

DOI: 10.32347/2412-9933.2023.56.155-164

УДК 658.012.23: 001.895

Приходько Олег Олександрович

Аспірант кафедри менеджменту в будівництві, <https://orcid.org/0000-0002-3092-6782>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Трач Роман Володимирович

Доктор технічних наук, професор,

<https://orcid.org/0000-0001-6654-9870>

Варшавський університет природничих наук, Польща, Варшава

Фесун Артем Сергійович

Кандидат економічних наук, докторант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0009-0002-1433-3087>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гергі Денис Семенович

Кандидат економічних наук, докторант кафедри менеджменту в будівництві,

<https://orcid.org/0009-0006-7496-5026>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРЕДИКТОРИ БУДІВЕЛЬНОГО
ДЕВЕЛОПМЕНТУ В КОНТЕКСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
СЕРЕДОВИЩА ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТІВ БУДІВНИЦТВА**

***Анотація.** Сучасні будівельні проєкти визначаються складними мультифункціональними зв'язками, що своєю чергою призводить до потреби опрацювання значної кількості інформації. Основним завданням інноваційного розвитку будівельного девелопменту є створення конкурентних переваг у стратегічній перспективі, які формують безпечну і комфортну середу життєдіяльності людини, що відповідає високим світовим стандартам якості для забезпечення сталого соціально-економічного розвитку будівельного комплексу країни. Досягнення конкурентних переваг має бути основане на інноваційному переозброєнні будівельної галузі, формуванні інноваційних компетенцій, інжинірингових схем організації управління життєвим циклом будівельного об'єкта, застосуванням інформаційних технологій з метою підвищення продуктивності праці, зниження енергоємності, матеріалоємності і собівартості будівельної продукції. У статті проаналізовано переваги застосування інформаційного моделювання та методу інтегрованої реалізації проєкту в будівництві. Розроблено математичну модель вибору оптимальної мережевої організаційної структури проєкту. Виокремлено основні чинники, які мають вплив на синергетичний ефект реалізації будівельного проєкту (витрати на внесення змін у проєкт, збільшення часу реалізації проєкту, транзакційні та експлуатаційні витрати). Побудовано та здійснено практичну перевірку економіко-математичної моделі оцінки синергетичного ефекту від спільного запровадження інтегрованої реалізації будівельного проєкту та інформаційного моделювання в будівництві. Синтезовано імітаційну модель, що уможливає проводити комплексне дослідження, а також оптимізацію комунікаційної мережі учасників реалізації будівельного проєкту. Отримані результати допомагають топ-менеджменту підприємств здійснювати ефективний моніторинг, структурування та маневрування активами підприємств підприємства під час процесі їх операційної діяльності, дають обґрунтовану можливість скоригувати економічну стратегію та параметри виробничо-господарського портфеля будівельних підприємств.*

Ключові слова: інформаційне моделювання в будівництві; інтегрована реалізація проєкту; будівельний проєкт; організаційна структура підприємства

Вступ

З переходом до ринкових умов господарювання значно зросла кількість учасників інвестиційно-будівельної процесу, збільшилася кількість

інформаційних потоків, їх вплив на результати діяльності окремих підприємств. Наукові розробки з питань створення та розвитку інтегрованих систем поки не висвітлюють повною мірою весь комплекс проблем, з якими стикаються підприємства під час

інтеграції. Інтеграційні процеси можна поділити на дві великі групи:

– інтеграції, які відбуваються у вигляді «жорстких» структур (холдингів, концернів, конгломератів), які формують велике підприємство з внутрішньо системною взаємодією підприємств;

– інтеграції, які відбуваються у вигляді «м'яких» об'єднань (асоціацій, альянсів, коаліцій), що реалізуються, як правило, на основі мережевої взаємодії. Є також й «проміжні» варіанти інтеграції підприємств, що тяжіють або до «жорстких», або до «м'яких» видів інтеграції.

У зв'язку з цим значний інтерес становить дослідження мережевої організаційної структури, основним організаційним принципом якої є об'єднання в рамках партнерських відносин юридично самостійних підприємств, кожне з яких, реалізуючи власні інтереси, сприяє підвищенню ефективності функціонування всієї мережі. Все більш актуальними стають питання дослідження підходів, методів, моделей, що сприяють створенню ефективного організаційно механізму інтеграції будівельних підприємств у формі мереж. Перевага формування ефективної системи організації взаємодії будівельних підприємств проявляється в появі синергетичного ефекту, обумовленого системними властивостями нової структури, в зростанні ефективності використання наявних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Інтеграція підприємств у формі мереж є відкритою, складною, динамічною системою з нелінійним характером розвитку, складними інституційними формами і відносинами в них. Мережі підприємств, створені з метою реалізації конкретного інвестиційного проекту в будівництві, мають бути вертикально інтегровані, оскільки інтеграція в такому випадку можлива на основі об'єднання інтересів технологічно пов'язаних учасників мережі, які мають єдину мету. Вертикально інтегровані мережі передбачають функціонування автономних самоокупних підприємств, що контролюються загальним центральним органом.

Окремі аспекти досліджуваної проблеми висвітлили у своїх працях вітчизняні та зарубіжні вчені. Питання застосування економіко-математичного моделювання під час прийняття управлінських рішень відображені в роботах вчених: L. Bughin, T. Catlin, M. Hirt, P. Willmot [1], D. Mosey [6], P. Chinowsky [7], A. Songer [8], A. Griffith [10] та ін. Окрім того, дослідженням економіки знань та процесів управління знаннями підприємств займалися вчені: Ф. Котлер, Р. Агрол

[3], Р. В. Трач [2; 4], Г. М. Рижаківа [14], В. І. Крижановський [2], С. Д. Бушуєв [5], А. О. Білощицький [15], Т. А. Гончаренко [16] та ін.

Зважаючи на значні досягнення науковців у моделюванні процесів управління знаннями підприємства, на сьогодні досі не сформована інтегрована система економіко-математичних моделей в управлінні знаннями проектно-орієнтованих підприємств, яка дасть змогу розробити практичні рекомендації з формування обґрунтованих управлінських рішень з метою досягнення підприємствами встановлених економічних цілей.

Мета статті

Мета статті полягає у вирішенні важливої науково-прикладної проблеми розроблення теоретичних основ методології, що містять когнітивні механізми, моделі, методи, що дають змогу здійснювати покроковий аналіз, вибір, оптимізацію та оцінку ефективності запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання й інтегрованої реалізації будівельного проекту.

Виклад основного матеріалу

Важливою характеристикою не лише українських, а й світових будівельних підприємств є їхній консерватизм і повільність по відношенню до впровадження та поширення нових технологій. Будівельний комплекс в рейтингу інноваційно активних галузей провідних економічних держав посідає одне з останніх місць. У спеціальній літературі за будівництвом давно закріпився ярлик “неповороткої галузі” (laggardindustry). Головним аргументом, що підтверджує справедливість цієї характеристики, є те, що у багатьох дослідженнях міститься посилання на вкрай низьку питому вагу складової науково-дослідницьких робіт в загальній структурі витрат будівельних компаній. Наприклад, за даними американського міністерства енергетики, в США підприємствами будівельного комплексу інвестується в інноваційний розвиток 0,3–0,4% від загального обсягу продажів, тоді як в середньому по інших галузях промисловості на ці цілі відраховується 3–4%. Схожі оцінки є і по більшості будівельних підприємств Західної Європи [1].

Переважає більшість сучасних наукових досліджень в цій галузі присвячені вивченню відносин у структурах класичного типу: консорціуми, холдинги, концерни. Основними недоліками цих структур є складна система управління, що не дає змоги своєчасно реагувати на дії зовнішнього і внутрішнього середовища. Мінімізація недоліків традиційних структур можлива, в тому числі, за рахунок впровадження нових більш ефективних форм взаємодії

підприємств, що може послужити базою для їхнього подальшого розвитку [2].

Мережеві структури можуть мати різну конфігурацію, що передбачає включення різнорідних елементів, які забезпечують найвищий рівень співпраці. Такі елементи в кожному конкретному випадку будуть мати свій унікальний перелік, який забезпечує отримання енергії співпраці в кожній конкретній ситуації. Сумарний економічний ефект залежатиме не лише від того, з яких елементів складається мережа, а й від характеру та якості зв'язків між ними.

Розглянемо теорії і школи в рамках яких відбувається дослідження мережевих структур. Переважно мережеві структури розглядаються з трьох наукових позицій:

- як спосіб взаємодії підприємств, самостійних у правовому, але залежних в економічному, відношенні [3; 4; 14];

- як спосіб інтеграції підприємств, тобто їх об'єднання через систему вертикальних і горизонтальних угод, контрактів, координацію їхньої діяльності та залучення нових партнерів [5; 7 – 11];

- як інститут, що визначає правила взаємодії й інтеграції підприємств, що являють собою економічні суб'єкти, що мають близьку систему цінностей [6; 12; 15; 16].

Питання утворення й еволюції мереж розглядається з точки зору теорій графів, теорії ігор, теорії нелінійної динаміки. З точки зору *теорії графів*, мережа представлена у вигляді графа, що має вузли і зв'язки між ними. У розглядуваному випадку інтерпретація мережі полягає в такому: вузли – це підприємства, а зв'язки – це взаємодії між ними, які можуть бути фінансовими, матеріальними, ресурсними, соціальними, інформаційними [2]. Візуально система взаємозв'язків підприємств схожа на павутину. Мережевий граф може мати одну вершину і являти собою деревоподібну структуру. У цьому випадку утворюється ієрархічна мережева структура, причому ієрархія тут розуміється не як метод жорсткого адміністративно-командного підпорядкування єдиному центру, а як варіант «м'якого» моноцентризму, що реалізується за допомогою переважно економічних та інформаційних методів.

Теорія ігор, що використовує різні умови утворення коаліцій гравців (у розглядуваному випадку – підприємств), розглядає мережеві взаємодії як деякі прийнятні правила гри. При цьому кожен з учасників отримує певний дохід, який є стимулом для продовження цієї гри. Хоча інтереси гравців можуть не повністю збігатися, вони, як правило, не суперечать один одному, оскільки всі учасники зацікавлені в отриманні загального доходу всієї мережевої структури. Отже, мережева

організаційна структура може бути розглянута як один з варіантів гри з нульовою сумою.

З позицій *теорії нелінійної динаміки*, що вивчає синергичні ефекти, мережа являє собою особливу форму інтеграції, що забезпечує при достатньому рівні степенів вільності функціонуючих одиниць (підприємств) максимальний енергетичний (синергичний) ефект [5]. У цьому випадку, якщо інший вид інтеграції виявляється більш ефективним, мережеве об'єднання буде нестійким і поступово перейде до нової, більш ефективної форми інтеграції (рис. 1).

Проте кожна із вищезазначених теорій сама по собі не дає змоги врахувати весь спектр ефектів інтеграції, що є результатом спільного впливу множини економічних і організаційних чинників. Однобічний характер аналізу функціонування мереж, з точки зору кожної з теорій, обумовлює необхідність формулювання узагальнюючого підходу до вивчення мереж, що полягає у взаємозв'язку вищезазначених позицій.

Питання співпраці та інтеграції під час реалізації будівельного проєкту доволі давно цікавило науковців. Так, Mosey [6] нагадує, що розділення етапів проєктування та будівництва було ідентифіковано як проблема ще в 1962 році. Зокрема, в урядових галузевих звітах у Великобританії було запропоновано розв'язання проблеми, як розділити відповідальність за проєктування від відповідальності за виробництво. Було припущено, що методи реалізації проєктів, які не включають у процес підрядників, можуть збільшувати ризики, зменшувати рівень зв'язку між учасниками проєкту, викликати затримки і помилки в процесах, що може призводити до появи суперечок і претензій.

Важливість саме інтеграційних процесів підкреслювали Songer і Chinowski [7], які розробили так звану «матрицю інтеграції». «Матриця інтеграції» складається з чотирьох квадратів, які відповідають різним рівням довіри і комунікації. Перший квадрат – це ізоляція, з найнижчим рівнем довіри і комунікації; другий – фрагментація, коли рівень спілкування зростає, але рівень довіри залишається низьким; третій квадрат – це об'єднання, коли між учасниками є довіра, але з низьким рівнем інформаційного зв'язку. Найвищим рівнем є четвертий квадрат – стан інтеграції, де рівні довіри і комунікації найбільш високі. Автори відзначають, що це найкращий стан для спільної роботи і розглядають будівельну команду як інтегровану групу учасників мережевої організаційної структури, а не просто як групу учасників. Команда має складатися з об'єднаної мережі, в якій учасники зосереджені на побудові довгострокових відносин і не обмежуються реалізацією тільки одного проєкту.



Рисунок 1 – Рівні інтеграції в будівництві [2]

Garvin [8] пов'язує інтеграцію з мірилом узгодження або гармонії в організації, а пізніше MacGregorAssociates [9] визначило її як єдиний основний «управлінський» рівень з додатковими модульними стандартами підтримки, що відповідають конкретним вимогам.

Загалом, інтегрована система управління являє собою суміш з двох або більше підсистем. Інтегровані системи управління поєднують в собі процедури якості, охорони навколишнього середовища, здоров'я та безпеки, з метою продемонструвати прагнення компанії постачати продукти або послуги, покращувати екологічні показники, рівень здоров'я і безпеки [10].

У сучасних умовах господарювання рішення про інтеграцію суб'єктів ринкових відносин уможливує значною мірою змінити конкурентні позиції підприємства. Інтеграційний процес означає формування нових підсистем і взаємозв'язків між ними. При цьому взаємодія і вплив підсистем інтегрованої структури характеризується появою нової синергетичної складової, яка і являє собою ефект від інтеграції підприємств, що лежить в основі цілей і мотивів інтеграції. Наявність синергетичного ефекту означає, що результат роботи інтегрованої компанії вище, ніж сума результатів окремо функціонуючих підприємств, об'єднаних у процесі інтеграції. Залежно від того, наскільки виражений ефект синергії можна судити про ефективність самої інтеграції.

Ефективність реалізації інтеграційного процесу багато в чому залежить від того, наскільки ефективно здійснюється управління різними формами взаємодії

будівельних підприємств. Результати виробничих процесів інтегрованих підприємств не завжди однозначні, а в деяких випадках можуть призводити до зниження ефективності діяльності, оскільки підприємствами в повній мірі не використовується потенціал взаємодії бізнес-одиниць, наслідком якого є додаткові ефекти.

В умовах, коли взаємодія підприємств у межах інтегрованих структур не приносить бажаних ефектів, зростає потреба в актуалізації методичних підходів, що дають змогу удосконалювати механізм управління інтегрованими структурами.

Наявність чи відсутність господарських зв'язків з певними ознаками дає підстави стверджувати чи заперечувати існування мережевої структури. На нашу думку, саме взаємозв'язки можуть бути виокремлені із загальної системи елементів і покладені в основу ідентифікації мережевих організаційних структур. Для мережевих структур інвестиційно-будівельного комплексу це є особливо актуальним, оскільки для них характерною є відсутність юридичного закріплення інтеграційних взаємовідносин (участь у капіталі, перехід майнових прав тощо) між господарюючими суб'єктами.

Очевидно, що кожен учасник взаємодії, розглядаючи можливі варіанти стратегії свого подальшого розвитку, в тому числі і в інтегрованій структурі, орієнтується на максимальний економічний ефект. Ефект мережевої взаємодії підприємств має свою специфіку. Він не зводиться до ефекту об'єднання підприємств, оскільки при реалізації інвестиційного проекту в будівництві підприємства зберігають свою відносну

самостійність (тому не відбувається, наприклад, економії на витратах управління, апарат управління у кожного з підприємств зберігається). Водночас у процесі взаємодії, а як її наслідок, має виникнути системна динаміка, коли внаслідок узгодженого функціонування самостійних компаній забезпечується додатковий, синергетичний ефект взаємодії системи в цілому.

Однак завдяки впливу низки факторів ситуація серйозно змінилася буквально за останнє десятиліття. Консервативна будівельна галузь, вірогідно, буде просто змушена відмовитися від своїх усталених традицій і вдатися до радикальних змін. Так, швидке впровадження в практику комп'ютерних методів інформаційного моделювання (англ. *BuildingInformationModeling, BIM*) всіх ключових стадій будівельного циклу та інших передових ІТ-технологій вже значною мірою змінили вигляд галузі. Всього через кілька десятиліть може змінитися практично до невпізнання і сам набір використовуваних у галузі матеріалів та технологій [14].

Абревіатура інформаційного моделювання «BIM» з'явилася в лексиконі спеціалістів порівняно недавно, хоча сама концепція комп'ютерного моделювання з максимальним урахуванням всієї інформації про об'єкт почала формуватися і набувати конкретних обрисів набагато раніше. Термін «BIM» протягом років відображав різні напрями і надалі не має єдиного, повсюдно акцептованого визначення. Ідея «BIM» походить з періоду початків САД (80-ті рр. ХХ ст.), коли була вперше концептуально описана науковцями і запроваджена в програмному забезпеченні перших версій програм САД. У цьому періоді «BIM» фактично позначав тривимірне графічне моделювання, збагачене додатковими можливостями. Основою цієї технології була інформація про графічну модель, яка об'єднувала геометричну модель будівлі, її фізичні характеристики, назви і функціональні особливості окремих елементів.

В основі технології «BIM» лежить концепція об'єктно-орієнтованого параметричного проєктування (моделювання) будівель. І це параметричне моделювання є однією з тих принципових особливостей, які відрізняють BIM-програми від всіх інших САД-систем проєктування, як би вони при цьому не називалися. Спочатку такий

підхід набув поширення в машинобудуванні, а в останнє десятиліття особливо активно впроваджується в архітектурно-будівельному проєктуванні.

Передумовою для еволюції автоматизованого проєктування стала потреба організації ефективної роботи зі швидко виникаючими величезними масивами цифрової інформації (рис. 2). Виникли нові класи систем, призначені для організації та координації робіт інженерного персоналу – системи управління даними про виріб (PDM – ProductDataManagement) і електронні архіви. Все це в сукупності лягло в основу концепції управління життєвим циклом виробу – PLM (ProductLifecycleManagement) [13].

– До 2027 р. ринок BIM досягне позначки в 13,7 мільярда євро. А сукупний річний темп зростання становитиме 15,2% з 2020 р. (*Allied Market Research*).

– У тих проєктах, де застосовується BIM, продуктивність зростає на 75–240% (*Oneisto X*).

– 73% будівельних компаній вказують, що використання BIM покращує співпрацю на проєкті та сприяє його успіху (*Harvard Business Review*).

Оскільки інтеграція є процесом, в якому може бути задіяно два і більше учасників, оцінка ефективності може даватися як з точки зору кожного суб'єкта, так і з позиції отриманого сукупного результату, втіленням якого є синергетичний ефект.

На підставі огляду вибраних джерел літератури предмета [11] можна сформулювати цільові засади концепції інформаційного моделювання (BIM), реалізація яких дасть змогу повною мірою використати її можливості:

– модель будівлі містить інформацію у вигляді даних, що придатні до автоматичного опрацювання;

– вся інформація, розміщена в моделі будівлі є реальною (реальний об'єкт зводиться при збереженні повної відповідності з моделлю будівлі) і актуальною (одночасно зі зміною реальної будівлі модифікується і модель);

– модель будівлі підтримується інформаційно впродовж цілого циклу життя будівлі;

– модель будівлі та її цифрове відображення незалежні від конкретної комп'ютерної програми, програмне забезпечення, сумісне з концепцією BIM, характеризується інтеропераційністю;

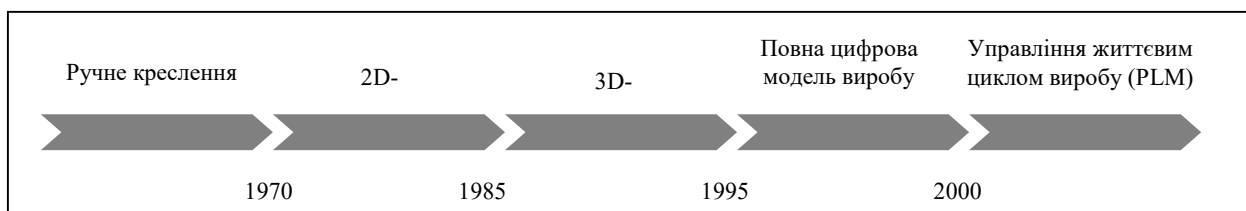


Рисунок 2 – Еволюція інструментів автоматизації проєктування [2]

– інформація, розміщена в моделі будівлі, доступна для всіх учасників інвестиційно-будівельного процесу, модель будівлі функціонує як простір співробітництва між ними;

– елементи моделі будівлі містять всю інформацію щодо свого походження, функціонування та збереження [2; 4; 15].

Незважаючи на відносно високу вартість впровадження і використання BIM, така технологія є надзвичайно перспективною, чому сприяють такі тенденції в будівельній галузі:

– значні перспективи реалізації великих проєктів [16];

– поступове впровадження концепції еко-будівництва, а також значні можливості щодо впровадження інноваційних та енергоефективних рішень у будівництві [14];

– попит на нові інформаційні технології і рішення у сфері інфраструктури та ЖКГ, управління об'єктами, що перебувають у державній власності, і при реалізації проєктів із залученням механізмів державно-приватного партнерства [12].

Застосування інформаційної моделі будівлі має багато переваг над класичними методами архітектурно-будівельного проєктування [2]. Насамперед, BIM дає змогу у віртуальному режимі підібрати, розробити, розрахувати, пов'язати разом і узгодити створювані різними фахівцями та організаціями компоненти й системи майбутньої споруди, заздалегідь перевірити їх життєздатність, функціональність і експлуатаційні якості, а також уникнути внутрішніх «нестиковок». На відміну від традиційних систем автоматизованого проєктування, що створюють тільки геометричні моделі, результатом BIM зазвичай є комплексна комп'ютерна модель, що описує як сам об'єкт, так і процес його будівництва. Вся інформація BIM щодо об'єкта об'єднується в базу даних, що допомагає в будь-який момент часу не тільки отримувати актуальну проєктну документацію та візуалізацію, але й аналізувати їх. Середовище BIM підтримує функції спільної роботи команди, тому учасники можуть ефективно використовувати інформацію впродовж всього життєвого циклу будівлі без ризику неузгодженості або втрати даних, а також виключити помилки під час їх передачі та перетворенні.

І тут переваги BIM над традиційним проєктуванням стають ще більш очевидними:

– можливість моделювання змін у конструкції будівлі;

– можливість проєктувати переоснащення будівлі новим інженерним обладнанням, доводячи його експлуатаційні характеристики до сучасного рівня вимог;

– можливість відстежувати поточний стан будівлі та своєчасно вживати заходів щодо реставрації;

– значне скорочення часу проєктування для типових, регулярних об'єктів, а також для внесення змін у проєктну документацію;

– упередження конфліктів між системами та підсистемами будівлі й окремими елементами;

– вищий рівень прогнозованості техніко-економічних показників;

– виявлення взаємозв'язків між елементами будівлі та їх функціональністю;

– здатність до накопичення предметних знань;

– можливість дослідження та оптимізації експлуатаційних показників;

– компактність систем, що проєктуються, можливість значного удосконалення їх функцій та форм.

Впровадивши технологію BIM, архітектори, інженери, конструктори, підрядники та замовники отримують можливість:

– створювати узгоджені проєктні дані та документацію;

– на підставі наявних даних виконувати візуалізацію і моделювання об'єктів;

– проводити розрахунки кошторисної вартості й експлуатаційних характеристик;

– виконувати проєкти швидше, економічніше і з мінімальним шкідливим впливом на навколишнє середовище.

Однак у процесі оцінювання економічної ефективності інтеграції виникає методична проблема – виокремлення із загального ефекту виробничої діяльності підприємств тієї частини, що виникає внаслідок інтеграційних процесів. Без подібного поділу ефектів і витрат на дві частини можна судити лише за динамікою показників ефективності роботи всього підприємства.

У рамках синергетичного підходу як критерій економічної ефективності інтеграції підприємств у цій роботі пропонується взяти відношення отриманого доходу до витрат на реалізацію інновації.

Логіка розрахунку ефекту від запровадження комунікаційної системи і інноваційний характер процесу її впровадження дають змогу припустити, що розглядуваний процес має явно виражену інвестиційну складову. А отже, процес інтеграції підприємств необхідно розглядати як інвестиційний проєкт, що реалізується на рівні мережевого об'єднання.

Відповідно, оцінка ефекту від спільного запровадження інтегрованої системи управління проєктом (IPD) та інформаційного моделювання в будівництві (BIM) (далі *спільна модель BIM/IPD*) може бути виражена такою залежністю:

$$E = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{I}{(1+n)^i}}{\sum_{i=0}^t \frac{CI}{(1+n)^i} + \sum_{i=0}^t \frac{CO}{(1+n)^i}}, \quad (1)$$

де E – ефект від спільного запровадження інтегрованої системи управління проектом (IPD) та інформаційного моделювання в будівництві (BIM); I – сумарний потік доходів, який отримує інтегрована команда проекту від запровадження спільної моделі BIM/IPD; CI – інвестиційні витрати на запуск і впровадження спільної моделі BIM/IPD; CO – експлуатаційні витрати на управління спільною моделлю BIM/IPD, за період часу; t – період часу, що аналізується; n – прийнята для розрахунків ставка (норма) дисконтування.

Найбільшу складність під час розрахунку сумарного потоку доходів являє розрахунок ефекту синергії. Так, є методики, що враховують додатковий дохід від інтеграції. Наприклад, загальний ефект від спільної діяльності компаній в рамках холдингової структури визначається за формулою:

$$E = E_1 + E_2 + \sum S_i, \quad (2)$$

де E_1 – ефект (дохід) від діяльності сегментів бізнесу; E_2 – ефект (дохід) від виду діяльності бізнесу; $\sum S_i$ – синергетичний ефект.

Своєю чергою, синергетичний ефект визначається так:

$$\sum S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5, \quad (3)$$

де S_1 – ефект від збільшення партій поставок матеріальних ресурсів холдингу; S_2 – збільшення доходу у сегментів бізнесу за рахунок оптимізації виробництва; S_3 – збільшення доходу виду діяльності холдингу за рахунок розширення асортименту продукції, що випускається; S_4 – збільшення доходу сегментів бізнесу за рахунок зниження трансакційних витрат; S_5 – збільшення доходу холдингу за рахунок зниження трансакційних витрат.

У праці [1] автором запропоновано розрахунок ефекту від входження бізнес-одиниці до підприємницької мережі в будівництві, згідно з таким виразом:

$$\sum E_{ib} = E1_{ib} + E2_{ib} + E3_{ib} + E4_{ib} + E5_{ib} + E6_{ib}, \quad (4)$$

де $\sum E_{ib}$ – сумарний ефект від входження бізнес-одиниці до підприємницької мережі в будівництві; $E1_{ib}$ – ефект від кооперації робіт з модернізації будівельного виробництва і окремих процесів, використання ноу-хау партнерів тощо; $E2_{ib}$ – ефект від виробничої кооперації будівельних організацій; $E3_{ib}$ – ефект від кооперації з ресурсного забезпечення; $E4_{ib}$ – ефект від кооперації під час виконання управлінських функцій; $E5_{ib}$ – ефект від кооперації під час виконання функцій у сфері реалізації будівельної продукції; $E6_{ib}$ – ефект від кооперації фінансових ресурсів.

Проаналізувавши вирази (3) і (4), можна зауважити, що для оцінки синергії автори використовують різні чинники, сукупність яких формується згідно з напрямом та логікою

досліджень. Отже, маємо ситуацію аналогічну до оцінки ефективності інтеграції, а саме виокремлення із загальних синергетичних ефектів саме тих, що характерні для реалізації інтеграційних процесів у будівництві. Для того щоб виокремити із загальної сукупності ефектів від інтеграції підприємств, проаналізуємо вигоди, які отримують підприємства будівельної галузі під час спільної реалізації інвестиційного проекту.

Трансформували вираз (4), з урахуванням потенційних вигод відображених та специфіки цього дослідження, а саме оцінки ефекту від впровадження інформаційно-комунікаційної системи при інтегрованій реалізації будівельного проекту, отримуємо:

$$I_t = \sum \Delta S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4, \quad (5)$$

де ΔS – ефект синергії, що утворюється, спільною моделі BIM/IPD; S_1 – синергетичний ефект від зменшення кількості помилок та колізій під час реалізації будівельного проекту; S_2 – синергетичний ефект від загального зменшення часу реалізації проекту внаслідок більш високої координації дій; S_3 – синергетичний ефект від зниження трансакційних витрат; S_4 – синергетичний ефект від зниження витрат на етапі експлуатації будівлі.

Проаналізуємо структуру витрат, пов'язаних із запровадженням спільної моделі BIM/IPD. Витрати можна поділити на інвестиційні (сталі) та експлуатаційні (змінні), що є пропорційними до тривалості періоду експлуатації.

Інвестиційні витрати обумовлені в своїй структурі забезпеченням виконання завдання впровадження спільної моделі в мережеву організаційну структуру проекту і мають такий вигляд:

$$CI = \left[\sum_{q=1}^y (C_e \times T_{sbas} + C_{st}) + CI_{ce} + \right. \\ \left. + CI_s + CI_{db} \right] + \sum_{q=1}^j [(C)_{as} \times T_{adapt}], \quad (6)$$

де C_e – середня норма оплати праці працівника підприємства, що проходить навчання; T_{sbas} – час навчання, координації одного працівника та інтеграції робочого місця; C_{st} – середня вартість навчання працівників; CI_{ce} – інвестиційні витрати на придбання комп'ютерного обладнання; CI_s – інвестиційні витрати на придбання програмного забезпечення; CI_{db} – інвестиційні витрати на придбання баз даних; C_{as} – середня норма оплати праці «заступника» керівника проекту; T_{adapt} – час на адаптацію «заступника» керівника в інтегрованій системі; y – кількість працівників підприємств та робочих місць, інтегрованих в систему; j – кількість «заступників» керівника проекту.

Як видно з виразу (6), інвестиційні витрати можна поділити на такі три групи:

1) витрати на навчання працівників (включають як витрати на оплату праці тих хто проводить навчання, так і втрати часу за період навчання, коли працівники підприємства не займаються виконанням своїх безпосередніх обов'язків);

2) витрати на придбання й адаптацію комп'ютерного обладнання, програмного забезпечення та баз даних;

3) витрати на адаптацію «заступників» керівника проекту в інтегровану систему.

Перші дві групи витрат відображено у формулі (6) в квадратних дужках, вони включають в себе навчання та придбання комп'ютерного обладнання, програмного забезпечення та баз даних для всіх працівників-учасників інтегрованого процесу. А в третьому доданку представлено витрати на «заступників» керівника проекту.

Експлуатаційні витрати наведено у виразі:

$$CO = \sum_{q=1}^y (CO_{ce} + CO_s + CO_{db}) + \sum_{q=1}^j (C_{as} \times T_w) + \sum_{q=1}^x [(C)_e \times T_{sadd}], \quad (7)$$

$$E = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}{(1+n)^i}}{\sum_{i=0}^t \frac{\left[\sum_{q=1}^y (C_e \times T_{sbas} + C_{st}) + CI_{ce} + CI_s + CI_{db} \right] + \sum_{q=1}^j [(C)_{as} \times T_{adapt}]}{(1+n)^i} + \sum_{i=0}^t \frac{\left[\sum_{q=1}^y (CO_{ce} + CO_s + CO_{db}) + \sum_{q=1}^j (C_{as} \times T_w) + \sum_{q=1}^x [(C)_e \times T_{sadd}] \right]}{(1+n)^i}} \quad (8)$$

Висновки

Згідно зі сформованими тенденціями цифрового розвитку економіки розробка концепції цифрової трансформації організаційна буває важливого значення як в рамках теоретичного дослідження даного процесу, так і для формування раціональних стратегій ведення бізнесу.

Аналіз літератури свідчить про недостатню вивченість критеріїв, що визначають ефективність мережевої інтеграції підприємств, питання застосування математичних методів для дослідження мережевих організаційних структур і можливість їх використання для прогнозування перспективи об'єднання й оцінювання результатів функціонування інтегрованих систем.

Цифрова трансформація організацій пов'язана не з впровадженням окремих інноваційних

де CO_{ce} – експлуатаційні витрати на обслуговування комп'ютерного обладнання; CO_s – експлуатаційні витрати на обслуговування програмного забезпечення; CO_{db} – експлуатаційні витрати на обслуговування баз даних; T_w – час роботи «заступника» керівника проекту; T_{sadd} – час на додаткове навчання, консультації та формалізацію знань для працівника підприємства; x – кількість працівників підприємств, що будуть потребувати додаткового навчання і консультацій; m – тривалість реалізації проекту, років.

Вони також утворюють три чітко виражені групи:

1) витрати на обслуговування комп'ютерного обладнання, програмного забезпечення та баз даних;

2) витрати на оплату праці «заступників» керівника проекту;

3) витрати на додаткове навчання, консультації та формалізацію знань працівників підприємства.

Підставивши формули (5), (6) в (3), отримаємо:

Прогнозний показник ефективності від запровадження інтегрованої системи управління проектом (IPD) та інформаційного моделювання в будівництві (BIM) E має бути не менше одиниці. При цьому величина $E > 1$ є свідченням позитивного ефекту від запровадження спільної моделі BIM/IPD.

інструментів виробництва і управління, а з удосконаленням всієї діяльності організації відповідно до прийнятої стратегії цифрового розвитку. Більш того, цифрова трансформація будівельних організацій дає змогу не тільки створювати продукцію і надавати послуги з використанням цифрових технологій, а й забезпечує формування нових бізнес-моделей в цій сфері.

Світовий досвід цифрової трансформації будівельних організацій свідчить, що серед основних планованих цілей цифрової стратегії будівельних організацій виокремлюють підвищення ефективності бізнес-процесів, поліпшення аналізу досвіду роботи з клієнтами, збільшення доходів від наявних проектів, вдосконалення каналів поширення продукції, залучення нових споживачів, створення нових технологій.

Список літератури

1. Bughin L., Catlin T., Hirt M., Willmot P. (2018). Why digital strategies fail McKinsey journal. Mode of access to the resource: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/ourinsights/why-digital-strategies-fail>.
2. Трач Р. В., Рижакова Г. М., Крижановський В. І. Інформаційне моделювання та концепція інтегрованої реалізації будівельних проєктів, як основа інноваційного розвитку будівельного підприємства. *Управління розвитком складних систем*, 2017. Вип. 31. С. 173 – 178.
3. Котлер Ф., Агрол Р. Маркетинг в условиях сетевой экономики. *Маркетинг и маркетинговые исследования в России*, 2000, № 2.
4. Трач Р. В. Ресурсна стратегія підприємства: становлення, сучасний стан, перспективи розвитку. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*, 2016. Вип. 21. Ч. 2. С. 117–120.
5. Бушуєв С. Д., Бушуєв Д. А., Ярошенко Р. Ф. Управління проєктами в умовах «поведінкової економіки». *Управління розвитком складних систем*. 2018. № 33. С. 22–30.
6. Mosey D. “Early contractor involvement in building procurement: contracts, partnering and project management”, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009.
7. Chinowsky P., Songer. A. Organizational management in construction, New York: Spon Press, 2011.
8. Garvin, D., (1996). How the Baldrige Award really works. *Harvard Business Review*, Nov/Dec, 80–93.
9. MacGregor Associates, (1996). Study on Management System Standards, British Institute, London.
10. Griffith, A., (2000). Integrated management systems: a single management system solution for project control? *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management*, 7/3, 232–240.
11. Watson A. : Digital buildings – Challenges and opportunities. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 2011, p. 573–581.
12. Cerovsek T. : A review and outlook for a „Building Information model” (BIM): A multistandpoint framework for technological development. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 2011, 224–244.
13. Andersson L., Van der Heyden L. Directing Digitalisation : Guidelines for Boards and Executives. URL: Mode of access to the resource: <http://www.thisfluidworld.com/wp-content/uploads/2017/02/Corporate-governance-February-2017.pdf>
14. Galyna Ryzhakova, Dmytro Ryzhakov, Serhiy Petrukha, Tetiana Ishchenko, Tetyana Honcharenko (2019). The Innovative Technology for Modeling Management Business Process of the Enterprise. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, Volume – 8, Issue – 4, Page No.: 4024–4033. DOI:10.35940/ijrte.D8356.118419.
15. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S., Danchenko, O. (2019). Development of Infocommunication System for Scientific Activity Administration of Educational Environment's Subjects. *2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings*, 8632036, p. 369–372.
16. Mihaylenko, V., Honcharenko, T., Chupryna, Kh. (2019). Modeling of Spatia Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 8, 6.

Стаття надійшла до редколегії 15.12.2023

Prykhodko Oleg

Postgraduate student of the Department of Management in Construction,
<https://orcid.org/0000-0002-3092-6782>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Trach Roman

DSc (Eng.), Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6654-9870>

Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

Fesun Artem

PhD (Econ.), doctoral student of the department of management in construction,

<https://orcid.org/0009-0002-1433-3087>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Gergi Denys

PhD (Econ.), doctoral student of the department of management in construction,

<https://orcid.org/0009-0006-7496-5026>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL PREDICTORS
OF CONSTRUCTION DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF INFORMATION
ENVIRONMENT MODELING FOR THE IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION PROJECTS**

Abstract. Modern construction projects are defined by complex multifunctional connections, which in turn leads to the need to process a significant amount of information. The main task of the innovative development of construction development is the creation of competitive advantages in a strategic perspective, which form a safe and comfortable environment for human activity that meets high global quality standards to ensure sustainable socio-economic development of the country's construction complex.

Achieving competitive advantages should be based on the innovative rearmament of the construction industry, the formation of innovative competencies, engineering schemes for the management of the life cycle of a construction object, the use of information technologies in order to increase labor productivity, reduce the energy intensity, material intensity and cost of construction products. The article analyzes the advantages of using information modeling and the method of integrated project implementation in construction. A mathematical model for choosing the optimal network organizational structure of the project has been developed. Identify the main factors that have an impact on the synergistic effect of construction project implementation (costs for making changes to the project, increasing the time of project implementation, transaction and operational costs). A practical verification of the economic-mathematical model of the assessment of the synergistic effect of the joint implementation of the integrated implementation of the construction project and information modeling in construction was built and carried out. A simulation model has been synthesized, which allows for comprehensive research, as well as optimization of the communication network of the participants in the implementation of the construction project. The obtained results allow the top management of contracting enterprises to carry out effective monitoring, structuring and maneuvering of the assets of contracting construction enterprises in the process of their operational activities, provide a reasonable opportunity to adjust the economic strategy and parameters of the production and economic portfolio of construction enterprises.

Keywords: *information modeling in construction; integrated project implementation; construction project; organizational structure of the enterprise*

References

1. Bughin, L., Catlin, T., Hirt, M., Willmot, P. (2018). Why digital strategies fail McKinsey journal. Mode of access to the resource: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/ourinsights/why-digital-strategies-fail>.
2. Trach, Roman, Ryzhakova, Galyna & Kryzhanovsky, Viktor. (2017). Information modeling and integrated management of the construction projects as the basis for innovative development of construction enterprise. *Management of Development of Complex Systems*, 31, 173–178.
3. Kotler, F., Agrol, R. (2000). Marketing in a network economy. *Marketing and marketing research in Russia*, 2.
4. Trach, R. V. (2016). Resource strategy of the enterprise: formation, current state, development prospects. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, 21, 2, 117–120.
5. Bushuyev, Sergiy, Bushev, Denis & Yaroshenko, Ruslan. (2018). Management of projects in the conditions of "behavioral economy". *Management of Development of Complex Systems*, 33, 26–30.
6. Mosey, D. (2009). Early contractor involvement in building procurement: contracts, partnering and project management. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
7. Chinowsky, P., Songer, A. (2011). Organizational management in construction. New York: SponPress.
8. Garvin, D. (1996). How the Baldrige Award really works. *Harvard Business Review*, Nov/Dec, 80–93.
9. MacGregor Associates. (1996). Study on Management System Standards, British Institute, London.
10. Griffith, A., (2000). Integrated management systems: a single management system solution for project control? *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management*, 7/3, 232–240.
11. Watson, A. (2011). Digital buildings – Challenges and opportunities. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 573–581.
12. Cerovsek, T. (2011). A review and outlook for a „Building Information model” (BIM): A multistandpoint framework for technological development. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 224–244.
13. Andersson, L., Van der Heyden, L. (2017). Directing Digitalisation: Guidelines for Boards and Executives. URL: Mode of access to the resource: <http://www.thisfluidworld.com/wp-content/uploads/2017/02/Corporate-governance-February-2017.pdf>
14. Ryzhakova, G., Ryzhakov, D., Petrukha, S., Ishchenko, T. & Honcharenko, T. (2019). The Innovative Technology for Modeling Management Business Process of the Enterprise. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8, 4, 4024–4033. DOI:10.35940/ijrte.D8356.118419.
15. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S., Danchenko, O. (2019). Development of Infocommunication System for Scientific Activity Administration of Educational Environment's Subjects. *2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings*, 8632036, pp. 369–372.
16. Mihaylenko, V., Honcharenko, T., Chupryna, Kh. (2019). Modeling of Spatia Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 8, 6.

Посилання на публікацію

- APA Prykhodko, O., Trach, R., Fesun, A., & Gergi, D. (2023). Organizational and technological predictors of construction development in the context of information environment modeling for the implementation of construction projects. *Management of Development of Complex Systems*, 56, 155–164, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.155-164.
- ДСТУ Приходько О. О., Трач Р. В., Фесун А. С., Гергі Д. С. Організаційно-технологічні предиктори будівельного девелопменту в контексті інформаційного моделювання середовища впровадження проєктів будівництва. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 56. С. 155 – 164, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.155-164.