

УДК 519.816+006:69

Ісаєнко Дмитро ВалерійовичКандидат наук з державного управління, віце-президент, *orcid.org/0000-0002-6093-3967*

Конфедерація будівельників України, Київ

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

***Анотація.** Розглянуто питання розробки математичного забезпечення систем підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві. Досліджено методи формального представлення задач експертного оцінювання. Детально описано задачі багатокритеріальної оптимізації та вибору найкращого об'єкта, які доцільно застосовувати в будівельній галузі на етапах передпроектної підготовки та планування будівельних робіт. Зокрема: наведено основні поняття, означення, теореми та положення, які необхідні для вибору методів та алгоритмів розв'язання задачі експертного оцінювання і розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття експертних рішень у сфері технічного регулювання в будівництві. Визначено поняття ефективних об'єктів в сфері будівництва. Виконано формалізований опис математичних моделей різних ситуацій, в яких приймаються рішення з технічного регулювання в будівництві.*

***Ключові слова:** задачі експертного оцінювання; ефективні об'єкти; параметричний метод; технічне регулювання в будівництві*

Вступ

Надійне та безпечне функціонування будівель і споруд визначається неприпустимістю ризиків, що пов'язані з нанесенням шкоди навколишньому природному середовищу, життю, здоров'ю та майну громадян [1]. Технічний регламент, в основу якого покладено приписувальний метод нормування детально визначає параметри об'єкта, які мають забезпечувати його надійність та безпеку на всіх стадіях життєвого циклу. Проте формування нормативних обмежень згідно з приписувальним методом значно обмежує створення нестандартних об'єктів, яких потребує час та нові технології.

Під впливом світових тенденцій в будівельну галузь України впроваджується параметричний метод нормування. Перехід від приписувального до параметричного методу звільнює забудовників та проєктувальників від обмежень приписувального методу, а отже, полегшує впровадження інновацій [2]. Але впровадження параметричного методу висуває на перший план проблеми обґрунтування найкращого проєктного рішення.

Актуальним напрямом вирішення зазначеної проблеми є впровадження у сферу технічного регулювання в будівництві інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР), які приймаються при експертному оцінюванні:

- характеристик недосліджених об'єктів;
- параметрів процесу для отримання об'єкта з наперед заданими характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для формального представлення задач експертного оцінювання використовується кортеж $\langle A, S, R, E, C, P \rangle$, де A – множина об'єктів; S – множина обмежень; R – множина принципів оптимальності; C – множина цілей; E – множина формальних характеристик експертів; P – система переваг групи експертів [3].

В [4; 5] під задачею експертного оцінювання (ЗЕО) розуміють пару $\langle R, A \rangle$, яка називається:

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

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

Множина A складається з n об'єктів, які необхідно порівнювати між собою [6; 7]:

$$a_i \in A, i \in \{1, \dots, n\} = I. \quad (1)$$

Об'єкти технічного регулювання в будівництві необхідно розглядати в цілісному вигляді [8; 9]. При цьому об'єкти заданої множини A можуть бути описані множиною m параметрів.

Розв'язання задач експертного оцінювання може здійснюватись експертами без формального

представлення. Проте розробка засобів для розв'язання ЗЕО великої розмірності потребує формалізації експертних знань [10].

Кожен об'єкт може бути представлений точкою деякого параметричного простору Ω^m [11]:

$$a_i = (a_i^1, \dots, a_i^m), a_i \in A, i \in I, A \in \Omega^m, \quad (2)$$

де a_i – значення i -го параметра j -го об'єкта; $j \in \{1, \dots, m\}$; m – розмірність простору.

Згідно з різними положеннями нормативної документації для кожного параметра можуть бути задані або визначені вагові коефіцієнти їх відносної значущості, а також задано напрями оптимізації параметрів. При цьому розглядаються ситуації з неповною інформацією про об'єкти [12], або передбачаються об'єкти з нечіткими і змішаними параметрами, які задані в різній формі [3; 9].

Мета статті

Метою роботи є аналіз проблем математичного забезпечення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та формальне представлення задач експертного оцінювання, що вирішуються у сфері технічного регулювання в будівництві.

Виклад основного матеріалу

Об'єкти технічного регулювання в будівництві являють собою документи, що призначені для регулювання діяльності у проектно-будівельній справі. Також об'єктами можуть бути проекти, будівлі та споруди, або конструкції, які підлягають оцінюванню на різних етапах життєвого циклу.

Такі об'єкти можуть бути [2; 8]:

- незалежними;
- залежними;
- заздалегідь заданими;
- такими, що з'являються після розробки правила;

– такими, що конструюються в процесі оцінювання.

Об'єкти називаються *незалежними*, якщо довільні дії з одними об'єктами не впливають на властивості інших об'єктів множини.

Виокремлюють різні типи залежності об'єктів.

Безпосередня групова залежність: при рішенні розглядати хоча б один об'єкт групи необхідно розглядати всю групу.

Залежність від об'єктів, що виключаються з групи: при звуженні множини об'єктів порушується умова незалежності вибору.

Залежність від «фантомних» об'єктів полягає в тому, що образ «ідеального» об'єкта, що створюється в процесі вибору може впливати на вибір із множини реальних об'єктів.

Існує також множина задач, в яких всі об'єкти або їх частина не сформовані на момент оцінювання. Якщо таких об'єктів багато, то зростає необхідність у застосуванні формальних правил вибору та розробці засобів, що дають змогу реалізувати несуперечливу і послідовну політику прийняття рішень.

Для цього множина документів, що призначені для технічного регулювання деякого окремого напряму діяльності у проектно-будівельній справі, може бути задана вектором, кожен елемент якого відповідає одному нормативному документу. У такій постановці n – кількість нормативних документів, а m – розмірність множини параметрів регулювання. Множина параметрів також може бути задана вектором, кожен елемент якого відповідає одній розрахунковій величині, або одному правилу технічного регулювання.

Об'єкти технічного регулювання виявляють всі типи залежності. Об'єкти наявної нормативної бази виявляють безпосередньо групову залежність. Як виключення, так і зміна деякого параметра із одного з документів потребує перегляду усіх документів, в яких цей параметр використовується в розрахунках. До того ж нормативні документи, які розробляються для унікальних будівель і споруд залежать від «фантомних» об'єктів.

Таким чином, впровадження ІСППР для ЗЕО з технічного регулювання в будівництві потребує розробки такого математичного забезпечення, яке пристосоване до різних типів залежностей об'єктів, що оцінюються.

Проекти, конструкції, будівлі, споруди та комплекси також необхідно оцінювати за сукупністю показників, тому задачу оцінки теж необхідно розглядати у векторній постановці.

Задача багатокритеріальної оптимізації у векторній постановці формалізується у вигляді [7; 13]:

$$y_i = f_i(x) \rightarrow \max, i \in L_1, \quad (3)$$

$$y_i = f_i(x) \rightarrow \min, i \in L_2, \quad (4)$$

$$x \in A, A \subseteq E^m, \quad (5)$$

де A – множина об'єктів, які характеризуються m параметрами; $y(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$ – вектор оцінок об'єктів або критеріїв, який задається відображенням $f: A \rightarrow E^k$, $L = \{1, \dots, k\}$ – множина індексів критеріїв; $L_1 = \{1, \dots, k_1\}$, $L_2 = \{k_1 + 1, \dots, k\}$ – множини індексів критеріальних функцій, що максимізуються або мінімізуються: $L_1 \cup L_2 = L$.

Зазвичай багатокритеріальні задачі не мають єдиного розв'язку, тому надзвичайно важливим аспектом забезпечення передумов надійності та безпеки будівель і споруд є обґрунтування вибору.

Найкращий вибір із множини прийнятних альтернатив – складне завдання, що постає ще на стадіях передпроектної підготовки та проектування. Проте саме ці рішення значною мірою визначають надійність проекту, вартість будівництва та утримання будівлі в майбутньому.

Багатокритеріальна задача вибору вирішується шляхом експертного оцінювання і порівняння проектів, які є ефективними об'єктами. Математичні аспекти порівняння таких об'єктів в різних ЗЕО детально досліджені в роботах [4; 5].

Означення 1. В області технічного регулювання в будівництві ефективними будемо називати об'єкти (проекти, конструкції, будівлі, споруди), що можуть бути реалізовані різними способами для виконання заданої функції в зазначених умовах, а також нормативні документи з технічного регулювання.

Теорема 1 [13]. Два ефективних об'єкти є або еквівалентними, або непорівнянними між собою за множиною критеріїв.

Одна з основних проблем розв'язання задачі вибору полягає у визначенні правила вибору з множини ефективних об'єктів.

Умови раціональності вибору мають вигляд [4]:

- вибір можна зробити завжди: $R(X, f) = \emptyset$;
- вибір здійснюється з множини ефективних об'єктів;
- якщо для вибраного об'єкта $a' \in R(A, f)$ існує рівноцінний об'єкт $a'' \in A, a'' \sim a'$, то і він має бути вибраний правилом $R(X, f)$;
- вибраний об'єкт може бути не єдиним, інакше це означає, що $a' \sim a''$;
- якщо для $A' \subseteq A: R(A, f) \cap A' \neq \emptyset$, то $R(A, f) \cap A' = R(A', f)$.

Є два підходи до оцінювання ефективних об'єктів – кардинальний та ординальний [5; 6].

При реалізації кардинального підходу кожному об'єкту приписується кількісна оцінка – числове значення функції, яка визначає якість розв'язку. Проте об'єкти будівельної галузі, як і проекти, зазвичай не вдається оцінити єдиною функцією.

Ординальний підхід не вимагає оцінки кожного об'єкта окремо, а пов'язаний з порівнянням будь-якої пари об'єктів і виділенням того, який має найбільшу перевагу. Формалізм ординального підходу базується на теорії.

Кожна багатофакторна оцінка створює образ об'єкта, який має відповідні властивості. Образи, що відповідають найкращим та найгіршим оцінкам за всіма критеріями називаються утопічною та антиутопічною точками [4; 12].

Означення 2. Утопічною (ідеальною) точкою (об'єктом) називається точка з координатами:

$$a^+ = (\min_{k=1} \rho_1 \omega_1^i, \dots, \min_{k=1} \rho_m \omega_m^i), \quad (6)$$

де $\rho_j, j \in J$ – елементи вектора вагових коефіцієнтів параметрів об'єкта [7].

Означення 3. Антиутопічною точкою (об'єктом) називається точка з координатами:

$$a^- = (\max_{i \in I} \rho_1 \omega_1^i, \dots, \max_{i \in I} \rho_m \omega_m^i). \quad (7)$$

Означення 4. Прямокутник, вершинами якого є точки з координатами a^+ і a^- , називається полем корисності рішень.

Означення 5. Вектори $y = (y_1, \dots, y_k)$ та $y' = (y'_1, \dots, y'_k), y \neq y'$, знаходяться у відношенні «>», якщо $y_i \geq y'_i \forall i \in L$, і хоча б одна нерівність є строгою.

Означення 6. Векторні оцінки, які мають лише найкращі та найгірші значення за всіма критеріями, називаються опорними ситуаціями.

Означення 7. Оцінка:

$$y^0 = f(a_0), y^0 = (y_1^0, \dots, y_k^0) \quad (8)$$

називається ефективною (оптимальною за Парето) оцінкою об'єкта, за відношенням «>», якщо не існує іншої оцінки y , яка б строго переважала y^0 [13].

Проблема визначення області Парето є строго об'єктивною і вирішується без застосування будь-яких евристик. Але область компромісів є множиною точок, з яких треба вибрати одну. Звуження області ефективних об'єктів потребує застосування додаткової інформації від експертів, оскільки набори параметрів таких об'єктів не можна порівняти формально. До того ж проблема вибору єдиного розв'язку ЗБКО не може бути вирішена формально і потребує введення додаткових евристик, дослідження яких є предметом подальших досліджень.

Висновки

На основі аналізу математичного забезпечення, яке призначається до розв'язання задач експертного оцінювання, здійснено формалізований опис математичних моделей різних ситуацій, в яких приймаються рішення з технічного регулювання в будівництві.

Адаптація і впровадження описаних моделей і методів до задач вибору найкращого рішення з множини ефективних об'єктів надасть можливість суттєво знизити ризики людського фактору при прийнятті рішень шляхом впровадження в процеси технічного регулювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Список літератури

1. ДБН В.1.2.-5:2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 16 с.
2. Ісаєнко Д.В. Законодавче регулювання діяльності в будівельній галузі. Особливості світового досвіду та Європейського підходу для визначення пріоритетів при формуванні життєвого середовища / Д.В. Ісаєнко // Будівельне виробництво, 2017. – № 63/2017. – С. 11 – 15.
3. Гнатієнко Г.М. Проблематика розподіленої обробки експертної інформації // Теорія прийняття рішень: праці міжн. Школи-семінару. – Ужгород: УжНУ. 2002. – 26 с.
4. Снитюк В. Є. Задача вибору оптимальної альтернативи в умовах композиційної невизначеності // Черкаси: Вісник ЧПІ. – 2000. – № 2. – С. 140 – 145.
5. Волошин А.Ф., Гнатиенко Г.Н. Многокритериальный поход к задаче сопровождения группы объектов в игровой постановке // Автоматика. – 1992. – № 4. – С. 53 – 55.
6. Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков и структур. – М.: Статистика, 1980. – 319 с.
7. Дробот О.В. Процедура локалізації вектора вагових коефіцієнтів в задачах прийняття рішень / О.В. Дробот, Г.М. Гнатієнко // Вісник тернопільського державного технічного університету. – 2002. – Том 7. – № 4. – С. 102 – 110.
8. Гайна Г. А. Концепція багатомодельного підходу до розробки інтелектуальних СППР у містобудуванні / Г.А. Гайна // Управління розвитком складних систем. – 2010. – № 1. – С. 28 – 34.
9. Ашихмин А.А. Разработка и принятие управленческих решений: формальные модели и методы выбора. – М.: МГГУ, 2001. – 78 с.
10. Ісаєнко Д.В. Формування нечіткої бази знань системи підтримки прийняття рішень з технічного регулювання будівельної діяльності [Текст] / Д.В. Ісаєнко, В.О. Плоский, С.А. Теренчук // Управління розвитком складних систем. – № 35. – С. 168 – 174.
11. Kulikov P., Ploskiy V., Skochko V. The Principles of Discrete Modeling of Rod Constructions of Architectural Objects. – MOTROL. Intern.Journal, Vol. 16. No 8, Lublin-Rzeszov, 2014. – pp. 3 – 10.
12. Снитюк В. Е. Эволюционный метод восстановления пропусков в данных // Интеллектуальный анализ информации. – сб. трудов VI межд. конф. – Киев. 1006. – С. 262 – 271.
13. Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем // В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М.: Наука, 1982. – 286 с.

Стаття надійшла до редколегії 09.11.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Ісаєнко Дмитрій Валерьевич

Кандидат наук по государственному управлению, вице-президент, orcid.org/0000-0002-6093-3967
Конфедерация строителей Украины, Киев

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. Рассмотрено математическое обеспечение систем поддержки принятия решений, которые принимаются в процессе технического регулирования в строительстве. Исследованы методы формального представления задач экспертного оценивания. Детально описаны задачи многокритериальной оптимизации и выбора наилучшего объекта, которые целесообразно применять в строительной отрасли на этапах предпроектной подготовки и планирования строительных работ. В частности: приведены основные понятия, определения, теоремы и положения, которые необходимы для выбора методов и алгоритмов решения задач экспертного оценивания и разработки интеллектуальных систем поддержки принятия экспертных решений в сфере технического регулирования в строительстве. Определены понятия эффективных объектов в сфере строительства. Выполнено формализованное описание математических моделей разных ситуаций, в которых принимаются решения по техническому регулированию в строительстве.

Ключевые слова: задачи экспертного оценивания; эффективные объекты; параметрический метод; техническое регулирование в строительстве

Isaienko DmytroPhD (Public Administration), Vice-President, orcid.org/0000-0002-6093-3967

Confederation of Builders of Ukraine, Kiev

**ANALYSIS OF MATHEMATICAL METHODS TO INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS
IN THE FIELD OF TECHNICAL REGULATION OF CONSTRUCTION**

Abstract. The article deals with mathematical methods to decision support systems in the process of technical regulation in construction. The methods of formal presentation of expert assessment tasks are investigated. The tasks of multicriteria optimization and the selection of the best object, which are appropriate for applying in the building industry at the stages of preproject and planning of construction works, are described. In particular are given the basic concepts, definitions, theorems and statements that are necessary to selection of methods and algorithms for solving expert assessment tasks and the development of intelligent decision support systems of technical regulation in construction. The concepts of effective objects in the field of construction are defined. A formalized description of mathematical models of different variants of decisions on technical regulation in construction is made.

Keywords: expert assessment tasks; effective objects; parametric method; technical regulation in construction

References

1. DBN V.1.2.-5: 2007. (2007). *System of reliability and safety of building objects. Scientific and technical support of construction objects.* Kyiv: Minregionstroy of Ukraine, 16.
2. Isaenko, D.V. (2017). *Legislative regulation of activity in the construction industry. Features of World Experience and European Approach to Determine Priorities in the Formation of a Living Environment.* *Construction Production*, 63, 11-15.
3. Gnatienco, G.M. (2002). *The Problem of Distributed Processing of Expert Information. Theory of Decision Making: Works of Inter. School-workshop.* Uzhhorod: UzhNu, 26.
4. Snytyuk, V.Y. (2000). *The task of choosing the optimal alternative in conditions of compositional uncertainty.* *Cherkasy Visnyk*, 2, 140-145.
5. Voloshin, A.F., Gnatienco, G.N. (1992). *Multi-criterion campaign to the task of escorting a group of objects in a game statement.* *Automatics*, 4, 53-55.
6. Mirkin, B.G. (1980). *Analysis of qualitative features and structures.* *Statistics*, 319.
7. Drobot, O.V., Gnatienco, G.M. (2002). *The procedure for localization of the vector of weight coefficients in decision-making problems.* *Bulletin of the Ternopil State Technical University*, 7, 4, 102-110.
8. Guyna, G.A. (2010). *Concept of the multimodal approach to the development of intellectual DSS in urban development.* *Management of the development of complex systems*, 1, 28-34.
9. Ashhimin, A.A. (2001). *Development and adoption of managerial decisions: formal models and methods of choice.* Moscow: Moscow State University, 78.
10. Isaienko, D., Ploskiy, V. & Terenchuk, S. (2018). *Formation of the fuzzy knowledge of the knowledge support system for decision-making technical regulation of construction activity.* *Management of Development of Complex Systems*, 35, 168–174. [in Ukrainian].
11. Kulikov, P., Ploskiy, V., Skochko, V. (2014). *The Principles of Discrete Modeling of Rod Constructions of Architectural Objects.* *MOTROL*, 16, 8, 3-10.
12. Snituk, V.E. (2006). *Evolutionary method of data retrieval. Intelligent analysis of information. Works of VI interludes. conference.* Kiev: 262-271.
13. Mikhalevich, V.S., Volkovich, V.L. (1982). *Computational methods for the study and design of complex systems.* Moscow: Nauka, 286.

Посилання на публікацію

- APA Isaienko, D. (2018). *Analysis of mathematical methods to intelligent decision support systems in the field of technical regulation of construction.* *Management of Development of Complex Systems*, 36, 95 – 99.
- ДСТУ Ісаєнко Д.В. Аналіз математичного забезпечення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві [Текст] / Д.В. Ісаєнко // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 36. – С. 95 – 99.