

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 004:69

В. І. АНІН<sup>1\*</sup>, С. В. ПАСТУХОВА<sup>2</sup>, Ю. О. БІЛОВ<sup>3</sup>, Н. Г. МЕТЕЛЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (067) 401 41 52, ел. пошта yurabella1@gmail.com, ORCID 0000-0002-2936-2262

<sup>2</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38(067) 366 20 22, ел. пошта susannapastukhova@gmail.com, ORCID 0000-0002-9324-3065

<sup>3</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38(095) 940 10 13, ел. пошта yurabella1@gmail.com, ORCID 0000-0003-2374-2632

<sup>4</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69606, тел. +38 (067) 779 56 16, ел. пошта natalia.metelenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-6757-3124

### ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ БУДІВНИЦТВА

**Мета.** Аналіз основних переваг та пропозиції використання інноваційних інформаційних технологій для підвищення ефективності організаційних процесів будівництва. **Методика.** Разом із поширенням організаційних процесів технології і організації будівництва сучасних відомих українських та закордонних ІТ-фірм в Україні існує необхідність покращення іміджу будівництва шляхом застосування високотехнологічних методів стандартного і нестандартного будівництва цивільних та промислових будівель і споруд. Завдання, які стоять зараз перед країною в області капітального будівництва – це відродження реновації та реконструкції вітчизняного промислового та цивільного будівництва, впровадження в широких масштабах передових технологій, підйом культури будівельного виробництва, підготовка нового покоління будівельників-професіоналів, здатних вирішувати ці завдання з використанням ІТ у будівництві. Успішному здійсненню такого курсу сприяють заходи щодо вдосконалення технології і організації будівництва, впровадження нових методів ІТ управління реновації і реконструкції та вирішення проблем з фінансуванням. **Результати.** В роботі проведено аналіз наукових досліджень ІТ в будівництві, зокрема при реновації та реконструкції будівель та споруд, які відображають переваги використання інноваційних технологій, ВІМ-технологій на різних етапах реновації та реконструкції з технології організації будівництва та надано приклади використання інноваційних технологій. **Наукова новизна.** Аналіз результатів застосування найбільш поширених складових ІТ в промисловому та цивільному будівництві дає можливість використовувати їх на різних етапах враховуючи різноманітне програмне та технічне забезпечення. **Практична значимість.** Технічні, технологічні та організаційні рішення в технології і організації будівництва, які вже розроблені і впроваджені, дозволяють використовувати інноваційні технології незалежно від технічного чи програмного оснащення будівельних організацій при проектуванні та будівництві. Розроблена методологічна структура аналізу, кількісної оцінки та моделювання процесів, що дозволило виявити залежності, які характеризують рівень ефективності робіт і дозволяє здійснювати варіантне проектування будівельних робіт за допомогою цих технологій.

**Ключові слова:** реновація; 3D-моделювання; моделювання будівельних об'єктів; ІТ-технології; інформаційна модель

#### Вступ

В сучасних реаліях збройної агресії російської федерації необхідно дивитись у майбутнє, оскільки країну очікує повоєнний розвиток реновації і реконструкції зруйнованих будівель і споруд з використанням інноваційних технологій, що дозволяє відстежити трансформацію основних ідей реконструкції міста після катастрофічних воєнних руйнувань, які призвели до

появи пошуків образу Майбутнього міста та культурної спадщини.

Протягом повоєнного відновлення необхідно пройти безліч етапів, що полягають не просто у відтворенні колишнього вигляду, а й у прагненні знайти свою винятковість або неповторну індивідуальність. Для найбільш зруйнованих міст повоєнний період відновлення стане поворотним етапом у будівництві. Шлях розвитку кожного зруйнованого міста є унікальним.

Завдяки цьому неможливість створення універсальної моделі реновації і реконструкції є очевидною, незважаючи на загальне прагнення створення повноцінного міського середовища (Іваник, І. Г., Віхоть, Пожар, Іваник, Я. І., & Вибранець, 2013). Основними предметами відновлення є культурна атмосфера міста, прагнення змінитися і модернізуватися згідно останнім тенденціям розвитку будівельної галузі (Syed, & Mohit, 2022). Протягом свого повоєнного відновлення цілі міста пройдуть етапи не просто створення якогось стійкого естетичного образу міста, а пошуку архітектурного сучасного вигляду, що закріплюють усвідомлення своєї винятковості.

Різні методологічні підходи, відображені у поступовому розвитку європейських міст після другої світової війни, дозволяють осмислити розтягнутість у часі історично значущих будівельних процесів. На теперішній час існують декілька інноваційних напрямків відновлення міст в архітектурі та дизайні (Менейлюк, О. І., Дубельт, & Менейлюк, 2018), а саме:

1. Сучасне місто на старому місці – поступове зведення сучасного міста з відмовою від довоєнної архітектури. Інноваційні технології в архітектурі та дизайні. Приклад такого міста – Роттердам (рис. 1), Нідерланди.



Рис. 1. Зруйнований Роттердам та сучасне місто на старому місці, Нідерланди

2. Нове місто поруч із зруйнованим – поступове зведення сучасного міста в безпосередній близькості від руїн зруйнованого, які консервуються та переходять у статус меморіалу. Приклад – Орадур-сюр-Глан (рис. 2), Франція.

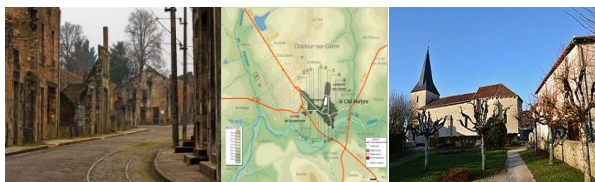


Рис. 2. Примара селища Орадур-сюр-Глан та сусідній муніципалітет, Франція

3. Відновлене нове місто – поступове зведення сучасних частин міста на місці старого з частковим збереженням планувального каркасу та логіки історичного міста з точковим впровадженням найактуальнішої сучасної архітектури Ульм (рис. 3), Німеччина.

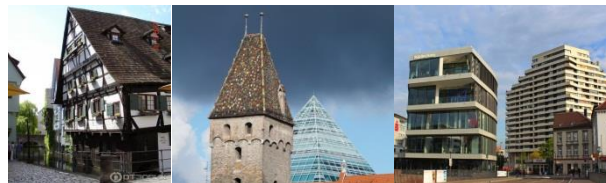


Рис. 3. Місто Ульм – з частковим збереженням планувального каркасу, Німеччина

4. Відновлене нове місто з радикальним переосмисленням центральної частини міста – внесення сучасних елементів до планувального каркасу історичного міста зі збереженням атмосфери історичного міста Ковентрі, Великобританія (рис. 4).



Рис. 4. Сучасні елементи історичного міста Ковентрі, Великобританія

5. Нове місто, побудоване на зразок історичного – будівництво міста за його подобою до війни у Варшаві (рис. 5), Польща.



Рис. 5. Відновлення історичного міста у Варшаві, Польща

Від обраного для міста шляху розвитку залежить можливість вдосконалення міського середовища протягом тривалого часу, оскільки якість подальшого розвитку буде вищою, якщо всі важливі для міста аспекти враховані на початку «нового життя» після руйнівної катастрофи.

Будівельна галузь зростає постійно і швидкими темпами, але незмінною залишається одна проблема на різних етапах реновації та реконструкції з технології і організації будівниц-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

тва – будівельні проекти вимагають складної та оптимальної координації людей та ресурсів на об'єктах (Менейлюк, О. І., Дубельт, & Менейлюк, 2018).

Використання ІТ-технологій дають можливість вирішити цю проблему. Роль інноваційних технологій та їх складових – мобільних додатків, комп'ютерного чи іншого сучасного супутнього обладнання і різними технічними новинками в інших областях у будівельній індустрії міцніє, оскільки вони ефективніше дозволяють виконувати та відстежувати роботу будівельників, етапи процесів, терміни, обладнання та багато іншого в залежності від наявності інноваційних технологій та їх складових (Syed, & Mohit, 2022).

Згідно з прогнозом Deloitte в галузі будівництва на 2023 рік, 76 відсотків керівників інженерів і будівельників вказали, що планують інвестувати в цифрові технології цього року. Інвестування в новітні будівельні технології допомагає власникам бізнесу сприяти цифровим перетворенням і залишатися на крок попереду конкурентів. Ці передові технології кардинально змінюють те, як працює галузь і як будуть завершуватися майбутні проекти.

Традиційна форма управління будівництвом передбачала застосування електронних таблиць, довідників-книг та електронну пошту. І це впливало на продуктивність та збільшувало складність зберігання інформації та ведення документації. Але сьогодні інноваційні ІТ-технології дозволяють поширити сфери використання в будівництві і конкретно при реновації і реконструкції будівель. Нове технічне обладнання та мобільні додатки для будівництва взяли на себе рутинну частину роботи будівельників – оцифрування документації, облік ресурсів, автоматизація низки завдань, включаючи контроль, що збільшило продуктивність і прискорення термінів реалізації проєктів, не кажучи вже про загальні скорочення витрат.

Щороку інженери розробники апаратних засобів, програмісти та розробники мобільних додатків пропонують покращені версії або нові програми для будівництва, які полегшують та допомагають спеціалістам вирішувати комплексні завдання, починаючи від менеджменту будівельних об'єктів, закінчуючи прорахунками кошторису, проєктування ІТ-моделей, будівництвом та контролем на будь-якому етапі. Будівни-

цтво – це насамперед практичні процеси творення в реальності, які безумовно, пов'язані з попередніми етапами проєктування, обчислення, планування, які відбуваються у віртуальному просторі чи папері в сучасності повинен постійно слідкувати за новими розробками інноваційних технологій та технікою.

Сьогодні при реновації і реконструкції на етапі технології і організації вимоги з архітектурної виразності, індивідуальності, підвищеної якості, довговічності будівель, зменшення матеріальних, трудових, енергетичних витрат вимагають використання інноваційних технологій (Менейлюк, О. І., Дубельт, & Менейлюк, 2018; Syed, & Mohit, 2022).

Комплексна відповідність критеріям нових конструктивних та технологічних рішень при виборі і використанні ІТ технологій є важливим завданням для будівництва, що є програмою розвитку будівництва в цілому.

### Мета

Розгляд та аналіз основних переваг вибору сучасних новітніх технологій на різних етапах технології організації будівництва:

- проаналізувати та узагальнити методичні підходи, конструктивні і організаційно-технологічні рішення, дослідити нормативну базу і результати досліджень використання ІТ-будівництва;

- дослідити, систематизувати та визначити ступень впливу ІТ на економічні показники;

- розробити організаційно-технологічні рішення вибору інноваційних технологій та їх складових, що підвищують ефективність робіт.

### Методика

Інноваційний підхід до вибору технологій та їх складових, вибір та обґрунтування методів технології і організації робіт стали пріоритетним напрямом для розвитку будівельної галузі, якісного забезпечення будівель та споруд різного функціонального призначення, стратегічного прориву, наукового підходу. Архітектурна виразність, індивідуальність, підвищена якість, довговічність, надійність будівель та споруд, найменші матеріальні, трудові, енергетичні витрати на їх будівництво зробили саме будівництво найбільш високотехнологічним (ДСТУ Б А.2.4-7:2009, 2009).

Архітектори та дизайнери давно створюють свої проекти, використовуючи програми 3D-моделювання та візуалізації. Використовуючи BIM-технології вони можуть відчувати, як це – знаходитись всередині свого майбутнього творіння (Rizo-Maestre, González-Avilés, Galiano-Garrigós, Andújar-Montoya, & Puchol-García, 2020). Для цього їм потрібно одягнути окуляри віртуальної реальності та озирнутись навколо себе на 360 градусів. Проглянути свої моделі та внести зміни в проект у режимі реального часу. При цьому вони можуть знаходитись на іншому кінці світу. Таким є захоплюючий світ сучасного віртуального будівництва. Це справді кардинальні інновації BIM для галузі, яка традиційно була зорієнтована архітектуру та дизайн, а не на організацію і технологію будівельної галузі (BIM-технології для сучасного архітектора).

Організація і технологія будівельного виробництва має багато складових, які раніш важко було комп'ютеризувати та впровадити нові електронні та програмні розробки (Ушацький, Шейко, Тригер, et al., 2007). Головне завдання будівельного виробництва – зведення будівель і споруд в точній відповідності із затвердженим проектом, забезпечення високого рівня якості будівництва відповідно до норм (ДБН А.3.1-5-2016, 2017), що діють, і технічних умов, підвищення ефективності капітальних вкладень, скорочення термінів зведення будівель і споруд, зниження трудових і матеріальних витрат. Організація і технологія будівельних процесів складається з таких частин:

- вибір найбільш прийнятної технології, обладнання та матеріалів, виконання будівельних процесів і робочих операцій на основі застосування нової ефективної будівельної техніки;
- організація робочих місць, повне завершення попередніх робіт, раціональне розміщення машин і пристосувань, інвентаря і матеріалів;
- планування режимів праці і послідовності виконання робіт, при якому процеси, які вимагають підвищеної точності, виконувалися б на початку робочої зміни;
- формування бригад і ланок так, щоб кваліфікаційний склад бригад і ланок забезпечував рівномірне завантаження окремих робочих в колективі;

- виключення причин явних і прихованих простоїв, пов'язаних з непередбаченою фронтальною роботою, неузгодженістю виконання суміщених процесів, невчасним постачанням матеріалів, а також виключення випадків порушення трудової дисципліни тощо;

- забезпечення нормальних взаємин усередині виробничого колективу.

Ефективність будівельного виробництва, його технічний рівень залежать від рівня організації і технології будівельного виробництва (ДБН А.3.1-5-2016, 2017), які по характеру виконання ділять на три групи: загальнобудівельні, спеціальні і допоміжні.

Загальнобудівельні роботи охоплюють процеси зведення всіх будівельних конструкцій споруди, починаючи від зведення фундаментів і кінчаючи пристроєм кривлі.

Спеціальні роботи включають в свій склад монтаж сантехнічних, електротехнічних і слабкострумних пристроїв, технологічного устаткування і виконання захисних покриттів (гідроізоляція, теплоізоляція, антикорозійний захист).

Допоміжні роботи пов'язані з інженерною і організаційною підготовкою території будівництва, транспортуванням і складуванням матеріалів і конструкцій.

Залежно від характеру, особливостей і часу виробництва робіт, а також їх раціональній технологічній послідовності будівельні роботи групуються в окремі періоди і цикли.

Підготовчий період будівництва припускає виконання проектно-вишукувальних робіт, робіт з інженерної підготовки території будівництва, організацію будівельного майданчика.

Основний період будівництва охоплює всі роботи, пов'язані із зведенням даної будівлі, споруди або їх комплексів, а також з впорядкуванням і озелененням прилеглої території. Основний період будівництва підрозділяють на цикли: підземний, надземний і опоряджувальний.

Підземний цикл будівництва включає: земляні роботи (риття котлованів під підвал і фундаменти із зворотною засипкою і ущільненням ґрунту); бетонні і залізобетонні роботи, пов'язані з пристроєм фундаментів, бетонних підстав під підлоги підвалу і вимощення; монтаж будівельних конструкцій підвалу і технічного підпілля; роботи по гідроізоляції фундаментів, а також підлоги та стін підвалу; про-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

кладка постійних зовнішніх комунікацій з пристроєм введеним в будівлі.

Надземний цикл будівництва включає: цегляну кладку стін і перегородок; процеси монтажу будівельних конструкцій будівлі вище відмітки підлоги першого поверху – панелей зовнішніх і внутрішніх стін, панелей перекриттів, конструкцій сходів і ліфтових шахт, балконів і лоджій, віконних і дверних блоків, конструкцій покриттів і покрівель; санітарно-технічні і електротехнічні роботи по прокладці внутрішніх комунікацій.

Опоряджувальний цикл будівництва містить роботи по пристрою полов, штукатурки і облицювання поверхонь стін; пристрою підвісних стель, малярні, шпалерні і скляні роботи; внутрішні санітарно-технічні і електротехнічні роботи (протяжка проводів, установка устаткування).

Абсолютно новий підхід з використання інноваційних технологій доводить, що навіть у найсерйозніших галузі будівництво є місце новим технологіям, які фундаментально змінюють методи координації та співробітництва учасників проекту – архітектори, дизайнери, проєктувальники, будівельники (ДСТУ Б А.2.4-4:2009, 2009).

### Результати

Зараз моделювання будівель виходить на якісно новий рівень. У новій версії свого програмного продукту Revizto компанія Vizerra з Сан-Франциско розширює вже існуючі функції інформаційного моделювання. Спираючись на технології 3D-моделювання і хмарні технології, Revizto об'єднує різноманітні архітектурні простори та виробничі потоки у єдину наочну модель, всередині якої можна пересуватись. Інтерактивний тривимірний робочий простір дозволяє користувачам «відвідати» об'єкти своїх розробок, паралельно виправляючи помилки чи вносячи зміни до проєкту чи будівельних робіт (Андрухов, 2018). Наразі це Revizto підтримує 3D-окуляри HTC Vive та Oculus VR.

За допомогою трекера, вбудованого у Revizto, члени проєктної групи можуть працювати в режимі реального часу та розподіляти виробничі завдання. Як стверджують представники компанії Vizerra, такий підхід допомагає клієнтам економити до 40 % оплачуваного ча-

су, адже тепер помилки, такі як, наприклад, нестача освітлення чи незручне розташування опорних колон, легко виправити ще до початку будівництва. Тому що доведено, що понад 30 % загального бюджету проєкту витрачається на виправлення помилок, непомітних на етапі розробки, де величезні кошти витрачаються даремно через застарілі стандарти.

Сьогодні питання для організації і технології будівництва більше не в тому, що необхідно оцифрувати свої будівельні проєкти та розрахунки використовуючи сучасні програмні засоби та автоматизоване комп'ютерне обладнання, а в адаптації до інноваційних технологій, що постійно розвиваються, вдосконалюються та використовувати автоматизоване будівельне обладнання, включають штучний інтелект, програмне забезпечення BIM, 3-D друкарні, роботи та LiDAR. Усі вони створені та адаптовані, щоб допомогти промисловості покращити умови праці, підвищити ефективність, покращити здоров'я та безпеку та отримати багато інших переваг. Завдяки зростанню технологій організації спільної роботи, які дозволяють будівельним підприємствам працювати на одній інтегрованій платформі.

Проаналізувавши сучасну літературу, інтернет-сайти сучасних українських та закордонних авторів можна виділити 10 найбільш інноваційних прикладів будівельних технологій і організацій, які були запущені чи заплановані на запуск змінити галузь, які вплинуть на будівельну галузь у 2020-2030 роках (BIM-технології для сучасного архітектора; Новітні BIM-технології у будівництві; Впровадження BIM-технологій підвищить якість проєктування):

#### Підключені каски

Мобільна комунікація, організована на будівельному майданчику, гарантує, що всі учасники проєкту знають, що є актуальним по конкретному дню (рис. 6).



Рис. 6. Мобільний додаток для обліку робочого часу

Чат у програмі та push-сповіщення – «Об'єднайте взаємодію членів команди» на об'єкті та в офісі за допомогою єдиного чату, а оповіщення допоможуть швидко реагувати та приймати рішення.

Безкоштовний доступ для субпідрядників – контролює 100 % комунікації – навіть із сторонніми підрядниками. Мобільна комунікація доступна 15+ мовами – будівельна команда зможе ефективно працювати обраною мовою.

Смарт-годинники, планшети, смартфони – гаджети, які в використовуються в організації і технології для робітників різного рівня: проєктувальники (рис. 7), виконроби, майстра та робочих різних спеціальностей вже є необхідним у проведенні оперативних нарад дистанційно (точність зібраних даних також дає змогу краще оцінювати помилки на сайті, щоб краще запобігти недолікам), завданню виконавцю типів робіт та контролю виконаних робіт, заказу матеріалів, обладнання та інше.



Рис. 7. Графічний планшет для проєктування та моделювання

Збільшена портативність планшетів і смартфонів дозволяє краще спілкуватися і працювати з будь-якого місця. Точніше, програми для збору даних допомагають будівельним компаніям збирати швидше, точніші та якісніші дані з місця роботи.

*Приклад:* PlanRadar може бути інтегрований з кількома іншими програмними рішеннями. PlanRadar пропонує Open API, тому якщо ви шукаєте конкретну інтеграцію, завжди є рішення для ваших завдань і цілей. Для управління кресленнями та спільного користування документами PlanRadar також інтегрується з Dropbox, Google Drive та OneDrive (рис. 8).



Рис. 8. Управління будівництвом із програмою PlanRada

Інтеграція цього типу технології у ваші поточні процеси проста та вимагає менших початкових інвестицій, але при цьому забезпечує великі переваги, зокрема: значна економія часу та зменшення кількості помилок при введенні даних. Користувачі програми для збору даних повідомляють, що щотижня заощаджуються понад 20 годин роботи на місцях та адміністрування, а також на 50 % зменшується кількість помилок при введенні даних.

Безумовно, є більше можливостей для розвитку носимих пристроїв у будівельному просторі. В результаті цього такі компанії, як Shimabun, випустили комплекти оновлення, які можна встановити на стандартні каски, надаючи працівникам новий широкий спектр розширених можливостей організації та контролю за ходом робіт. Також гаджети необхідні при контролі техніки безпеки.

Каска, оснащена Shimabun, контролює місцезнаходження, рух і температуру, в результаті цього він може дозволити йому попереджати про те, що працівник може мати запаморочення або перегрів. Ще одна особливість цієї будівельної технології полягає в тому, що вона може також розпізнати, чи впав працівник, і викликати швидкий виклик до осіб.

#### *Програмне забезпечення BIM*

BIM або інформаційне моделювання будівель поєднує використання технологій IT і AR, щоб створити розумний варіант інструментів менеджменту управління та планування робочого процесу. Ключовий прогрес будівельних технологій BIM у будівельній галузі завдяки своїм можливостям дає, наприклад, керівникам будівництва створювати інтелектуальні 3D-моделі своїх проєктів, водночас створюючи на їх основі розумні робочі процеси. В результаті ця технологія підвищила економічність будівництва на всіх етапах, від планування та проєктування аж до обслуговування будівлі.

Дизайнери та архітектори можуть швидко змінювати свої креслення в програмному забезпеченні (ДСТУ Б А.2.4-7:2009, 2009), проєктувати будівлі та споруди в режимі реального часу замість того, щоб малювати їх вручну. Впровадження цифрових технологій значно прискорило процес розгляду. У той час як будівельники та підрядники можуть отримати повне відчуття будівлі за допомогою віртуальної реальності, техніки та інші експерти можуть співпрацювати віддалено, не відвідуючи сайт.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Персонал може координувати один з одним і залишатися на зв'язку за допомогою будівельного програмного забезпечення. Він має прискорені завдання, як-от обмін файлами та отримання зворотного зв'язку, покращуючи щоденну роботу організацій будь-якого розміру. Технологія будівництва також зменшила витрати на будівництво та значно зменшила ймовірність непорозумінь між відділами.

Вироблені конструкції, розроблені відповідно до галузевих стандартів, є більш міцними. Підприємці працюють розумніше, а не важче, отримують кращі результати з меншими зусиллями. Дизайнери та архітектори створюють 3D-моделі перед початком будь-яких робіт. Потім вони проходять ретельну перевірку на предмет будь-яких невідповідностей, що призведе до кращої структури будівлі. Тестування моделей на точність допомагає підприємцям заощадити час і ресурси.

Технологія будівництва також ефективна під час модернізації, що приводить старі будівлі у відповідність до сучасних стандартів і зменшує потребу в будівництві нових споруд. Стратегічне переобладнання покращує такі компоненти, як освітлення та пожежну безпеку за допомогою новітніх будівельних технологій, і підприємці можуть досягти бажаних результатів із меншою кількістю матеріалів.

Програмне забезпечення дозволяє технологам експериментувати з макетами та проектами, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів і надаючи дизайнерам можливість творчо підходити до своєї роботи. Технологія стимулює інновації, що дає професіоналам у будівництві можливість розвивати та підвищувати будівельну індустрію.

Економія коштів є основною перевагою використання технології. Тепер компанії можуть стандартизувати свої процеси та планувати кращі бюджети, завчасно виявляючи й усуваючи помилки.

### 3D-друкарні

Протягом багатьох років технологія 3D-друку значно розвинулась до такої міри, що багато компаній у будівельній галузі виявили, як надрукувати весь будинок швидше та дешевше, ніж традиційний метод, використовуючи саме це програмне забезпечення та технологію.

Перший будинок, надрукований на 3D-принтері (рис. 9), був проданий менше ніж за

10 000 доларів США в Сполучених Штатах (приблизно менше ніж 7 509 фунтів стерлінгів). Ще 50 3D-друкованих будинків зараз розробляються в Мексиці, що сприяє змінам в індустрії будівництва будинків.



Рис. 9. Надрукований на 3D-принтері будинок

Це в свою чергу зробить покупку житла доступнішою для кожного. Це ще один крок, який робить будівельна галузь, щоб адаптуватися до нових технологічних досягнень.

### Лідар

Технологія LiDAR може допомогти в геодезичних роботах створювати тривимірні зображення ділянки; вимірювати відстані (діапазон), освітлюючи ціль лазерним світлом і вимірюючи відбиття за допомогою датчика, який можна встановити на ряді інших будівельних технологій по всьому об'єкту.

Також дає працівникам можливість сканувати навколишнє робоче місце та створювати 3D-зображення високої роздільної здатності в режимі реального часу. Таким чином, працівникам можливості виконувати роботу на об'єкті на відстані, що в результаті допомагає усунути чи зменшити будівельні помилки, зменшити або усунути ризики для здоров'я та безпеки та травми інших працівників.

Технологія LiDAR (рис. 10) може використовуватися для різних цілей, наприклад: тінювий аналіз; тунельна зйомка; виявлення дефектів конструкції; картографування дрона; класифікація земель; моделювання висот; міська оцінка; аналіз оптичного волокна та каналізації.



Рис. 10. LiDAR. Графічний планшет для проектування та моделювання Drone lidar system

Недоліки. Технологія LiDAR також дуже крихка, і ємність датчика LiDAR може бути обмежена за певних погодних умов, таких як сильний піл, дощ, сніг або туман.

#### *Розумна інфраструктура*

Hexagon Geosystems створила структурну систему моніторингу, яка використовує датчики для моніторингу сильних і слабких сторін конкретної конструкції, яка в іншому випадку була б невидимою для людського ока.

Монітори розроблені, щоб допомогти працівникам передбачити структурні проблеми до того, як вони виникнуть, дозволяючи власнику об'єкта залучити правильну команду для виконання необхідного технічного обслуговування до того, як об'єкт стане небезпечним, уникаючи таким чином нещасних випадків та знижуючи подальші ризики для здоров'я та безпеки.

Цю технологію також можна використовувати в природних умовах, таких як каменепади та шахти, для оцінки структурної цілісності об'єкта, таким чином, зменшуючи ризик для працівників та попереджаючи будівельну бригаду на місці про будь-які небезпечні умови.

Віртуальна реальність і доповнена реальність.

Варто пояснити відмінності між цими двома термінами, щоб уникнути плутанини. Віртуальна реальність (VR) відноситься до створення повністю змодельованого середовища і має відносно довгу історію в будівельній галузі. Однак доповнена реальність (AR) передбачає накладання зображень, створених комп'ютером, та інформації про зображення в реальному світі.

VR є важливою частиною будівельної технології для галузі в різноманітних аспектах, зокрема навчання, безпека, покрокові інструкції щодо структури, огляди плану та подібні аспекти. VR також може допомогти операторам обладнання на місці безперешкодно запускати симуляції, які можуть бути занадто небезпечними для відтворення, наприклад, стихійне лихо або серйозна несправність обладнання.

У той час як AR може надати працівникам будівельних майданчиків віртуальний відгук про реальний прогрес, гарантуючи, що всі на одній сторінці та зменшено кількість помилок на місці. AR є чудовим інструментом для передачі інформації шляхом накладання даних на реальну інформацію для кінцевого користувача.

Доповнена і віртуальна реальність є перевіреними будівельними технологіями для галузі, з багатьма перевагами, наприклад, підрядник може тримати планшет у будинку й бачити розташування кожного необхідного свердловини, не перевіряючи фізичний план будівлі.

#### *Штучний інтелект*

Штучний інтелект або AI став ключовим технологічним прогресом для багатьох галузей, включаючи будівництво. ШІ пропонує будівельній галузі можливість прискорити планування та зробити всі операції швидшими та ефективнішими. Таким чином, створюючи більшу потребу в технології AI в галузі в результаті ALICE, був створений помічник AI, розроблений спеціально для будівельної індустрії.

Технологія робота розроблена, щоб скоротити тривалість складання проєкту та витрати на цілих 15 %. Крім того, ви можете оцінювати мільйони даних і створювати варіанти планування, які спеціально оптимізовані з урахуванням часу та витрат, що дозволяє проєктам залишатися в курсі (ДБН А.2.2-3-2014, 2014).

#### *Екзоскелети*

Ще одним технологічним досягненням 2022 року є використання екзоскелетів у будівельній індустрії. Екзоскелети – це ще одна частина носової технології, яка працює разом з користувачем, дозволяючи працівникам сайту виконувати більше роботи, ніж це можливо.

Метою цієї технології є мінімізувати навантаження та травми для тіла працівників, а також допомагати підвищити продуктивність працівників, оскільки працівники здаються менш втомленими під час використання цієї технології. Як результат, цей прогрес будівельних технологій допоможе підвищити безпеку на місці та зменшити кількість втрачених годин через травми.

Існує безліч різних версій екзоскелетів, кожен з яких має своє призначення. До них належать: силові рукавички – інструменти та матеріали для захоплення; підтримка рук і плечей – підслухані дії та підйоми; підтримка спини – зупинка, підйом або тяга; підтримка стоячи та пригнувшись – завдання, яке вимагає тривалого стояння, тобто свердління; костюм для всього тіла – підйом і перенесення важких інструментів та/або предметів.

Існує також два значущих типи екзоскелетів: механічний, який призначений для пере-



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

розподілу ваги, і електричний, призначений для підвищення міцності.

*Гуманоїдні робітники*

У відповідь на постійну нестачу робочої сили в багатьох галузях робочої сили по всьому світу японські дослідники розробили технологію людської праці під назвою: HRP-5P. HRP-5P – це робот-гуманоїд, (рис. 11) здатний виконувати основні фізичні завдання, такі як монтаж гіпсокартону або цегляна кладка самостійно.



Рис. 11. Робот-гуманоїд

Поряд з HRP-5P, існують також інші роботизовані досягнення, такі як TuBot, Doxel AI та багато інших вбудованих робототехніки, (рис. 12), наприклад, автоматизований навантажувач гусениць або ATL. Кожен з яких має свої особливості та обов'язки.



Рис. 12. Багатофункціональні модульні роботи HRP-5P та TuBot, Doxel AI

До них належать:

Doxel AI – використання роботів та штучного інтелекту (AI) для моніторингу прогресу сайту з даними, які можна діяти в реальному часі, за допомогою ряду різних технологічних функцій, таких як високотехнологічні камери, LiDAR і дрони.

TuBot – автономний робот для зв'язування арматури, розроблений для збільшення та зменшення потреби в робочій силі в найкритичнішій діяльності при будівництві настилу мосту.

ATL – розроблено для розкопок невеликих будівельних майданчиків з використанням ряду різних технологічних функцій, таких як доповнений GPS і LiDAR.

Однак у розвитку технології будівництва можуть бути як позитивні, так і негативні сторони. Наприклад, він автоматизує небезпечні завдання, що означає, що людські працівники захищаються від ризику шкоди, а ризики для здоров'я та безпеки зменшуються. Існує також побоювання, що розвиток технологій також позбавить їх від робочої сили та зменшить потребу в людській праці. Багато лідерів галузі рекомендують широкомасштабну перепідготовку, щоб допомогти утримати працівників у сферах, де вже не вистачає працівників.

*Рої роботів*

На відміну від гуманоїдних роботів, які смутно схожі на людей, роботизовані зграї складаються з сотень маленьких індивідуальних роботів, які працюють у тандемі один з одним для виконання звичайних повсякденних завдань, таких як кладка цегли.

Перший у своєму роді був розроблений і створений дослідниками з Групи системних досліджень Гарвардського університету, які розробили рій маленьких чотириколісних роботів, які функціонують злагоджено для виконання завдань.

Можливості цієї технології роботизованого роя безмежні, оскільки їх можна запрограмувати не тільки на укладання цегли, а й безпечно ремонтувати інфраструктуру в затоплених або важкодоступних місцях, які вважаються небезпечними для людей, що ще раз допомагає зменшити питання охорони здоров'я та безпеки будівельних галузей.

Інвестування в новітні будівельні технології, безсумнівно, розумний бізнес-хід. Головне – знайти технологічні інструменти, які допоможуть досягти цілей будівельної компанії.

Фактично будівельні технології продовжують швидко розвиватися і рухати вперед індустрію будівельних технологій, щоб стати безпечнішою, дешевшою і швидшою.

Будівельна галузь швидко адаптуватися, використовуючи інноваційні технології допомагаючи індустрії працювати безперебійно, виконуючи складні завдання, такі як проектування, розробка та будівництво хмарочоса, готельного комплексу, мостів та тунелів, промислових комплексів та інших будівель і споруд (рис. 13). При цьому зберігається екологія, природний ландшафт, соціально-культурні цінності.



Рис. 13. Будівельно-інноваційні технології

#### *Методика*

Технологія і організація прийняття рішень впровадження інноваційних технологій в будівництві завжди мала інформаційну основу, тому впровадження є процес необхідний для розвитку будівельної галузі. Мета інформаційних технологій використовувати сукупність засобів і методів збору, обробки, передачі, використання даних та технічних засобів для подальшого отримання ефективності будівництва.

Основним ресурсом сучасного розвитку проєктування та реконструкції в сучасних умовах є розвиток інформаційних індустрій, ринків інформаційних технологій та продуктів, інформаційних просторів і т.п.

Двома характерними рисами будівництва нового типу є інформаціональність та глобальність. Суть полягає в тому, що продуктивність і конкурентоспроможність технологій залежить від їх здатності генерувати, обробляти та ефективно використовувати інформацію, організуються у глобальному масштабі, безпосередньо або з використанням останніх розробок провідних фірм.

Їх застосування може бути раціональне в першу чергу в районах зруйнованих війною, зі складними геологічними умовами і тощо. Нова інформаційна технологія є «дружнім» інтерфейсом роботи для будь-якого етапу організації і технології.

Практика підтвердила перевагу будівництва промислових, житлових і суспільних будинків з використанням інноваційних систем, що дало економії коштів, термінів, трудових ресурсів та якості робіт (ДБН А.2.2-3-2014, 2014).

#### *Результати*

За активного розвитку нових інформаційних технологій, а на їх основі технічних засобів у будівельній галузі, організація і технологія будівництва становить більш продуктивною, економічною та безпечною.

Впровадження в Україні ІТ, зокрема технологій інформаційного моделювання будівель – ВІМ-технологій, дозволить вивести будівельну

галузь на новий рівень, підвищити якість контролю будівельних робіт та сприятиме реалізації в країні сучасних передових проєктів. Серед плюсів впровадження ІТ є моментальне отримання доступу до будь-якої інформації про об'єкт, якісний контроль робіт на всіх етапах, уникнення колізій у проєктах та будівництві, істотне скорочення вартості будівництва, а також більш раціональне використання ресурсів і соціальне-культурне впровадження містобудування згідно історичним традиціям. Головна перевага у впровадженні ІТ у будівництві – можливість досягти практично повної відповідності характеристик майбутнього об'єкта вимогам замовника. Це, у свою чергу, зможе позитивно вплинути на підвищення позиції України у рейтингу світу.

#### **Наукова новизна та практична значимість**

Проведеним аналізом інноваційних технологій в будівництві в даний час було визначено, що використання їх в технології і організації будівництва, дає можливість виконати вибір технологій відповідно проєктним та будівельним роботам за конструктивними рішеннями, за призначенням, за матеріалом, за економічністю і тощо. Пропонована широкий вибір найбільш інноваційних прикладів будівельних технологій і організацій у світі.

#### **Висновки**

Використання різних сучасних інноваційних технологій дозволяє підвищити технологічність та економічність будівельного процесу. При цьому терміни будівництва та його якість безпосередньо залежать від впровадження цих технологій на різних етапах будівельної галузі при будівництві чи реновації і реконструкції.

Для стійкого розвитку будівельних підприємств особливу увагу слід приділити оновленню технічного потенціалу та формуванню інноваційного потенціалу підприємств. Будівельна галузь України, яка є достатньо специфічною галуззю, потребує особливої уваги з боку держави.

Метою здійснення інноваційної діяльності підприємств будівельної галузі є отримання додаткового прибутку від реалізації інноваційних процесів в будівництві продукції промислового та цивільного призначення шляхом найповнішого задоволення потреб споживачів.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Особливості інноваційних процесів будівельних підприємств – український будівельний комплекс має здатність функціонувати навіть у складних умовах.

Необхідно визначити, що розвиток будівельних підприємств і будівельної галузі у цілому повинен здійснюватися на основі інноваційних процесів які є складовими ефективною виробничо-господарчої діяльності. Успішна діяльність підприємств галузі залежить від того, як і підприємства можуть швидко реагувати на зміни та своєчасно активізувати інноваційні процеси на своєму підприємстві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- BIM-технології для сучасного архітектора. URL: <https://www.bakotecharchitects.com/uk/event/vim-tehnologii-dlj-suchasnogo-arhitekтора-baku/>
- Rizo-Maestre, C., González-Avilés, Á. Galiano-Garrigós, A., Andújar-Montoya, M. D., & Puchol-García, J. A. (2020). UAV + BIM : Incorporation of Photogrammetric Techniques in Architectural Projects with Building Information Modelling Versus Classical Work Processes. *Remote Sensing*, 12(14), 23-29.
- Syed, U., & Mohit, J. (2022). Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS : An overview. *International Conference on Advances in Construction Materials and Structures*, 65(2), 1908-1914.
- Андрухов, В. М. (2018). Наскрізнi автоматизованi технологiї в проектуваннi багатоповерхових жи-

тлових будiвель. *Сучаснi технологiї, матерiали i конструкцiї в будiвництвi*, 104-109.

- Впровадження BIM-технологiї пiдвищить якiсть проектування. URL: <https://100realty.ua/uk/news/vprovadzennavim-tehnologii-pidvisit-akistproektuvanna>
- ДБН А.2.2-3-2014 (2014). *Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проєктної документацiї для будiвництва*. Київ: Мiнрегiонбуд України.
- ДБН А.3.1-5-2016 (2017). *Органiзацiя будiвельного виробництва*. Київ: Мiнрегiонбуд України.
- ДСТУ Б А.2.4-4:2009 (2009). *Основнi вимоги до проєктної та робочої документацiї*. Київ: Мiнрегiонбуд України.
- ДСТУ Б А.2.4-7:2009 (2009). *Правила виконання архiтектурно-будiвельних робочих креслень*. Київ: Мiнрегiонбуд України.
- Іваник, І. Г., Віхоть, С. І., Пожар, Р. С., Іваник, Я. І., & Вибранець, Ю. Ю. (2013). *Основнi реконструкцiї будiвель i споруд*. Львів: Видавництво Львiвської полiтехнiки.
- Менейлюк, О. І., Дубельт, Т. М., & Менейлюк, І. О. (2018). *Інновацiї у будiвництвi та реконструкцiї*. Київ: ТОВ НВП «Інтерсервіс».
- Новiтнi BIM-технологiї у будiвництвi: навищо вони потрібнi в Україні. URL: <https://legalhub.online/budivnytstvo/novitni-vim-tehnologiyi-ubudivnytstvi-navishho-vony-potribni-ukrayini/>
- Ушацький, С. А., Шейко, Ю. П., Тригер, Г. М. et al. (2007). *Органiзацiя будiвництва*. Київ: Кондор.

B. I. ANIN<sup>1\*</sup>, S. V. PASTUKHOVA<sup>2</sup>, YU. O. BILOV<sup>3</sup>, N. G. METELENKO<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Soborny Ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69606, tel. +38 (067) 401 41 52, e-mail yurabella1@gmail.com, ORCID 0000-0002-2936-2262

<sup>2</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Soborny Ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69606, tel. +38(067) 366 20 22, e-mail susannapastukhova@gmail.com, ORCID 0000-0002-9324-3065

<sup>3</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Soborny Ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69606, tel. +38(095) 940 10 13, e-mail yurabella1@gmail.com, ORCID 0000-0003-2374-2632

<sup>4</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Soborny Ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69606, tel. +38 (067) 779 56 16, e-mail natalia.metelenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-6757-3124

## INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES AS IMPROVEMENT OF ORGANIZATIONAL PROCESSES OF CONSTRUCTION

**Purpose.** Analysis of the main advantages and proposals for the use of innovative information technologies to increase the efficiency of organizational construction processes. **Methodology.** Along with the spread of organizational processes of technology and construction organization of modern well-known Ukrainian and foreign IT firms in Ukraine, there is a need to improve the image of construction by using high-tech methods of standard and non-

standard construction of civil and industrial buildings and structures. The tasks currently facing the country in the field of capital construction are the revival of renovation and reconstruction of domestic industrial and civil construction, the introduction of advanced technologies on a large scale, the rise of the culture of construction production, the training of a new generation of professional builders who are able to solve these tasks using IT in construction. The successful implementation of such a course is facilitated by measures to improve the technology and organization of construction, the introduction of new IT methods for managing renovations and reconstructions, and solving financing problems. **Findings.** The paper analyzes the scientific research of IT in construction, in particular during the renovation and reconstruction of buildings and structures, which reflect the advantages of using innovative technologies, BIM technologies at various stages of renovation and reconstruction from the technology of construction organization, and provides examples of the use of innovative technologies. **Originality.** Analysis of the results of the application of the most common IT components in industrial and civil construction makes it possible to use them at different stages, taking into account various software and technical support. **Practical value.** Technical, technological and organizational solutions in construction technology and organization, which have already been developed and implemented, allow the use of innovative technologies or their parts regardless of the technical or software equipment of construction organizations in the design and construction of construction objects. The methodological structure of analysis, quantitative evaluation and modeling of processes was developed, which made it possible to identify the dependencies that characterize the level of efficiency of works and allows for variant design of construction works with the help of these technologies.

*Keywords:* renovation; 3D modeling; modeling of construction objects; IT technologies; information model

#### REFERENCES

- BIM-tehnolohii dlia suchasnoho arkhitekora. URL: <https://www.bakotecharchitects.com/uk/event/vim-tehnologii-dljiasuchasnogo-arkhitekora-baku/> (in Ukrainian)
- Rizo-Maestre, C., González-Avilés, Á. Galiano-Garrigós, A., Andújar-Montoya, M. D., & Puchol-García, J. A. (2020). UAV + BIM : Incorporation of Photogrammetric Techniques in Architectural Projects with Building Information Modelling Versus Classical Work Processes. *Remote Sensing*, 12(14), 23-29. (in English)
- Syed, U., & Mohit, J. (2022). Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS : An overview. *International Conference on Advances in Construction Materials and Structures*, 65(2), 1908-1914. (in English)
- Andrukhov, V. M. (2018). Naskrizni avtomatyzovani tehnolohii v proektuvanni bahatopoverkhovykh zhytlovykh budivel. *Suchasni tehnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, 104-109. (in Ukrainian)
- Vprovadzhennia BIM-tehnolohii pidvyshchyt yakist proektuvannia. URL: <https://100realty.ua/uk/news/vprovadzhennavim-tehnologii-pidvisit-akistproektuvanna> (in Ukrainian)
- DBN A.2.2-3-2014 (2014). *Sklad, poriadok rozroblennia, pohodzhennia ta zatverdzhennia proiektnoi dokumentatsii dlia budivnytstva*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DBN A.3.1-5-2016 (2017). *Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DSTU B A.2.4-4:2009 (2009). *Osnovni vymohy do proektnoi ta robochoi dokumentatsii*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DSTU B A.2.4-7:2009 (2009). *Pravyla vykonannia arkhitekurno-budivelnykh robochykh kreslen*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- Ivanyk, I. H., Vikhot, S. I., Pozhar, R. S., Ivanyk, Ya. I., & Vybranets, Yu. Yu. (2013). *Osnovy rekonstruksii budivel i sporud*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. (in Ukrainian)
- Meneiliuk, O. I., Dubelt, T. M., & Meneiliuk, I. O. (2018). *Innovatsii u budivnytstvi ta rekonstruksii*. Kyiv: TOV NVP «Interservis». (in Ukrainian)
- Novitni BIM-tehnolohii u budivnytstvi: navishcho vony potribni v Ukraini. URL: <https://legalhub.online/budivnytstvo/novitni-vim-tehnologiyi-ubudivnytstvi-navishho-vony-potribni-ukrayini/> (in Ukrainian)
- Ushatskyi, S. A., Sheiko, Yu. P., Tryher, H. M. et al. (2007). *Orhanizatsiia budivnytstva*. Kyiv: Kondor. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 27.01.2023.

Прийнята до друку 03.04.2023.