

УДК 69.059

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.271222.64.912

РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІМ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ МІСТ В УКРАЇНІ

ЛЕВЧЕНКО Н. М.¹, докт. держ. упр., проф.,БЕЙНЕР П. С.^{2*}, канд. техн. наук,БЕЙНЕР Н. В.³, канд. техн. наук

¹ Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (050) 807-85-27, e-mail: levchenko@zp.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-3283-6924

^{2*} Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (066) 471-40-00, e-mail: beyner@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3488-767X

³ Кафедра будівельного виробництва та управління проектами, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (050) 670-68-07, e-mail: beyner@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6695-577X

Анотація. Постановка проблеми. Воєнна агресія Росії проти України знищила та пошкодила велику кількість будинків, серйозно вплинула на цивільну інфраструктуру. Щодня руйнуються житлові масиви та об'єкти соціальної інфраструктури. Здійснення робіт з капітального ремонту, реконструкції пошкоджених будинків та будівництва нових не припиняється навіть незважаючи на загострення конфлікту. Реконструкція зруйнованих війною будівель стає пріоритетним напрямком. Для низки об'єктів вона буде економічно не обґрунтована, але залишається велика кількість жилих будинків, історичних забудов та пам'ятників культурної спадщини які потребують відновлення та реконструкції. Аварійна ситуація з багатоповерхівками та іншими об'єктами, які підлягають реконструкції, ускладнюється тим, що до проектної моделі треба додавати нові рішення, не типові конструктивні вузли, вносити різні модифікації, враховувати посилення старих перекриттів та несучих конструкцій. Складна конструктивна схема та збільшений об'єм інформації потребує впровадження сучасних технологій на етапі розробки проектною документації. **Мета статті** – проаналізувати необхідність використання ВІМ технологій при реконструкції будівель, які зазнали руйнувань в результаті повномасштабної війни. Наочно продемонструвати переваги ВІМ для ув'язування інженерних мереж та елементів посилення, щоб забезпечити ефективну співпрацю різних спеціалістів, визначити роль інформаційної моделі при реконструкції історичних будівель, де будь-яка зміна вигляду об'єкта має бути ретельно обдуманна та обґрунтована.

Ключові слова: ВІМ; МЕР, інформаційне моделювання будівель; реконструкція, історичні будинки, пам'ятники культурної спадщини

RECONSTRUCTION OF BUILDINGS USING BIM TECHNOLOGIES DURING CITY RENEWAL IN UKRAINE

LEVCHENKO N. M.¹, Dr. Sc. (Publ. Administr.), Prof.,BEINER P.S.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.),BEINER N.V.³, Cand. Sc. (Tech.)

¹ Department of Construction Production and Project Management, Zaporizhzhia Polytechnic National University, 64, Zhukovskoho St., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. 38 (050) 807-85-27, e-mail: levchenko@zp.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-3283-6924

^{2*} Department of Construction Production and Project Management, Zaporizhzhia Polytechnic National University, 64, Zhukovskoho St., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (066) 471-40-00, e-mail: beyner@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3488-767X

³ Department of Construction Production and Project Management, Zaporizhzhia Polytechnic National University, 64, Zhukovskoho St., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, tel. +38 (066) 471-40-00, e-mail: beyner@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6695-577X

Abstract. Problem statement. Russia's military aggression against Ukraine destroyed and damaged a large number of houses and seriously affected the civilian infrastructure. Residential areas and objects of social infrastructure are being destroyed every day. The implementation of capital repairs, reconstruction of damaged buildings and construction of new ones does not stop even despite the escalation of the conflict. Reconstruction of war-damaged buildings becomes

a priority area. For a number of objects, it will not be economically justified, but there remains a large number of residential houses, historical buildings and monuments of cultural heritage that require restoration and reconstruction. The emergency situation with high-rise buildings and other objects that are subject to reconstruction is complicated by the fact that new solutions, non-typical structural units, various modifications must be made to the design model, and strengthening of old floors and load-bearing structures must be taken into account. A complex design scheme and an increased volume of information require the introduction of modern technology at the stage of development of project documentation. *The purpose of the article* is to analyze the necessity of using BIM technologies in the reconstruction of buildings that were destroyed as a result of a full-scale war. Visually demonstrate the advantages of BIM for connecting engineering networks and reinforcement elements to ensure effective cooperation of different specialists, define the role of information model in the reconstruction of historical buildings, where any change in the appearance of the object must be carefully considered and reasoned.

Keywords: *VIM; MEP; building information modeling; reconstruction; historical buildings; monuments of cultural heritage*

Постановка проблеми. В сучасних реаліях питання відбудов українських міст є одним з найпріоритетніших. Реконструкція та відновлення будівель після воєнних дій стає актуальним напрямком у будівництві як для приватних будинків, так і великих міських багатоповерхівок. Незважаючи на те, що безліч зруйнованих будинків та споруд потребують повного демонтажу та нового будівництва, залишається велика кількість пошкоджених будинків, які все ж таки підлягають відновленню [1].

В першу чергу виконується оцінка пошкодження будівлі. Ремонтні роботи після влучення снаряда передбачають ретельний аналіз споруди, визначення ступеня пошкодження та можливості її подальшої експлуатації, відновлення несучих конструкцій та всіх конструктивних елементів.

Реконструкція будівель часто виконується із заміною всіх інженерних систем, фасадів, покрівель. Також гостро стоїть завдання посилення старих перекриттів, які втратили несучу здатність або не розраховані на збільшені нові навантаження.

Перекриття укріплюються новими конструкціями – обіймами або додатковими балками. При цьому виникає наступна складність: додаткові конструкції змінюють висоту стель, нові балки ставляться нижче за старі перекриття. Якщо інженери у своїх розрахунках цього не врахують, то повітропроводи виявляться на неправильній позначці [2].

При реконструкції часто зустрічаються нарікання від будівельників, що стосуються

нестиковок у фінальній проектній документації. Найчастіше це колізії вентиляційних систем, водопроводу та каналізації. На 2D-кресленнях і схемах неможливо побачити такі серйозні помилки, як накладення об'єктів один на одного або невідповідність розмірів об'єкта обладнанню, що встановлюється.

Особливість будівель, які підлягають реконструкції та відновленню полягає в тому, що у таких об'єктів складна конструктивна схема. На відміну від новобудов, вузли не є типовими. Більше того, до проектної моделі додаються нові рішення, конструктивні вузли та різні модифікації. Інформації вдвічі більше, ніж на новому об'єкті.

Низка проблем також виникає при відновленні історичних будівель, де важливо зберегти автентичність, відтворити фасад та вписати будинок серед існуючої забудови.

Мета роботи. Продемонструвати актуальність використання ВІМ-технологій для реконструкції будівель та споруд при відновленні міст в Україні після бойових дій.

Основна частина. Перш ніж виконувати реконструкцію об'єкта, необхідно провести повноцінне обстеження будівлі та всіх конструкцій. Оцінюється ступінь деформації, дефекти, а також подальші експлуатаційні особливості об'єкта. Приймається рішення про ремонтпридатність будинку, а також необхідність зусилля несучих конструкцій.

Можна виділити чотири етапи відновлення пошкоджених будинків та споруд:

1. Обстеження будівлі.
2. Аналіз та інженерні розрахунки.
3. Розробка проекту реконструкції.
4. Будівельні роботи.

Складання проектних даних потребує інженерних розрахунків, від яких залежить безпека проживання чи перебування у споруді. Технічна інформація включає данні розрахунків про ступінь пошкодження та деформації об'єкта. Саме на цьому етапі важно визначити та обґрунтувати доцільність реконструкції та ремонту або повного зносу будівлі [3].

Якщо втрата належної міцності несучих конструкцій підлягає відновленню, а оцінка стану об'єкту, пошкоджень та руйнувань відповідає критеріям доцільності відновлення, готується проект із реконструкції будівлі. Затверджується план відновлення.

К об'єктам, які підлягають реконструкції та відновленню після венних дії відносяться:

- багатопверхові будинку;
- приватні будинки;
- громадські об'єкт: школи, дитячі садки, музеї, спортивні комплекси, тощо;
- історичні будинки та споруди, у тому числі пам'ятники культурної спадщині;
- промислові та комерційні будівлі;
- об'єкти інфраструктури;
- благоустрій територій різного призначення.

Після влучення снарядів та множинної руйнації будівлі слід враховувати складність проекту. Важливу роль відіграє тип споруди. Наприклад, будівлі історичного значення потребують великої обережності та максимального збереження початкового вигляду.

Доцільно виконувати комплексний підхід до реконструкцій споруд, які знаходяться в аварійному стані. На етапі розробки проектної документації слід впроваджувати BIM-технології. Це дає можливість створювати точну модель будівлі у тривимірному вигляді, з

елементами якої пов'язані дані геометричних, фізичних та функціональних характеристик будівельного об'єкта.

Роль BIM для ув'язування мереж та елементів посилення. Застосування BIM-моделі при проектуванні допомагає прискорити роботу приблизно на 20 %. Саме правильно розроблена модель та злагоджена робота суміжних фахівців в єдиному просторі дозволяє не допускати помилок, практично неминучих при старій технології проектування та пов'язаних з ними збитків.

BIM-модель корисна для ув'язування мереж та елементів посилення. З її допомогою ми отримуємо якісніші та зручніші в реалізації проектні рішення з меншою кількістю помилок.

Віртуальна BIM-модель будівлі в об'ємі дозволяє протестувати та відтворити майбутню споруду в точній копії. Це допомагає проектувальникам та інженерам підрядних організацій краще орієнтуватися у проекті (рис. 1).

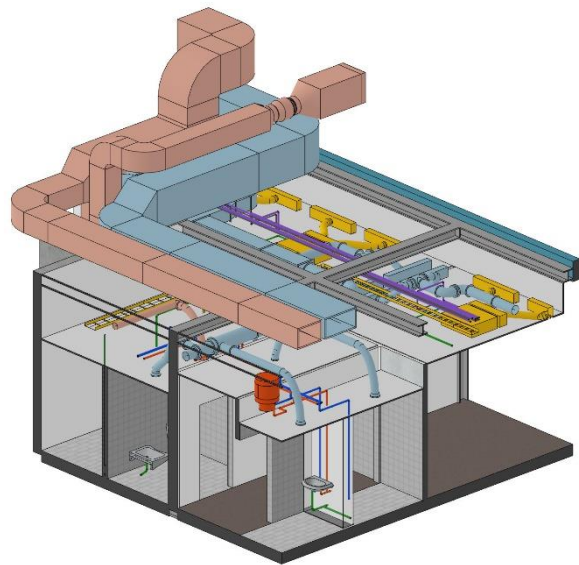


Рис. 1. Комбінація інженерних комунікацій та конструктивних рішень в рамках однієї BIM-моделі

Для зручної роботи потрібна BIM-модель. Це не лише підвищує точність проекту, а й дає наочність. Набагато простіше відслідковувати помилки та не вдалі рішення. Можемо віртуально прогулятися будівлею, подивитися, де проходять системи, як взаємодіють старі та нові комунікації. Усі нестиківки відразу

видно. BIM-модель у кілька разів спрощує роботу зі складним масивом даних.

BIM-інструменти дозволяють проектним групам усувати потенційні конфлікти та колізії між інженерними системами, наприклад, між повітропроводами та трубопроводами або несучими балками. Більше того, у BIM активно використовуються інструменти командної роботи. Це дозволяє кільком учасникам працювати над одним проектом у режимі реального часу. Постійне оновлення моделі прискорює роботу і позбавляє проблем між фахівцями.

Важливою особливістю є спільна робота суміжних фахівців над одним проектом. Тут використовується принцип інтегрованого проектування. Це ефективне середовище, що дає можливість архітекторам та інженерам працювати як одна команда. В основі цього підходу лежить технологія, що дозволяє створювати єдину загальну модель, щоб підвищити якість обміну даними. В результаті всі учасники проектування завжди та скрізь мають постійний доступ до актуальної інформаційної моделі.

Проектувальники інженерних систем будівлі MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) використовують BIM модель як вихідні дані [4]. Проектування MEP потребує складної точності та координації. Єдина помилка у проектуванні комунікацій може призвести до низки дорогих затримок та ремонтів. Ось чому MEP у будівництві може бути складним та трудомістким процесом, навіть незважаючи на те, що інженерні системи зазвичай приховані від очей.

На рисунку 2 бачимо колізію між конструктивом та інженерними мережами. Побачити таку неточність на 2D кресленні дуже складно, тому що архітектурні плани, та плани з комунікаціями розміщуються на різних листах.

Все це ще раз доводить необхідність переходу до комплексного проектування при реконструкції будівель, щоб забезпечити ефективну співпрацю інженерів різних спеціальностей.

BIM модель відмінно підходить для проведення робіт з авторського нагляду: всі помилки виправляються в процесі її аналізу ще до початку відновлювальних ремонтних робіт. Недоопрацювання, що стосуються, наприклад, вентиляційних систем, коли з'являються перетинання та одні об'єкти «наїжджають» один на одного, очевидні до початку будівництва [5].

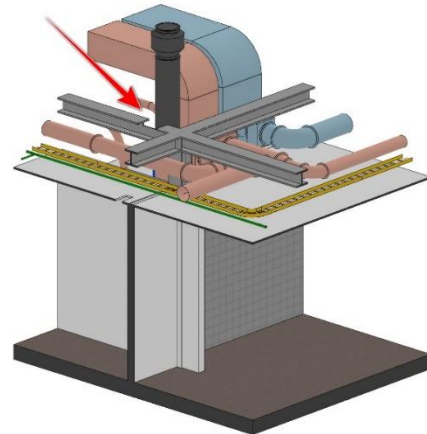


Рис. 2. Колізія між повітропроводом та несучою балкою

Саме наявність опрацьованої об'ємної моделі спрощує процес узгодження із замовниками. Звичайний формат роботи компаній передбачає велику кількість роздруківок, які постійно переходять із відділу до відділу в момент узгодження. Фахівці повинні включати в роботу просторове мислення, щоб розібрати та зрозуміти, як об'єкти виглядатимуть у реальному житті. Цю інформацію потрібно порівняти з об'ємно-планувальними рішеннями та прийняти правильний висновок. Такий підхід тягне за собою людський фактор, який супроводжується великою кількістю помилок та припущень. Очевидно, що з розвитком інформаційних технологій описаний робочий процес є архаїчним.

На рисунку 3 показано приклад взаємного перетину інженерних комунікацій в об'ємі. По 2D кресленню буде досить складно зіставити позначки висот трубопроводів, їх перерізу, розташування несучих балок, щоб обґрунтувати

запропоноване рішення яке ми бачимо на даному фрагменті будівлі.

Наявність об'ємної моделі дозволяє не тільки візуально оцінити ситуацію, що склалася, але і обґрунтувати адекватність прийнятих рішень. Додатково фахівці одержують можливість враховувати супутні фактори, важливі на етапі будівництва та обслуговування об'єкта. Існує безліч тонкощів, які неможливо передбачити у плоскому форматі. Наприклад, BIM модель дозволяє відстежити можливість доступу робітника до певної ділянки вентиляційної системи.

BIM технології додають гнучкості під час реконструкції. Це можливість поєднати будівельні креслення з інженерними, уникаючи при цьому помилок, які є неминучими при двомірному проектуванні. Наочне зображення всіх перетинів та нестижовок MEP з будівельними конструкціями. Можливість вивчати будинок під різними кутами в об'ємному просторі дає безліч переваг у порівнянні з кресленнями. Відразу зрозуміло, чи проходять повітроводи та труби у передбачуваному місці, через ферми, балки та зв'язки.

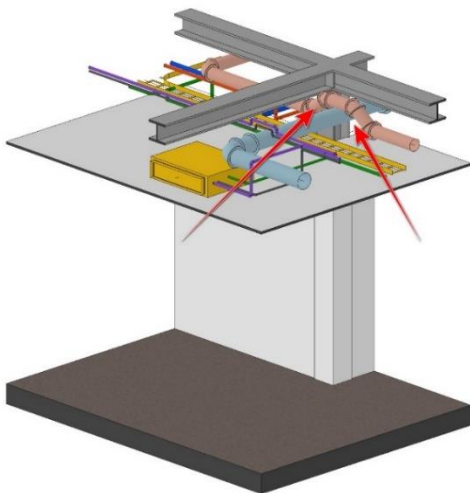


Рис. 3. Нестандартні конструктивні рішення залежно від перетину інженерних мереж у просторі

Історичні будівлі: унікальні завдання та BIM-рішення.

Технологія BIM набуває особливої актуальності при реконструкції історичних

будівель, де будь-яка зміна вигляду об'єкта має бути ретельно обдумана та обґрунтована [6]. Інформаційна 3D модель, що містить дані та параметри покращує просторову координацію та оцінку варіантів проектування з використанням різних сценаріїв (рис. 4).

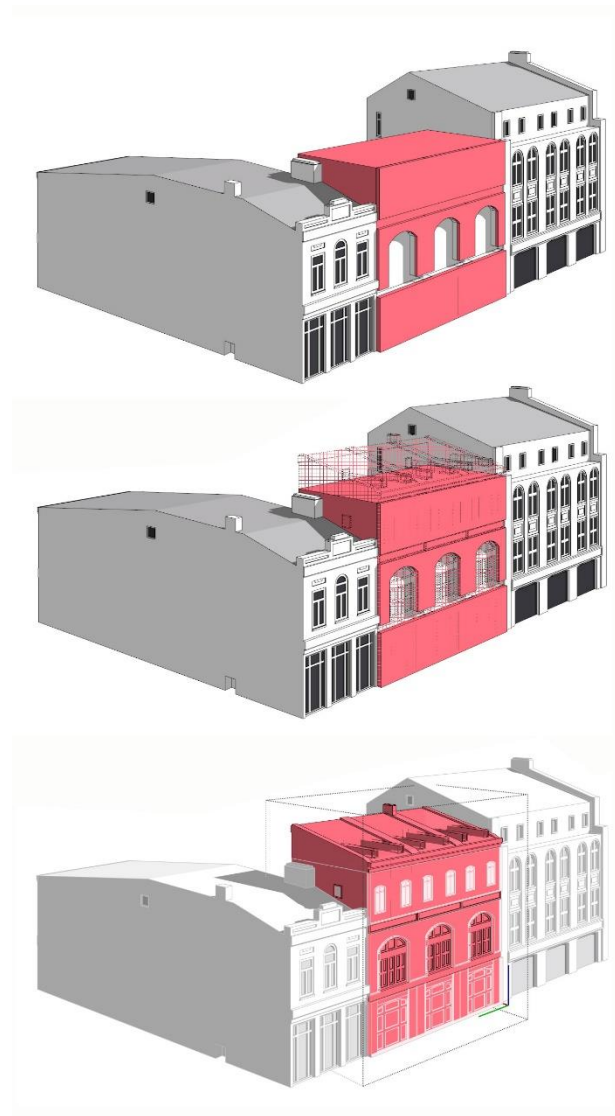


Рис. 4. Поетапна розробка 3D моделі історичної забудови

Консервація та відновлення, адаптивне повторне використання, розширення та капітальний ремонт можливо організувати більш ефективно за рахунок усіх переваг BIM-моделей: правильно організована співпраця суміжних фахівців, структурований обмін інформацією та інтеграція вимог до управління об'єктами на ранніх стадіях роботи. Все це знижує витрати, помилки, покращує планувальні

рішення та спрощує питання узгодження та реалізації (рис. 5).

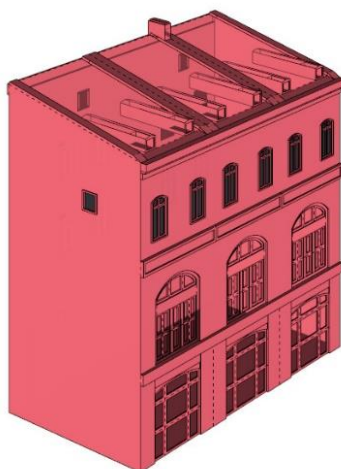


Рис. 5. BIM-модель будинку що потребує реставрації

Розробка інформаційної моделі історичної забудови дозволяє:

- наочно оцінити варіанти проектування;
- виявити колізії;
- оцінити вартість;

– розрахувати об'єми будівельних матеріалів;

- виконати енергетичне моделювання;
- провести ефективний контроль на етапі ремонту та при будівництві (рис. 6).

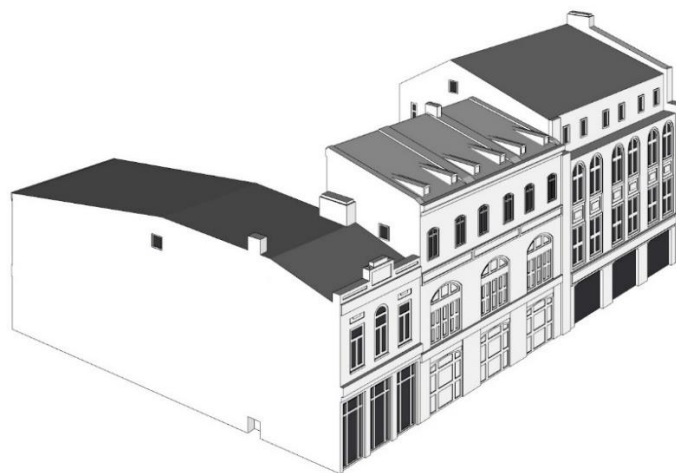


Рис. 6. Графічна візуалізація проекту з відновленим будинком

Висновки. У сучасних військових реаліях, в яких опинилася Україна, впровадження нового програмного забезпечення, яке підтримує технологію BIM, є пріоритетним на етапі реставрації та відновлення будівель, які зазнали руйнувань під час ракетних обстрілів. Це дозволить:

- знизити витрат;
- скоротити затримки на майданчику;

– мінімізувати кількість переробок, зменшити кількість запитів інформації;

– покращити координування на стадії проектування та виконання ремонтних робіт;

– уникнути нарікань замовників, пов'язаних із колізіями у проектній документації;

–спростити процес узгодження проектів;

–перейти до комплексного проектування для ефективної співпраці інженерів різних спеціальностей.

Для історичних будівель важливо зберегти автентичність. Реконструкція фасаду повинна враховувати певні умови, щоб найбільш точно відтворити колишній вигляд. Також фахівці можуть прийняти рішення про фрагментарну реставрацію, для якої характерна відсутність прагнення до стилістичної єдності. В такому випадку доцільно вписати будинок серед існуючої забудови. Тому попередня розробка BIM-моделі виходить на перший план. Якщо ще

до початку реконструкції створити віртуальну модель будівлі, опрацювати фасад та приділити увагу дрібним архітектурним елементам, можна контролювати якість та швидкість ремонтних робіт, мінімізувати можливі помилки та неточності, уникнути дорогих переробок. Усе це призводить до зменшення вартості будівництва. Ретельно продуманий проект реконструкції з використанням BIM-технологій історичних будівель, старих споруд та пам'яток культурної спадщини дозволяє значною мірою оптимізувати витрати не тільки при відновленні споруд а також на стадії експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Євсєєва Г. П., Лисенко Г. І., Волкова С. П. Російсько-українська війна 2022 року : історичні витоки трагедії та уроки для наступних поколінь українців. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 6 (12). С. 45–58.
2. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 33 с. (Державні будівельні норми України).
3. ISO 2394:2015. General principles on reliability for structures. ISO/TC 98/SC 2. Reliability of structures. Warszawa, 2015. 111 p.
4. MEP Engineer Roles and Responsibilities Within Construction Company. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.constructionplacements.com/mep-engineer-roles-responsibilities/> (дата звернення : 11.01.2022).
5. Барабаш М. С., Київська К. І. Використання методів інтеграції для створення узагальненої інформаційної моделі будівельного об'єкта. *Управління розвитком складних систем*. 2016. № 25. С. 114–120.
6. Воробйов В. В., Шило О. С. Особливості стильового поєднання старої та нової архітектури в умовах післявоєнного відновлення міст України. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 2 (08). С. 15–28.

REFERENCES

1. Yevsieieva H.P., Lysenko G.I. and Volkova S.P. *Rosiyis'ko-ukrayins'ka vinya 2022 roku : istorychni vytyky trahediyi ta uroky dlya nastupnykh pokolin' ukrayintsiv* [Russian-ukrainian war of 2022 : historical origins of tragedy and lessons for next generations of ukrainians]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 6 (12), pp. 45–58. (in Ukrainian).
2. DBN V.1.2-14:2018. *Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud* [General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings and civil engineering works]. Publ. offic. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2018, 33 p. (State Building Norms of Ukraine). (in Ukrainian).
3. ISO 2394:2015. General principles on reliability for structures. ISO/TC 98/SC 2. Reliability of structures. Warszawa, 2015, 111 p.
4. MEP Engineer Roles and Responsibilities Within Construction Company [Electronic resource]. URL: <https://www.constructionplacements.com/mep-engineer-roles-responsibilities/> (date of application: 11.01.2022).
5. Barabash M.S. and Kyivska K.I. *Vykorystannia metodiv intehratsii dlia stvorennia uzahalnenoї informatsiinoї modeli budivelnoho obiekta* [The use of integration methods to create a generalized information model of a building object]. *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system* [Management of complex systems development]. 2016, no. 25, pp. 114–120. (in Ukrainian).
6. Vorobiov V.V. and Shylo O.S. *Osoblyvosti styl'ovoho poyednannya staroyi ta novoyi arkhitektury v umovakh pislyavoyennoho vidnovlennya mist Ukrayiny* [Features of style combination for old and new architecture under the post-war reconstruction conditions of Ukrainian cities]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 2 (08), pp. 15–28. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 09.12.2022.