

Олег Петрович Онофрійчук,

канд. екон. наук, доцент,

ORCID 0009-0008-3458-7926

e-mail: onofriichuk.oleh@megu.edu.ua

Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука, м. Рівне

ОНТОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Вступ. Актуальність дослідження онтологічних засад цифрової трансформації будівельної галузі зумовлена глибинними структурними зрушеннями у глобальній економіці під впливом цифровізації, платформізації та переходу до екосистемних моделей управління. Будівельна галузь, яка традиційно характеризується високою фрагментованістю процесів, множинністю стейкхолдерів, тривалими життєвими циклами проєктів і підвищеним рівнем ризиків, дедалі активніше інтегрується у цифрові виробничо-управлінські середовища, сформовані концепціями Industry 4.0, Building Information Modeling (BIM), Digital Twin та Data Spaces. За цих умов ключовим викликом стає не лише впровадження окремих цифрових технологій, а формування цілісного концептуального підґрунтя, здатного забезпечити семантичну узгодженість трактування об'єктів, процесів, даних і взаємодій у межах складних соціально-технічних систем будівельного виробництва. Цифрова трансформація галузі супроводжується радикальною зміною способів репрезентації реальності – від документно-орієнтованих і лінійних моделей управління до багатовимірних, даноцентричних і динамічних цифрових відображень фізичних активів та процесів упродовж усього їх життєвого циклу. Відсутність онтологічно узгоджених основ призводить до семантичної фрагментації даних, несумісності цифрових платформ, що обмежує інтеоперабельність BIM-моделей, цифрових двійників і галузевих інформаційних просторів. У підсумку це знижує якість управлінських рішень, ускладнює координацію між стейкхолдерами та підвищує транзакційні витрати на всіх етапах життєвого циклу будівельних об'єктів, актуалізуючи потребу в онтологічному підході як методологічній основі системної цифрової трансформації галузі.

Постановка проблеми. Незважаючи на активне впровадження цифрових технологій у будівельній галузі, сучасні процеси цифрової трансформації переважно мають фрагментарний, інструментально орієнтований характер і не супроводжуються формуванням цілісного концептуального підґрунтя управління економіко-цифровими системами. Застосування таких рішень, як BIM, Digital Twin, Industry 4.0 та галузеві Data Spaces, здійснюється без певного онтологічного узгодження економічних сутностей,

процесів, даних і ролей стейкхолдерів, що призводить до семантичної несумісності цифрових моделей, обмеженої інтеоперабельності інформаційних середовищ і розриву між цифровими даними та управлінськими рішеннями. У результаті цифровізація не забезпечує переходу від локальної автоматизації окремих функцій до системної інтелектуалізації управління життєвим циклом будівельних об'єктів і формування стійких економічних ефектів. Особливої гостроти ця проблема набуває в умовах зростання вимог до інвестиційної прозорості, управління ризиками, сталого розвитку та біосферо-сумісного будівництва, коли відсутність онтологічно узгодженої моделі економіко-цифрової системи будівельної галузі унеможливорює комплексну оцінку вартості, ефективності та довгострокових наслідків управлінських рішень. Саме це зумовлює необхідність розроблення та наукового обґрунтування онтологічних засад цифрової трансформації будівельної галузі як методологічної основи переходу до цілісної, інтеоперабельної та економічно ефективної моделі цифрового розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасних дослідженнях цифрова трансформація будівельної галузі здебільшого розглядається як упровадження окремих цифрових інструментів і технологічних рішень (BIM, автоматизація, цифрові середовища управління даними), що зумовлює домінування технологічно-орієнтованих підходів і фрагментарний характер цифровізації [6; 10–13; 21]. Водночас загальні теорії цифрової трансформації організацій трактують її як системну й стратегічну зміну моделей створення вартості та управління, пов'язану з розвитком цифрових здатностей і даноцентричних підходів [1–3], однак ці положення залишаються недостатньо інтегрованими в галузеві дослідження будівництва. В економічній науці цифрова трансформація інтерпретується як зміна способів створення, розподілу та привласнення вартості в умовах цифрової економіки, мережних ефектів і платформних механізмів координації, що підсилює роль даних як стратегічного ресурсу [4; 5]. Для будівельної галузі, яка характеризується проєктним характером, тривалими життєвими циклами об'єктів і високою фрагментованістю учасників, це зумовлює особливу складність цифрової трансформації.



© Видавець Інститут економіки промисловості НАН України, 2026

© Видавець ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», 2026

Наявні дослідження фіксують потенційні економічні ефекти цифровізації через підвищення координації та керованості процесів [6–9], однак здебільшого зосереджуються на окремих факторах впливу без формування цілісної економіко-цифрової моделі галузі. Концепції Industry 4.0, BIM, Digital Twin і Data Spaces широко представлені в науковій літературі, проте переважно розглядаються ізольовано. Industry 4.0 трактується як технологічна надбудова, BIM – як інструмент управління інформацією, Digital Twin – як розширення цифрового моделювання, а Data Spaces – як інфраструктура обміну даними [6–9; 10–14; 15–17]. Відсутність узгодженої онтологічної рамки, яка б пов'язувала фізичні активи, цифрові репрезентації, дані та економічні рішення, обмежує інтероперабельність цифрових рішень і реалізацію їх економічного потенціалу [14; 18–20].

Таким чином, попри значний масив прикладних досліджень, у науковій літературі відсутня цілісна онтологічна інтерпретація цифрової трансформації будівельної галузі як системної зміни економічної природи будівельної діяльності та механізмів створення вартості впродовж життєвого циклу об'єктів. Це зумовлює потребу в розробленні онтологічних засад, що дозволяють інтегрувати Industry 4.0, BIM, Digital Twin і Data Spaces в єдину економіко-цифрову модель управління будівельною галуззю.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. У науковій літературі цифрова трансформація будівельної галузі переважно описується через впровадження окремих технологій (BIM, Industry 4.0/Construction 4.0, Digital Twin) та організаційні бар'єри їх застосування, тоді як невирішеною залишається ключова проблема – відсутність цілісної онтологічної рамки, яка б узгоджувала економічні сутності будівництва (актив, процеси життєвого циклу, стейкхолдери, ресурси) з їх цифровими репрезентаціями та правилами міжорганізаційного обміну даними (Data Spaces). Саме ця прогалина породжує семантичну фрагментацію даних, обмежену інтероперабельність BIM–Digital Twin–Data Spaces та унеможлиблює перехід від локальної автоматизації до системного управління вартістю, ризиками й ефективністю протягом життєвого циклу будівельного об'єкта. Подальше дослідження спрямовується на подолання зазначеної проблеми шляхом розроблення та життєво-циклової інтерпретації онтологічної моделі економіко-цифрової системи будівельної галузі.

Мета дослідження полягає у розробленні та науковому обґрунтуванні цілісної онтологічної моделі економіко-цифрової системи будівельної галузі, яка забезпечує узгоджену інтерпретацію будівельного об'єкта як економічного активу, процесів його життєвого циклу, стейкхолдерів, ресурсів і даних, а також інтеграцію концепцій Industry 4.0, BIM, Digital Twin і Data Spaces з метою підвищення ефективності управління вартістю, ризиками та резуль-

тативністю будівельної діяльності в умовах цифрової трансформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Посилення ролі даних як стратегічного ресурсу в будівельній галузі актуалізує потребу в онтологічному осмисленні цифрових екосистем, у межах яких взаємодіють проєктувальники, підрядники, замовники, регулятори, фінансові інституції та користувачі інфраструктури. У цьому контексті концепції Digital Twin і Data Spaces вимагають чіткого визначення онтологічних зв'язків між фізичними активами, їх цифровими репрезентаціями, потоками даних, правилами доступу та механізмами прийняття рішень. Без такого підґрунтя цифрова трансформація набуває фрагментарного характеру та не забезпечує переходу від локальної автоматизації до системної інтелектуалізації управління будівельними процесами. Додаткову актуальність дослідженню надає контекст сталого розвитку, біосферо-сумісного будівництва та європейської інтеграції, у межах яких цифрові технології мають виконувати не лише інструментальну, а й ціннісно-регуляторну функцію. Онтологічні засади цифрової трансформації дозволяють інтегрувати екологічні, соціальні та економічні параметри в єдині цифрові моделі, формуючи основу для прозорого моніторингу, оцінювання ефективності та управління ризиками впродовж усього життєвого циклу об'єктів будівництва. Таким чином, дослідження онтологічних засад цифрової трансформації будівельної галузі є науково та практично значущим, оскільки спрямоване на формування концептуальної основи переходу від технологічно фрагментованої цифровізації до цілісної, інтероперабельної та стійкої моделі цифрового розвитку галузі.

У цьому зв'язку доцільним є звернення до теоретико-методологічних підходів, які дозволяють осмислити цифрову трансформацію не лише з технологічних, а й з економіко-структурних позицій.

У сучасних дослідженнях цифрової трансформації дедалі чіткіше простежується зсув від описово-технологічних моделей до концептуальних підходів, спрямованих на осмислення глибинних змін у структурі економічних систем. У цьому контексті онтологічний підхід набуває особливої значущості, оскільки дозволяє формалізувати цифрову трансформацію не лише як процес упровадження інформаційних технологій, а як зміну форм існування економічних об'єктів, процесів, відносин і механізмів прийняття управлінських рішень [1; 2; 4].

В економічній науці онтологія використовується як інструмент концептуального впорядкування складних систем, що характеризуються багаторівневими взаємозв'язками між суб'єктами, ресурсами та інституційними правилами. На відміну від суто формально-математичних моделей, онтологічний підхід зосереджується на ідентифікації сутностей, їхніх властивостей та відносин, що формують економічну реальність [7; 8]. У дослідженнях цифрової трансформації це означає перехід від аналізу

окремих факторів ефективності до системного опису цифрових економічних середовищ.

Застосування такого підходу в дослідженнях цифрової трансформації відкриває можливість економічної інтерпретації глибинних змін, що відбуваються у способах створення вартості та координації господарської діяльності.

З позицій онтології цифрова трансформація трактується як процес, у межах якого змінюється не лише інструментарій управління, а й сама логіка економічної діяльності: способи створення вартості, координації дій між агентами та використання інформації як стратегічного ресурсу [4; 9]. Особливої актуальності онтологічний підхід набуває в галузях із високою складністю економічних і технологічних взаємодій, до яких належить будівельна галузь. Саме тому онтологічний підхід є методологічно релевантним для дослідження будівельної галузі, де економічні процеси поєднують матеріальне виробництво, інформаційні потоки та інституційні обмеження.

Цифрова трансформація в онтологічному вимірі передбачає зміну статусу ключових економічних сутностей. Фізичні активи доповнюються або замінюються цифровими репрезентаціями, процеси управління набувають даноцентричного характеру, а економічні рішення дедалі більше ґрунтуються на інтегрованих інформаційних моделях [1; 10]. У такій системі дані перестають бути допоміжним елементом і трансформуються в повноцінний економічний ресурс, здатний генерувати додану вартість [21].

Онтологічний аналіз дозволяє виділити кілька базових рівнів цифрової економічної системи: рівень об'єктів (активи, інфраструктура, продукти), рівень процесів (виробництво, проектування, експлуатація), рівень даних та інформації, а також рівень управлінських рішень і інституційних правил. Саме взаємодія між цими рівнями формує нову якість економічних систем у цифрову епоху [6; 19]. Відсутність узгодженої онтології між цими рівнями призводить до фрагментації цифрових ініціатив та обмежує економічний ефект цифровізації.

Аналіз наукових джерел свідчить, що значна частина досліджень цифрової трансформації будівельної галузі залишається в межах неонтологічних підходів. Вони зосереджуються на впровадженні окремих технологій – BIM, IoT, штучного інтелекту – без формування єдиного концептуального простору, у якому ці технології взаємодіють як елементи цілісної економічної системи [11; 15]. У результаті цифрові інструменти функціонують ізольовано, що ускладнює інтеграцію даних, знижує прозорість управління та не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал цифрової трансформації. Зазначені обмеження зумовлюють необхідність формування цілісної онтологічної рамки, у межах якої цифрові технології розглядаються як взаємопов'язані елементи єдиної економіко-цифрової системи.

Неонтологічні підходи також обмежують можливість економічного аналізу життєвого циклу будівельних об'єктів. Відсутність єдиного онтологічного опису об'єктів, процесів і стейкхолдерів унеможливорює комплексну оцінку вартості, ризиків і ефективності на різних стадіях проєкту – від інвестиційного планування до експлуатації [16; 20]. Це особливо критично в умовах зростання вимог до сталого розвитку, енергоефективності та прозорості використання ресурсів.

Онтологічний підхід створює теоретичне підґрунтя для інтеграції ключових концепцій цифрової трансформації будівельної галузі – Industry 4.0, BIM, Digital Twin та Data Spaces – в єдину економіко-цифрову модель. У такій моделі Industry 4.0 формує онтологію виробничих процесів, BIM – онтологію інформаційних моделей об'єктів, Digital Twin – онтологію динамічного управління активами, а Data Spaces – онтологію економічної взаємодії та обміну даними між стейкхолдерами [12; 18; 19].

Застосування онтологічного підходу забезпечує перехід від фрагментарної цифровізації до системної цифрової трансформації будівельної галузі, у межах якої цифрові технології функціонують як елементи єдиного економіко-цифрового середовища. Це створює передумови для підвищення ефективності управління, зниження транзакційних витрат і формування нових механізмів створення вартості.

У межах дослідження цифрова трансформація будівельної галузі інтерпретується як процес системної перебудови економічної реальності будівництва, що охоплює зміну статусу будівельних об'єктів, характеру взаємодії стейкхолдерів, логіки управління життєвим циклом і ролі даних у створенні вартості. Такий підхід дозволяє інтегрувати розрізнені цифрові концепції в єдину економіко-онтологічну рамку.

Будівельна галузь розглядається як багаторівнева економіко-цифрова система, у якій поєднуються матеріальне виробництво, інформаційно-аналітичні процеси та інституційно-регуляторні механізми. Ключовою онтологічною одиницею виступає будівельний об'єкт як комплексний економічний актив, що акумулює фізичні, інформаційні та функціональні характеристики протягом усього життєвого циклу.

Проекування, будівництво, експлуатація, модернізація та утилізація формують безперервний економічний процес, у межах якого цифрові технології забезпечують наскрізну інтеграцію даних і управлінських рішень та перехід до циклічної логіки управління активами, орієнтованої на довгострокову економічну ефективність.

Онтологічний аналіз дозволяє структурувати економіко-цифрову систему будівництва через взаємопов'язані сутності – об'єкти, процеси, стейкхолдерів, ресурси та дані, які виступають інтегративним стратегічним економічним ресурсом і забезпечують зв'язок між фізичними активами та управлін-

ськими рішеннями. Систематизація зазначених рівнів і сутностей дозволяє узагальнити їх у вигляді багаторівневої онтологічної структури будівельної галузі (табл. 1). Таким чином, будівельна галузь у цифровому вимірі постає як багаторівнева система, у якій економічна результативність залежить не лише

від ефективності окремих операцій, а від узгодженості взаємодії між рівнями активів, процесів, даних і інституційних правил. Це створює методологічне підґрунтя для подальшого аналізу онтологічної інтеграції цифрових технологій та оцінювання економічних ефектів цифрової трансформації.

Таблиця 1. Будівельна галузь як багаторівнева економіко-цифрова система (онтологічний підхід)

Рівень системи	Онтологічні сутності	Економічний зміст	Роль цифрових технологій
Рівень об'єктів (активів)	Будівлі, споруди, інфраструктура	Формування та акумулювання основного капіталу; довгострокова вартість активів	Цифрові моделі об'єктів, віртуальні представлення фізичних активів
Рівень процесів життєвого циклу	Проектування, будівництво, експлуатація, утилізація	Створення, трансформація та збереження економічної вартості	Інтеграція процесів, автоматизація управління, наскрізні цифрові потоки
Рівень стейкхолдерів	Інвестори, замовники, підрядники, регулятори, користувачі	Координація економічних інтересів і розподіл відповідальності	Платформи взаємодії, цифрові канали комунікації
Рівень ресурсів	Фінансові, матеріальні, людські ресурси	Забезпечення виробничої та інвестиційної діяльності	Оптимізація використання ресурсів, аналітика ефективності
Рівень даних та інформації	Дані, інформаційні моделі, аналітичні показники	Дані як економічний ресурс і основа прийняття рішень	Інтеграція, зберігання, обробка та аналітика даних
Рівень інституцій та правил	Норми, стандарти, регулювання, контракти	Формування економічних обмежень і стимулів	Цифрові стандарти, платформи контролю та звітності
Рівень системи	Онтологічні сутності	Економічний зміст	Роль цифрових технологій

Джерело: розроблено автором на основі онтологічного аналізу та узагальнення [7–9; 15]

Наведена таблиця підтверджує, що будівельна галузь функціонує як багаторівнева економіко-цифрова система, у якій кожен рівень має власні онтологічні сутності, економічний зміст і механізми цифрової підтримки. Узгодженість взаємодії між цими рівнями є ключовою умовою досягнення економічної ефективності цифрової трансформації.

На рис. 1 представлено онтологічну модель економіко-цифрової системи будівельної галузі, яка відображає взаємозв'язок між ключовими економічними, процесними та цифровими компонентами галузі в умовах цифрової трансформації.

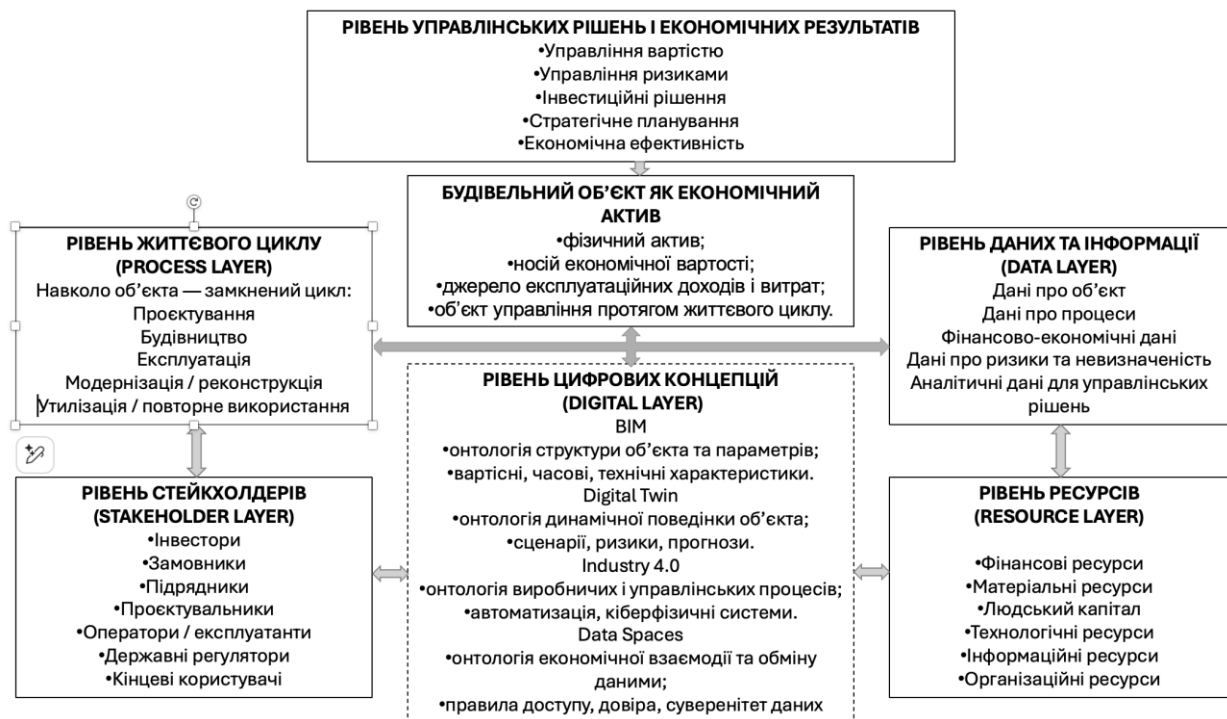


Рисунок 1. Онтологічна модель економіко-цифрової системи будівельної галузі

Джерело: розроблено автором

Центральним елементом онтологічної моделі є будівельний об'єкт, який інтерпретується як комплексний економічний актив, що поєднує фізичні

характеристики, цифрові репрезентації та функціональне призначення протягом усього життєвого циклу. Така інтерпретація дозволяє розглядати об'єкт

будівництва не лише як результат інвестиційно-будівельної діяльності, а як носій економічної вартості та об'єкт довгострокового управління.

Навколо ядра моделі сформовано рівень життєвого циклу, який охоплює стадії проєктування, будівництва, експлуатації, модернізації та утилізації або повторного використання. У межах онтологічного підходу життєвий цикл трактується як безперервний економічний процес, у якому управлінські рішення на ранніх етапах детермінують вартісні, експлуатаційні та інвестиційні результати на наступних стадіях, що забезпечує перехід від фрагментарного управління проєктами до системного управління активами.

Наступний рівень моделі представлений сукупністю взаємопов'язаних цифрових концепцій. BIM виконує функцію онтології структури та параметрів будівельного об'єкта, Digital Twin – онтології динамічної поведінки та експлуатаційного управління активами, Industry 4.0 – онтології виробничих і управлінських процесів, а Data Spaces – онтології економічної взаємодії та обміну даними між учасниками галузі з визначеними правилами доступу та суверенітету даних.

Рівень стейкхолдерів охоплює ключових учасників будівельної галузі, які в межах моделі розглядаються як економічні агенти та одночасно як носії і споживачі даних, що відображає інтеграцію економічних і цифрових ролей у сучасних будівельних екосистемах. Верхній рівень моделі репрезентує управлінські рішення та економічні результати цифрової трансформації, де відбувається трансформація даних і аналітичної інформації в рішення щодо управління вартістю, ризиками, інвестиціями та стратегічним розвитком.

Дані та інформація виступають інтегративною онтологічною сутністю, що пронизує всі рівні системи, забезпечуючи зв'язок між фізичними активами, цифровими моделями та управлінськими рішеннями. Таким чином, модель демонструє, що ефективна цифрова трансформація будівельної галузі можлива лише за умови цілісного онтологічного узгодження економічних, процесних і цифрових компонентів системи. Для переходу від концептуального до аналітично-прикладного рівня дослідження наступним кроком є інтерпретація онтологічної моделі за етапами життєвого циклу будівельного об'єкта (табл. 2).

Таблиця 2. Інтерпретація онтологічної моделі економіко-цифрової системи будівельної галузі за етапами життєвого циклу

Елементи онтологічної моделі	Проектування	Будівництво	Експлуатація	Модернізація / реконструкція	Утилізація / повторне використання
Будівельний об'єкт як економічний актив	Формування концепції об'єкта та початкової вартості активу	Матеріалізація активу, капіталізація інвестицій	Генерування експлуатаційних доходів і витрат	Переоцінка вартості, продовження життєвого циклу	Завершення економічної цінності або її трансформація
Життєвий цикл як економічний процес	Прийняття інвестиційних і проєктних рішень	Реалізація проєктних рішень і управління витратами	Управління ефективністю та витратами володіння	Оптимізація вартості та функціональності	Мінімізація втрат, повторне використання ресурсів
BIM (структура та параметри об'єкта)	Формування інформаційної моделі, кошторисів, графіків	Актуалізація моделі відповідно до виконаних робіт	Підтримка експлуатаційних даних	Актуалізація параметрів після змін	Архівація та передача даних для reuse
Digital Twin (динамічна поведінка)	Моделювання сценаріїв і ризиків	Моніторинг виконання та відхилень	Прогнозування зносу, витрат, ризиків	Аналіз ефектів модернізації	Оцінка залишкової вартості та сценаріїв
Industry 4.0 (процеси)	Планування та цифрова координація	Автоматизація будівельних процесів	Оптимізація операційних процесів	Управління складними змінами	Підтримка процесів демонтажу
Data Spaces (економічна взаємодія)	Обмін проєктними та інвестиційними даними	Координація даних між підрядниками	Обмін експлуатаційною інформацією	Узгодження даних щодо змін	Передача даних між власниками та регуляторами
Стейкхолдери (економічні та інформаційні ролі)	Інвестори, проєктвальники, замовники	Підрядники, поставальники, регулятори	Оператори, користувачі, власники	Інвестори, підрядники, експлуатанти	Власники, регулятори, громади
Ресурси (фінансові, матеріальні, людські, технологічні)	Планування та мобілізація ресурсів	Інтенсивне використання ресурсів	Оптимізація ресурсного споживання	Перерозподіл і оновлення ресурсів	Повернення або утилізація ресурсів
Дані та інформація (інтегративна сутність)	Дані для проєктних і інвестиційних рішень	Дані про виконання, витрати, строки	Дані про стан об'єкта, витрати, ризики	Дані для рішень щодо модернізації	Дані для оцінки повторного використання
Управлінські рішення та економічні результати	Інвестиційна доцільність, NPV, IRR	Контроль бюджету та строків	Максимізація ефективності володіння	Стратегічні рішення щодо розвитку	Завершальні економічні та екологічні рішення

Джерело: розроблено автором на основі онтологічного аналізу та узагальнення [7–9; 15]

Таким чином, перехід від онтологічної моделі до її життєво-циклової інтерпретації є методологічно обґрунтованим і необхідним для забезпечення цілісності дослідження, оскільки він поєднує структурний і динамічний виміри економіко-цифрової системи будівельної галузі та створює аналітичну основу для подальшої оцінки економічних ефектів цифрової трансформації.

Табл. 2 демонструє, що всі елементи онтологічної моделі цифрової трансформації будівельної галузі проявляються на кожному етапі життєвого циклу об'єкта, змінюючи свою економічну та інформаційну функцію. Це підтверджує трактування життєвого циклу як безперервного економічного процесу, а не як набору ізольованих фаз.

Впровадження онтологічного підходу до цифрової трансформації будівельної галузі має не лише концептуальне, а й виразне прикладне значення, оскільки безпосередньо впливає на економічну ефективність діяльності суб'єктів галузі. На відміну від фрагментарної цифровізації, що зосереджується на впровадженні окремих інструментів, онтологічний підхід забезпечує системне узгодження об'єктів, процесів, даних і управлінських рішень, що формує комплексні економічні ефекти на всіх етапах життєвого циклу будівельних об'єктів.

Одним із ключових економічних ефектів онтологічної цифрової трансформації є зниження транзакційних витрат у будівельній галузі. Узгоджена онтологія об'єктів, процесів і даних мінімізує інформаційну асиметрію між стейкхолдерами, спрощує координативні дії та зменшує витрати на узгодження технічних, фінансових і правових рішень. Формування спільного онтологічного простору, зокрема через використання BIM, Digital Twin і Data Spaces, забезпечує єдине трактування параметрів об'єкта, вартості та відповідальності, що знижує ймовірність конфліктів і повторних операцій.

Підвищення прозорості економічних відносин проявляється у можливості відстеження рішень і витрат протягом усього життєвого циклу будівельного об'єкта. Це особливо важливо в умовах складних контрактних схем, характерних для будівельної галузі, де прозорість даних стає фактором довіри між інвесторами, підрядниками та регуляторами.

Онтологічний підхід дозволяє перейти від управління окремими фазами будівельного проекту до управління повною вартістю життєвого циклу об'єкта. Інтеграція інформації про проектування, будівництво, експлуатацію та модернізацію в єдиній цифровій онтології створює передумови для більш точного прогнозування витрат, доходів і ризиків. У результаті управлінські рішення ґрунтуються не на фрагментарних даних, а на комплексному економічному аналізі.

Використання цифрових двійників як онтології динамічної поведінки активів дає змогу оптимізувати витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, зменшити простой та підвищити енерго-

ефективність. Це сприяє зростанню довгострокової економічної ефективності інвестицій у будівельні об'єкти та інфраструктуру.

Системна інтеграція даних у межах онтологічної моделі створює умови для підвищення якості управлінських рішень у будівельній галузі. Дані, структуровані відповідно до онтологічних зв'язків між об'єктами, процесами та стейкхолдерами, стають основою для сценарного аналізу, прогнозування та оцінювання альтернатив розвитку. Це особливо важливо в умовах високої невизначеності та ризиків, притаманних будівельній діяльності.

Онтологічний підхід також підвищує ефективність управління ризиками за рахунок можливості їх ранньої ідентифікації та кількісної оцінки. Інтеграція даних про технічний стан об'єктів, фінансові показники та зовнішні фактори дозволяє формувати проактивні стратегії управління ризиками, зменшуючи ймовірність критичних відхилень від запланованих показників.

Онтологічно узгоджена цифрова трансформація сприяє зростанню інвестиційної привабливості будівельної галузі за рахунок підвищення прогнозованості результатів і зниження інформаційних ризиків для інвесторів. Наявність структурованих даних про вартість життєвого циклу, ризики та очікувані економічні ефекти дозволяє більш обґрунтовано оцінювати доцільність інвестиційних проєктів.

Крім того, онтологічний підхід підвищує стратегічну стійкість будівельних організацій, оскільки забезпечує гнучкість і адаптивність управлінських систем. Узгоджені цифрові онтології полегшують інтеграцію нових технологій, зміну бізнес-моделей та адаптацію до регуляторних і ринкових змін, що є критично важливим у сучасних умовах економічної турбулентності.

Важливим економічним ефектом онтологічного підходу є створення передумов для реалізації принципів сталого розвитку та біосферо-сумісного будівництва. Інтеграція даних про ресурсоспоживання, викиди, енергоефективність і екологічні показники в онтологічну модель дозволяє оцінювати економічні та екологічні наслідки управлінських рішень у комплексі. Це сприяє формуванню збалансованих стратегій розвитку, які поєднують економічну ефективність із соціальною та екологічною відповідальністю.

Таким чином, онтологічний підхід до цифрової трансформації будівельної галузі забезпечує формування системних економічних ефектів, що проявляються у зниженні транзакційних витрат, підвищенні ефективності управління вартістю та ризиками, зростанні інвестиційної привабливості та підтримці сталого розвитку. Це підтверджує доцільність використання онтологічних засад як методологічної основи цифрової трансформації будівельної галузі.

Висновки. Сформовано онтологічну модель економіко-цифрової системи будівельної галузі, у якій будівельний об'єкт інтерпретується як комп-

лексний економічний актив, що поєднує фізичні, інформаційні та функціональні характеристики протягом усього життєвого циклу. Модель інтегрує рівні життєвого циклу, цифрових концепцій, ресурсів, стейкхолдерів, даних та управлінських рішень.

Науково обґрунтовано перехід від онтологічної моделі до її інтерпретації за етапами життєвого циклу, що дозволило операціоналізувати концептуальні положення дослідження та підтвердити трактування життєвого циклу як безперервного економічного процесу формування і трансформації вартості.

Встановлено, що цифрові концепції BIM, Digital Twin, Industry 4.0 та Data Spaces виконують взаємодоповнювальні онтологічні функції на різних етапах життєвого циклу, а рівень даних та інформації виступає інтегрувальною сутністю, яка забезпечує зв'язок між фізичними активами, цифровими моделями та управлінськими рішеннями.

Доведено, що впровадження онтологічного підходу сприяє зниженню транзакційних витрат, підвищенню якості управлінських рішень, зростанню

інвестиційної привабливості та стратегічної стійкості будівельних організацій. Отримані результати можуть бути використані для формування стратегій цифрової трансформації та оцінювання економічної ефективності управління життєвим циклом будівельних об'єктів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на кількісну оцінку економічних ефектів упровадження онтологічного підходу до цифрової трансформації будівельної галузі, зокрема шляхом розроблення інтегральних показників цифрової зрілості та ефективності управління життєвим циклом будівельних об'єктів. Перспективним є емпіричне тестування запропонованої онтологічної моделі на прикладі реальних інвестиційно-будівельних проєктів із використанням даних BIM, Digital Twin і галузевих Data Spaces, а також аналіз впливу онтологічно узгоджених цифрових рішень на інвестиційну привабливість, ризикостійкість і сталість розвитку будівельних підприємств в умовах економічної невизначеності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*. 2019. Vol. 28, Iss. 2. P.118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
2. Matt C., Hess T., Benlian A. Digital Transformation Strategies. *Business & Information Systems Engineering*. 2015. Vol. 57. P. 339–343. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5>
3. Warner K. S. R., Wäger M. Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*. 2019. Vol. 52, Iss. 3. P. 326–349. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001>
4. Brynjolfsson E., McAfee A. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York : W.W. Norton & Company, 2014. 306 p. <https://doi.org/10.1080/14697688.2014.946440>
5. Parker G. G., Van Alstyne M. W., Choudary S. P. *Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You*. New York : W.W. Norton & Company, 2016. 352 p. URL: http://103.44.149.34/elib/assets/buku/Platform_revolution.pdf
6. Oesterreich T. D., Teuteberg F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*. 2016. Vol. 83. P. 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
7. Dallasega P., Rauch E., Linder C. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*. 2018. Vol. 99. P. 205–225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
8. Maskuriy R., Selamat A., Maresova P., Krejcar O., David O. O. Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective. *Economies*. 2019. Vol. 7, No. 3. Art. 68. <https://doi.org/10.3390/economies7030068>
9. Craveiro F., Duarte J. P., Bartolo H., Bartolo P. J. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on BIM-Industry 4.0 integration. *Automation in Construction*. 2019. Vol. 103. P. 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>
10. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2018. 676 p. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
11. Succar B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18, No. 3. P. 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
12. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. *Automation in Construction*. 2014. Vol. 38. P. 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
13. Love P. E. D., Simpson I., Hill A., Standing C. From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners. *Automation in Construction*. 2013. Vol. 35. P. 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.008>
14. Kritzing W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51, No. 11. P. 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
15. Otto B., Teuscher S. International Data Spaces Association–Reference Architecture Model. Dortmund: International Data Spaces Association, 2019. 118 p. https://www.researchgate.net/publication/325176822_IDS_Reference_Architecture_Model_Version_20
16. Cappiello C., Gal A., Jarke M., Rehof J. Data Ecosystems: Sovereign Data Exchange among Organizations (Dagstuhl Seminar 19391). Dagstuhl Reports. 2020. Vol. 9, Iss. 9. P. 66–134. <https://doi.org/10.4230/DagRep.9.9.66>
17. Koutroumpis P., Leiponen A., Thomas L. D. The (unfulfilled) potential of data marketplaces. ETLA Working Papers. 2017. No. 53. <https://ideas.repec.org/p/rif/wpaper/53.html>
18. Kaltenegger J., Frandsen K. M., Petrova E. An ontology-driven framework for digital transformation and performance assessment of building materials. *Building and Environment*. 2025. Vol. 271. Art. 112565. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112565>
19. Khrystyna C., Gonchar V., Biloshchytskyi Y., Predun K., Fesun A., Fedorchenko M. Research and assessment of the effectiveness of digital transformation processes of construction enterprises. *2025 IEEE 5th International Conference*

on Smart Information Systems and Technologies (SIST): proceedings. Astana, Kazakhstan, 2025. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/SIST61657.2025.11139364>

20. Oliinyk V., Kononchuk R., Kobelchuk O., Tugay A., Dubynka O. Optimising the construction process through digitalisation: Case studies of projects under unstable resource supply. *Architectural Studies*. 2025. Vol. 11, No. 1. P. 92–105. <https://doi.org/10.56318/as/1.2025.92>

21. Філіппов О. В. Вітчизняний та світовий досвід застосування BIM технологій у будівництві. Термомодернізація. *Modern vision of implementing innovations in scientific studies*. 2023. № 75. С. 39–53. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.2.13>

22. Кричевська Ю., Рижакова Г., Шпаков А., Поколенко В., Приходько Д. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи. *Управління розвитком складних систем*. 2024. Вип. 60. С. 174–182. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.174-182>

23. Гуцалюк О. М., Бондар Ю. А., Бойко О. В. Інноваційно-інтегрований розвиток монопрофільних виробничих структур транспортного ринку національної економіки. *Економічний вісник Донбасу*. 2024. № 3 (77). С. 13–20. [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-3\(77\)-13-20](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-3(77)-13-20)

24. Гуцалюк О. М., Чудаєва І. Б., Ус Г. О., Ляшенко А. Х. Цифрові трансформації інноваційно-інформаційного розвитку національної економіки в забезпеченні захисту стратегічних інтересів України. *Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту*. 2025. № 1 (33). С. 6–18. [https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-1\(33\)-001](https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-1(33)-001)

25. Гуцалюк О. М., Бондар Ю. А., Чудаєва І. Б., Захарченко О. В. Резильєнтність стратегічного розвитку національної економіки в умовах забезпечення інтересів України та цифрових модифікацій інноваційно-інформаційних інструментів впливу. *Наукові інновації та передові технології*. 2025. Вип. 9 (49). С. 668–682. [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-9\(49\)-668-682](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-9(49)-668-682)

26. Гуцалюк О. М., Бондар Ю. А., Чудаєва І. Б., Ус Г. О. Трансформаційні процеси в стратегуванні інноваційно-інвестиційного потенціалу національної економіки в координатах інформаційних змін та захисту інтересів держави. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки*. 2025. Т. 26. Вип. 75 (2). С. 141–153. <https://doi.org/10.24025/2306-4420.2025.338600>

27. Гуцалюк О. М., Бондар Ю. А. Вибір інноваційних технологій та їх впровадження в галузях сервісної економіки. *Управління розвитком соціально-економічних систем: Матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 06-07 березня 2025 р.)*. Харків: ДБТУ, 2025. Ч. 3. С. 359–361.

Надійшла до редакції 18.02.2026

Прийнята до друку 24.03.2026

Опублікована 30.05.2026

REFERENCES

- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & Information Systems Engineering*, 57, 339–343. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5>
- Warner, K. S. R., & Wäger, M. (2019). Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*, 52(3), 326–349. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001>
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company. <https://doi.org/10.1080/14697688.2014.946440>
- Parker, G. G., Van Alstyne, M. W., & Choudary, S. P. (2016). *Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you*. W. W. Norton & Company. http://103.44.149.34/elib/assets/buku/Platform_revolution.pdf
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205–225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
- Maskuriy, R., Selamat, A., Maresova, P., Krejcar, O., & David, O. O. (2019). Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. *Economies*, 7(3), 68. <https://doi.org/10.3390/economies7030068>
- Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H., & Bartolo, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on BIM–Industry 4.0 integration. *Automation in Construction*, 103, 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building information modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Love, P. E. D., Simpson, I., Hill, A., & Standing, C. (2013). From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners. *Automation in Construction*, 35, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.008>
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Otto, B., & Teuscher, S. (2019). *International Data Spaces Association–Reference architecture model*. International Data Spaces Association. https://www.researchgate.net/publication/325176822_IDS_Reference_Architecture_Model_Version_20
- Cappiello, C., Gal, A., Jarke, M., & Rehof, J. (2020). Data ecosystems: Sovereign data exchange among organizations (Dagstuhl Seminar 19391). *Dagstuhl Reports*, 9(9), 66–134. <https://doi.org/10.4230/DagRep.9.9.66>
- Koutroumpis, P., Leiponen, A., & Thomas, L. D. (2017). *The (unfulfilled) potential of data marketplaces* (ETLA Working Papers No. 53). <https://ideas.repec.org/p/rif/wpaper/53.html>
- Kaltenegger, J., Frandsen, K. M., & Petrova, E. (2025). An ontology-driven framework for digital transformation and performance assessment of building materials. *Building and Environment*, 271, 112565. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112565>

19. Khrystyna, C., Gonchar, V., Biloshchytskyi, Y., Predun, K., Fesun, A., & Fedorchenko, M. (2025). Research and assessment of the effectiveness of digital transformation processes of construction enterprises. In *Proceedings of the IEEE 5th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST 2025)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIST61657.2025.11139364>
20. Oliinyk, V., Kononchuk, R., Kobelchuk, O., Tugay, A., & Dubynka, O. (2025). Optimising the construction process through digitalisation: Case studies of projects under unstable resource supply. *Architectural Studies*, 11(1), 92–105. <https://doi.org/10.56318/as/1.2025.92>
21. Filippov, O. V. (2023). Domestic and international experience of BIM technologies implementation in construction. *Termomodernizatsiia. Modern Vision of Implementing Innovations in Scientific Studies*, 75, 39–53. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.2.13> [in Ukrainian]
22. Krychevska, Y., Ryzhakova, H., Shpakov, A., Pokolenko, V., & Prykhodko, D. (2024). Digital ecosystem in construction development: Conceptual and theoretical aspects of transformation and managerial imperatives. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, 60, 174–182. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.174-182> [in Ukrainian]
23. Hutsaliuk, O. M. Bondar, Iu. A. & Boyko, O. V. (2024). Innovative and integrated development of mono-profile production structures of the transport market of the national economy. *Economic Bulletin of Donbas*, 3 (77), 13-20. [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-3\(77\)-13-20](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-3(77)-13-20) [in Ukrainian].
24. Hutsaliuk, O. M., Chudayeva, I. B. & Us, G. O., Ilyashenko A.Kh. (2025). Digital transformations of innovative and informational development of the national economy in ensuring the protection of the strategic interests of Ukraine. *Bulletin of the Eastern European University of Economics and Management*, 1(33), 6-18. [https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-1\(33\)-001](https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-1(33)-001) [in Ukrainian].
25. Hutsaliuk, O. M. Bondar, Iu. A., Chudayeva, I. B. & Zakharchenko, O.V. (2025). Resilience of strategic development of the national economy in the context of ensuring the interests of Ukraine and digital modifications of innovative and informational instruments of influence. *Scientific innovations and advanced technologies Issue*, 9(49), 668-682. [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-9\(49\)-668-682](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-9(49)-668-682) [in Ukrainian].
26. Hutsaliuk, O. M. Bondar, Iu.A., Chudayeva, I. B. & Us, G. O. (2025). Transformational processes in strategizing the innovation and investment potential of the national economy in the coordinates of information changes and protection of the interests of the state. *Collection of scientific works of Cherkasy State Technological University. Series: Economic Sciences*, 26(75(2)), 141-153. [https://doi.org/10.24025/2306-4420.75\(2\).2025.338600](https://doi.org/10.24025/2306-4420.75(2).2025.338600) [in Ukrainian].
27. Hutsaliuk, O. M. Bondar, Iu.A. (2025, March 6-7). Selection of innovative technologies and their implementation in service economy sectors. *Management of the development of socio-economic systems* [Materials of the IX International Scientific and Practical Conference] (pp. 359-361). Part 3. Kharkiv: DBTU. [in Ukrainian].

Received: 18.02.2026

Accepted: 24.03.2026

Published: 30.05.2026

Онофрійчук О. П. Онтологічні засади цифрової трансформації будівельної галузі

У статті сформовано онтологічні засади цифрової трансформації будівельної галузі в економічному вимірі з урахуванням зростання ролі даних як стратегічного ресурсу. Обґрунтовано обмеженість технологічно-орієнтованих підходів до цифровізації та доведено необхідність переходу до цілісного онтологічного осмислення цифрових екосистем будівництва. Запропоновано авторський онтологічний підхід, у межах якого будівельну галузь інтерпретовано як багаторівневу економіко-цифрову систему, що поєднує активи, процеси життєвого циклу, стейкхолдерів, ресурси, дані та інституційні правила. Визначено будівельний об'єкт як ключову онтологічну одиницю – комплексний економічний актив, який існує у фізичному та цифровому вимірах протягом усього життєвого циклу. Розроблено онтологічну модель економіко-цифрової системи будівельної галузі та здійснено її інтерпретацію за етапами життєвого циклу об'єкта. Показано, що інтеграція Industry 4.0, BIM, Digital Twin і Data Spaces на онтологічній основі створює передумови для системної цифрової трансформації, підвищення ефективності управління вартістю та ризиками, зниження транзакційних витрат і реалізації принципів сталого та біосферо-сумісного будівництва.

Ключові слова: цифрова трансформація, будівельна галузь, онтологічний підхід, економіко-цифрова система, життєвий цикл будівельного підприємства, управління вартістю та ризиками.

Onofriichuk O. Ontological foundations of digital transformation in the construction industry

The article develops the ontological foundations of the digital transformation of the construction industry in the economic dimension, taking into account the increasing role of data as a strategic resource and the transition towards ecosystem-based management models. It is substantiated that the dominance of technological and instrumental approaches to construction digitalisation leads to the fragmentation of digital initiatives, limited interoperability of information systems, and insufficient realisation of the economic potential of digital technologies. It is shown that the lack of coherent ontological foundations hinders the integration of Industry 4.0, Building Information Modelling (BIM), Digital Twin, and Data Spaces concepts into a unified economic–digital system for managing construction activities. Within the study, the digital transformation of the construction industry is interpreted as a process of systemic restructuring of economic reality, encompassing changes in the status of construction assets, the logic of process management, the nature of stakeholder interactions, and the role of data in value creation. An authorial ontological approach is proposed, which enables the construction industry to be considered as a multi-level economic–digital system integrating assets, life-cycle processes, resources, data, institutional rules, and managerial decision-making. The construction asset is defined as the key ontological unit, conceptualised as a complex economic asset that exists simultaneously in physical and digital dimensions and retains economic, informational, and functional value throughout its entire life cycle. An ontological model of the economic–digital system of the construction industry is developed and interpreted across the stages of the asset life cycle, which substantiates the treatment of the life cycle as a continuous economic process rather than a set of isolated phases. It is demonstrated that the application of the ontological approach creates prerequisites for the systemic integration of digital technologies, reduction of transaction costs, increased transparency of economic relations, improved efficiency of cost and risk management, and support for the principles of sustainable and biosphere-compatible construction. The obtained results form a conceptual basis for the transition from fragmented digitalisation to a holistic, interoperable, and resilient model of digital development of the construction industry.

Keywords: digital transformation, construction industry, ontological approach, economic–digital system, construction object life cycle, cost and risk management.