

DOI: 10.6084/M9.FIGSHARE.11340659

УДК 004.658.3; 006.067

Картавих Сергій МиколайовичАспірант, кафедра інформаційних технологій проектування та прикладної математики, orcid.org/0000-0003-2287-4297

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Теренчук Світлана АнатоліївнаКандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра інформаційних технологій проектування та прикладної математики, orcid.org/0000-0002-7141-6033

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТІВ
В УМОВАХ КОМПОЗИЦІЙНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

***Анотація.** Досліджено характер невизначеності, що супроводжує вибір найкращого будівельного проекту із множини прийнятних альтернатив, і надано класифікацію нечітких факторів, які найчастіше ускладнюють експертизу проектів. Проаналізовано причини виникнення невизначеності на етапах передпроектної підготовки і проектування. Формування інтегрального критерію оцінки будівельного проекту, в якому враховані дані минулих проектів, поточний стан предметної області, результати прогнозування та суб'єктивне ставлення особи, що проводить експертизу, пропонується здійснювати з урахуванням неформалізованих експертних знань. Інтегральний критерій утворюється з комбінації частинних критеріїв п'яти типів, які мають універсальну множину значень від 0 до 1. Для формалізації якісних частинних критеріїв оцінки будівельного проекту використовуються моделі і методи нечіткої математики. Формування інтегрального критерію на даному етапі досліджень лишається за експертами.*

***Ключові слова:** ефективні об'єкти; нечіткий фактор; частинний критерій оцінки*

Вступ

Зростання попиту на унікальні будівлі та споруди (об'єкти) спричинило перехід від приписувального до параметричного методу нормування. Останній звільнює проектувальників і забудовників від обмежень приписувального методу, а отже, полегшує впровадження інновацій, але висуває на перший план проблеми пошуку і обґрунтування найкращого проектного рішення.

Це рішення значною мірою визначає вартість будівництва та надійність об'єкта в майбутньому. Проте зведення унікальних будівель та споруд ускладнюється невизначеністю, що пов'язана з відсутністю реальних статистичних даних про динаміку втрати їх експлуатаційних властивостей внаслідок майбутніх впливів середовища.

Відсутність реальних даних в таких випадках компенсується системним аналізом результатів обчислювальних експериментів з інформаційними моделями будівель і даних автоматизованих систем моніторингу та управління (АСМУ) будівель і споруд, які уже експлуатуються [1; 2].

Об'єкти-аналоги визначаються залежно від призначення та рівня [3]:

- технічної та архітектурної складності;
- умов оточуючого середовища;

- автоматизації та диспетчеризації управління інженерним обладнанням будівлі;
- автоматизації системи пожежної безпеки;
- комфорту.

При цьому значна увага приділяється оцінкам можливих екологічних наслідків будівництва та ймовірних впливів на технічний стан (ТС) об'єктів факторів зовнішнього середовища [4].

Таким чином, вибір одного об'єкта з множини прийнятних альтернатив являє собою складну багатокритеріальну задачу (БКЗ), що постає на етапах передпроектної підготовки і проектування та, як правило, не має єдиного розв'язку. БКЗ вибору вирішується шляхом експертного оцінювання і порівняння проектів, в яких об'єкти не сформовані остаточно на момент оцінювання. Якщо таких об'єктів багато, то зростає актуальність розроблення інтелектуальних систем і технологій, які нададуть можливість реалізувати несуперечливу підтримку прийняття рішень щодо вибору кращого проекту.

Мета статті

Метою роботи є дослідження математичних моделей і методів, які здатні забезпечити роботу інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень щодо вибору будівельних проектів в умовах композиційної невизначеності.

Для досягнення цієї мети сформовано такі задачі:

- дослідити характер невизначеності, що супроводжує оцінку і вибір будівельних проектів;
- визначити нечіткі фактори, які необхідно врахувати при формуванні інтегрального критерію оцінки будівельних проектів;
- формалізувати частинні критерії оцінки будівельних проектів, урахування яких забезпечить наукове обґрунтування вибору найкращого з проектів в умовах композиційної невизначеності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз технологій вибору проектних рішень показав, що всі вони ґрунтуються на оцінках, які характеризуються нечіткими факторами (НЕФ) [5].

Нечіткі фактори розподіляють на дві групи.

До першої групи належать фактори, що проявляються в судженнях експертів у явному вигляді. Тут мова йде про неточність, нечіткість невизначеність та недовизначеність.

До другої групи належать фактори, для виявлення яких застосовують спеціальні механізми, автоматичні установки чи системи. Це такі фактори, як: недетермінованість, немонотонність, неповнота, ненормованість, некоректність і протиріччя.

Аналітичний огляд європейського досвіду будівництва показав, що найчастіше передпроектна стадія та стадія проектування супроводжуються невизначеністю, яка характерна БКЗ оптимізації. Вибір найкращого проекту здійснюється на основі системного аналізу результатів обчислювальних експериментів з інформаційними моделями об'єктів, які призначені для виконання заданої функції в заданих умовах, але можуть бути реалізовані різними способами.

Прогнозування природних і техногенних ризиків ґрунтуються на ймовірнісних моделях. Вибір найбільш ймовірних сценаріїв руйнування в кожному випадку здійснюється експертами при проектуванні будівництва з урахуванням зовнішніх і внутрішніх факторів зменшення несучої здатності.

Як вхідні дані використовуються:

- статистичні дані експертних оцінок ТС і дані АСМУ об'єктів-аналогів [6];
- експертні оцінки ймовірностей апріорних гіпотез про причини виникнення граничних станів чи надзвичайних ситуацій [2].

До обмежень, що ускладнюють застосування сценарного підходу на основі ймовірнісних методів прогнозування технічного стану (ТС) об'єктів в реальних умовах, слід віднести такі НЕФ [5; 7]:

- гіпотези про факти порушень умов експлуатації, що можуть призвести до змін категорії технічного стану об'єкта в майбутньому, не утворюють повні групи подій («неповнота»);
- умова незалежності гіпотез в сукупності, як правило, не виконується («недетермінованість», «некоректність»);
- оцінки ймовірності гіпотез залежать від особистого досвіду експертів і мають суб'єктивний характер («нечіткість», «недовизначеність»).

Оцінювання компетентності експертів також ускладнюється невизначеністю різного характеру, зокрема: семантичною невизначеністю, неповнотою знань про властивості об'єкта, невизначеністю агрегування індивідуальних експертних оцінок [8].

Невизначеність вибору будівельного проекту із множини прийнятних альтернатив в Україні ускладнюється наявністю документів з технічного регулювання в будівництві, що містять нечіткість, некоректність і протиріччя (рис. 1).

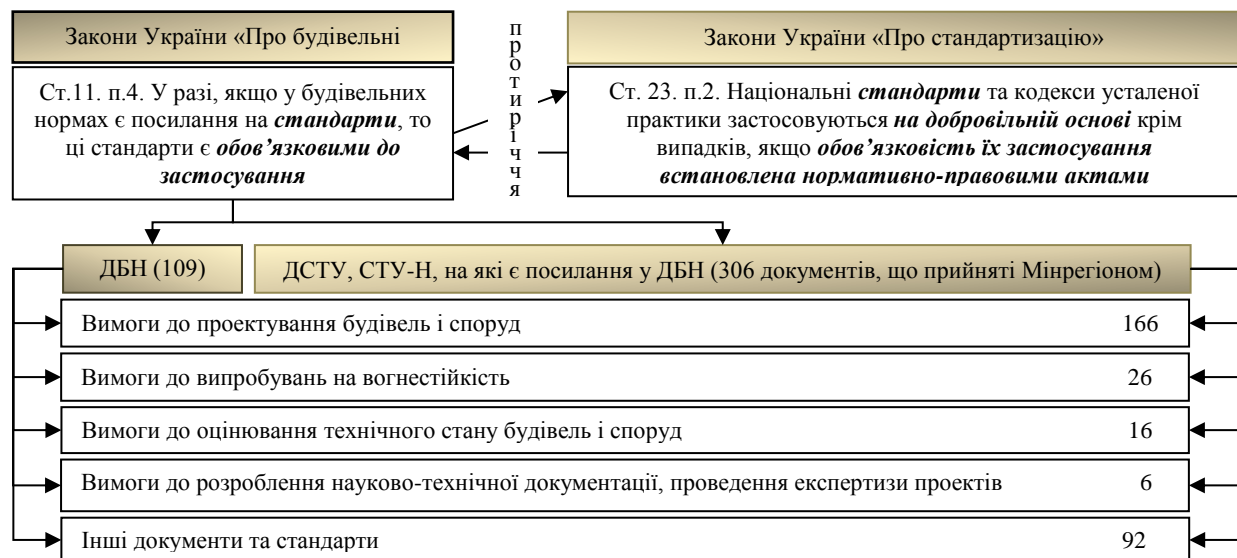


Рисунок 1– Приклад невизначеності, що спричинена протиріччям в Законах України [9 – 11]

Виклад основного матеріалу

Задача формування інтегрального критерію (ІК) оцінки будівельного проекту полягає у визначенні таких об'єктивних і суб'єктивних, чітких і нечітких факторів, композиція яких забезпечить наукове обґрунтування вибору найкращого варіанта.

Розв'язання цієї задачі здійснюється на перетині предметних областей виявлення знань в базах даних, теорії ймовірностей та математичної статистики. Окрім того, системний аналітик, який формує інтегральний критерій має здійснювати коригування суджень експертів, використовуючи методи нечіткої математики [9–11].

На рис. 2 надано схему формування ІК оцінки будівельного проекту, в якому будуть враховані:

- досвід експертиз минулих проектів,
- параметри та характеристики реального стану предметної області назараз;
- результати прогнозування;
- суб'єктивне ставлення експертів.

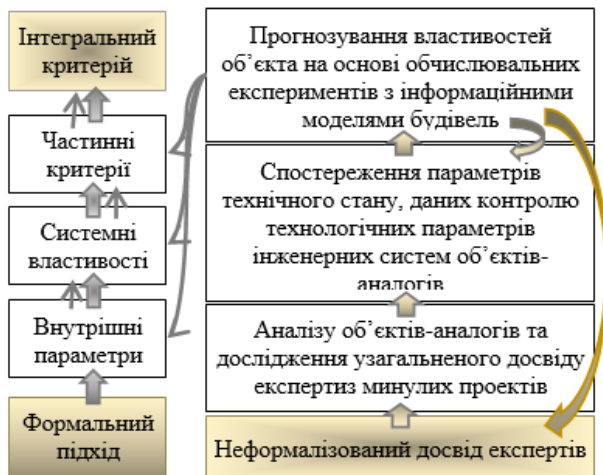


Рисунок 2 – Схема формування інтегрального критерію оцінки будівельного проекту

В результаті попереднього аналізу об'єктів-аналогів, процесів їх функціонування та адаптації визначено характеристики об'єкта S , який потрібно побудувати.

Нехай: X – універсальна множина n -мірних об'єктів, що описує сукупність усіх можливих варіантів вибору експерта.

Якщо $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ – множина прийнятних проектів, кожен з яких A_q ($q = 1, \dots, m$) не збігається з іншим за множиною внутрішніх параметрів, то $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ системна властивість кожного варіанта, що містить в собі частинні критерії z_p ($p = 1, \dots, k$).

Наприклад: системна властивість Z – «вид енергоносія» може містити в собі такі частинні критерії, як: z_1 – електроенергія; z_2 – газ; z_3 – сонячна енергія та інші види енергоносіїв.

Необхідно: оцінити кожен проект із множини прийнятних проектів за множиною об'єктивних та суб'єктивних критеріїв $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$.

Формалізуємо частинні критерії різних класів.

1. Якісні критерії, що вказують на наявність або відсутність деякої характеристики варіанта:

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

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

2. Якісні критерії, що вказують на:

- наявність характеристики;
- вибір одного із способів її реалізації;
- ефективність кожного способу:

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

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

Залежність вагових коефіцієнтів від внутрішніх параметрів системи в загальному випадку є нелінійною та визначається із системи:

$$\begin{aligned} f_1(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_v; \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_d) &= (<)0, \\ f_2(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_v; \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_d) &= (<)0, \\ &\dots, \end{aligned} \quad (3)$$

$$f_{v+d+1}(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_v; \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_d) = (<)0,$$

де $\alpha_i, i = 1, \dots, v$ – внутрішні параметри, які є коефіцієнтами при композиціях змінних, що виявляються в базах даних, або визначаються експериментально чи в результаті моделювання. При цьому потрібно враховувати взаємозалежність факторів, що призводить до мультиколінеарності, автокореляції і гетероскедастичності при оцінюванні вагових коефіцієнтів методами математичної статистики [9; 10].

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

$$y_l = \sum_{i \in I} \rho_i \cdot \chi_{z_p}(z_p^i). \quad (4)$$

Прикладом множини I для системної характеристики «вид носія» можуть бути індекси можливих джерел постачання енергоносія. В такому випадку розв'язання задачі оцінки ρ_i потребує поєднання методів математичного програмування та комбінаторного аналізу.

4. Кількісні критерії, що відображають міру системних властивостей, таких як прогнозована енергоефективність. Оцінка критерію є абсолютною величиною та характеризується значною ентропією та мінімальною інформативністю. Для приведення подібних критеріїв до відрізка $[0; 1]$ застосовують процедуру нормалізації [12]. Однак, ця процедура потребує оцінки екстремального значення критерію.

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

$$y_i: [a; b] \rightarrow [0; 1], \quad (5)$$

де a і b – мінімальне і максимальне числові значення системної характеристики; $y_i(\alpha_i)$ – критерій оптимальності внутрішнього параметра α_i .

Таким чином, запропоновано повну систему критеріїв, що 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 з композиції частинних критеріїв, які формалізовані в роботі, надасть можливість урахувати нечіткі фактори різного характеру [13].

Висновки

1. Дослідження композиційної невизначеності, що супроводжує процес прийняття проектних

рішень у будівництві, показали, що вибір найкращого об'єкта із множини прийнятних альтернатив передбачає існування технологій порівняння ефективних об'єктів. А це, в свою чергу, потребує формування інтегрального критерію оцінки будівельного проекту.

2. Аналітичний огляд досвіду будівництва показав, що вибір найкращого будівельного проекту із множини прийнятних альтернатив ускладнюється композицією таких нечітких факторів: неповнота, недетермінованість, недовизначеність, нечіткість, некоректність.

3. Запропонована система з п'яти типів частинних критеріїв є повною, а отже, інтегральний критерій, що буде сформовано з їх композиції надасть можливість урахувати композицію нечітких факторів різного характеру.

Список літератури

1. Барабаш М. Використання методів інтеграції для створення узагальненої інформаційної моделі будівельного об'єкта / М. Барабаш, К. Київська // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 25. – С. 114 – 120.
2. ДСТУ-Н Б В.2.5-37:2008. Настапова з проектування, монтування та експлуатації автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями і спорудами.
3. Ісаєнко Д.В., Теренчук С.А. Моделювання інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2018. – Вип. 72. – С. 18 – 25.
4. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН. В. 1.2.-2:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – Київ: Сталь. 2007. – 60 с. – (Державні буд. норми України) / <http://www.dbn.at.ua>. Назва з екрана. – Переверено: 22.09.2017.
5. Волошин О.Ф., Гнатієнко Г.М. Прийняття рішень в нечіткості умовах з розмитою функцією належності // Теорія прийняття рішень: праці міжнародної школи-семінару. – Ужгород: УжНУ, 2002. – С. 20 – 21.
6. Єременко Б.М. Застосування експертних знань для формування бази знань системи оцінювання технічного стану будівельних конструкцій / Б. М. Єременко, С. А. Теренчук, С. М. Картавих, О. В. Насіковський // Наука та будівництво. – 2017, 4. – С. 63 – 69.
7. Кашиканов А. А. Обґрунтування вибору оптимальної альтернативи в умовах композиційної невизначеності при розв'язку задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод [Текст] / А. А. Кашиканов, О. Г. Грисюк, О. О. Грисюк // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2013. – №15 (204), ч. 2. – С. 204 – 207.
8. Гнатієнко Г.М. Методи оцінки компетентності спеціалістів. Математичні та інформаційні проблеми прогнозування наслідків техногенних та природних катастроф / Соціально-економічні наслідки техногенних та природних катастроф: експертне оцінювання; Відп. ред.: В.В. Дурдинець, Ю.І. Саєнко. – К.: «Стилос», 2000. – 260 с.
9. Теренчук С. А., Білоус С. Я. Дослідження невизначеності в нормативній базі у будівництві. *Scientific Journal «ScienceRise» №7(60)*, 2019. – С. 35 – 39.
10. Закон України «Про будівельні норми». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17>.
11. Система стандартизації та нормування у будівництві. Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення: ДБН А.1.1-94:2010: затв. Мінрегіонбудом України 16.12.2010. – [Чинні від 2013-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – III, 22 с.
12. Снитюк В.Є. Задача вибору оптимальної альтернативи в умовах композиційної невизначеності // Черкаси: Вісник ЧПІ. – 2000, № 2. – С. 140 – 145.
13. Снитюк В.Е., Рифат Мохаммед Али. Модели процесса принятия адаптивных решений композиционной структуры с детерминированными и вероятностными характеристиками // Харьков: Радиоэлектроника и информатика. – 2002, № 4. – С. 123 – 127.

Стаття надійшла до редколегії 09.09.2019

Картавых Сергей Николаевич

Аспирант, кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, orcid.org/0000-0003-2287-4297
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Теренчук Светлана Анатольевна

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, orcid.org/0000-0002-7141-6033

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ
В УСЛОВИЯХ КОМПОЗИЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Аннотация. Исследован характер неопределенности, сопровождающей выбор лучшего строительного проекта из множества приемлемых альтернатив, и предоставляется классификация нечетких факторов, чаще всего осложняющих экспертизу проектов. Проанализированы причины возникновения неопределенности на этапах предпроектной подготовки и проектирования. Формирование интегрального критерия оценки строительного проекта, в котором учтены данные прошлых проектов, текущее состояние предметной области, результаты прогнозирования и субъективное отношение лица, проводящего экспертизу, предлагается осуществлять с учетом неформализованных экспертных знаний. Интегральный критерий образуется из комбинации частных критериев пяти типов, которые имеют универсальное множество значений от 0 до 1. Для формализации качественных частных критериев оценки строительного проекта используются модели и методы нечеткой математики. Формирование интегрального критерия на данном этапе исследований остается за экспертами.

Ключевые слова: эффективные объекты; нечеткий фактор; частный критерий оценки

Kartavykh Serhii

Postgraduate student Department of Information Technology Design and Applied Mathematics, orcid.org/0000-0003-2287-4297
Kyiv National University of Construction and Architecture

Terenchuk Svitlana

PhD, Associate Professor Department of Information Technology Design and Applied Mathematics, orcid.org/0000-0002-7141-6033
Kyiv National University of Construction and Architecture

**MODELS AND METHODS FOR EVALUATING CONSTRUCTION PROJECTS UNDER CONDITIONS
OF COMPOSITIONAL UNCERTAINTY**

Abstract. The nature of the uncertainty accompanying the selection of the best construction project from the set of acceptable alternatives is studied, and a classification of fuzzy factors is provided, most often the expertise of projects is complicated. The causes of uncertainty at the stages of pre-project preparation and design are analyzed. The formation of an integral criterion for assessing a construction project, which takes into account data from past projects, the current state of the subject area, forecasting results and the subjective attitude of the person conducting the examination, is proposed to be carried out taking into account informal expert knowledge. The integral criterion is formed from a combination of particular criteria of five types, which have a universal set of values from 0 to 1. Models and methods of fuzzy mathematics are used to formalize qualitative particular criteria for assessing a construction project. The formation of an integral criterion at this stage of research is left to the experts.

Keywords: effective objects; fuzzy factor; particular evaluation criterion

References

1. Barabash, M., & Kyivska, K., (2016). Using integration methods to create a generalized building information model object. *Management of the development of complex systems*, 25, 114 – 120.
2. DSTU-N B V.2.5-37: 2008. *Instruction on the design, installation and operation of automated systems for monitoring and control of buildings and structures.*
3. Isayenko, D.V., & Terenchuk, S.A., (2018). Modeling an Intelligent Decision Support System for Technical Regulation in Construction. *Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. – No. 72, 18 – 25.
4. System for ensuring the reliability and safety of construction sites. (2007). *Loads and impacts. Design rules: DBN. V. 1.2.-2: 2006.* – [Valid from 2007-01-01]. – Kyiv: Steel. 60. (State building norms of Ukraine). Retrieved from: <http://www.dbn.at.ua>.
5. Voloshin O.F., & Gnatenko G.M. (2002). Decision-making in unclear conditions with a blurred membership function. *Theory of decision-making: Proceedings of an international seminar school.* Uzhgorod: UzhNU, 20 – 21.
6. Eremenko, B.M., Terenchuk, S.A., Kartavikh, S.M., & Nasikovskiy, O.V., (2017(4)). Applying Expertise to Forming a Knowledge Base for the Assessment System for the Technical Condition of Building Structures. *Science and Construction*, 63-69.
7. Kashkanov, A.A., Grysyuk, O.G., & Grysyuk, O.O., (2013). Substantiation of the choice of the optimal alternative in the conditions of compositional uncertainty in solving problems of auto-technical examination of road accidents. *Bulletin of the East Ukrainian National Vladimir Dahl University*. – Lugansk, №15 (204), part 2, 204-207.

8. Hnatiuk, G.M., (2000). *Methods for assessing the competence of specialists. Mathematical and information problems of prediction of consequences of man-made and natural disasters. Socio-economic consequences of man-made and natural disasters: expert evaluation.* Kyiv: Stilos, 260.

9. Terenchuk, S.A., & Bilous, S.A., (2019). *Research of uncertainty in the regulatory framework in construction.* Scientific Journal "ScienceRise", No. 7 (60), 35 – 39.

10. Law of Ukraine "On Building Standards". Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17>.

11. System of standardization and normalization in construction. *Designing of building structures according to Eurocodes. Main provisions: DBN A.1.1-94: 2010: Approved. Ministry of Regional Development of Ukraine 16.12.2010.* – [Effective 2013-07-01]. – Kyiv: Minregionstroy of Ukraine, 2012. – III, 22.

12. Snityuk, V.E., (2000). *The problem of choosing the optimal alternative in the conditions of compositional uncertainty.* Cherkasy: ChITI Bulletin. No. 2, 140 – 145.

13. Snityuk, V.E., (2002). *Rifat Mohammed Ali. Models of the process of making adaptive decisions of a compositional structure with deterministic and probabilistic characteristics.* Kharkiv: Radioelektronika i informatika. – No. 4, 123 – 127.

Посилання на публікацію

APA Kartavykh, Serhii, & Terenchuk, Svitlana, (2019). *Models and methods for evaluating construction projects under conditions of compositional uncertainty*, 39, 75 – 80; [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340659](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11340659).

ДСТУ *Картавих С.М. Моделі та методи оцінки будівельних проектів в умовах композиційної невизначеності [Текст] / С.М. Картавих, С.А. Теренчук // Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 39. – С. 75 – 80; [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340659](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11340659).*