

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

У контексті посилюваної складності проєктів, скорочення термінів їхньої реалізації та зовнішніх загроз упровадження цифрових рішень є надзвичайно важливим для збереження стабільності й підвищення конкурентоспроможності будівельних компаній. Актуальність дослідження зумовлена потребою в подоланні недоліків традиційних моделей постачання, які часто є непрозорими, малоефективними в координації між учасниками процесу та чутливими до затримок і витрат.

Мета статті – розглянути можливості та вплив цифрових технологій на оптимізацію процесів постачання в будівництві, зокрема використання інтегрованих платформ, систем відстеження в реальному часі, аналітики даних та інструментів автоматизації. У статті розглянуто практичні приклади впровадження цифрових технологій у будівельній галузі України та за кордоном, які наочно ілюструють потенціал таких рішень, як інформаційне моделювання будівель (BIM), Інтернет речей (IoT), хмарні сервіси та штучний інтелект, у підвищенні точності постачань, оптимізації витрат і забезпеченні гнучкості логістичних процесів.

Результати дослідження показали, що впровадження цифрових інструментів призводить до помітного підвищення ефективності ланцюгів постачань, скорочення матеріальних витрат і транспортних витрат, а також до підвищення стійкості будівельних операцій в умовах динамічно змінюваного середовища. Наголошено на тому, що впровадження сучасних цифрових технологій призведе не лише до оптимізації постачання будівельних матеріалів та обладнання, але й загалом модернізує всю галузь.

У висновках наголошено, що диджиталізація будівельної логістики – це не лише технологічна модернізація, а й стратегічна трансформація, яка вимагає організаційних змін, навчання

персоналу та створення сприятливої інституційної бази. Забезпечення успішного впровадження залежить від комплексного підходу, який інтегрує технологічні інновації з новими моделями управління ланцюгами постачань та галузевою співпрацею.

Ключові слова: *цифрова трансформація, управління ланцюгом постачань, автоматизація процесів, інтернет речей, інформаційне моделювання будівель.*

Постановка проблеми. Будівельна галузь зараз перебуває на етапі трансформації, зумовленої посилюваними вимогами до ефективності, точності та сталості в реалізації проєктів. Однією з найважливіших проблем, що постають перед галуззю, є оптимізація процесів постачання матеріалів та обладнання, які часто ускладнюються застарілими логістичними моделями, фрагментарною комунікацією та обмеженою прозорістю в реальному часі по всьому ланцюгу постачання. Традиційні підходи до закупівель і постачання, що переважно ґрунтуються на ручній координації та паперовому документообігу, виявляються недостатніми в умовах скорочення термінів реалізації проєктів, зростання їхньої складності та зовнішніх викликів, зокрема геополітичної нестабільності й глобального дефіциту ресурсів. Такі обмеження спричиняють регулярні затримки, неефективне використання ресурсів і зростання витрат, що, відповідно, знижує загальну ефективність будівельних процесів і негативно впливає на прибутковість проєктів [1].

Водночас будівельний сектор впроваджує цифрові інновації відносно повільно порівняно з іншими галузями, особливо у сфері логістики постачань. Попри наявність передових технологій, таких як інформаційне моделювання будівель (BIM), Інтернет речей (IoT), штучний інтелект та хмарні платформи, їхня інтеграція в управління постачанням залишається обмеженою та непослідовною. Багато компаній стикаються з перешкодами, пов'язаними з технічною інфраструктурою, недостатньою готовністю персоналу, незначним інвестиційним потенціалом та регуляторною невизначеністю. Як наслідок, значний потенціал цифрових технологій для підвищення точності, відстежуваності, оперативності й координації процесів постачання будівельних матеріалів та обладнання залишається нереалізованим у повному обсязі. Такий розрив між наявними технологічними можливостями та їх практичним впровадженням засвідчує актуальність проведення комплексних досліджень цифрових підходів і їхньої ефективності в подоланні критичних логістичних викликів у сфері будівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасної наукової літератури свідчить про посилення уваги до цифровізації логістичних процесів у будівництві як інструменту оптимізації постачання матеріалів та технічного оснащення. Науковці Д. Чернишев, О. Приходько, Р. Аксельрод, Д. Рижаків, О. Хомекно і С. Петруха [2] здійснили всебічний аналіз інноваційних підходів до забезпечення будівельних об'єктів, наголошуючи на важливості цифровізації процесів управління логістикою та обґрунтовуючи ефективність використання інформаційних систем у прогнозуванні потреб у ресурсах.

На впровадженні ІТ-рішень для підвищення ефективності функціонування будівельних компаній акцентує Ю. Семененко [3], зазначаючи, що цифрові платформи дозволяють суттєво скоротити часові та матеріальні витрати при постачанні будівельних матеріалів і обладнання. Автор обґрунтовує доцільність інтеграції інформаційно-аналітичних систем у внутрішні процеси з метою комплексної оптимізації постачання.

Програмно-цільовий підхід до управління фінансово-економічною безпекою підприємств, що виробляють будівельні матеріали, в умовах невизначеності розглядають Л. Мельник та С. Трофімчук [4]. Хоча основна увага зосереджена на безпеці, автори наголошують на ролі цифрових інструментів як засобу управління ризиками постачання й забезпечення стійкості логістичних ланцюгів.

Учені Н. Соколова та Ю. Штулер досліджують інноваційні технології в діяльності будівельних підприємств та підвищення ефективності їх впровадження в умовах конкуренції та динамічних змін [5]. Науковці акцентують на тому, що впровадження інноваційних технологій дозволяє скоротити витрати, зменшити час виконання проєктів, підвищити якість будівельних робіт та поліпшити безпеку праці.

Рівень інноваційного розвитку будівельних підприємств аналізує Л. Птащенко [6], розглядаючи цифрові інструменти як показник технологічної зрілості організації. Авторка вказує на прямий зв'язок між впровадженням ІТ-систем в логістичні процеси та зростанням ефективності управління ресурсами на будівництві.

Концепцію цифрової екосистеми в реалізації будівельних проєктів презентують М. Дружинін, Р. Степанюк та Е. Антипенко [7]. Науковці детально розкривають потенціал інтеграції аналітичних компонентів, таких як BIM-технології, ERP-системи та інтелектуальні платформи моніторингу, для забезпечення

безперервного та раціонального постачання ресурсів на об'єкти будівництва.

Метою дослідження є аналіз потенціалу та впливу цифрових технологій на оптимізацію процесів постачання у сфері будівництва, зокрема через застосування інтегрованих платформ, систем відстеження в реальному часі, аналітичних інструментів обробки даних і засобів автоматизації.

Виклад основного матеріалу. Постачання будівельних матеріалів та обладнання є одним із важливих елементів будівельної галузі, який останніми роками зазнає впливу численних сучасних викликів, що ставлять під сумнів ефективність, рентабельність та сталість відповідних процесів. Зростання обсягів будівництва, спричинене активною урбанізацією, розбудовою інфраструктури та збільшенням кількості населення, посилює навантаження на системи постачання, вимагаючи від них більшої гнучкості та ефективності. Однією з головних проблем є логістика. Посилення попиту на будівельні матеріали часто перевищує можливості наявних систем транспортування та зберігання, особливо в регіонах, що швидко забудовуються. Ланцюги постачань стають дедалі більш глобалізованими, а це означає, що матеріали та обладнання часто доводиться перевозити на великі відстані. Така залежність від міжнародної логістики робить галузь вразливою до затримок, зумовлених геополітичною напруженістю, торговельними обмеженнями, перевантаженістю портів, а також перешкодами, такими як пандемії чи стихійні лиха. Обмежена доступність сировини в поєднанні зі зростанням цін на енергоносії та транспортні витрати ще більше посилюють логістичні виклики, ускладнюючи своєчасне доставлення та управління витратами [8].

Окрім того, людський фактор та організаційні недоліки також відіграють важливу роль у зниженні ефективності будівельних ланцюгів постачань. Планування та координація постачань часто ускладнюються через недостатню комунікацію між учасниками, нечіткий розподіл обов'язків та застарілі системи управління. У будівельних проєктах беруть участь численні підрядники та постачальники, а відсутність інтеграції між цими сторонами часто призводить до конфліктів у плануванні, затоварювання або дефіциту критично важливих матеріалів та збільшення часу простою на будівельних майданчиках. До того ж будівельна галузь продовжує відчувати дефіцит кваліфікованої робочої сили, що не лише впливає на продуктивність праці на будівельних майданчиках, але й на роботу складів, транспортну логістику та планування закупівель. Помилки в управлінні замовленнями, зміни в специфікаціях

проектів в останній момент і неадекватне прогнозування призводять до затримок і перевитрат, яких можна було б уникнути. Ці проблеми часто пов'язані з протидією цифровій трансформації та постійною залежністю від ручних процесів або застарілих програмних систем, які обмежують прозорість і контроль у реальному часі над складними мережами постачання.

Економічні та екологічні наслідки неефективних практик постачання стають все більш помітними [9, с. 112–113]. З економічного погляду, затримки в постачанні матеріалів та обладнання можуть істотно завищувати вартість проекту через подовження робочого часу, штрафні санкції за договорами та збільшення орендної плати за простій техніки. Перевитрати бюджету та непередбачувані грошові потоки знижують фінансову стабільність будівельних компаній, зокрема невеликих підрядників, які працюють з обмеженими резервами. З погляду екології, неефективність логістики постачань часто призводить до збільшення викидів в атмосферу через неоптимальні транспортні маршрути, надмірне пакування та повторні постачання. Відходи матеріалів через надмірне замовлення або неправильне поводження з ними, а також втрати електроенергії через недотримання графіку постачань збільшують загальний негативний вплив будівельного процесу на довкілля. Ці впливи ставлять під сумнів здатність галузі відповідати цілям сталого розвитку та нормативно-правовій базі, спрямованій на скорочення викидів вуглецю та просування принципів циркулярної економіки.

Цифрова трансформація будівельної галузі визначається як важливий чинник підвищення ефективності, точності й гнучкості управління матеріально-технічними потоками в умовах складних та динамічних проектних середовищ. В умовах збільшення масштабів проектів і стислих термінів традиційні логістичні підходи вже не відповідають сучасним вимогам. З огляду на це, інтеграція цифрових інструментів і платформ у логістичні процеси є не лише проявом технологічного прогресу, а й стратегічною необхідністю, що забезпечує підтримку прийняття рішень у режимі реального часу, оптимізацію використання ресурсів і мінімізацію ризиків на всіх етапах ланцюга постачання. До найважливіших напрямів цієї цифрової трансформації належать упровадження інформаційного моделювання будівель (BIM), яке функціонує як центральна платформа для планування, візуалізації та синхронізації логістичних операцій із будівельними роботами. BIM забезпечує детальне відображення графіків постачань, місць зберігання матеріалів і розгортання обладнання безпосередньо на цифровій копії

будівельного майданчика. Така інтеграція дозволяє узгодити логістичні операції з графіком проєкту та просторовими обмеженнями, мінімізуючи перевантаження та повторні роботи на будівельному майданчику. Завдяки 4D і 5D моделюванню BIM ураховує часові та вартісні аспекти, полегшуючи процес динамічного коригування логістичних планів у відповідь на зміну умов на будівельному майданчику або модифікацію проєкту [10].

Ще одним важливим компонентом диджиталізації будівельної логістики є впровадження Інтернету речей (IoT) та сенсорних технологій. Оснащення транспортних засобів, контейнерів для зберігання та палетів із матеріалами GPS-трекерами, RFID-мітками та датчиками стану навколишнього середовища дає змогу учасникам процесу постійно контролювати місцезнаходження, стан та переміщення активів. Такий моніторинг в режимі реального часу підвищує здатність виявляти відхилення від запланованих маршрутів доставлення, затримки або ризики, такі як коливання температури, що можуть погіршити якість матеріалів, і реагувати на них. Інтеграція даних із датчиків у платформи управління логістикою дає змогу отримувати практичну інформацію та вживати проактивних заходів, які зменшують кількість відходів, запобігають зловживанням і забезпечують дотримання стандартів безпеки. Інтернет речей також сприяє автоматизації оновлення запасів і координації постачань «точно в термін», зменшуючи потребу в надмірному зберіганні на складі й, таким чином, підвищуючи просторову ефективність [11, с. 42].

Хмарні обчислення та мобільні додатки відіграють важливу роль у диджиталізації будівельної логістики, адже вони є основними інструментами для віддаленого доступу, обміну даними та управління робочими процесами. Хмарні платформи забезпечують централізоване зберігання даних і співпрацю в режимі реального часу між розрізненими командами, зокрема постачальниками, підрядниками та керівниками будівельних майданчиків [12]. Мобільні додатки дозволяють персоналу на місцях повідомляти про стан доставлення, підтверджувати отримання матеріалів і спілкуватися з логістичними координаторами без затримок. Ці інструменти підвищують швидкість реагування та зменшують кількість помилок, пов'язаних із паперовими або розрізненими каналами зв'язку. У поєднанні з системами управління ланцюгами постачань (SCM), що охоплюють закупівлі, контроль запасів і планування, цифрові інструменти забезпечують комплексне розуміння ефективності логістичних процесів та сприяють розвитку прогнозової аналітики. Системи SCM, оснащені алгоритмами

машинного навчання, можуть аналізувати історичні дані та дані в режимі реального часу для прогнозування попиту, виявлення аномалій та оптимізації стратегій закупівель, що в підсумку призводить до більш стійких та економічно ефективних логістичних операцій.

Технологія блокчейн, хоча й перебуває на ранніх стадіях впровадження в будівництві, має значний потенціал для підвищення прозорості, підзвітності та відстежуваності в логістиці. Створення незмінного й розподіленого реєстру транзакцій забезпечує документальне оформлення і перевірку кожного етапу процесу постачання – від походження матеріалу до остаточного місця призначення. Такий рівень простежуваності допомагає запобігти шахрайству, підробці та несанкціонованій зміні замовлень. Смартконтракти, вбудовані в блокчейн-системи, можуть автоматизувати виконання угод, наприклад, оплату за фактом підтвердженого постачання, тим самим зменшуючи адміністративні витрати й забезпечуючи дотримання договірних умов. Потенціал блокчейну в гарантуванні безпечного, захищеного від підробки запису всього логістичного ланцюга робить його перспективним рішенням для забезпечення якості та дотримання нормативних вимог, особливо в проєктах із посиленими вимогами до нагляду.

У таблиці 1 узагальнено основні цифрові інструменти та їхній функціональний вплив на будівельну логістику (табл. 1).

Застосування цифрових технологій у будівельній логістиці перетворилося з теоретичної концепції на набір реальних практик, які впроваджуються в проєктах у всьому світі. Ці технології змінюють способи доставлення, зберігання, відстеження та управління матеріалами й обладнанням, що призводить до оптимізації операцій та суттєвого покращення показників ефективності. В Україні низка пілотних проєктів показала ефективність інструментів цифрової логістики в подоланні інфраструктурних обмежень та фрагментації ланцюгів постачань. Наприклад, під час відновлення інфраструктури в Києві після нещодавніх руйнувань місцеві будівельні фірми співпрацювали з міжнародними постачальниками технологій для впровадження інтегрованих логістичних платформ, які об'єднали постачальників, транспортні компанії та керівників будівельних майданчиків у режимі реального часу [12, с. 310–313]. Це дозволило синхронізувати постачання, скоротити час простоїв та адаптувати планування у відповідь на непередбачувані зміни в міському середовищі. За кордоном такі країни, як Німеччина, Великобританія та Сінгапур, перебувають в центрі уваги цифрової будівельної

логістики. Зокрема, проєкт Crossrail у Лондоні – один із найбільших інфраструктурних проєктів у Європі – використовував передові системи управління логістикою, які взаємодіяли з BIM-моделями й технологіями відстеження в реальному часі. Ця інтеграція полегшила управління понад 50 логістичними вузлами й значно скоротила затримки, пов'язані з обробкою матеріалів у густонаселених зонах [13, с. 153].

Таблиця 1

Характеристика цифрових інструментів та їхній вплив на будівельну галузь

Цифровий інструмент	Функція в будівельній логістиці	Основні переваги
Інформаційне моделювання будівель (BIM)	Інтеграція логістики з плануванням та проєктуванням будівництва	Візуальна координатація, 4D/5D моделювання, зменшення кількості перероблень
Інтернет речей (IoT) та датчики	Відстеження та моніторинг стану матеріалів і обладнання в режимі реального часу	Покращена видимість, проактивне управління ризиками
Хмарні рішення та мобільні додатки	Обмін даними, віддалений доступ, звітність в реальному часі	Покращена комунікація, швидше прийняття рішень
Системи управління ланцюгами постачань (SCM)	Наскрізна координатація закупівель, інвентаризації та доставлення	Прогнозна аналітика, контроль витрат, підвищення ефективності
Технологія блокчейн	Незмінний запис транзакцій у ланцюгу постачань	Прозорість, відстежуваність, автоматизація смартконтрактів

Джерело: сформовано автором на підставі [8–11]

Аналіз цих успішних упроваджень показує, що в різних будівельних контекстах можна виокремити низку переваг, які вони надають. Насамперед цифрові технології сприяють підвищенню ефективності руху та управління ресурсами. Централізація даних та

забезпечення видимості в реальному часі на всіх етапах постачань дозволяє будівельним компаніям краще передбачати перешкоди, оптимізувати маршрути та підтримувати збалансований рівень запасів. Зниження витрат – це ще один вагомий результат. У випадку з розумною логістичною системою, упровадженою під час будівництва концертного залу Ельбфілармонії в Гамбурзі (Німеччина), цифровий моніторинг постачань і використання матеріалів призвів до зниження витрат на закупівлі та мінімізації втрат від надмірних замовлень. Підвищена точність постачань і розподілу ресурсів також є однією з важливих переваг. Завдяки цифровим системам, які забезпечують відстеження кожного компонента – від його походження до остаточного розміщення на об'єкті, значно зменшується кількість помилок щодо кількості, типу та термінів, що, відповідно, покращує загальну якість проєкту та дотримання графіку.

Однією з найперспективніших технологій, яка починає активно використовуватися в будівельній логістиці, є цифровий аналог. На відміну від статичних моделей, цифрові моделі – це динамічні, насичені даними представлення фізичних будівельних активів і пов'язаних з ними логістичних процесів. Їх використання дозволяє здійснювати комплексне прогнозування та планування операцій із постачання. Завдяки інтеграції даних із датчиків, історичних записів і прогнозової аналітики цифрові копії моделюють різні сценарії доставлення й зберігання в мінливих умовах проєкту. Ця здатність до прогнозування допомагає планувальникам виявляти перешкоди до того, як вони виникнуть, визначати оптимальні терміни постачань і тестувати логістичну доцільність різних послідовностей будівництва. Яскравим прикладом ефективного застосування цифрових копій є сінгапурський цифровий район Пунггол, де повномасштабна цифрова модель будівельного майданчика дала змогу в реальному часі координувати логістику матеріалів відповідно до фактичних темпів будівництва. Це сприяло зменшенню затворів на об'єкті та підвищенню стійкості завдяки скороченню надлишкових транспортних операцій [14].

Інтеграція цифрових платформ із традиційними системами управління будівництвом є стратегічною перевагою, оскільки пропонує гібридну модель, яка поєднує звичні робочі процеси з можливостями сучасних технологій. Замість того, щоб повністю замінювати застарілі системи, багато будівельних компаній вирішують інтегрувати цифрові логістичні інструменти з наявними системами планування ресурсів підприємства (ERP) і програмним забезпеченням для управління проєктами. Така інтеграція

забезпечує безперервність операцій, відкриваючи нові можливості, такі як автоматизовані закупівлі, інтелектуальне планування та прогнозоване технічне обслуговування обладнання. Підтримуючи безперебійний потік даних між польовими операціями й функціями бек-офісу, організації досягають більшої прозорості, прийняття більш обґрунтованих рішень і посилення підзвітності. Такі інтегровані підходи були успішно використані у Швеції під час розроблення масштабних житлових проєктів у Стокгольмі, де логістичні інформаційні панелі в режимі реального часу передавали дані в традиційні інструменти відстеження проєктів, що сприяло швидшому розв'язанню проблем і покращенню координації між зацікавленими сторонами [15, с. 89–90].

У таблиці 2 наведено приклади реальних практик цифрової логістики в будівництві з виокремленням ключових технологій, що використовуються, та пов'язаних із ними результатів (табл. 2).

Таблиця 2

Практики застосування цифрових технологій у будівельній логістиці

Місцезнаходження проєкту	Застосовані цифрові технології	Досягнуті результати
Київ, Україна	Інтегровані логістичні платформи	Скорочення часу простою, краща координація в умовах обмежень
Лондон, Великобританія (Crossrail)	Система управління логістикою з прив'язкою до BIM	Оптимізація поставчань, мінімізація перешкод для міського руху
Гамбург, Німеччина	Цифровий моніторинг поставчань	Зниження витрат на закупівлі, зменшення матеріальних втрат
Сінгапур (район Пунгтол)	Цифровий двійник для планування логістики	Оптимізація поставчань, підвищення стійкості
Стокгольм, Швеція	Інтегровані в ERP-платформу логістичні інформаційні панелі	Швидке розв'язання проблем, покращена комунікація із зовнішніми партнерами

Джерело: власна розробка автора

Диджиталізація процесів постачання в будівельному секторі все частіше сприймається як важливий крок до підвищення ефективності, прозорості та оперативності. Водночас, попри доведені переваги цифрових технологій, перехід залишається нерівномірним і гальмується низкою постійних проблем та перешкод. Ці виклики зумовлені сукупністю технічних, організаційних, фінансових, регуляторних і культурних факторів, які разом створюють складне середовище, що перешкоджає змінам і обмежує здатність до адаптації. Однією з найважливіших проблем є технічні обмеження, які полягають у відсутності сумісності між цифровими інструментами, фрагментарності IT-інфраструктури та недостатній цифровій готовності будівельних майданчиків. Багато будівельних проєктів все ще використовують застарілі системи, які не завжди сумісні з сучасними логістичними платформами або додатками, що базуються на даних. Відсутність стандартизованих форматів даних і протоколів зв'язку ще більше ускладнює інтеграцію учасників ланцюга постачань, що призводить до неефективності обміну інформацією та відсутності координації в режимі реального часу.

Організаційні недоліки також становлять значну проблему. Ланцюги постачань у будівництві часто характеризуються високим ступенем децентралізації, залученням численних незалежних підрядників, постачальників і субпідрядників з різними робочими процесами та пріоритетами. У таких умовах упровадження централізованих цифрових систем ускладнюється через непослідовність управлінських структур і нечіткість розподілу обов'язків. Контрактні угоди укладені для окремих проєктів, часто не передбачають використання спільних середовищ даних або координації логістичного планування, що обмежує можливості цифрової трансформації. Водночас галузь відчуває значний дефіцит кваліфікованих кадрів, здатних упроваджувати цифрові логістичні інструменти та керувати ними. Багато працівників, особливо в регіонах, де цифрова трансформація перебуває на початковій стадії, не мають необхідної підготовки в галузі управління даними, використання програмного забезпечення та системної інтеграції. Цей розрив у навичках обмежує практичне застосування нових технологій і посилює залежність від ручних і неформальних процесів постачання [16, с. 65].

Вартість упровадження цифрових рішень є ще однією істотною перешкодою, особливо для малих і середніх будівельних підприємств. Ці організації часто працюють із низькою нормою прибутку та обмеженим доступом до капіталу, що ускладнює

обґрунтування початкових інвестицій в обладнання, програмне забезпечення та навчання персоналу. Попри те, що цифровізація передбачає довгострокове підвищення ефективності та економію коштів, період окупності може бути невизначеним, особливо коли зовнішні умови, такі як коливання цін на матеріали або затримки в реалізації проєктів, перешкоджають отриманню очікуваних прибутків. Відсутність чітких критеріїв для оцінювання фінансових вигод цифрових логістичних систем ускладнює прийняття рішень щодо їхньої життєздатності, що додатково гальмує процес їх впровадження.

Критичним системним обмеженням є недостатня нормативно-правова та стандартна база для цифрової логістики в будівництві. У багатьох країнах не існує узгодженої законодавчої бази, що регулює використання цифрових інструментів для координації ланцюгів постачань, обміну даними або автоматизованого прийняття рішень у будівельних проєктах. Відсутність обов'язкових стандартів для цифрових логістичних операцій означає, що учасники проєктів часто повинні розробляти спеціальні рішення, які можуть не відповідати більш широким галузевим потребам або не забезпечувати сумісність між проєктами. Цей регуляторний вакуум також впливає на безпеку даних, конфіденційність та підзвітність, що викликає занепокоєння серед зацікавлених сторін щодо ризиків цифровізації. Без державної підтримки у вигляді оновлених нормативно-правових актів, державного фінансування або національних стратегій цифровізації будівельні компанії залишаються без інституційної підтримки, необхідної для ефективного переходу на цифрові системи постачання [17, с. 10].

Опір змінам є поширеною культурною перешкодою, яка характерна як для підприємств, так і для окремих фахівців будівельного сектору. Багато фахівців, особливо з великим досвідом роботи з традиційними методами постачання, скептично ставляться до цифрових інструментів, вважаючи їх руйнівними або надто складними. Цей спротив часто ґрунтується на страху перед надмірністю, втратою контролю або на переконанні, що цифрові системи не можуть пристосуватися до практичних реалій будівельних робіт. Організації також можуть не бажати змінювати усталені процеси, особливо якщо ці процеси давали задовільні результати в минулому. Як наслідок, цифрові ініціативи можуть стикатися з пасивною протидією, затримкою впровадження або поверхневим прийняттям, яке не дозволяє реалізувати весь потенціал технології.

В умовах цих комплексних перешкод цифровізація процесів у будівельному секторі потребує не лише технологічних рішень, а й стратегічного лідерства, інституційних змін та цілеспрямованої розбудови спроможностей. Подолання технічних обмежень вимагає інвестицій у сумісні системи та стандарти даних, тоді як розв'язання організаційних і кадрових питань – чіткіших структур управління та ефективних освітніх програм. Фінансові стимули, модернізація нормативно-правової бази та ініціативи щодо культурних змін є не менш важливими для створення будівельної галузі, яка зможе максимально використати трансформаційний потенціал цифрових систем постачань. Без таких скоординованих зусиль цифровий розрив у будівельній логістиці буде зберігатися, обмежуючи зростання продуктивності та перешкоджаючи здатності галузі реагувати на майбутні потреби.

Висновки. Результати проведеного дослідження підтвердили актуальність і практичну цінність упровадження цифрових технологій у процеси постачання будівельних матеріалів та обладнання. Аналіз сучасного стану цифровізації логістики в будівництві засвідчив, що галузь перебуває на етапі переходу від фрагментарного використання окремих інструментів до більш системного впровадження інтегрованих рішень. Використання таких технологій, як платформи управління ланцюгами постачань, системи відстеження в реальному часі на базі IoT, аналітика великих даних та автоматизація логістичних операцій, дозволяє суттєво знизити ризики затримок, оптимізувати запаси, покращити координацію між учасниками процесу та зменшити загальні витрати. Практичні приклади впровадження цифрових рішень у вітчизняних і міжнародних проєктах демонструють позитивну динаміку у сфері точності постачань, економії ресурсів і підвищення операційної ефективності.

Перспективи подальших наукових досліджень можуть бути пов'язані з поглибленим аналізом ефективності технологій штучного інтелекту та цифрових двійників у прогнозуванні логістичних рішень та управлінні ризиками в будівництві.

Список літератури:

1. Войтович В., Поколенко В., Ємельянова О. Оптимізація логістичних процесів для підвищення продуктивності будівельної організації. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(1). С. 34–40.
2. Чернишев Д., Приходько О., Аксельрод Р., Рижаков Д., Хоменко О., Петруха С. Розвиток науково-методологічних та

аналітичних підходів щодо вияву впливу екоінновацій на рівень організаційно-технологічної надійності будівництва. *Управління розвитком складних систем*, 2021, (47), 138–150.

3. Семененко Ю. Оптимізація діяльності будівельної компанії з допомогою ІТ технологій. *Економічний аналіз*. 2024. № 34 (2). С. 250–258. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2024.02.250>

4. Мельник Л. М., Трофімчук С. М. Програмно-цільовий підхід до управління фінансово-економічною безпекою підприємств з виробництва будівельних матеріалів в умовах невизначеності. *Modern Economics*. 2024. № 48. С. 72–82.

5. Соколова Н. М., Штулер Ю. Ю. *Інноваційні технології в діяльності будівельних підприємств та підвищення ефективності їх впровадження в умовах конкуренції та динамічних змін. Актуальні проблеми економіки*. 2023. № 10(2). С. 65–71.

6. Птащенко Л.О. Модель інноваційного розвитку будівельного підприємства. *Економіка і регіон*. 2024. № 3 (94). С. 86–93.

7. Дружинін М., Степанюк Р., Антипенко Е. Формування аналітичних компонент інтегрованої реалізації будівельного проекту як цифрової екосистеми. *Просторовий розвиток*. 2024. № 10. С. 287–300.

8. Садовяк М. Б., Мазник Ю. І., Старецький А. О., Волос М. В. Цифровізація як фактор інтенсивного розвитку виробничого потенціалу підприємств будівельної індустрії. *Академічні візії*. 2024. № 28. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10667332>

9. Галюк І., Ф. Єжак. Логістика будівництва та сталий розвиток: виклики та перспективи. *Науковий вісник ІФНТУНГ. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості*. 2024. № 2 (30). С. 110–117.

10. Бреус С. В., Цимбаленко О. Е., Глухов М. О. (2024). Інформаційні технології: їх роль у зміні бізнес-парадигми компаній. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 63. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-15>

11. Сапожник Д. О., Плечистий Д. Д. Використання інтернету речей для економії енергетичних ресурсів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. № 4. С. 39–45.

12. Малихін М. Оновлення класифікації та змісту аналітичних інструментів підготовки будівництва на ґрунті цифровізації. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(2). С. 307–324.

13. Соломніков І. В., Овсяннікова І. В., Проценко В. О. Інноваційні перспективи розвитку будівельної галузі в сучасних

умовах господарювання. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2023. № 83. С. 147–157.

14. Цифровізація будівельної галузі. URL: <https://cases.media/en/article/cifrovizaciya-budivelnoyi-galuzi>

15. Садов'як М. Б. Ключові вектори цифровізації у сфері будівництва. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*. 2024. № 43. С. 87–96.

16. Ключко А. Цифрові технології в галузі архітектури і будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 48. С. 61–68.

17. Арутюнян І. А., Ажажа О. В., Кузнецов В. В., Арутюнян Є. Е. Розвиток інноваційних технологій в будівництві та цивільній інженерії в умовах цифровізації економіки України. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2024. № 25. С. 5-12.

References:

1. Voitovych, V., Pokolenko, V., & Yemelianova, O. (2023). Optimization of logistics processes to increase the productivity of a construction organization. *Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannya rynkovykh*, 52(1), 34–40.

2. Chernyshev, D., Prykhodko, O., Axelrod, R., Ryzhakov, D., Khomenko, O., Petruha, S. (2021). Development of scientific, methodological and analytical approaches to identifying the impact of eco-innovations on the level of organizational and technological reliability of construction. *Management of Development of Complex Systems*, 47, 138–150.

3. Semenenko, Yu. (2024). Optimization of construction company activities using IT technologies. *Economic analysis*, 34 (2), 250–258.

4. Melnyk, L.M., & Trofimchuk, S.M. (2024). Program-targeted approach to managing the financial and economic security of enterprises producing building materials in conditions of uncertainty. *Modern Economics*, 48, 72–82. [in Ukrainian].

5. Sokolova N. M., & Shtuler Yu. Yu. (2023). Innovative technologies in the activities of construction enterprises and increasing the efficiency of their implementation in conditions of competition and dynamic changes. *Current problems of economics*, 10(2), 65–71.

6. Ptashchenko, L.O. (2024). Model of innovative development of a construction enterprise. *Economy and Region*, 3 (94), 86–93.

7. Druzhynin, M., Stepaniuk, R., & Antypenko, E. (2024). Formation of analytical components of integrated implementation of a construction project as a digital ecosystem. *Spatial development*, 10, 287–300.

8. Sadovyak, M. B., Maznyk, Yu. I., Staretskyi, A. O., Volos, M. V. (2024). Digitalization as a factor in the intensive development of the

production potential of construction industry enterprises. *Academic visions*, 28. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10667332>.

9. Haliuk, I., Yezhak F. (2024). Construction logistics and sustainable development: challenges and prospects. *Naukovyi visnyk IFNTUNG. Seriya: Economics and Management in the Oil and Gas Industry*, 2 (30), 110–117.

10. Breus, S. V., & Balymov, O. S. (2025). Synergy of theories of economic development and digitalization of the construction sector. *Economic achievements: prospects and innovations*, 15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14986669>.

11. Sapozhnyk, D. O., & Plekhystyi, D. D. (2023). Using the Internet of Things to save energy resources. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 4, 39–45.

12. Malykhin, M. (2023). Updating the classification and content of analytical tools for construction preparation based on digitalization. *Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn*, 52(2), 307–324.

13. Solomnikov, I. V., Ovsianikova, I. V., & Protsenko, V. O. (2023). Innovative prospects for the development of the construction industry in modern economic conditions. *Bulletin of Transport and Industry Economics*, 83, 147–157. <https://doi.org/10.18664/btie.83.300379>.

14. Digitalization of the construction industry. URL: <https://cases.media/en/article/cifrovizaciya-budivelnoyi-galuzi>

15. Sadovyak, M. B. (2024). Key vectors of digitalization in the construction sector. *Scientific notes of Lviv University of Business and Law*, 43, 87–96. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14445451>.

16. Klochko, A. (2021). Digital technologies in architecture and construction. *Management of Development of Complex Systems*, 48, 61–68.

17. Arutyunyan, I. A., Azhazha, O. V., Kuznetsov, V. V., Arutyunyan, Ye. E. (2024). Development of innovative technologies in construction and civil engineering in the context of digitalization of the Ukrainian economy. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 25, 5–12.

A.I. Chubin

Use of digital technologies to optimise the supply of construction materials and equipment

In the context of increasing project complexity, shorter implementation timelines, and external challenges such as global disruptions in supply chains, the application of digital technologies has become a necessary condition for ensuring the stability and competitiveness of construction enterprises. The relevance of the study lies in the need to overcome the limitations of traditional supply models,

which often lack transparency, are characterized by poor coordination among stakeholders, and are vulnerable to delays and resource losses.

The aim of the article is to examine the capabilities and impact of digital technologies on optimizing supply processes in construction, particularly the use of integrated platforms, real-time tracking systems, data analytics, and automation tools. The study analyzes practical cases of digital technology implementation in both Ukrainian and international contexts, showing how technologies such as Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), cloud-based solutions, and artificial intelligence contribute to improving delivery accuracy, cost control, and flexibility of logistics decisions.

The results of the study showed that the implementation of digital tools leads to a significant increase in supply chain efficiency, a reduction in material losses and transportation costs, as well as greater resilience of construction operations in a dynamically changing environment. It is emphasized that the adoption of modern digital technologies will not only optimize the supply of construction materials and equipment but also modernize the entire industry.

The conclusions highlight that the digitalization of construction logistics is not only a technological upgrade but also a strategic transformation that requires organizational change, staff training, and the development of a supportive institutional framework. Ensuring successful implementation depends on a comprehensive approach that integrates technological innovation with new supply chain management models and industry-wide collaboration.

Keywords: digital transformation, supply chain management, process automation, Internet of Things, building information modeling.

Посилання на статтю:

APA Chubin, A.I. (2024). Use of digital technologies to optimise the supply of construction materials and equipment. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva*, 53(2), 351-367.

ДСТУ: Чубін А.І. Застосування цифрових технологій для оптимізації постачання будівельних матеріалів та обладнання. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. № 53(2). С. 351-367.