

**О.В. Горда**, к. т. н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування і прикладної математики, ORCID: 0000-0001-7380-0533

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**М.М. Власенко**, студент

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**В. О. Журавльова**, студент

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ НАДІЙНІСТЮ ОБ'ЄКТУ БУДІВНИЦТВА В РАМКАХ ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

***Анотація.** Впровадження BIM є важливим аспектом в проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів будівництва (ОБ). Досліджена та обґрунтована необхідність застосування BIM-технологій на різних етапах життєвого циклу будівель та споруд. Для аналізу застосування BIM-моделювання був використаний факторний аналіз для визначення характеристик ОБ, які можна спостерігати, вимірювати та змінювати за рахунок яких можливо запроваджувати управління експлуатаційною надійністю будівель та споруд різного призначення на етапі експлуатації. Розглянута проблема визначення технічного стану об'єктів будівництва на основі процедури оцінки граничних станів в рамках BIM-технології. Виконана математична постановка задачі управління експлуатаційною надійністю об'єкту будівництва в рамках теорії прийняття рішень. Запропонована синтетична модель та процедура побудови управління експлуатаційною надійністю об'єкту будівництва в рамках теорії прийняття рішень внаслідок застосування BIM-моделювання.*

***Ключові слова:** синтетична модель, управління, експлуатаційна надійність, інформаційна модель (BIM), факторний аналіз.*

### Вступ

Впровадження BIM (Building Information Model) — технологій в проектуванні та будівництві, починаючи з 2019 року, є важливим та своєчасним для України.

Для досягнення максимального ефекту від використання BIM-технологій, необхідно впроваджувати їх на всіх етапах реалізації проекту, бути компанією повного циклу. В цьому випадку, модель живе від концепції до введення об'єкта в експлуатацію і надалі передається власнику будівлі, як основа для створення експлуатаційної системи.[1]

Для того щоб була можливість прив'язати плани будівництва, фінансування, і поставок матеріалів до єдиної інформаційної моделі будівлі, необхідно, щоб модель була пов'язана з різними довідковими та інформаційними системами. Така інформаційна система дозволяє швидко аналізувати на ранніх етапах вартість і терміни зведення об'єкта при різних варіантах проектних рішень. Так само швидко можна вносити зміни в проект і фінансову модель на будь-якій стадії життєвого циклу.

Країни Євросоюзу почали впроваджувати BIM-технології ще у 2013 році. У липні 2018 року робоча група Євросоюзу по BIM випустила Керівництво по впровадженню технологій для європейських державних замовників. За оцінками експертів, проектування, будівництво та експлуатація об'єктів за технологією BIM більш ефективні, вони дозволяють послідовно запланувати процес будівництва і логі-

стику матеріалів. Все поставляється точно в термін відповідно до графіку, тобто необхідність в складських площах відпадає, а самі будівлі збираються як конструктор з підвезені день в день елементів.[5]

Застосування BIM технологій для проектування, будівництва та експлуатації промислових, інфраструктурних, цивільних об'єктів будівництва стало фактично обов'язковою практикою в розвинених країнах. Як показує міжнародна практика, застосування BIM дозволяє оптимізувати терміни будівництва на 20%, збільшити контроль над витратами на 30% і більше, скорочує вартість будівництва на 20%, а в деяких випадках до 33%. [4]

Перевагами застосування BIM-технологій в проектуванні, будівництві та експлуатації є:

- зменшення термінів підготовки проектної документації;
- зменшення ймовірності помилок при проектуванні;
- контроль ключових показників і дотримання термінів виконання робіт;
- швидке надання інформації щодо результатів досліджень і випробувань, проектної документації та звітів в електронному вигляді;
- оперативне коригування вартісних показників будівництва;
- зниження грошових витрат
- скорочення термінів введення будівлі в експлуатацію.

Надійність експлуатаційна — основна властивість будівельних конструкцій, будівель і споруд в цілому виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих режимах на будь-якому етапі експлуатації.

З кожним роком зростає обсяг проведених обстежень будівель. Причиною цього є ряд факторів:

- фізичний знос будівлі, внаслідок погіршення технічних і пов'язаних з ними експлуатаційних показників будівлі, викликане об'єктивними причинами;
- моральний знос будівлі, внаслідок зниження експлуатаційних якостей в часі;
- реконструкція, капітальний ремонт або технічне переозброєння об'єкта.

Використовуючи технології інформаційного моделювання при обстеженні будівель і споруд, можна виділити наступні позитивні аспекти:

- можливість моделювання змін в конструкції будівель з плином часу;
- можливість проведення капітального ремонту, реконструкції або технічного переозброєння на основі отриманої моделі;
- відстеження поточного стану будівлі;
- наочне уявлення про стан об'єкта в цілому.

При проектуванні будівельних об'єктів за допомогою BIM-технологій забезпечується :

- 1) скорочення витрат робочого часу, зниження фонду зарплати шляхом зниження витрат праці на обробку інформації, отримання економії завдяки зниженню запасів, скорочення термінів будівництва і зниження незавершеного виробництва.
- 2) точна побудова рельєфу місцевості, стає можливим внесення змін при проектуванні, здійснюється ретельний контроль всіх вироблених операцій, внаслідок чого підвищується безпека будівництва та експлуатації.

Інформаційна модель будівлі, отримана при обстеженні, може бути використана і в подальших життєвих циклах будівлі, наприклад, в стадії експлуатації будівлі або споруди.[3]

### Дослідження проблеми

Будемо розглядати експлуатаційну надійність, як основну властивість будівельних конструкцій, будівель і споруд в цілому виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих режимах на будь-якому етапі експлуатації. Експлуатаційна надійність характеризується сукупністю відомостей про технічний споруди, працездатність, включаючи дані про екстремальні впливи, і пошкодження, що мали місце в період експлуатації, кількісним описом безпеки будівельного об'єкта за допомогою системи показників його здатності виконувати необхідні функції протягом розрахункового терміну експлуатації [6].

Основним показником надійності будівельних об'єктів є неможливість реалізації в них граничних станів протягом розрахункового терміну служби.

Граничні стану будівельного об'єкта слід поділяти наступним чином:

- аварійний граничний стан, що відповідає руйнуванню будівель і споруд при аварійних впливах і ситуаціях з катастрофічними наслідками;
- перша група граничних станів – стан будівельних об'єктів, реалізація яких призводить до втрати несучої здатності будівельних об'єктів;
- друга група граничних станів - стан, при реалізації якого порушується нормальна експлуатація будівельних об'єктів або вичерпується ресурс їх довговічність;
- ті, що встановлюються в нормах або завданнях на проектування – інші граничні стани, що утруднюють нормальну експлуатацію будівельних об'єктів (наприклад, стан при яких порушується комфортність населення).

До граничних станів першої групи слід відносити:

- руйнування будь-якого характеру (наприклад, пластичне, крихке, втома);
- втрату стійкості форми;
- явища, при яких виникає необхідність припинення експлуатації (наприклад, надмірні деформації в результаті деградації властивостей матеріалу, пластичності, зсуву в з'єднаннях, а також надмірне розкриття тріщин).

До граничних станів другої групи слід відносити:

- досягнення граничних деформацій конструкцій (наприклад, граничних прогинів, кутів повороту) або граничних деформацій конструкцій, встановлених виходячи з технологічних, конструктивних або естетико-психологічних вимог;
- досягнення граничних рівнів коливань конструкцій чи основ, що викликають шкідливі для здоров'я людей фізіологічні впливи;
- утворення тріщин, що не порушують нормальну експлуатацію будівельного об'єкта;
- досягнення граничної ширини розкриття тріщин;
- інші явища, при яких виникає необхідність тимчасового обмеження експлуатації будівлі або споруди через неприйнятне зниження їх експлуатаційних якостей або розрахункового терміну служби (наприклад, корозійні пошкодження).

Перелік граничних станів, які необхідно враховувати при проектуванні будівельного об'єкта, встановлюють в нормах проектування або в технічному завданні на проектування [7, 11].

Граничні стани можуть бути віднесені як до конструкції в цілому, так і до окремих елементів, їхніх сполук або поперечних перетинів.

Для кожного граничного стану, який необхідно враховувати при проектуванні, повинні бути встановлені відповідні розрахункові значення навантажень і впливів, характеристик матеріалів і ґрунтів, а також геометричні параметри конструкцій будівель і споруд (з урахуванням їх можливих найбільш несприятливих відхилень), часткові коефіцієнти надійності, гранично допустимі значення зусиль, на-

пружень, прогинів, переміщень і осідання фундаментів.

Для кожного граничного стану, що враховується, повинні бути встановлені розрахункові моделі споруди, його конструктивних елементів і основ, що описують їх поведінку при найбільш несприятливих умовах їх зведення і експлуатації.

Для забезпечення необхідної довговічності будівельного об'єкта необхідно враховувати:

- умови експлуатації за призначенням;
- вплив навколишнього середовища;
- властивості застосовуваних матеріалів, можливі засоби їх захисту від негативних впливів середовища, а також можливість деградації їх властивостей.

При аварійних впливах надійність будівельних конструкцій також слід забезпечувати за рахунок проведення одного або декількох спеціальних заходів, що включають в себе:

- попередження, виключення або зниження небезпеки руйнування будівельних об'єктів і, в першу чергу, його несучих елементів;
- вибір матеріалів і конструктивних рішень, які при аварійному виході з ладу або локальному пошкодженні окремих несучих елементів не ведуть до прогресуючого руйнування споруди;
- використання комплексу спеціальних організаційних заходів, що забезпечують обмеження і контроль доступу до основних несучих конструкцій споруди.

Оцінка технічного стану будівельних конструкцій, будівель і споруд проводиться шляхом зіставлення гранично допустимих (розрахункових або нормативних) і фактичних значень критеріїв, що характеризують міцність, стійкість, деформативність і експлуатаційні характеристики будівельних конструкцій [8, 9, 10]. При оцінці технічного стану об'єктів необхідно враховувати, що властивості будівельних матеріалів, ґрунтів підстав, навантажень і впливів, умов експлуатації є випадковими величинами або випадковими функціями.

### Постановка задачі

Введемо наступні позначення:

$\{P_i\}_{i \in I}$  – множина функцій, що відповідає параметрам об'єкту будівництва (ОБ), які відстежуються;  
 $P_i = P_i(t; P_1, \dots, P_{i-1}, P_{i+1}, \dots, P_n)$  – функція, що відповідає  $i$ -му параметру;

$E(P_i) = [\min P_i, \max P_i]$  – область визначення функції  $P_i$ ;

$E_0(P_i) = E(P_i)|_{t=0}$  – сукупність початкових значень;

$\partial E(P_i) = \{\min P_i, \max P_i\}$  – границі області визначення;

$trnP_i(t) = \Delta P_i(t) = \frac{P_i(t) - P_i(0)}{t}$  – тренд параметра  $P_i(t)$ ;

$P^0(t) \equiv \{P_i^0(t)\} \subset \{P_i(t)\}$  – де  $P_i^0(t)$  – параметри, що регулюються;

$V(t): P^0(t) \rightarrow P^0(t)$  – автоморфізм, де  $V(t)$  – управління параметрами  $P^0(t)$  в момент часу  $t$ .

$grad \Delta P_i(t) = sign \Delta P_i(t)$  – напрямок зміни значення параметру;

$val \Delta P_i(t) = \left| \frac{P_i(t) - P_i(0)}{t} \right|$  – величина зміни значення

параметру. Тоді:

$$trnP_i(t) = grad \Delta P_i(t) \times val \Delta P_i(t).$$

$$Eps_i(P_i(t)) = \min \{EpsL_i(P_i(t)), EpsR_i(P_i(t))\} =$$

$$= \min \left\{ \left| \frac{P_i(t) - \min P_i}{|E(P_i)|} \right|, \left| \frac{P_i(t) - \max P_i}{|E(P_i)|} \right| \right\} \quad - \text{відс-}$$

тань значень параметрів від критичного значення  $P_i(t)$  – є критичним в момент часу  $t^*$

( $P_i(t^*) = P_i^*(t^*)$ ), якщо:

$$\begin{cases} Eps_i(P_i(t^*)) < \varepsilon_i \\ Eps_i(P_i(t^*)) = EpsL_i(P_i(t^*)), \\ trnP_i(t^*) < 0 \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} Eps_i(P_i(t^*)) < \varepsilon_i \\ Eps_i(P_i(t^*)) = EpsR_i(P_i(t^*)) \text{ де } \varepsilon_i - \text{задане відхи-} \\ trnP_i(t^*) > 0 \end{cases}$$

лення (допуск).

Задачу управління можна сформулювати наступним чином: визначити  $V$  за умови:

$$\max_{V(t^*, P^0(t^*))} \left| P_i^*(t) \right| = 0$$

### Результати аналізу

Під управлінням будемо розуміти зміну спостережуваних параметрів, що регулюються [10, 11, 12].

Для управління експлуатаційною надійністю ОБ в рамках теорії прийняття рішень застосовується синтетична модель, отримана на базі інформаційного моделювання та моделювання в рамках теорії факторного аналізу за наступною процедурою:

- Визначити інтервал життєвого циклу ОБ:
  - Відлік від останнього введення в експлуатацію.
  - Відлік від останнього обстеження.
- Атестація конструкції ОБ:
  - Проектна.
  - Фактична.
- Передісторія навантажень:
  - Експлуатаційних навантажень.
  - Кліматичних навантажень.
  - Сейсмічних навантажень.
- Синтетична інформаційна модель ОБ.
  - Визначення ендегенних факторів.
  - Визначення екзогенних факторів.
  - Визначення простору критичних станів моделі ОБ. Визначення точок розгалуження динаміки ОБ в залежності від 4.1-3.

- Визначення керуючих параметрів
- Управління моніторингом будівельних об'єктів в рамках теорії прийняття рішень.
- Вибір критеріїв адекватності та точності ідентифікації технічного стану (ТС ОБ).
- Визначення простору критичних станів ОБ та відповідних їм критичних станів моделі ОБ.
- Визначення простору критичних значень параметрів ОБ.
- Побудова управління моніторингом будівельних об'єктів на основі ідентифікації технічного стану в рамках теорії прийняття рішень.
- Управління експлуатаційною надійністю ОБ на основі теорії прийняття рішень.
- Вибір критерію експлуатаційної надійності ОБ.

- Визначення простору критичних станів ОБ і відповідних їм критичних станів моделі ОБ.
- Побудова управління надійністю ОБ.
- Визначення коридорів безпеки для ендегенних і екзогенних факторів.

### Висновки

Розглянута проблема визначення технічного стану об'єктів будівництва на основі процедури оцінки граничних станів в рамках BIM-технології.

Виконана постановка задачі управління експлуатаційною надійністю об'єкту будівництва в рамках теорії прийняття рішень

Запропонована процедура побудови управління експлуатаційною надійністю об'єкту будівництва в рамках теорії прийняття рішень та BIM технологій.

### Література

1. Ukraine Communal Information Agency. (2018, October 12). From 2019, the introduction of BIM technology in construction will begin. Retrieved from <http://jkg-portal.com.ua>
2. Wikipedia, the free encyclopedia (n.d.). Decision theory . Retrieved from <https://uk.wikipedia.org/>
3. Retrieved from [https://www.sphgasu.ru/upload-files/nauchinnovaz/sbornik\\_trudov/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9\\_%D0%9D%D0%9F%D0%9A\\_B.pdf](https://www.sphgasu.ru/upload-files/nauchinnovaz/sbornik_trudov/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%9D%D0%9F%D0%9A_B.pdf)
4. Eugenio Fontan.(2015,December 20). The Wrong BIM Workflow. Retrieved from <http://www.weareenzyme.com/the-wrong-bim-workflow/>
5. Ishmael Zaslavsky.(2018, April 5). Why is Ukraine lagging behind in BIM technologies? The ending. Retrieved from <http://profidom.com.ua/mnenija/blogi/26496-pochemu-ukraina-otstae-v-bim-tehnologiyakh-okonchanie>
6. Бадьин Г. М. и др. Строительное производство. Основные термины и определения. Изд. Ассоциации строительных вузов, 2006 г. — 335 с.
7. Шутенко Л. Н. Технологические основы формирования и оптимизации жизненного цикла городского жилого фонда (теория, практика, перспективы) / Л. Н. Шутенко. — Харьков: Майдан, 2002. — 1054 с.
8. Федченко А.И. Влияние учета жизненного цикла крупнопанельного здания на результаты проверочных расчетов при его реконструкции / А.И. Федченко, В.А. Банях, Т.В. Довбенко [и др.] // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. — К.: КНУБА, 2014. — Вип. 52. — С. 24-34.
9. Алдокин И. П., Бубенко И В. Теория принятия решений. — Киев: Н. думка, 1990. 156с.
10. Асаул А.Н., Иванов С.Н. Современные проблемы и тенденции формирования системы управления инвестиционно-строительным комплексом // Научные труды. Выпуск III.Международная академия менеджмента, М., 2002 с.37-50.
11. ГОСТ Р 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2010.
12. Методика вибору ефективних методів моніторингу технічного стану будівель в процесі їх експлуатації / П. Е. Григоровський, Н. П. Чуканова. // Нові технології в будівництві. — 2013. — №25. — С. 7 — 16.

### Refernce

6. Badin G. M. i dr. Stroitelnoe proizvodstvo. Osnovnyie terminyi i opredeleniya. Izd. Assotsiatsii stroitelnyih vuzov, 2006 g. — 335 s.
7. Shutenko L. N. Tehnologicheskie osnovyi formirovaniya i optimizatsii zhiznennogo tsikla gorodskogo zhilogo fonda (teoriya, praktika, perspektivy) / L. N. Shutenko. — Harkov: Maydan, 2002. — 1054 s.
8. Fedchenok A.I. Vliyaniye ucheta zhiznennogo tsikla krupnopanelnogo zdaniya na rezul'taty proverochnykh raschetov pri ego rekonstruktsii / A.I. Fedchenok, V.A. Banah, T.V. Dovbenko [i dr.] // Mlstobudovanniya ta teritorlalne planuvanniya: nauk.-tehn. zbl'mik. — K.: KNUBA, 2014. — Vip. 52. — S. 24-34.
9. Aldokin I. P., Bubenko I V. Teoriya prinyatiya resheniy. — Kiev: N. dumka, 1990. 156s.
10. Asaul A.N., Ivanov S.N. Sovremennyye problemy i tendentsii formirovaniya sistemy upravleniya investitsionno-stroitelnyim kompleksom // Nauchnyie trudyi. Vyipusk Sh.Mezhdunarodnaya akademiya menedzhmenta, M., 2002 s.37-50.
11. GOST R 53778-2010 Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tehnicheskogo sostoyaniya. M.: Standartinform, 2010.
12. Metodika vzbiru effektivnih metodiv monItoringu tehlnchnogo stanu budIvel v protsesI Yih ekspluatatsIYi / P. E. Grigorovskiy, N. P. Chukanova. // NovI tehnologIYi v budIvnitstvI. — 2013. — #25. — S. 7 — 16.

**Е.В. Горда** к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, ORCID: 0000-0001-7380-0533;

**М.Н. Власенко**, студент;

**В.А. Журавльова**, студент;

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев

### УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА В РАМКАХ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**Аннотация.** Внедрение BIM является важным аспектом в проектировании, строительстве и эксплуатации объектов строительства (ОС). Исследована и обоснована необходимость применения BIM-технологий на различных этапах жизненного цикла зданий и сооружений. Для анализа применения BIM-моделирования был использован факторный анализ для определения характеристик ОС, которые можно наблюдать, измерять и изменять и за счет которых возможно выполнять управление эксплуатационной надежностью зданий и сооружений различного назначения на этапе эксплуатации. Рассмотрена проблема определения технического состояния объектов строительства на основе процедуры оценки предельных состояний в рамках BIM-технологии. Выполнена математическая постановка задачи управления эксплуатационной надежностью объекта строительства в рамках теории принятия решений. Предложенная синтетическая модель и процедура построения управления эксплуатационной надежностью объекта строительства в рамках теории принятия решений в результате применения BIM-моделирования.

**Ключевые слова.** синтетическая модель, управления, эксплуатационная надежность, информационная модель (BIM), факторный анализ.

**E. Gorda**

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies of Design and Applied Mathematics, ORCID: 0000-0001-7380-0533;

**M. Vlasenko**

Student

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv;

**V. Zhuravlova**

Student

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

### MANAGING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF A CONSTRUCTION OBJECT WITHIN THE FRAMEWORK OF DECISION THEORY

**Abstract.** BIM implementation is an important aspect in the design, construction and operation of construction sites (OCs). The need to use BIM technologies at different stages of the life cycle of buildings and structures has been researched and substantiated. To analyze the application of BIM modeling, factor analysis was used to determine the characteristics of the OC, which can be observed, measured and modified, and through which it is possible to control the operational reliability of buildings and structures of various purposes at the operational stage. The problem of determining the technical condition of construction objects on the basis of the limit state estimation procedure within the BIM technology is considered. The mathematical formulation of the problem of managing the operational reliability of a construction object within the framework of decision theory is performed. The proposed synthetic model and procedure for construction of operational reliability management of a construction object within the framework of decision theory as a result of BIM modeling.

**Keywords.** synthetic model, controls, operational reliability, information model (BIM), factor analysis.