УДК-528.48

BIM-ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ СУПРОВОДУ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

BIM- TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF CONSTRUCTION FACILITIES SUPPORT DURING OPERATION

Басістий В.О., аспірант, ORCID: 0009-0001-6626-5859, **Потєха А. С., аспірант**, ORCID: 0009-0008-8187-1049, **Андрухов В.М., к.т.н., доцент,** ORCID: 0000-0002-4749-8569 (Вінницький Національний Технічний Університет. Теж англійською)

Basisty V.O., graduate student, ORCID: 0009-0001-6626-5859, **Potyeha A. S., graduate student**, ORCID: 0009-0008-8187-1049, **Andrukhov V.M., Ph.D., associate professor,** ORCID: 0000-0002-4749-8569 (Vinnytsia National Technical University)

У статті розглядається актуальна проблема забезпечення ефективного технічного обстеження об'єктів будівництва та надійної експлуатації будівель на основі сучасних цифрових технологій, зокрема на основі концепції інформаційного моделювання будівель (BIM).

The article considers the current problem of ensuring effective technical inspection of construction and operation facilities using modern digital technologies, in particular based on the concept of building information modeling (BIM). Given the need for a systematic assessment of the technical condition of buildings that are in operation, or whose construction is not completed, or which have been damaged as a result of natural disasters, hostilities or man-made accidents, there is a need to implement innovative approaches to inspection, certification and life cycle support of facilities. Particular attention is paid in the study to the analysis of the role of BIM models in the formation of a digital twin of a building, which acts not only as a visualization tool, but also as a full-fledged means of integrated management of the technical condition of the facility. The advantages of implementing BIM in the processes of technical monitoring, planning of repair work, formation of digital technical documentation, as well as ensuring the reliability and relevance of information about the building throughout its life cycle are presented. It is emphasized that the use of BIM in combination with regulatory requirements for technical reports allows for greater accuracy in diagnosing defects and predicting the technical resource of structural elements. As part of the study, an applied assessment of the economic feasibility of using the BIM approach was conducted based on an analysis of the object - the main educational building of Vinnytsia National Technical

University. Comparison of costs for technical inspection and repair work in two scenarios - traditional and BIM-oriented. The results show that early detection of defects and scheduled maintenance allows avoiding significant costs for emergency repairs, where the difference in cost can reach more than 900 UAH/m² for certain types of work. The publication also substantiates the importance of adapting BIM technologies to the current regulatory framework regulating the procedure for inspecting buildings and structures, with due regard to the requirements for technical reports, technical condition certificates and data update regulations.

Ключові слова: моніторинг, BIM-модель, фізичний знос, технічний стан, експлуатація.
monitoring, BIM-model, physical wear, technical condition, operation.

Вступ. Кожен об’єкт будівництва, включаючи будівлі та споруди, вимагає проведення регулярних (планових) і позапланових оглядів та технічних обстежень з метою оцінки його поточного технічного стану, безпечності експлуатації та залишкового ресурсу. Не потрібно забувати про не завершене будівництво, об’єкти у яких закінчився термін експлуатації, будівлі які постраждали від стихійного лиха, результатів військових дій, терактів та такого іншого. Технічне обстеження відбувається в різні способи [1], які враховують конструктивні особливості об’єкта, умови його експлуатації, виявлені дефекти або пошкодження. Формування обґрунтованих висновків за результатами таких обстежень покладається на фахівців, які мають відповідну кваліфікацію та сертифікати, що підтверджують право здійснення експертної діяльності у сфері обстеження об’єктів будівництва [2].

З урахуванням специфіки технічного обстеження об'єктів будівництва, а також потреби у відтворенні або коригуванні первинної проектної документації, особливо у випадках її втрати або невідповідності, впровадження та використання програмних продуктів, що працюють за концепцією інформаційного моделювання будівель (BIM), є надзвичайно актуальним. Застосування BIM-технологій дозволяє забезпечити деталізоване цифрове відтворення конструктивних елементів, ефективне управління інформацією про об'єкт та оптимізацію процесу прийняття технічних рішень. Навіть за умов сприятливого технічного стану споруд, інтеграція BIM-рішень сприяє підвищенню якості обстежень і збереженню актуальної цифрової моделі об'єкта для подальшої експлуатації та реконструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові дослідження та практичні кейси підтверджують, що BIM-технології є ефективними на всіх етапах життєвого циклу будівель — від проектування та будівництва до експлуатації та утилізації [4]. Досвід країн з високими темпами урбанізації (Китай, Індія) свідчить про результативність комплексних цифрових

стратегій, які дозволяють моделювати технологічні етапи будівництва, мінімізуючи ризики.

Цифрові двійники, створені на основі BIM, інтегрують геометричні, конструктивні, часові, фінансові та експлуатаційні параметри об'єкта [5]. Це дає змогу не лише моніторити стан будівлі в режимі реального часу, а й оптимізувати витрати на технічне обслуговування.

Науковий інтерес становить застосування BIM для технічного обстеження та паспортизації технічного стану об'єктів, що дозволяє підвищити точність фіксації дефектів, автоматизувати аналіз і централізовано зберігати актуальні, динамічні дані протягом усього життєвого циклу споруди. Разом з тим, економічна доцільність впровадження BIM має оцінюватися на передпроєктному етапі, враховуючи як витрати на створення моделі, так і довгострокові експлуатаційні вигоди**.**

Мета дослідження. Обґрунтувати доцільність використання BIM-технологій для супроводу безпечної, надійної та економічно ефективної експлуатації будівельних об'єктів на прикладі головного навчального корпусу Вінницького національного технічного університету.

Задачі дослідження:

- Проаналізувати нормативно-правові вимоги до проведення технічних обстежень та паспортизації технічного стану будівель.
- Розробити динамічну базу даних технічного стану (ДБД ТС) у середовищі BIM, відповідно до діючих стандартів.
- Провести порівняльну оцінку витрат на технічне обстеження за традиційним підходом і з використанням BIM-моделі.
- Виконати економічну оцінку впливу профілактичного та аварійного ремонту на експлуатаційні витрати.
- Побудувати прогнозну модель зміни витрат у залежності від обраної стратегії обслуговування.

Результати дослідження. Розглядається існуюча будівля, числова модель якої була відтворена за допомогою BIM-технологій, яка у свою чергу, виступає не лише проектною основою, а й цифровим засобом управління технічним станом об'єкта. Це дозволяє розглядати BIM як інструмент не лише для візуалізації і координації, а й для створення цифрового паспорта технічного стану об'єкта, інтегрованого з аналітичними модулями для прийняття управлінських рішень.

У цілому, при впровадженні BIM-технологій у процес технічного обстеження будівель можливі кілька варіантів реалізації, кожен із яких має свої особливості. Проте для забезпечення ефективної інтеграції цифрових інструментів у практику інженерного обстеження доцільно орієнтуватися на

існуючу нормативно-правову базу [1, 2], яка регламентує порядок проведення інструментального обстеження, методики оцінки технічного стану конструктивних елементів, а також вимоги до оформлення та ведення технічної документації.

Зокрема, значну увагу слід приділяти відповідності створюваних цифрових моделей вимогам до технічного звіту та паспорта технічного стану будівлі, які є обов'язковими результатами обстеження. Згідно з чинними нормами, ці документи мають містити повну та достовірну інформацію щодо поточного стану об'єкта, характеристик його конструктивних елементів, виявлених дефектів, рекомендацій щодо подальшої експлуатації або необхідності проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Відповідно до регламентованих вимог, технічна документація підлягає регулярному оновленню – як правило, не рідше одного разу на п'ять років. У випадках, коли будівля зазнає інтенсивного впливу експлуатаційних або зовнішніх навантажень, або у разі підозри на зниження несучої здатності конструкцій, обстеження можуть проводитися частіше. У цьому контексті BIM-технології дозволяють систематизувати, автоматизувати процес збору, аналізу та зберігання технічних даних, забезпечуючи прозорість, безперервність схеми змін технічного стану об'єкта протягом усього життєвого циклу.

З метою обґрунтування доцільності використання BIM-технологій для супроводу безпечної та надійної експлуатації будівельного об'єкта, виконується порівняльна оцінка вартості реалізації технічного обстеження в декількох варіаціях. Один варіант це традиційні підходи та паперова документація, а інший спосіб це використання BIM-моделі та наповнення спеціально створеної бази даних в середовищі цифрової моделі. В якості об'єкта дослідження обрано головний навчальний корпус Вінницького національного технічного університету, для якого попередньо вже створено інформаційну модель, що уможливлює її використання без додаткових витрат на створення інформаційної моделі в середовищі BIM.

Враховуючи наявність цифрової моделі, у межах цього розрахунку вартість створення BIM-проекту не включається, оскільки ця складова залежить від низки специфічних чинників, зокрема складності об'єкта, стадії життєвого циклу, а також рішень, що приймаються безпосередньо проектувальниками [6]. Основна увага приділяється порівнянню витрат на виконання технічного обстеження, що є критично важливим для прийняття рішень щодо подальшої експлуатації об'єкта.

Для цього розглядаються два сценарії виконання технічного обстеження конструкцій. У першому варіанті передбачається традиційний підхід до формування технічної документації відповідно до чинних нормативів (рис. 1). У другому варіанті застосовується підхід, реалізований на основі BIM із створенням динамічної бази даних технічного стану, розробленої у межах даного дослідження з дотриманням нормативних вимог (рис. 2).

вартості робіт з паспортизації та оцінки технічного стану будівель та споруд
Будівля головного навчального корпусу

Виконано відповідно СОУ Д.1.2-0249543-001:2008 "Нормативи витрат праці для визначення вартості робіт з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд" Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій. 2008 р.

Технічні параметри розрахунку

Найменування робіт *Номера будівель та споруд згідно Технічного завдання*	**Будівельний об'єм, куб. м.**
Будівлі та споруди понад 20000 м3	33 709,90
Разом	**33 709,90**

Найменування робіт	№№ табл.	Одиниця виміру	Кількість од. виміру	Витрати труда (Т) люд.-день		Вартість, грн.
				на од. вим.	разом	
1	2	3	4	5	6	7
1. Візуальне обстеження будівель понад 20000м3 к1= 0 - на будівельний об'єм К= 1 Т=0,7х337,099х1,03х(1+0)х1=243,0484	Табл.7(1)	100 м3 будівлі (споруди)	337,099	1,03	243,0484	328 115,34
2. Складання експертного висновку Т=50х0,54х(1+0)х=27	Табл. 30 (п.4)	1 стор формату А4	50,00	0,54	27,0000	36 450,00
Разом вартість						364 565,34
ПДВ-20%						72 913,07
Всього вартість з ПДВ						437 478,41

Примітка: Вартість 1 люд.-дня прийнято 1350 грн. (Згідно ДСТУ Б Д.1.1-7:2013 дод.ж табл. Ж.3.)
Використан понижуючий коефіцієнт 0,7

Рис. 1. Розрахункова вартість обстеження в традиційний спосіб.

вартості робіт з паспортизації та оцінки технічного стану будівель та споруд
Будівля головного навчального корпусу

Виконано відповідно СОУ Д.1.2-0249543-001:2008 "Нормативи витрат праці для визначення вартості робіт з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд" Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій. 2008 р.

Технічні параметри розрахунку

Найменування робіт *Номера будівель та споруд згідно Технічного завдання*	**Будівельний об'єм, куб. м.**
Будівлі та споруди понад 20000 м3	33 709,90
Разом	**33 709,90**

Найменування робіт	№№ табл.	Одиниця виміру	Кількість од. виміру	Витрати труда (Т) люд.-день		Вартість, грн.
				на од. вим.	разом	
1	2	3	4	5	6	7
1. Візуальне обстеження будівель понад 20000м3 к1= 0 - на будівельний об'єм К= 1 Т=0,7х337,099х1,03х(1+0)х1=243,0484	Табл.7(1)	100 м3 будівлі (споруди)	337,099	1,03	243,0484	328 115,34
2. Складання експертного висновку Т=50х0,54х(1+0)х=27	Табл. 30 (п.4)	1 стор формату А4	50,00	0,54	27,0000	36 450,00
3. Складання програми робіт (формування специфікації) Т=50х0,45х(1+0)х=22,5	Табл. 30 (п.5)	1 стор формату А4	50,00	0,45	22,5000	30 375,00
Разом вартість						394 940,34
ПДВ-20%						78 988,07
Всього вартість з ПДВ						473 928,41

Примітка: Вартість 1 люд.-дня прийнято 1350 грн. (Згідно ДСТУ Б Д.1.1-7:2013 дод.ж табл. Ж.3.)
Використан понижуючий коефіцієнт 0,7

Рис. 2. Розрахункова вартість обстеження із формуванням динамічної бази даних технічного стану.

Вартісні показники, пов’язані із розробкою в середовищі BIM динамічної бази даних, визначені умовно на основі діючих розцінок [4], зокрема з позицією «складання програми робіт» (див. таблицю 30, пункт 5), і відповідають прийнятим методикам розрахунку витрат та складають для даного об’єкта 30,3 тис. грн..

Розрахунок загального економічного ефекту відбувається за формулою:

$$E=B_1-B_0$$

де. B_1 - витрати на експлуатацію будівлі без BIM-моделі, а відповідно і без динамічної бази даних технічного стану;

B_0 - витрати на експлуатацію з BIM-моделлю та із динамічною базою даних технічного стану об’єкта дослідження.

З метою отримання більш повної та об'єктивної оцінки ефективності використання BIM-технологій, у програмному комплексі АВК-5 (версія 3.9.3) було проведено кошторисні розрахунки витрат на ремонт покрівлі будівлі за двома сценаріями: у разі виникнення аварійної ситуації та за умови нормальної експлуатації конструктивного елементу із проведенням поточних ремонтів або обслуговування (таб. 1).

Крім того, розраховано витрати, пов’язані з усуненням вторинних пошкоджень, спричинених затіканням покрівлі, порушенням герметичності інженерних мереж (водопостачання, каналізації, опалення) та замоканням конструкцій. Зокрема, виконано окремі розрахунки ремонту стельового покриття, пошкодженого внаслідок аварії (таб. 1), а також ремонт у випадку штатного режиму експлуатації, періодичного ремонту.

У таблиці 1 представлено результати узагальненої економічної оцінки, яка передбачає порівняння між традиційним підходом до обстеження та ремонту і сценарієм, реалізованим з використанням BIM-технологій. Для уніфікації розрахунків усі витрати були приведені до питомої одиниці – вартості на 1 м².

Таблиця 1.

Розрахунок загального економічного ефекту.

Найменування	B_1, грн	B_0, грн	E, грн
Вартості технічного обстеження за м^2	43,83	47,48	-3,65
Ремонт покрівлі вартість за м^2	885,00	198,00	687,00
Ремонт покриття стелі вартість за м^2	1202,00	275,00	927,00
Усереднене значення витрат за м^2	1043,50	236,5	807,00

У даному дослідженні розглянуто лише приклад локального ремонту окремих конструктивних елементів будівлі, проте аналогічну оцінку можливо застосовувати і до інших елементів конструктивної системи. Слід зазначити, що ушкодження чи аварійний стан однієї частини будівлі здатні провокувати вторинні негативні наслідки для суміжних конструкцій, утворюючи так званий "ланцюговий ефект". Зокрема, у разі несвоєчасного реагування на пошкодження допоміжних елементів, зростає ймовірність виведення з ладу основних несучих конструкцій, що суттєво підвищує

вартість ремонтних робіт і вимагає втручання значно вищого рівня складності.

Як показано в результатах, наведених у таблиці 1, орієнтовна вартість втрат у разі обстеження та використання баз даних може становити лише 3,65 грн/м². У протилежному випадку, коли проводиться аварійний ремонт покрівлі, витрати можуть досягати 885,0 грн/м². Якщо ж усунення причини пошкодження відбувається на ранній стадії при тих самих цінах на матеріали, то витрати становлять близько 189,0 грн/м², як разовий поточний ремонт або обслуговування. Аналогічна ситуація спостерігається і щодо ремонту стелі, яка ймовірно може постраждати внаслідок протікання покрівлі та іншого роду аварійних ситуацій, навіть якщо оздоблювальні роботи були нещодавно завершені. Різниця між вартістю планового ремонту та ремонту після аварії може сягати 927 грн/м², у тому випадку коли конструкція була піддана негативному впливу.

Зважаючи на значення, з урахуванням наближених розрахунків, можна дійти висновку, що інвестиції в завчасне виявлення та усунення дефектів є економічно доцільними. Ілюстративний аналіз на (рис. 3) демонструє, як упродовж кількох років зростає вартість ремонтних заходів залежно від обраної стратегії обслуговування – планової або аварійної. Це надає перевагу BIM-технологіям, що запровадження їх для моніторингу технічного стану дозволяє значно знизити сукупні експлуатаційні витрати завдяки підвищенню точності, оперативності та обґрунтованості управлінських рішень щодо обслуговування будівельного фонду.

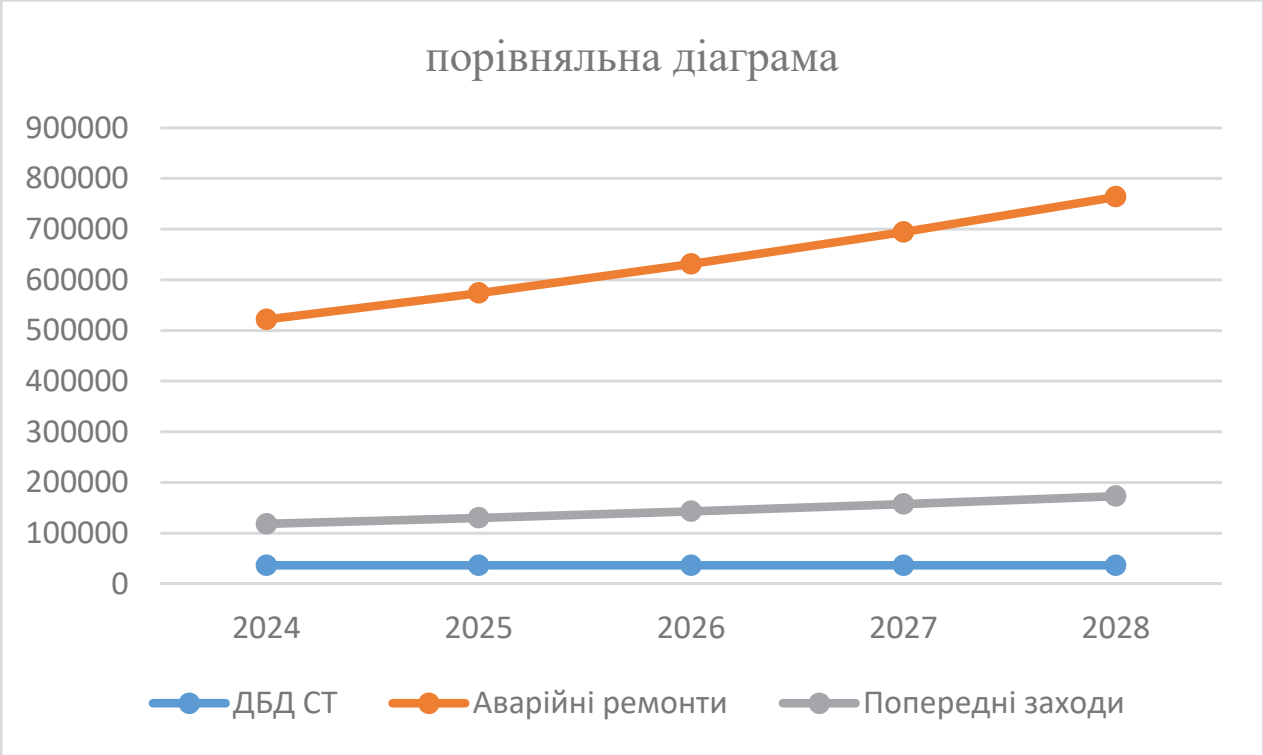

Рис. 3. Діаграма порівняння вартості ремонтів на вартості формування ДБД ТС за допомогою BIM-моделі.

На (рис. 3) подано прогноз динаміки витрат, де вартість формування динамічної бази даних технічного стану визначена для одного періоду технічного обстеження, а сума ремонтних робіт обчислена для третини загальної площі покрівлі відповідно до усереднених значень, наведених у таблиці 1. З урахуванням щорічного зростання цін, індекс інфляції прийнято на рівні 10% для кожного наступного року.

Аналіз показує, що навіть за умови розгляду лише третини площі покрівлі, витрати на аварійне усунення пошкоджень можуть бути щонайменше у 16 разів вищими порівняно з витратами, пов'язаними з впровадженням системного моніторингу на основі BIM-технологій. Такий розрив у показниках підтверджує економічну доцільність профілактичного підходу до системного обслуговування під час експлуатації.

Відповідно до чинного нормативного регламенту, технічне обстеження має проводитися не менше одного разу на п'ятирічний період. У між обстежувальний термін, у разі виникнення підозр на погіршення технічного стану конструкцій, уповноважені особи з технічного обслуговування можуть вносити доповнення до ДБД ТС за результатами додаткових (позапланових) оглядів. Водночас залучення фахівця для актуалізації цифрової моделі або заповнення відповідних даних не повинно призводити до витрат, що перевищують вартість ліквідації наслідків аварійних пошкоджень.

Висновки: Переваги BIM-технологій полягають в наступному: впровадження BIM у процеси технічного обстеження та експлуатації дозволяє не лише підвищити точність, структурованість і актуальність даних про технічний стан об'єкта, а й оптимізувати витрати часу та ресурсів. Крім того, інформаційна модель забезпечує інтеграцію результатів обстеження в цифрове середовище, що відкриває можливості для автоматизації процесів аналізу, прогнозування часових рамок термінів фізичного зносу конструкцій, планування ремонтних заходів, а також формування нормативно обґрунтованих звітів для подальшого прийняття управлінських рішень. Таким чином, BIM-технології відіграють ключову роль у переході від фрагментарного документального супроводу до цифрового управління експлуатацією будівель.

Результати проведеного дослідження свідчать про доцільність та високу ефективність впровадження BIM-технологій у процеси технічного моніторингу та експлуатаційного супроводу будівель. Порівняльний аналіз витрат, виконаний на прикладі локального ремонту покрівлі та стелі, підтверджує значну різницю між витратами на аварійне усунення наслідків пошкоджень та витратами на планове технічне обстеження із використанням ДБД ТС. Зокрема, економічний ефект при завчасному виявленні дефектів (на реалізацію профілактичних заходів), як правило суттєво перевищує витрати на реалізацію ремонтно-відновлювальних заходів при аварійному проявленню дефектів в декілька разів.

Таким чином, впровадження BIM-технологій не лише сприяє підвищенню якості управлінських рішень у сфері експлуатації будівельного фонду, але й дозволяє суттєво знизити загальні витрати, забезпечуючи надійність та безпеку експлуатації.

1. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість - [Чинний від 2024—01—09] . — К. : ДП «УкрНДНЦ», 2024. - , 78 с..

DSTU 9273:2024 Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichnyi opir ta stiikist - [Chynnyi vid 2024—01—09] . — K. : DP «UkrNDNTs», 2024. - , 78 s..

2. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2-14:2018 - [Чинний від 2018—08—02] . — К. : Держспоживстандарт України, 2018. - , 30 с. — (Національний стандарт України).

Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud: DBN V.1.2-14:2018 - [Chynnyi vid 2018—08—02] . — K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2018. - , 30 s. — (Natsionalnyi standart Ukrainy).

3. СОУ Д.1.2 - 02495431 - 001: 2008. Нормативи витрат труда для визначення вартості робіт з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд. Науково-технічної ради від 02.06.2008 р. №62. Київ 2008р.

SOU D.1.2 - 02495431 - 001: 2008. Normatyvy vytrat truda dlia vyznachennia vartosti robit z otsinky tekhnichnoho stanu ta ekspluatatsiinoi prydatnosti konstruktsii budivel i sporud. Naukovo-tekhnichnoi rady vid 02.06.2008 r. №62. Kyiv 2008r.

4. Терентьєв О.О. Інтегровані моделі і методи автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель: Дис., канд. інф. тех. наук: 05.13.06. КНУБА. Київ, 2016. – 328с.

Terentiev O.O. Intehrovani modeli i metody avtomatyzovanoi systemy diahnostyky tekhnichnoho stanu budivel: Dys., kand. inf. tekh. nauk:05.13.06.KNUBA.Kyiv,2016.–328s.

5. Андрухов В. М. Про один з можливих варіантів запровадження вім-технологій в практику моделювання будівельних об’єктів В. М. Андрухов, В. В. Матвійчук . Будівельні конструкції. – 2018. – № 2. – С. 19-24.

Andrukhov V. M. Pro odyn z mozhlyvykh variantiv zaprovadzhennia vim-tekhnolohii v praktyku modeliuvannia budivelnykh obiektiv V. M. Andrukhov, V. V. Matviichuk . Budivelni konstruktsii. – 2018. – № 2. – S. 19-24.

6. В.М. Андрухов, А.С. Потєха, В.О. Басістий, Комплексна оцінка доцільності використання BIM технологій для будівельного проекту. Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». Вінниця 2024р. с.161-165.

V.M. Andrukhov, A.S. Potiekha, V.O. Basistyi, Kompleksna otsinka dotsilnosti vykorystannia BIM tekhnolohii dlia budivelnoho proektu. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi». Vinnytsia 2024r. s. 161-165

7. В.О. Басістий, В.М. Андрухов, Організація процесу експлуатації будівель та систематизація результатів моніторингу з використання інформаційних технологій на базі розробок AUTODESK. Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р.(7)

V.O. Basistyi, V.M. Andrukhov, Orhanizatsiia protsesu ekspluatatsii budivel ta systematyzatsiia rezultativ monitorynhu z vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii na bazi rozrobok AUTODESK. Materialy LIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 20-22 bereznia 2024 r.(7)