

УДК 69.04

¹ **О.М. Проценко**, старший викладач кафедри цифрового моделювання та графіки, <https://orcid.org/0000-0002-2478-4781>

² **В.В. Герасименко**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри цифрового моделювання та графіки, <https://orcid.org/0000-0002-7874-1322>

³ **В.П. Сопов**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-1908-0421>

1,2,3 Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЯК КАТАЛІЗАТОР ТРАНСФОРМАЦІЙ У СИСТЕМІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Анотація. Неминучість переходу архітектурно-будівельної діяльності в Україні на BIM-технології в процесах проектування, будівництва та експлуатації будівель і споруд обумовлюється низкою причин: все більш широке застосування засобів доповненої віртуальної реальності, необхідність створення єдиної інформаційної платформи, поширення моніторингу оцінки і аналізу стану конструкцій та систем життєзабезпечення. Аналіз поточного розвитку оцифрування показав необхідність взаємодії всіх ланок керування об'єктами капітального будівництва. На рівні державних органів керування перехід до оцифрування проводиться за рахунок ведення електронного документообігу та видачі дозвільних документів на будівництво в електронному вигляді. Замовник повинен за допомогою оцифрування проектних і будівельних робіт бачити поточний стан справ на кожному етапі будівництва. Генеральний підрядник зацікавлений у моніторингу роботи підрядних організацій та зниженні матеріальних витрат. Проектна організація, що розробляє єдину цифрову інформаційну модель будинку, спрощує процеси створення креслеників, специфікацій і виправлення помилок суміжних відділів. Оцифрування провадження робіт дозволить прискорити процеси контролю постачання вантажів, роботи виконавців і механізмів, полегшить ведення журналів робіт і виконавчої документації, призведе до поліпшеної взаємодії учасників. Показано, що основними перешкодами розповсюдження цифрових технологій у будівництві є недостатня інформованість щодо ефективності BIM технологій, відсутність досвіду проектування і будівництва в інформаційному середовищі, непевність у взаємодії всіх учасників на різних рівнях керування об'єктами капітального будівництва, матеріальні труднощі, які пов'язані з навчанням працівників, технічним поліпшенням обладнання, покупкою нових програмних продуктів, побоювання розпорошення конфіденційної інформації із хмарних сховищ та ін. Швидке та ефективне відновлення порушеної війною інфраструктури держави, сталий розвиток економіки сьогоденні немислиме без цифрової трансформації будівельної галузі та втілення BIM-технологій.

Ключові слова: інформаційна модель, капітальне будівництво, цифрове моделювання, проектування, будівництво, моніторинг.

Вступ

Ще на початку військових дій з боку Російської Федерації стало зрозуміло, що зруйновану та пошкоджену забудову міст України відновити звичайними засобами та в найкоротший часовий проміжок буде неймовірно складно. На часі кардинальні та термінові зміни та пошук розв'язання таких питань, як відновлення зруйнованого житла та інфраструктури на великій частині території нашої держави. Рішення цієї складної задачі підкріплюється і державною політикою. На цей час можна виділити основний нормативно-законодавчий документ, який віддзеркалює ключові моменти напрямку інноваційного та цифрового розвитку країни, а саме, Кабінет Міністрів України ще 17 лютого 2021 року затвердив Концепцію впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні, яка передбачає «поетапний перехід, починаючи з 2020 по 2035 рік до проектування з обов'язковим використанням BIM-технологій об'єктів державного фінансування» [1], що надає можливість подавати на затвердження та експертизу проекти

будівництва у паперовій та електронній формі. BIM-технології — це новий підхід до управління цифровою інформацією у будівельній галузі, який дозволяє віртуально відтворити об'єкт, що проектується, ще до початку його будівництва. Він дає змогу підвищити безпеку та надійність будівель і споруд, контролювати якість та швидкість будівельних робіт, суттєво знизити ймовірність помилок у проектах, зменшити вартість будівництва та оптимізувати витрати на стадії експлуатації

Тому очевидною стає задача якнайшвидших кардинальних змін у всій будівельній галузі, а також і в системі профільної вищої та спеціальної освіти, яка повинна стати максимально спроможною до підготовки спеціалістів відповідного рівня якості та у необхідній кількості.

Період часу, що передував початку військових дій на території нашої держави, вже підготував підвалини принципово нового підходу до переходу всіх стадій проектування та будівельного менеджменту на рейки BIM. Але, як і будь-яка інновація та напрямки у бік кардинальних змін системи проектування,

цей шлях здавався дуже довгим та складним. Проблема підготовки необхідних кадрів, що в достатній мірі будуть спроможні виконувати завдання з цифрового моделювання, гальмувалась недостатньою кількістю матеріального фонду в закладах освіти та порівняно невеликою кількістю справжніх спеціалістів в цієї галузі. Величезний запит на цифрове проектування від будівельних фірм інших країн не можна було порівняти із великими сумнівами вітчизняних будівельних компаній щодо явного подорожчання, на їх власну думку, собівартості створення та супроводу проектної документації засобами ВІМ.

В більшості країн світу будівельна галузь займає близько 9-12 % (2,6 % в Україні) від валового внутрішнього продукту, забезпечує зайнятість трудового населення та виступає сполучною ланкою між різними галузями промисловості та економіки [2]. Однак частка процесів із застосуванням цифрових технологій у будівельній галузі менше, ніж в інших сферах економічної складової, таких як торгівля, автомобілебудування, банківський сектор і державне керування.

Аналіз літературних джерел за тематикою дослідження показав, що причинами, що перешкоджають розвитку цифрових технологій у будівельній галузі, є недостатня інформованість щодо ефективності ВІМ технологій, відсутність досвіду проектування і будівництва в інформаційному середовищі, непевність у взаємодії всіх учасників на різних рівнях керування об'єктами капітального будівництва, матеріальні труднощі, які пов'язані з навчанням працівників, технічним поліпшенням обладнання, покупкою нових програмних продуктів, побоювання розпорошення конфіденційної інформації із хмарних сховищ та ін. [3-7].

Мета даного дослідження – обґрунтувати та проілюструвати ефективність впровадження цифрових технологій на всіх рівнях керування об'єктами капітального будівництва.

У будівництві під оцифровуванням мається на увазі створення єдиного інформаційного простору на всіх стадіях починаючи з етапу проектування й до введення в експлуатацію об'єктів капітального будівництва з урахуванням усіх основних та супутніх процедур. До перспективних напрямків цифрової трансформації будівельної галузі можна віднести не тільки технологію інформаційного моделювання (ВІМ), а й 3D-друк матеріалів і конструкцій, технологію доповненої віртуальної реальності, застосування робототехніки.

ВІМ будинків і споруд дозволяє створити «цифрового двійника» проєктованого або існуючого будинку з повним комплектом даних об'єктів та елементів в електронному вигляді на всіх етапах: виділення земельних ділянок, виконання інженерних вишукувань, здійснення архітектурно-будівельного проектування, будівництва, реконструкції, капітального ремонту, експлуатації та (або) знесення об'єкта капітального будівництва [8, 9]. Відповідно, ВІМ здійснюється при одночасному застосуванні систем автоматизованого 3D-проектуювання та методів комп'ютерної підтримки життєвого циклу будівлі (Continuous Acquisition and Lifecycle Support – CALS) [10].

3D-друк будівельних матеріалів необхідної форми з використанням комп'ютерних моделей засновано на адитивній технології, тобто на процесі

пошарового накладання пластично-в'язкої сировини (бетонної суміші) або спікання порошків (піщани суміші, композити, сплави, полімери та ін.) до моменту утворення об'єкта, що виробляється [11]. Найпоширенішим матеріалом для будівельного 3D-друку є бетонна суміш (рис. 1), однак також популярність набирає виготовлення виробів зі склопластику та сталі. На сьогодні також поширюється виготовлення склоармованих бетонних виробів [12].



Рис. 1 Будівельний 3D-друк за допомогою бетонної суміші

Застосування засобів доповненої віртуальної реальності (AR і VR) розкриває можливості наочного огляду об'єктів, що знаходяться на стадіях проектування та зведення [13]. Актуальне застосування дана технологія знаходить у контролюванні процесу будівництва. Інженер з будівельного контролю, за наявності VR-окулярів, що мають вбудований GPS-приймач, у режимі реального часу обходить будівельний майданчик та аналізує накладені системою проектні дані на реальне зображення встановленої конструкції або частини інженерної мережі [14].

Набирає оберти використання та застосування робототехніки в будівництві. Застосування роботів, які працюють разом з людиною при проведенні будівельних робіт, прискорює та покращує якість виконання технологічних процесів [15]. Для моніторингу відповідності результатів будівництва об'єктів на майданчиках до проектних рішень зараз все більш використовуються повітряні безпілотні літальні апарати [16].

Технологію інформаційного моделювання було обрано основним методом трансформації будівельної галузі, переваги якої підтверджено на підставі опитування великої кількості провідних проектних і будівельних організацій. Розподіл функцій управління в умовах нової цифрової економіки було вивчено на основі соціальної піраміди взаємодії Толкотта Парсонса.

Основна частина

У будівництві, як і в інших галузях, незалежно від кількості рівнів керування, згідно з пірамідою Парсонса (рис. 2), можна виділити три види керування: інституціональний, управлінський та технічний [17].

На технічному рівні відповідальні особи займаються операціями, що забезпечують безпосереднє виробництво готового продукту. У будівництві до такого виду можна віднести керування при виконанні інженерних вишукувань, при проектуванні, проведенні будівельних робіт та технічній експлуатації будівель і споруд.



Рис. 2 Піраміда керування будівельними процесами

На управлінському рівні головною особливістю є координація, узгодження всіх видів робіт технічного рівня. Керівники інституціональних рівнів розробляють масштабні та довгострокові плани усередині галузі, забезпечують взаємодію з іншими галузями народного господарства. У результаті усвідомлене виконання локальних функцій працівника (керівника) кожного рівня та злагоджена взаємодія з іншими рівнями забезпечує виконання поставлених цілей.

На рівні органів державної влади перспективним напрямком розвитку оцифровування є створення єдиної інформаційної платформи, яка в автоматичному режимі дозволить користувачу (учаснику інвестиційно-будівельного процесу) в особистому кабінеті заповнити заяву, прикріпити необхідні документи та одержати дозволи на виділення земельної ділянки, на будівництво, на введення об'єкта в експлуатацію з часовим відстеженням процесів, що упорядковані законом.

Підґрунтям інформаційної платформи повинна бути сформована база актуальних і докладних даних про земельні ділянки, санітарні зони, наявну проекцію та виконавчу документацію у вигляді інформаційної моделі будинку, державні експертизи, технічні умови та інші документи, що регламентують будівництво.

Сполучення даних тривимірного рельєфу міського середовища з існуючими штучними спорудженнями та розташованими на ньому інформаційними моделями будинків створює графічну базу проекту [18] і дозволяє ефективно керувати міськими ресурсами та підвищити якість життя громадян.

Частою проблемою, яка виникає у замовника при класичному керуванні будівництвом, є неінформованість про провадження робіт з реалізації проекту. Саме замовник зацікавлений у дотриманні терміну здачі об'єкта і повинен бути ініціатором ведення будівельних процесів за допомогою інформаційних технологій. Використання цифрових програм керування та сервісів хмарового сховища файлів проекту, програм календарного планування допоможе замовнику бачити поточний стан справ на майданчику та виконувати оцінку шляхів вирішення проблем, що сповільнюють здачу об'єкта в призначений термін [19].

Споконвічна необхідність проведення проектних і будівельних робіт у цифровому форматі повинна бути відображена в технічному завданні та інформаційних вимогах замовника (рис. 3), що описують правила надання інформації із ключових етапів проекту та містять технічні, організаційно-управ-

лінські та комерційно-правові аспекти [20]. Реалізація цих вимог забезпечується за рахунок дотримання нормативно-технічних документів, використання сучасних архітектурних і конструктивних рішень, енергоефективних матеріалів і устаткування з використанням цифрових технологій.

Для генеральних підрядників оцифровування дозволяє побудувати зовсім нові бізнесмоделі, що дає ряд переваг [21]:

- зниження ризиків при виборі підрядних організацій, які виконують капітальне будівництво, контроль за виконанням договірних зобов'язань;
- наповнення інформаційної моделі, електронний документообіг з підрядниками та іншими учасниками інвестиційнобудівельного процесу;

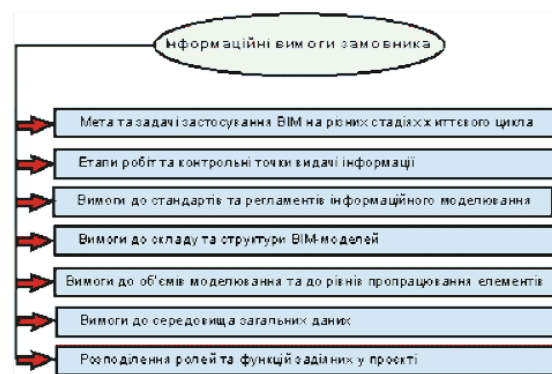


Рис. 3 Інформаційні вимоги замовника до здійснення BIM-проекту

- замовлення будівельних матеріалів безпосередньо з BIM-моделей, що надає можливість інтегрувати цифрові технології в існуючі системи закупівель і залучити до роботи з інформаційними моделями велику кількість постачальників, у тому числі представників малого бізнесу [22];

- одержання аналітики по підрядниках, у тому числі з урахуванням виконання ними контрактів інших замовників;
- зниження витрат за рахунок своєчасного виконання контрактів, моніторингу за ходом будівництва.

Базовим документом, що визначає об'єкт капітального будівництва та усі його характеристики, є проектна документація. Реалізація проекту із застосуванням BIM – це більш ефективна альтернатива традиційному способу реалізації проекту. Створена модель є не тільки об'ємним виразом двовимірного кресленника та геометричних даних будівлі, вона має додаткову інформацію про всі процеси архітектурного й конструктивного проектування, розрахунки конструкцій, провадження робіт (4D), матеріальні витрати (5D) і моніторинг технічного стану будинку (6D) [23].

Впровадження BIM на рівні проектної організації дозволяє:

- використовувати вихідні дані на проектування об'єкта капітального будівництва безпосередньо з інформаційної платформи;
- підвищити наочність і якість проекту за рахунок об'ємного моделювання, віртуальної повної реальності [24];
- в автоматичному режимі одержати кресле-

ник та специфікації з єдиної інформаційної моделі (рис. 4) [25];

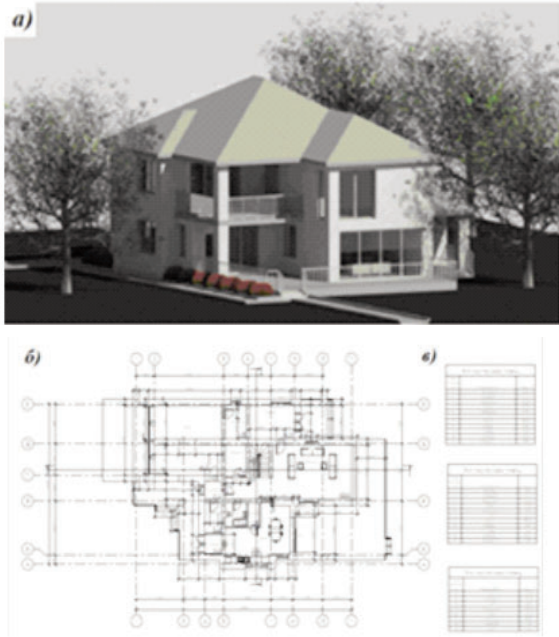


Рис. 4 Одержання необхідної документації з єдиної моделі будівлі:
а – інформаційна модель; б – план типового по-верху; в – специфікація приміщень

- за допомогою середовища загальних даних одночасно проектувати всі розділи робочої документації, у тому числі проект організації будівництва, проект провадження робіт і кошторисну документацію;
- провадити проектування територіально віддаленими колективами;
- відслідковувати внесення змін за допомогою координування, оперативно усувати просторові колізії до реалізації моделі на будівельному майданчику.

– використовувати єдину бібліотеку готових рішень у вигляді розроблених сімейств елементів (рис. 5);
При класичній схемі розробки документації основним розробником документації є проектувальник окремої спеціалізації. Застосування BIM у будівельній організації ґрунтується на іншій моделі, першою ланкою команди є розробник сімейств різних елементів будівлі, а проектувальник вже збирає наявні сімейства в єдину модель конкретного розділу, яку разом з іншими моделями з'єднує BIM-координатор, знаходячи невідповідності у перетинанні елементів різних розділів. Керує всім процесом створення моделі BIM-менеджер за допомогою системи хмарних даних. Схему керування та взаємодії проектної організації за допомогою BIM подано на рис. 6.

Інструментів для створення інформаційної моделі проектування досить багато. Серед них можна відокремити найпоширеніші на державному ринку Autodesk Revit, Renga Software, Tekla Structures, ANSYS, ABAQUS, Navisworks, Synchro Pro і інші [26 - 27]. Однак немає таких, які б охопили весь процес розробки проектної документації. Щоб полегшити взаємодію різних програм між собою і зниження втрати інформації під час передачі з одного додатка до іншого, був створений єдиний формат даних Industry Foundation Classes (IFC).

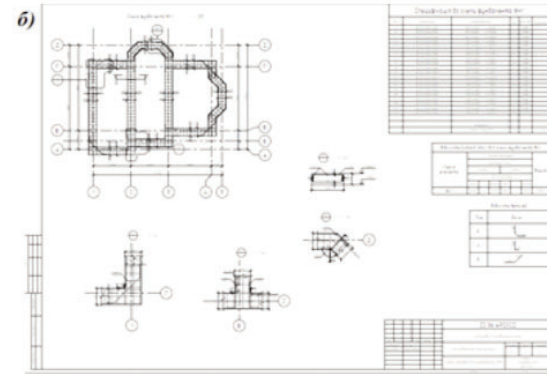
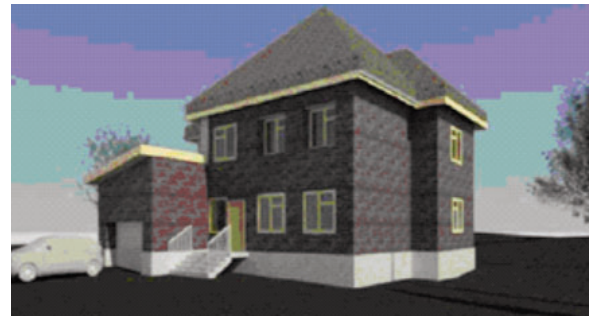


Рис. 5. Армування фундаментного поясу з використанням єдиної бібліотеки готових розв'язків у вигляді розроблених сімейств елементів (стрижнів та деталей)
а – інформаційна модель; б – план фундаменту та специфікація виробів для армування

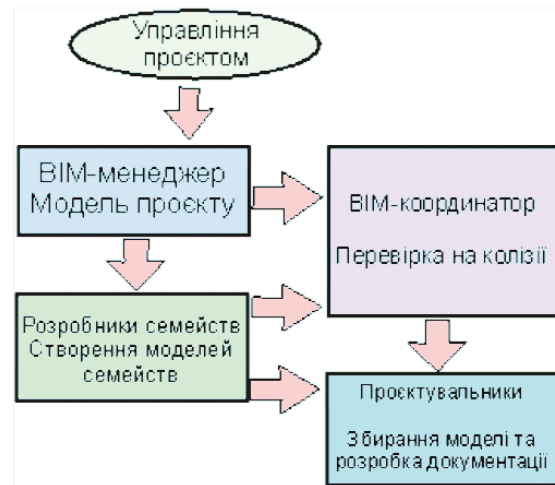


Рис. 6 – Схему керування команди при розробці проектної документації за допомогою BIM-моделювання

Інструментів для створення інформаційної моделі проектування досить багато. Серед них можна відокремити найпоширеніші на державному ринку Autodesk Revit, Renga Software, Tekla Structures, ANSYS, ABAQUS, Navisworks, Synchro Pro і інші [26 - 27]. Однак немає таких, які б охопили весь процес розробки проектної документації. Щоб полегшити взаємодію різних програм між собою і зниження втрати інформації під час передачі з одного додатка до іншого, був створений єдиний формат даних Industry Foundation Classes (IFC).

Заводи-виробники будівельних конструкцій та виробів переходять на якісно новий етап за рахунок

оснащення сучасними технологіями з автоматизованим керуванням процесами виробництва. Наприклад, з конструктивної інформаційної моделі стінової панелі в програмі для верстатів із числовим програмним керуванням генеруються технологічна карта та добові завдання на виробництво даної панелі (рис. 7).

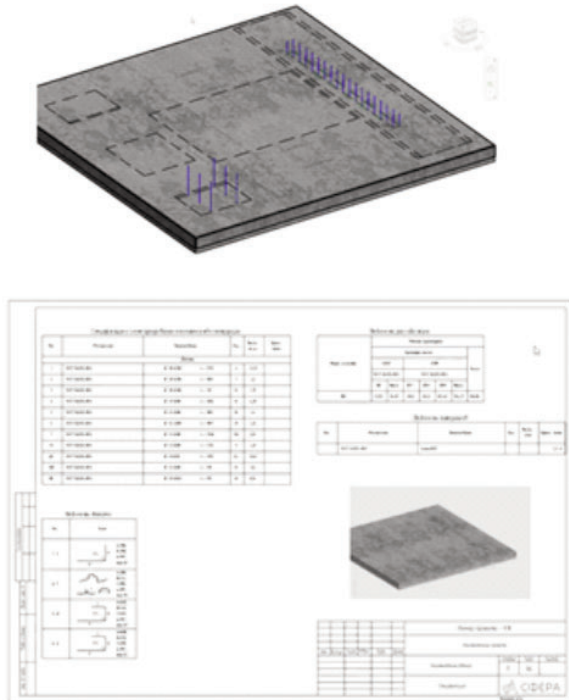


Рис. 7 – Конструкційна інформаційна модель стінової залізобетонної панелі (середовище REVIT):
а – 3D-вид, б – складальне креслення

Встановлення бортооснащення на піддони, розмітка місць пустоутворювачів, монтажних петель, закладних деталей та прихованої електропроводки виконується на підґрунті інформації габаритних розмірів моделі та відкритої бібліотеки типових арматурних елементів, вузлів з'єднань і закладних деталей (рис. 8).

Збирання арматурних каркасів з окремих стрижнів різних класів і діаметрів, робота автоматизованого бетоноукладача виконуються в суворій відповідності із специфікаціями на конкретний виріб. Це дозволяє знизити відходи виробничого процесу за рахунок розуміння точної кількості та розмірів арматурних елементів для армування.

Після виконання добової програми виробництва та відвантаження виробів на будівельний майданчик усі необхідні дані передаються в програму, яка враховує зменшення складських запасів матеріалів і прогнозує терміни необхідного поповнення витратних матеріалів (цемент, пісок, щебінь, хімічні та мінеральні добавки, арматура й ін.).

У найменший ступінь процеси оцифрування торкнулися проведення будівельних робіт. При потраплянні вантажів на будівельний майданчик паспорти та сертифікати від постачальників найчастіше не приходять одразу з матеріалом, виконавці робіт фіксують виконання робіт у записних книжках, завдання працівникам видаються за місцем виконання цих робіт.

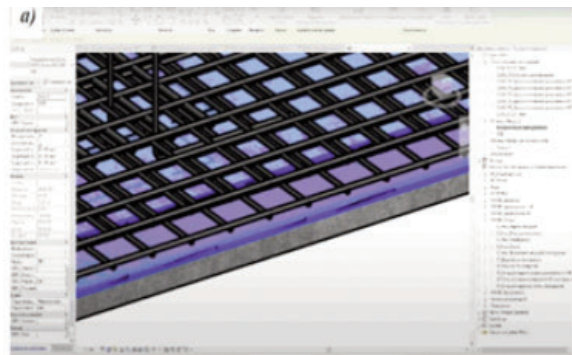


Рис. 8 – Армування залізобетонної панелі:
а – візуалізація армування в REVIT;
б – армування форми на виробництві.

Пізніше вручну заповнюються журнали робіт та акти засвідчення прихованих робіт, витрачається багато часу та зусиль. Виконавча документація переважно виконується вручну, за етапами виконання робіт, внаслідок чого зміни проекту виробництва, що виникли в процесі проведення робіт, потрапляють до проектної організації значно пізніше в паперовому вигляді. Грамотне та поетапне оцифрування всіх процесів, що виконуються на будівельному майданчику, дозволить ліквідувати дані проблеми.

Попереднє створення інформаційної моделі будівельно-монтажних робіт на будівельному майданчику можливо при вирішенні наступних задач:

- контроль доставки та складування вантажів на будівельному майданчику;
- контроль руху виконавців і машин по об'єкту будівництва з допомогою датчиків передачі геодахних;
- контроль термінів, обсягів і якості будівництва [28];
- ведення виконавчої документації в електронному вигляді;
- автоматизований будівельний контроль за допомогою VR-технологій;
- дистанційна діагностика машин та механізмів;
- дистанційне обслуговування інженерного обладнання будинку;
- перехід від продажу до сервісної моделі, згідно з якою оплачується результат роботи та фактичне використання будівельного обладнання та техніки.

Мобільні технології змінили будівельну індустрію декількома способами. Для будівельних підприємств однією з найголовніших зручностей є

поліпшення керування проектами. Використовуючи смартфони та планшети, усі зацікавлені сторони можуть працювати разом, використовуючи ті самі консолідовані джерела інформації, гарантуючи, що ніхто не залишиться осторонь, незалежно від того, де вони перебувають. На сьогоднішній момент існують розробки програмних продуктів, що значно спрощують процес провадження робіт.

Приклад такого продукту – додаток Plan Radar, з яким виконавець робіт, не маючи бути присутнім на ділянці, за допомогою мобільного пристрою може в будь-який момент відобразити актуальні робочі кресленики, вести журнал робіт із чеклистами, поставити завдання робітнику у вигляді мітки на плані з коментарями та фотографіями. Мобільний сервіс Rukki про надає можливість оренди спецтехніки та устаткування, а також виконання логістичних послуг і деяких видів будівельних робіт.

Висновки

Аналіз існуючих проблем, що є перешкодою на шляху розвитку цифрових технологій дає розуміння про неповну інформованість учасників будівельного процесу щодо сутності і ефективності використання запроєктованої інформаційної моделі та про правильну взаємодію на різних рівнях керування об'єктами капітального будівництва.

Застосування сучасних цифрових технологій, таких як BIM, 3D-друк, доповнена віртуальна реальність, робототехніка на стадіях проектування та будівництва дозволить прискорити зведення, зменшити трудові та матеріальні витрати на всіх стадіях життєвого циклу будівельних об'єктів. При цьому правильна взаємодія закладів професійної освіти, проектних організацій та всіх учасників будівельного процесу на різних рівнях керування дозволить досягти максимального ефекту від цифрової трансформації.

Література

1. Кабінет Міністрів України. Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) в Україні. 17.02.2021 URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/news/cifrova-transformaciya-teper-i-v-budivnictvi/>
2. Dixit S., Mandal S.N., Sawhney A., Singh S. Relationship between skill development and productivity in construction sector: a literature review. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 2017. Vol. 8 (8) Pp. 649-665. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_36.
3. Ключко А. Цифрові технології в галузі архітектури і будівництва. Інформаційні технології проектування. 2021. №48. С. 61-68. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.48.61-68>.
4. Gerrish T., Ruikar K., Cook M., Johnson M., Phillip M., Lowry C. BIM application to building energy performance visualization and management: challenges and potential. *Energy Build.* 2017. Vol. 144. Pp. 218-228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>.
5. Anton L.A., Diaz J. Integration of life cycle assessment in a BIM environment. *Procedia Eng.* 2014. Vol. 85. Pp. 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.525>.
6. Durdyev S., Mbachu J., Thumell D., Zhao L., Hosseini M.R. BIM adoption in the Cambodian construction industry: key drivers and barriers. *ISPRS Int. J. Geoinf.* 2021. Vol. 10. 215. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040215>.
7. Jang R., Collinge W., Improving BIM asset and facilities management processes: a Mechanical and Electrical (M&E) contractor perspective. *J. Build. Eng.* 2020. Vol. 32. 101540. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101540>.
8. Ahmed S. Barriers to implementation of building information modeling (BIM) to the construction industry: a review. *J. Civil Eng. Construct.* 2018. Vol. 7. Pp. 107-113. <https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107>.
9. Sun C., Jiang S., Skibniewski M.J., Man Q., Shen L., A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technol. Econ. Dev. Econ.* 2017. Vol. 23. Pp. 764-779. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1087071>.
10. Tytok V., Bolila N., Ryzhakov D., Pokolenko V., Fedun I. CALS–Technology as a Basis of Creating Modules for Assessment of Construction Products Quality, Regulation of Organizational, Technological and Business Processes of Stakeholders of Construction Industry Under the Conditions of Cyclical and Seasonal Variations. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering.* 2021. Vol. 10, No 1. Pp. 271-276. <https://doi.org/10.30534/ijactse/2021/381012021>.
11. Classen M., Ungermann, J., Sharma R. Additive Manufacturing of Reinforced Concrete –Development of a 3D Printing Technology for Cementitious Composites with Metallic Reinforcement. *Appl. Sci.* 2020. No 10. Pp. 3791. <https://doi.org/10.3390/app10113791>.
12. Upendra Varma A., Kumar A.D. Glass Fiber Reinforced Concrete. *Journal of Engineering Research and Applications.* 2013. Vol. 3., Issue 5. pp.1914-1918. https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue5/LE3519141918.pdf
13. Rebbani Z., Azougagh D., Bahatti L., Bouattane O. Definitions and Applications of Augmented/Virtual Reality: A Survey. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research.* 2021. Vol. 9. No 3. Pp. 279-285. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/21932021>.
14. Mak L., Tang F. W. F., Li C. H., Lee G. T. W., Chiu W. H. A Review on Development and Application of Virtual Reality (VR) Training Platform for Testing, Inspection and Certification Industry. *International Journal of Information and Education Technology.* 2020. 10(12). Pp. 926-931. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.12.1480>.
15. Reinhardt D., Haeusler M.H., London K., Loke L., Feng Y., Barata E.D.O. Investigating the potential of collaborative robotics for subject matter experts // *International Journal of Architectural Computing.* 2020. Vol. 18(4). Pp. 353-370. <https://doi.org/10.1177/1478077120948742>.
16. Molina, A.A.; Huang, Y.; Jiang, Y. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Applications in Construction Management: 2016–2021. *Standards* 2023, 3, Pp. 95–109. <https://doi.org/10.3390/standards3020009>.
17. Dixit S., Mandal S.N., Sawhney A., Singh S. Relationship between skill development and productivity in construction sector: a literature review. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 2017. Vol. 8 (8) Pp. 649-665. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_36
18. Ellmers G. The graphic design project: employing structured and critical reflection to guide student learning. *Communication Design.* 2015. Vol. 3. Issue 1. Pp. 62-79. <https://doi.org/10.1080/20557132.2015.1057376>
19. Іртішцева І. О., Сенкевич О. Ф. Цифрова трансформація регіонів України: об'єктивна необхідність, принципи

- цифрового розвитку та особливості регулювання. *Регіональна економіка*. 2020. №1 (95). С. 14–21. <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2020-1-2>.
20. Волосюк М.А., Проценко О.М., Герасименко В.В. Цифрова економіка в будівництві. *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Європейський вектор модернізації економіки: креативність, прозорість та сталий розвиток»*. (27-28 травня 2020р.). Тези доповідей. Харків: ХНУБА, 2020. С. 45-47.
21. Жекало Г. І. Цифрова економіка України: проблеми та перспективи розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Вип. 26, ч. 1. 2019. URL: http://www.visnyk-ecopot.uzhnu.uz.ua/archive/26_1_2019ua/12.pdf.
22. Іртищева І. О., Крамаренко І. С., Іртищев О. С., Гарагуля А. В., Ставицов Р. В. Цифрова економіка в Україні: виклики сьогодення та завдання управління. *Ефективна економіка*. 2020. № 7. URL: <http://www.econotom.nauka.com.ua/?op=1&z=8074>.
23. Tallgren M.V., Roupř M., Johansson M. 4D modelling using virtual collaborative planning and scheduling // *Journal of Information Technology in Construction (Itcon)*. 2020. Vol. 26. Pp. 763-782. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.042>
24. Nielson, GM, Volume Modelling. In: M. Chen et al. (eds.). *Volume Graphics*, Springer, 2000; 29-48. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0737-8_2
25. Borrmann A., Kunig M., Koch C., Beetz J. *Building Information Modeling: Why? What? How? Building Information Modeling*. Springer, Cham. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_1
26. Prasad P., Sharma P. *Information Technology in modern World*. IJARIE. 2019. Vol. 5. Issue 1. Pp. 858-861. https://www.researchgate.net/publication/343481196_INFORMATION_TECHNOLOGY_IN_MODERN_WORLD
27. Shick Alshabab M., Petrichenko M., Vysotskiy A., Khalil T. BIM-based Quantity Takeoff in Autodesk Revit and Navis-works Manage. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 70. Pp. 413-421. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_36.
28. Sacks R., Eastman C. M., Lee G. Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. *Automation in Construction*. 2004, Vol. 13. Issue 3, Pp. 291-312. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00043-8).

References

1. Cabinet of Ministers of Ukraine. Concept of implementation of building information modeling technologies (BIM technologies) in Ukraine. 02/17/2021 URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/news/cifrova-transformaciya-teper-i-v-budivnictvi/>
2. Dixit S., Mandal S.N., Sawhney A., Singh S. Relationship between skill development and productivity in construction sector: a literature review. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 2017. Vol. 8 (8) Pp. 649-665. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_36.
3. Klochko A. Digital technologies in the field of architecture and construction. *Design information technologies*. 2021. №48. Pp. 61-68. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.48.61-68>.
4. Gerrish T., Ruikar K., Cook M., Johnson M., Phillip M., Lowry C. BIM application to building energy performance visualization and management: challenges and potential. *Energy Build.* 2017. Vol. 144. Pp. 218-228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>.
5. Anton L.A., Diaz J. Integration of life cycle assessment in a BIM environment. *Procedia Eng.* 2014. Vol. 85. Pp. 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.525>.
6. Durdjev S., Mbachu J., Thurnell D., Zhao L., Hosseini M.R. BIM adoption in the Cambodian construction industry: key drivers and barriers. *ISPRS Int. J. Geoinf.* 2021. Vol. 10. 215. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040215>.
7. Jang R., Collinge W., Improving BIM asset and facilities management processes: a Mechanical and Electrical (M&E) contractor perspective. *J. Build. Eng.* 2020. Vol. 32. 101540. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101540>.
8. Ahmed S. Barriers to implementation of building information modeling (BIM) to the construction industry: a review. *J. Civil Eng. Construct.* 2018. Vol. 7. Pp. 107-113. <https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107>.
9. Sun C., Jiang S., Skibniewski M.J., Man Q., Shen L., A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technol. Econ. Dev. Econ.* 2017. Vol. 23. Pp. 764-779. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1087071>.
10. Tytok V., Bolila N., Ryzhakov D., Pokolenko V., Fedun I. CALS–Technology as a Basis of Creating Modules for Assessment of Construction Products Quality, Regulation of Organizational, Technological and Business Processes of Stakeholders of Construction Industry Under the Conditions of Cyclical and Seasonal Variations. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2021. Vol. 10, No 1. Pp. 271-276. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2021/381012021>.
11. Classen M., Ungermann, J., Sharma R. Additive Manufacturing of Reinforced Concrete –Development of a 3D Printing Technology for Cementitious Composites with Metallic Reinforcement. *Appl. Sci.* 2020. No 10. Pp. 3791. <https://doi.org/10.3390/app10113791>.
12. Upendra Varma A., Kumar A.D. Glass Fiber Reinforced Concrete. *Journal of Engineering Research and Applications*. 2013. Vol. 3., Issue 5. pp.1914-1918. https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue5/LE3519141918.pdf
13. Rebbani Z., Azougagh D., Bahatti L., Bouattane O. Definitions and Applications of Augmented/Virtual Reality: A Survey. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2021. Vol. 9. No 3. Pp. 279-285. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/21932021>.
14. Mak L., Tang F. W. F., Li C. H., Lee G. T. W., Chiu W. H. A Review on Development and Application of Virtual Reality (VR) Training Platform for Testing, Inspection and Certification Industry. *International Journal of Information and Education Technology*. 2020. 10(12). Pp. 926-931. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.12.1480>.
15. Reinhardt D., Haeusler M.H., London K., Loke L., Feng Y., Barata E.D.O. Investigating the potential of collaborative robotics for subject matter experts // *International Journal of Architectural Computing*. 2020. Vol. 18(4). Pp. 353-370. <https://doi.org/10.1177/1478077120948742>.
16. Molina, A.A.; Huang, Y.; Jiang, Y. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Applications in Construction Management: 2016–2021. *Standards* 2023, 3, Pp. 95–109. <https://doi.org/10.3390/standards3020009>.

17. Dixit S., Mandal S.N., Sawhney A., Singh S. Relationship between skill development and productivity in construction sector: a literature review. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 2017. Vol. 8 (8) Pp. 649-665. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_36
18. Ellmers G. The graphic design project: employing structured and critical reflection to guide student learning. *Communication Design*, 2015. Vol. 3. Issue 1. Pp. 62-79. <https://doi.org/10.1080/20557132.2015.1057376>
19. Irtysheva I. O., Sienkovych O. F. Digital transformation of the regions of Ukraine: objective necessity, principles of digital development and peculiarities of regulation. *Regional economy*. 2020. №1 (95). Pp. 14–21. <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2020-1-2>.
20. Volosyuk M.A., Protsenko O.M., Gerasimenko V.V. Digital economy in construction. Materials of the XII International scientific and practical conference "The European vector of economic modernization: creativity, transparency and sustainable development". (May 27-28, 2020). Abstracts of reports. Kharkiv: KhNUBA, 2020. C. 45-47.
21. Zhekalov G. I. Digital economy of Ukraine: problems and prospects of development. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University*. Vol. 26, part 1. 2019. URL: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/26_1_2019ua/12.pdf.
22. Irtysheva I.O., Kramarenko I.S., Irtyshev O.S., Garagulya A.V., Stavtsov R.V. Digital economy in Ukraine: today's challenges and management tasks. *Efficient economy*. 2020. № 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8074>.
23. Tallgren M.V., Roupü M., Johansson M. 4D modelling using virtual collaborative planning and scheduling // *Journal of Information Technology in Construction (Itcon)*. 2020. Vol. 26. Pp. 763-782. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.042>
24. Nielson, GM, Volume Modelling. In: M. Chen et al. (eds.). *Volume Graphics*, Springer, 2000; 29-48. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0737-8_2
25. Borrmann A., Kunig M., Koch C., Beetz J. *Building Information Modeling: Why? What? How?* Building Information Modeling. Springer, Cham. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_1
26. Prasad P., Sharma P. Information Technology in modern World. *IJARIE*. 2019. Vol. 5. Issue 1. Pp. 858-861. https://www.researchgate.net/publication/343481196_INFORMATION_TECHNOLOGY_IN_MODERN_WORLD
27. Shick Alshabab M., Petrichenko M., Vysotskiy A., Khalil T. BIM-based Quantity Takeoff in Autodesk Revit and Navis-works Manage. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 70. Pp. 413-421. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_36.
28. Sacks R., Eastman C. M., Lee G. Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. *Automation in Construction*. 2004, Vol. 13. Issue 3, Pp. 291-312. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00043-8).

¹ **O.M. Protsenko**, senior lecturer at the Department of Digital Modeling and Graphics, <https://orcid.org/0000-0002-2478-4781>

² **V.V. Gerasimenko**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of digital modeling and graphics, <https://orcid.org/0000-0002-7874-1322>

³ **V.P. Sopov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Materials Science and Engineering of Composite Structures, <https://orcid.org/0000-0002-1908-0421>

^{1,2,3} Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov, Marshal Bazhanov str. 17, Kharkiv

INFORMATION MODEL AS A CATALYST OF TRANSFORMATIONS IN THE SYSTEM OF DESIGN AND MANAGEMENT IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF UKRAINE

Abstract. *The inevitability of the transition of architectural and construction activity in Ukraine to BIM technology in the processes of design, construction and operation of buildings and structures is due to a number of reasons: the increasingly widespread use of augmented virtual reality tools, the need to create a single information platform, the spread of monitoring, assessment and analysis of the state of structures and life support systems. The analysis of the current development of digitization showed the need for the interaction of all links of management of capital construction objects. At the level of state management bodies, the transition to digitization is carried out through electronic document management and the issuance of construction permits in electronic form. The customer must see the current state of affairs at each stage of construction with the help of digitization of design and construction works. The general contractor is interested in monitoring the work of subcontractors and reducing material costs. The project organization, which develops a single digital information model of the house, simplifies the processes of creating blueprints, specifications and correcting errors of related departments. Digitization of the work process will allow speeding up the processes of control of the supply of goods, the work of executors and mechanisms, the field of keeping work logs and executive documentation, will lead to improved interaction of participants. It is shown that the main obstacles to the spread of digital technologies in construction are insufficient awareness of the effectiveness of BIM technologies, lack of design and construction experience in an information environment, uncertainty in the interaction of all participants at different levels of management of capital construction objects, material difficulties that lead to related to employee training, technical improvement of equipment, purchase of new software products, fear of dispersal of confidential information from cloud storage, etc. The rapid and effective restoration of the infrastructure of the state damaged by the war, the sustainable development of today's economy is unthinkable without the digital transformation of the construction industry and the implementation of BIM technologies.*

Keywords: *information model, capital construction, digital modeling, design, construction, monitoring.*