2003). Stochastic Programming Models. Stochastic Programming, 10, 1–64. doi: [http://doi.org/10.1016/s0927-0507\(03\)10001-1](http://doi.org/10.1016/s0927-0507(03)10001-1)
8. Guimarães, A. C. F., Ebecken, N. F. F. (1999). FuzzyFTA: a fuzzy fault tree system for uncertainty analysis. Annals of Nuclear Energy, 26 (6), 523–532. doi: [http://doi.org/10.1016/s0306-4549\(98\)00070-x](http://doi.org/10.1016/s0306-4549(98)00070-x)
9. Ісаєнко, Д. В., Плоский, В. О., Теренчук, С. А. (2018). Формування нечіткої бази знань системи підтримки прийняття рішень з технічного регулювання будівельної діяльності. Управління розвитком складних систем, 35, 168–174.
10. Теренчук, С. А., Картавих, С. М. (2019). Моделі та методи оцінки будівельних проєктів в умовах композиційної невизначеності. Управління розвитком складних систем, 39, 84–89.
11. Снитюк, В. Е., Рифат, Мохаммед Али (2002). Модели процесса принятия адаптивных решений композиционной структуры с детерминированными и вероятностными характеристиками. Радиоэлектроника и информатика, 4, 123–127.

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Михайленко В. М.

Received date 30.07.2019

Accepted date 15.08.2019

Published date 30.08.2019

Картавих Сергій Миколайович, аспірант, кафедра інформаційних технологій проєктування та прикладної математики, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037
E-mail: [terenchuksa@ukr.net](mailto:terenчуksa@ukr.net)