УДК 624.21
UDC 624.21
DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-038-050

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ БУДІВЕЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (BIM-ТЕХНОЛОГІЙ)

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF TRANSPORT STRUCTURES DESIGNING USING BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES (BIM TECHNOLOGIES)

Медведєв Костянтин Володимирович, *кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kvmedvediev@gmail.com*
https://orcid.org/0000-0002-0704-7093

Дударенко Олександр Вікторович*, магістр, директор ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: alexandr.dudarenko@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-9726-2839

Гальченко Олексій Михайлович*, магістр, головний інженер проєктів ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: galchenko1989@gmail.com
https://orcid.org/0009-0000-4002-1082

Новіков Михайло Михайлович, *спеціаліст, BIM-менеджер ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: nov.mih.mih@gmail.com
https://orcid.org/0009-0008-6459-3745

Марченко Артем Михайлович, *спеціаліст, головний інженер проєктів ТОВ «Валбек», Київ, Україна,*
e-mail: amarchenko1992@gmail.com
https://orcid.org/0009-0005-2862-838X

Анотація. У статті розглянуто проєктування транспортних споруд з використанням BIM-технологій. В Україні, як і в усьому світі, мостові споруди потребують постійного моніторингу, ремонту та реконструкції. Застосування сучасних технологій, таких як BIM (Building Information Modeling), може значно підвищити ефективність та якість цих процесів.

Ця стаття досліджує можливість використання BIM-технологій у розробленні проєктної документації для будування, відновлення, капітального ремонтування та реконструювання мостів. У

статті розглянуто інструменти програмного забезпечення, надано інформацію про їхні функціональні можливості та доцільність застосування, а також наведено рекомендації щодо вибору програмного забезпечення для конкретних проєктів.

У статті проаналізовано успішний кейс впровадження BIM розроблення проєкту реконструкції мосту. Наведено проблеми та виклики, з якими стикаються українські фахівці, а також надано рекомендації щодо подолання цих проблем та більш ефективного використання BIM-технологій.

Маємо сподівання, що ця стаття сприятиме підвищенню обізнаності українських фахівців про переваги та можливості використання BIM-технологій у проєктуванні мостів, стане стимулом впровадження BIM в українських проектах, сприятиме розвитку BIM-компетенцій українських проєктувальників, а також допоможе інтегрувати українську галузь транспортного будівництва у світовий ринок, підвищуючи її конкурентоспроможність на світовому ринку.

Крім того, стаття надає детальний огляд нормативно-правових аспектів впровадження BIM в Україні, а також можливих напрямків вдосконалення законодавства для сприяння широкому застосуванню цих технологій.

Ця робота сприятиме не лише технічному прогресу, а й зміцненню позицій української інженерної спільноти на міжнародній арені.

Ключові слова: проєктування мостів, цифрова модель, інформаційне моделювання, BIM-технології, мостові конструкції, оформлення проєктної документації.

Вступ. Новітня будівельна індустрія стрімко еволюціонує, впроваджуючи нові технології та методи для оптимізації проєктування та будівництва. Одним з найактуальніших трендів наразі є BIM (Building Information Modeling) – інформаційне моделювання будівель. Цей інноваційний підхід виходить за межі традиційного 2D-креслення, створюючи комплексну 3D-модель, що інтегрує всі аспекти проєкту, від геометрії та характеристик матеріалів до детальної проєктної документації, кошторисних розрахунків та навіть віртуальних турів по готовому об'єкту.

Процес інформаційного моделювання охоплює всі етапи життєвого циклу об'єкта, від планування та технічного завдання до експлуатації, ремонту та навіть демонтажу. Протягом усього життєвого циклу об'єкта учасники будівельного процесу працюють в єдиному інформаційному просторі з бібліотеками елементів промислового, цивільного та навіть транспортного будівництва. Інформаційна модель є динамічною, і зміни до неї можуть вноситися на будь-якій стадії всіма учасниками процесу.

Виклад основного матеріалу. Попри те, що постановою Верховної Ради України [1] Законопроєкт щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) було прийнято лише за основу та ще не імплементовано повною мірою, широке впровадження інформаційних інноваційних технологій у сфері транспортного будівництва та і будівництва в цілому є лише питанням часу. Про це свідчить, зокрема, прийняття протягом 2022-2024 років низки державних стандартів і навіть Законів України, де вже згадується та регулюється область інформаційного моделювання в будівництві.

Згідно з опитуванням, проведеним у 2021 році компанією Autodesk, 63% респондентів з України повідомили, що їхні компанії вже використовують BIM-технології в тій чи іншій формі при підготовці проєктної документації. Проте, можна з упевненістю констатувати, що частка організацій у сфері транспортного будівництва є значно меншою. Для порівняння, у США та Канаді кількість

фахівців, які вже мали позитивний досвід використання BIM-технологій у 2012 році становив 83%, а кількість тих що були готові використовувати ці технології в майбутньому – 93% [2].

Важливо зазначити, що використання BIM-технологій в Україні постійно зростає [3, 4]. Це пов'язано з багатьма факторами, такими як:

- зростання усвідомлення переваг BIM. Все більше компаній розуміють, що BIM може допомогти їм економити час, ресурси та покращити якість проєктів;

- підтримка з боку уряду. Уряд України вживає заходів для стимулювання використання BIM в будівельній галузі;

- зростання доступності BIM-інструментів. На ринку стає все більше доступних BIM-інструментів, що робить BIM більш доступним для компаній різного розміру.

Європейський Союз активно підтримує впровадження BIM-технологій у будівельній галузі. У 2014 році Європейська комісія опублікувала "План дій щодо BIM", який ставить за мету зробити BIM стандартною практикою в ЄС до 2025 року [5, 6]. BIM-технології на цей час набувають значного впровадження на державному рівні у більшості розвинених країн світу прощо свідчить мапа наведена на рисунку 1.

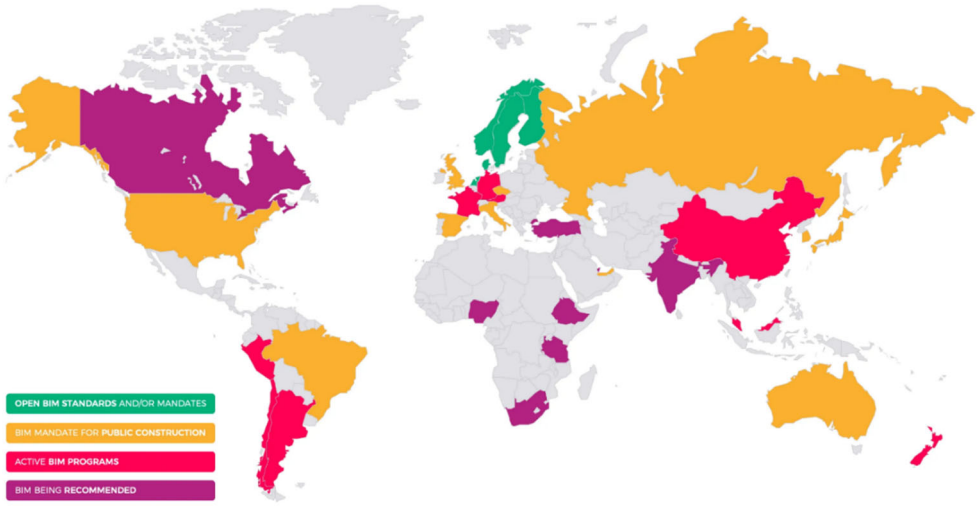

Рисунок 1 – Мапа стану впровадження BIM-технологій на державному рівні у світі.
Figure 1 – Map of the implementation of BIM-technologies at the state level in the world.

В Україні також зростає усвідомлення переваг BIM. У 2021 році було схвалено Концепцію впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затверджено план заходів з її реалізації, яким чітко прописано порядок дій та план реалізації цієї Концепції. Це свідчить про прагнення України до впровадження європейських стандартів та кращих будівельних практик.

Таким чином, хоча й немає чітких даних про те, скільки компаній в транспортному чи іншому секторі будівництва в Україні використовують BIM-технології, можна з впевненістю сказати, що їх використання постійно зростає**.**

Переваги BIM-технологій. Стандарт ISO 19650 дає наступне визначення «Інформаційне моделювання будівель/споруд (BIM, Building Information Model або Building Information Modeling) – це процес створення та управління інформацією про будівлю, що використовується для підтримки прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу проєкту, від початкової концепції до зносу. На основі

цифрової моделі організовується робота всіх учасників будівельного та експлуатаційного процесу (замовник, проєктувальник, підрядник, експлуатаційна організація та ін.).

В основі BIM-технологій лежать тривимірні моделі проєктованих об'єктів. Наявність єдиної цифрової моделі об'єкта може стати базою для подальшої цифровізації. За даними розробників та стейкхолдерів [7, 8, 9], BIM-технології мають ряд переваг, які роблять їх цінним інструментом для учасників будівельного процесу на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. BIM також надає ряд інших переваг:

- *зниження витрат.* Автоматизація рутинних завдань, раннє виявлення та усунення помилок, краща координація та планування – все це веде до суттєвого скорочення загальних витрат на проєкт. Дослідження обґрунтовують цю тезу: згідно з даними McKinsey Global Institute, BIM може економити до 20% загальних витрат на будівництво;

- *покращення якості.* BIM дає можливість візуалізувати проєкт у деталях, що дозволяє виявити та виправити помилки, неточності та неузгодженості на ранніх стадіях. Це гарантує вищу якість проєктної документації та, відповідно, кращий результат будівництва.

- *підвищення гнучкості*. BIM дозволяє легко вносити зміни до проєкту, що дає можливість адаптуватися до нових вимог або умов. Це робить проєкти більш гнучкими та стійкими до змін;

- *ефективна співпраця*. BIM створює єдине середовище для обміну інформацією між усіма учасниками проєкту, що покращує співпрацю та комунікацію, а також мінімізує ризик непорозумінь. Дослідження Stanford University показало, що BIM може на 35% покращити координацію та співпрацю на будівельному майданчику;

- *підвищення екологічної стійкості*. BIM дозволяє моделювати енергоефективність та екологічність проєкту, що може допомогти зменшити його вплив на навколишнє середовище. За оцінками міжнародної вченої спільноти, BIM може на 10-30% знизити викиди парникових газів від будівництва.

Вищенаведені переваги наведено в роботах[10, 11, 12] та проілюстровано на рисунках 2 та 3.

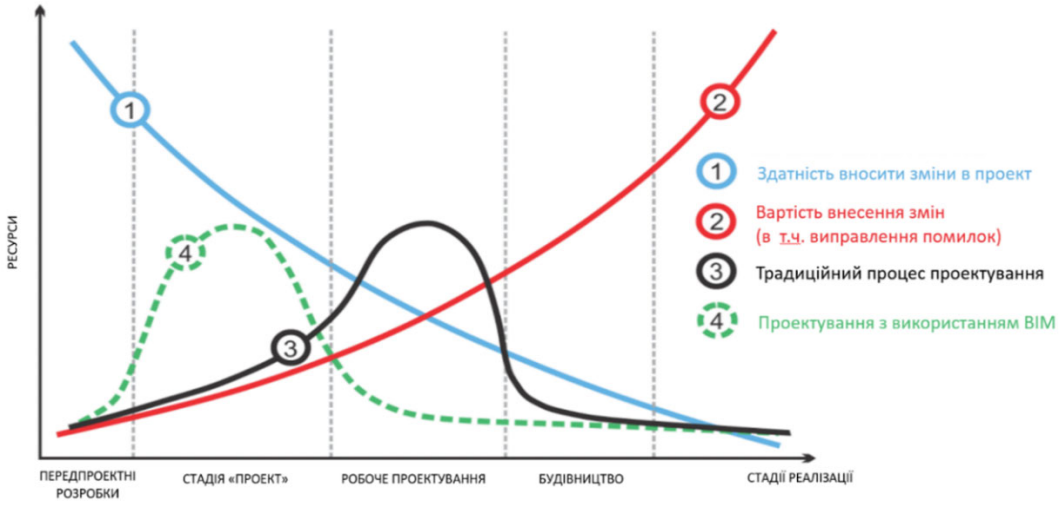

Рисунок 2 – Графік залежності витрат ресурсів від часу при класичному підході до проєктування та проєктування з використанням BIM-технологій.

Figure 2 – Graph of the dependence of resource costs on time with the classical approach to design and design using BIM technologies.

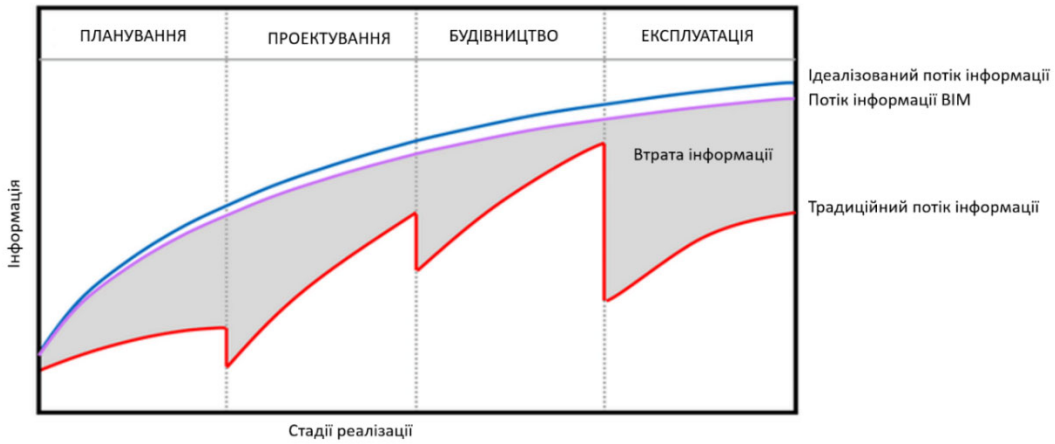

Рисунок 3 – Графік втрат інформації під час реалізації об'єкту при класичному підході до проєктування та проєктування з використанням BIM-технологій.

Figure 3 – Graph of information loss during the implementation of the object with the classical approach to design and design using BIM technologies.

BIM – це не просто візуальне представлення проєкту. Це динамічне середовище, що постійно оновлюється, де всі учасники будівельного процесу мають доступ до єдиного джерела інформації. Це дозволяє їм ефективно координувати роботу, мінімізувати ризик помилок та приймати обґрунтовані рішення на кожному етапі проєкту.

Досвід використання BIM-моделювання в процесі проєктування мосту. З метою забезпечення функціонування транспортного сполучення у прифронтових регіонах авторами було виконано проєктні роботи з капітального ремонтування та реконструювання мостів на автомобільних дорогах України із застосуванням BIM-моделювання. Виконання проєктних робіт класичними методами потребують удосконалення та оптимізації для покращення якості та продуктивності проєктних робіт. Спираючись на досвід світових та загальноєвропейських практик, автори прагнули до вдосконалення та покращення процесу проєктування об'єктів інфраструктури. З цією метою було проведено експерементальне проєктування - дослідження з використанням BIM-технологій.

Метою цього дослідження було визначення можливості використання BIM-технологій, знань українських фахівців та наявність людських ресурсів на українському ринку праці для можливості проєктування мостів за допомогою BIM.

Обране програмне забезпечення за допомогою, якого виконувалось безпосередньо моделювання та проєктування це ліцензійні продукти компанії Autodesk, а саме Revit, AutoCAD, Construction Cloud. В даному дослідженні не розглядались кошторисна та текстова частини проєкту.

Для аналізу було обрано проєкт відновлення зруйнованого мосту в Херсонській області завдовжки 109,0 м. На цій ділянці, параметри дороги в цілому відповідають нормам IV технічної категорії, за винятком місця зруйнованого мосту внаслідок проведення бойових дій військової агресії російської федерації проти України (рисунок 4).

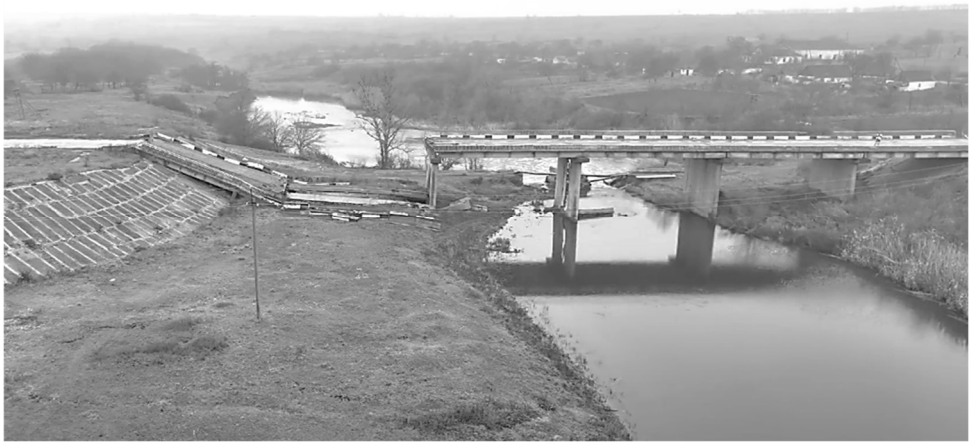

Рисунок 4 – Загальний виглад зруйнованого мосту в Херсонській області.
Figure 4 – General view of destroyed bridge in Kherson region.

Виконання проєктної документації охоплювало такі стадії роботи:
- моделювання існуючої поверхні землі;
- моделювання конструкцій мосту;
- моделювання армування конструкцій;
- оформлення креслень;
- випуск проєктної документації.

Моделювання існуючої поверхні. Цифровізація існуючої поверхні землі виконувалось на основі хмари просторових точок засобами Autodesk Revit. Хмара просторових точок, що лежить в основі моделі, була отримана шляхом наземної геодезичної зйомки. Це забезпечило високу точність даних про рельєф місцевості. Координатний файл .dwg, що містив точки, був імпортований в Autodesk Revit. Перед імпортом дані були очищені від дублюючих точок, та помилок, а також перевірені атрибути, такі як тип точки та точність вимірювання. Для генерування об'ємної поверхні використовувався метод тріангуляції Делоне. Цей алгоритм дозволив створити 3D-модель з високим рівнем деталізації (LOD 0.1 м), що враховувала особливості рельєфу, такі як укоси, виїмки та водостоки (рисунок 5).

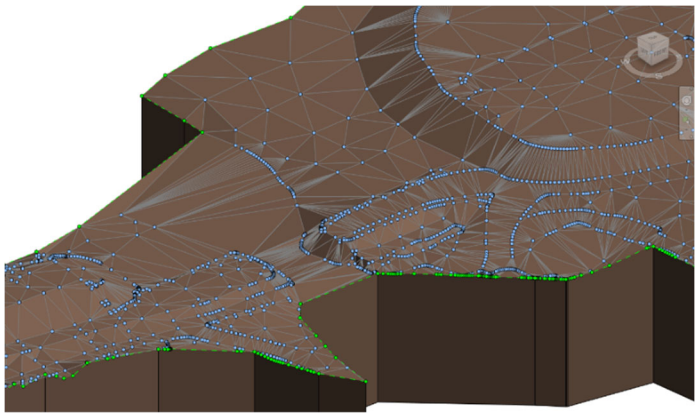

Рисунок 5 – Модель існуючої поверхні землі в зоні проєктування мосту.
Figure 5 – Model of the existing land surface in the bridge design area.

3D-модель поверхні була візуалізована в Revit за допомогою різних методів, включаючи 3D-модель, ізолінії та кольорову карту висот. Це дозволило наочно представити рельєф місцевості та виявити характерні зони. Для валідації моделі поверхні було проведено зворотне накладання моделі на топографічну зйомку та вибірковий контроль координат та положень об'єктів. Це підтвердило точність та правдивість моделі поверхні.

Використання Autodesk Revit для моделювання топографічної поверхні виявило ряд переваг:

- точність. Revit використовує алгоритми, що гарантують точне моделювання рельєфу місцевості, а отже дозволяють чітко визначити баланс земляних мас для будівництва;
- гнучкість. Модель можна легко модифікувати та доповнювати відповідно до потреб проєкту;
- наочність. 3D-візуалізація дає чітке уявлення про рельєф місцевості з відображенням характерних місць та змін рельєфу.

Моделювання конструкцій мосту. Моделювання конструкцій температурно-нерозрізного мосту виконувалось в програмі Autodesk Revit. Спочатку було адаптовано вісь автомобільної дороги. На основі цієї вісі було створено модель прогонової будови та основи мостового полотна. Наступним кроком стало моделювання опор мосту, які є основними несними елементами мосту враховуючи їх геометрію та матеріали. Для забезпечення плавного сполучення мосту з підходами були змодельовані відповідні сполучні елементи, включаючи деформаційні шви та перехідні плити. Завершальним етапом стало моделювання всіх елементів мостового полотна, таких як перильне та бар'єрне огородження, деформаційні шви, дорожнє покриття та інші.

Для використання точних та інформативних вузлів типових елементів мосту використовувалися моделі з двох джерел. Бібліотека проєктних рішень компанії: ця бібліотека містить параметричні моделі, розроблені та використовувані в попередніх проєктах, що забезпечує відповідність стандартам та нормам компанії. Бібліотеки стандартних рішень виробників продукції – з цих бібліотек були взяті типові елементи, розроблені та надані виробниками будівельних матеріалів, що гарантувало їхню відповідність реальним характеристикам.

Візуальне представлення цифрових моделей елементів мосту наведено на рисунку 6.

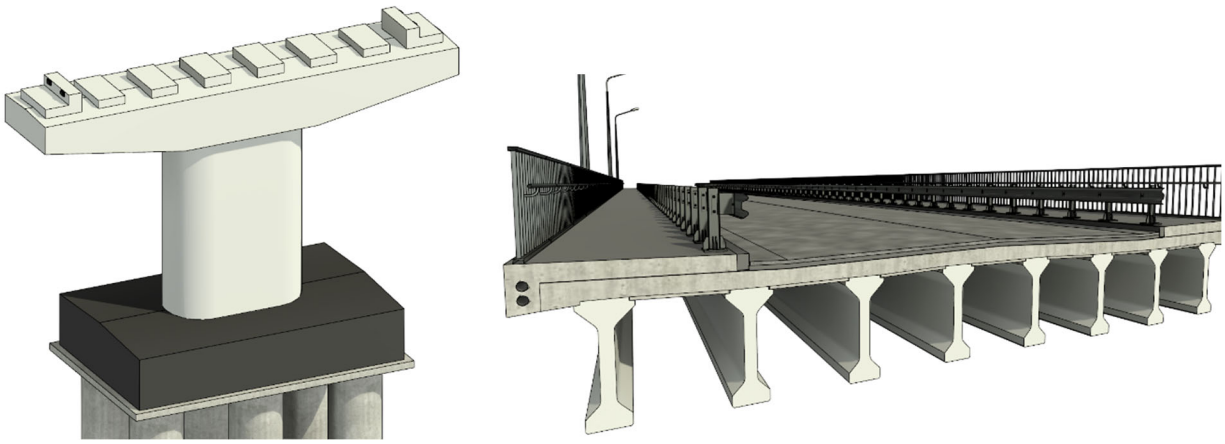

Рисунок 6 – Візуальне представлення цифрових моделей елементів мосту.
Figure 6 – Visual presentation of bridge elements digital models.

Кожному елементу мосту було присвоєно ряд необхідних параметрів, таких як категорія елемента, матеріал, метод підрахунку, метод відображення та інші. Ці параметри використовувалися не лише для автоматизації оформлення креслень та специфікацій, але й для розрахунку обсягів робіт. Під час розрахунку обсягів робіт використовувалися як стандартні методи, вбудовані в Revit, так і власні формули підрахунку на основі параметрів елементів. Це дозволило отримати точні та надійні дані, необхідні для планування та бюджетування будівництва мосту.

Моделювання армування конструкцій. Армування залізобетонних конструкцій є невід'ємною частиною проєктування та будівництва мостів, адже саме воно забезпечує міцність та стійкість всієї споруди. Точний розрахунок та розміщення арматурних елементів – це ключові фактори, які впливають на якість та економічність проєкту. Autodesk Revit має можливості для створення інструментів моделювання та специфікації арматурних елементів (рисунок 7).

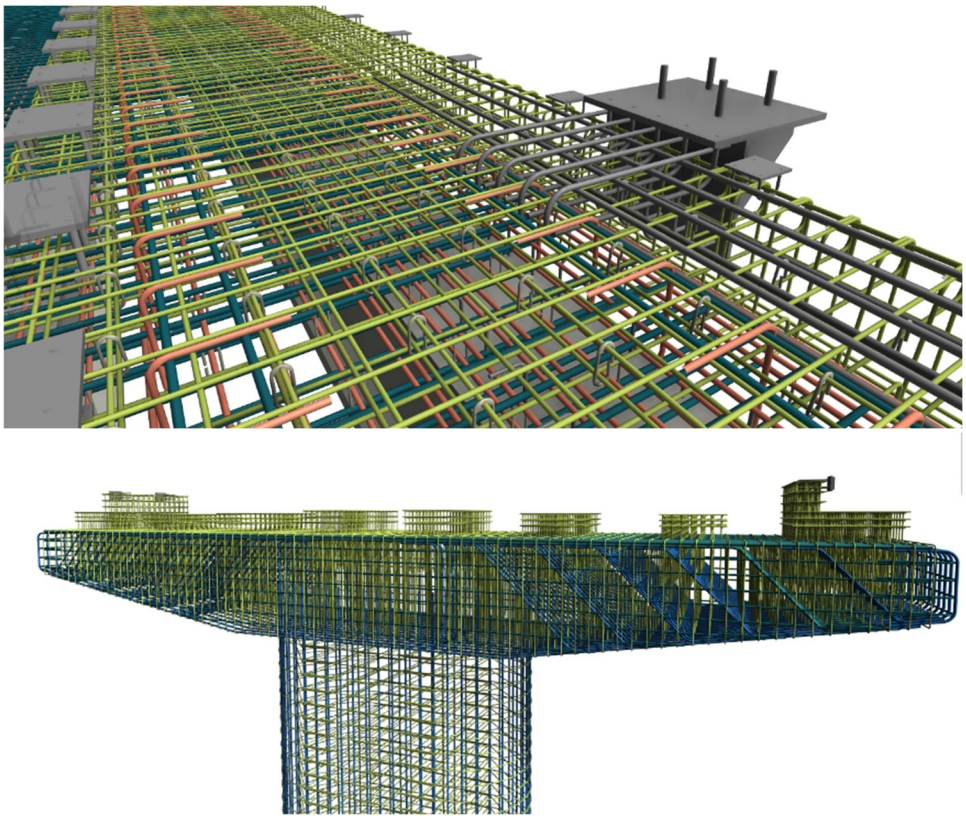

Рисунок 7 – Візуальне представлення армування конструкцій мосту.
Figure 7 – Visual presentation of bridge elements reinforcement.

Процес армування температурно-нерозрізного мосту містив кілька етапів. Для армування всіх елементів мосту використовувалися просторові каркаси, які були змодельовані за допомогою інструментів Revit. Цей метод забезпечив точність та наочність армування. Для типових елементів мосту, таких як відкрилки та стійки опор, були створені шаблони арматурних елементів. Це дозволило економити час та мінімізувати ризик помилок, адже повторювані елементи армувалися за однаковим принципом. Revit автоматично, на основі попередньо заданих алгоритмів, генерував специфікацію

арматури, яка містила всю інформацію про кількість, діаметр та клас арматурних стержнів. Це дало чітке уявлення про загальний обсяг арматури, необхідної для реалізації проєкту.

У цьому проєкті армування було виконано на основі інструментів Revit. Це дозволило створити точні та інформативні моделі арматурних вузлів та окремих стержнів, які спростили процес прийняття проєктних рішень та пришвидшили складання специфікацій.

Оформлення креслень. Для оформлення проєктної документації температурно-нерозрізного мосту було використано попередньо створений шаблон. Шаблон був попередньо налаштований відповідно до стандартів оформлення конструкторської документації, що гарантувало відповідність креслень всім вимогам щодо стилю ліній, шрифтів та тексту, позначень, відміток та специфікацій.

Оформлення елементів та вузлів конструкції мосту і в Autodesk Revit наведено на рисунку 8.

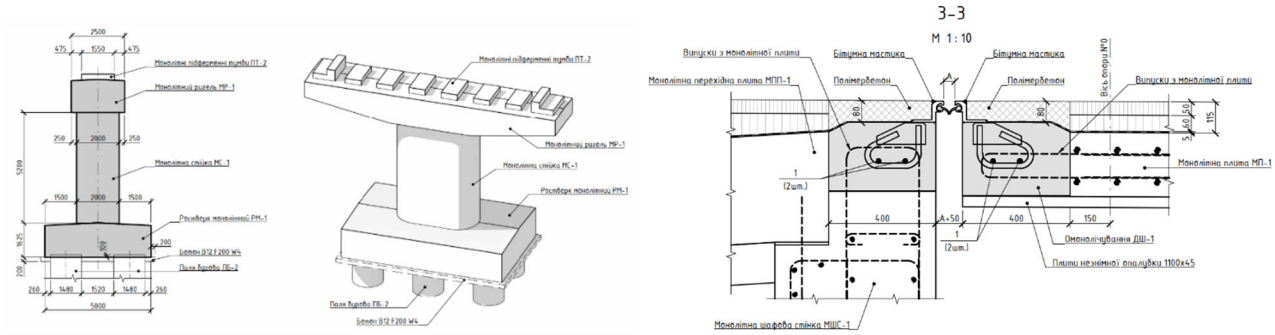

Рисунок 8 – Елементи та вузли конструкції мосту оформлені в Autodesk Revit.
Figure 8 – Bridge structure elements and details drawn up in Autodesk Revit.

Також використання інформаційної моделі наповненої необхідними параметрами та автоматизація оформлення креслень в Revit дало ряд суттєвих переваг при створенні робочої документації. Всі креслення проєкту мосту мали однаковий стиль оформлення, що зробило їх візуально привабливими, чіткими та зручними для сприйняття. Використання шаблону асоціативних видів моделі дозволило проєктувальникам не витрачати час на рутинні налаштування елементів оформлення та викреслювання одних і тих самих елементів для кожного креслення окремо.

Випуск проєктної документації. Для випуску проєктної документації відновлення мосту було використано сервіс Construction Cloud від Autodesk (ACC). Централізоване зберігання даних в ACC дало можливість, до 20 учасникам проєкту з різними рівнями доступу та компетенціями, працювати з однією й тією ж версією актуальної та повної моделі. Це дозволило зекономити час, адже учасникам не довелось витрачати його на пошук та обмін паперовими документами.

Версійний контроль ACC автоматично зберігав історію змін проєктної документації, щоб відстежувати всі внесені правки та повертатися до попередніх версій моделі та креслень, якщо це необхідно. Це гарантувало, що всі учасники проєкту працюють з найактуальнішою інформацією, що значно знижує ризик помилок та непорозумінь.

Інтерфейс робочого простору програмного забезпечення Autodesk Construction Cloud наведено на рисунку 9.

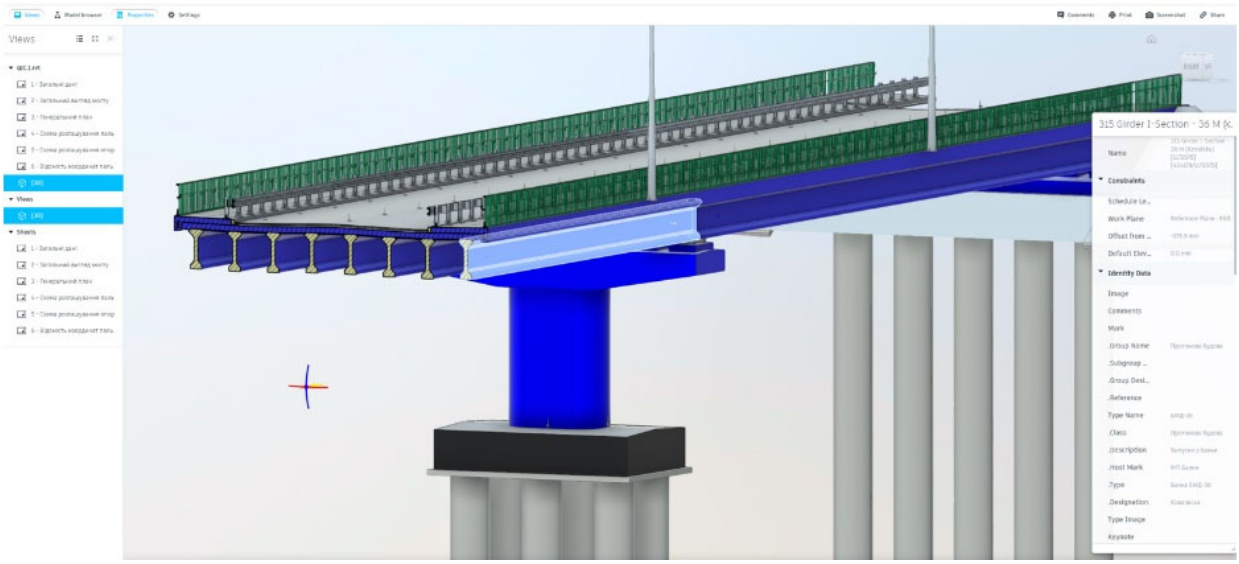

Рисунок 9 – Інтерфейс робочого простору програмного забезпечення Autodesk Construction Cloud.

Figure 9 – Workspace interface of software Autodesk Construction Cloud.

Висновки. Досвід роботи над проєктом відновлення мосту з використанням BIM-технологій у першу чергу показав, що станом на сьогодні можливо виконувати якісно проєктну документацію з використанням технологій інформаційного моделювання та з урахуванням національних нормативних документів з розроблення проєктної документації. Слід відмітити, що проведене дослідження в сфері транспортного проєктування, показало нові можливості для оптимізації процесу проєктування, підвищення його ефективності та якості.

Дослідження виявило такі переваги використання BIM-технологій:

- *централізоване сховище та синхронізація даних* - вся інформація про проєкт доступна всім учасникам в режимі реального часу, що гарантує чітку координацію дій та узгодженість рішень. BIM-модель є платформою для спільної роботи та обміну інформацією між всіма учасниками проєкту;

- *точність проєктної документації* - BIM-модель дає можливість генерувати креслення та специфікації на основі єдиного джерела даних - моделі, що мінімізує ризик помилок;

- *виявлення та усунення помилок на ранніх стадіях* - BIM-модель дозволяє виявляти та усувати колізії та помилки на ранніх стадіях проєктування, що значно економить час та ресурси на їх виправлення на пізніх стадіях реалізації проєкту;

- *підвищення якості проєктування та будівництва* - завдяки BIM-технологіям можна створювати більш зрозумілі та детальні проєкти, що гарантує кращу якість будівництва.

Технології будівельно-інформаційного моделювання стають незамінним інструментом для проєктування складних інфраструктурних об'єктів, таких як мости. Їхнє використання гарантує чіткий зв'язок між проєктною документацією, 3*D*-моделлю та реальним об'єктом, що значно економить час та покращує ефективність проєктування та будівництва.

Перелік посилань

1. Постанова Верховної Ради України від 08.07.2022 № 2364-IX – «Про прийняття за основу проекту Закону України про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об'єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в експлуатацію в установленому законодавством порядку», 2022.

2. Neelamkavil, J.; Ahamed, S. S. The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction.: National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction, 2012.

3. Концепція впровадження BIM – Будівельного Інформаційного моделювання в Україні / Під ред. О. Чеверда.: проєкт ЄС "Допомога органам влади України в удосконаленні менеджменту циклом інфраструктурного проєкту", 2019.

4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 №152-р – Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації.

5. Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public Tenders / European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), 2021.

6. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector / EU BIM Task Group, 2018.

7. Семерей В.В., Задорожнікова І. В., к.т.н., доц. BIM-технології в проектуванні.: "Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві", випуск 7, 2017.

8. Yulin Luo. BIM for Bridge Design.: IABSE Guangzhou, 2016.

9. Markus Nöldgen. BIM in Bridge and Infrastructure Design.: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.

10. Matti-Esko Järvenpää. Use of BIM in design and construction of Chenab bridge in India.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

11. Matti-Esko Järvenpää. BIM automation in segmental bridges using parametric modelling application cases in Perú.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

12. Federal Highway Administration1200 New Jersey Ave., SE Washington, DC 20590 - https://www.fhwa.dot.gov/bridge/bim/

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF TRANSPORT STRUCTURES DESIGNING USING BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES (BIM TECHNOLOGIES)

Kostiantyn Medvediev, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: kvmedvediev@gmail.com, +380442807978, https://orcid.org/0000-0002-0704-7093.

Oleksandr Dudarenko, Master's dergree, Director of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: alexandr.dudarenko@gmail.com, +380931881553, https://orcid.org/0009-0004-9726-2839.

Oleksii Galchenko, Master's dergree, Chief project engineer of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: galchenko1989@gmail.com, +380634060617, https://orcid.org/0009-0000-4002-1082.

Mykhailo Novikov, Bachelor's dergree, BIM-manager of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: nov.mih.mih@gmail.com, +380937564012, https://orcid.org/0009-0008-6459-3745.

Artem Marchenko, Bachelor's dergree, Chief project engineer of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: amarchenko1992@gmail.com, +380634399121, https://orcid.org/0009-0005-2862-838X.

Summary. The experience of working on the bridge rehabilitation project using BIM technologies has primarily shown that today it is possible to perform high-quality design documentation using information modeling technologies and taking into account national regulations for the development of design documentation. It should be noted that the research in the field of transport design has shown new opportunities for optimizing the design process, improving its efficiency and quality.

The study revealed the following benefits of using BIM technologies:

- centralised data storage and synchronisation - all project information is available to all participants in real time, which guarantees clear coordination and consistency of decisions. The BIM model is a platform for collaboration and information exchange between all project participants;

- accuracy of project documentation - the BIM model makes it possible to generate drawings and specifications based on a single data source - the model, which minimises the risk of errors;

- detection and elimination of errors at early stages - the BIM model allows you to identify and eliminate conflicts and errors at the early stages of design, which significantly saves time and resources for their correction at later stages of project implementation;

- improving the quality of design and construction - BIM technologies can create more understandable and detailed designs, which guarantees better construction quality.

Building information modelling technologies are becoming an indispensable tool for designing complex infrastructure facilities such as bridges. Their use guarantees a clear link between the design documentation, the 3D model, and the real object, which significantly saves time and improves design and construction efficiency.

Keywords: bridge design, digital model, information modelling, BIM technologies, bridge structures, design documentation.

References

1. Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine dated 08/07/2022 №2364-IX – «Про прийняття за основу проекту Закону України про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об'єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в експлуатацію в установленому законодавством порядку», 2022.

2. Neelamkavil, J.; Ahamed, S. S. The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction.: National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction, 2012.

3. Concept of implementation of BIM - Building Information Modeling in Ukraine / Ed. O. Cheverda.: EU project "Assistance to authorities of Ukraine in improving infrastructure project cycle management", 2019.

4. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 17.02.2021 No. 152-p - On approval of the Concept for the implementation of building information modelling technologies (BIM technologies) in Ukraine and approval of the action plan for its implementation.

5. Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public Tenders / European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), 2021.

6. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector / EU BIM Task Group, 2018.

7. Semerey V.V., Zadorozhnikova I.V., Ph.D., Assoc. BIM technologies in design.: "Modern technologies and calculation methods in construction", issue 7, 2017.

8. Yulin Luo. BIM for Bridge Design.: IABSE Guangzhou, 2016.

9. Markus Nöldgen. BIM in Bridge and Infrastructure Design.: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.

10. Matti-Esko Järvenpää. Use of BIM in design and construction of Chenab bridge in India.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

11. Matti-Esko Järvenpää. BIM automation in segmental bridges using parametric modelling application cases in Perú.: PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.) Id. Number: CZ02577933, 2023.

12. Federal Highway Administration1200 New Jersey Ave., SE Washington, DC 20590 - https://www.fhwa.dot.gov/bridge/bim/

Дата надходження до редакції 07.06.2024.