

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА  
АРХІТЕКТУРИ**

**ТРАЧ РОМАН ВОЛОДИМИРОВИЧ**



УДК 658.012.23: 001.895

**КОГНІТИВНІ МЕХАНІЗМИ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ  
ПРОЄКТАМИ НА ОСНОВІ BIM ТЕХНОЛОГІЙ**

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ-2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор,  
**Бушуєв Сергій Дмитрович**, завідувач  
кафедри управління проектами Київського  
національного університету будівництва і  
архітектури МОН України, м. Київ.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Фесенко Тетяна Григорівна**, професор  
кафедри електронних обчислювальних  
машин Харківського національного  
університету радіоелектроніки, МОН  
України, м. Харків;  
доктор технічних наук, професор  
**Зачко Олег Богданович**, професор  
кафедри права та менеджменту у сфері  
цивільного захисту Львівського  
державного університету безпеки  
життєдіяльності, м. Львів;  
доктор технічних наук, професор  
**Становська Іраїда Іванівна**, професор  
кафедри вищої математики та  
моделювання систем Державного  
університету «Одеська політехніка», МОН  
України, м. Одеса.

Захист відбудеться « 09 » грудня 2021 р. о 09:30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.01 Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 366.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий « 09 » листопада 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
д.т.н., доцент, професор кафедри ІТ



М. І. Цюцюра

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Напрямки використання знання та наукові дослідження в ХХІ столітті нині суттєво відрізняються від таких, що здійснювались в ХХ столітті. В минулому основні зусилля вчених були спрямовані на дослідження засобів виробництва, а в столітті, що триває, основою досліджень є суб'єкт виробництва зі своїми знаннями, вміннями та навичками. Всупереч дисциплінарній приналежності та прихильності до різних наукових шкіл сьогодні вчених об'єднує парадигма – теорія й методологія когнітивної науки. Актуальність проблематики когнітивних досліджень визначається й особливостями сучасного суспільства, яке підходить до нового етапу свого розвитку: на зміну інформаційному поступово приходить суспільство, засноване на знанні.

У середовищі, яке динамічно змінюється та є характерним для проектного управління, важливого статусу набувають знання, що були накопичені учасниками проекту. Разом з тим, під час реалізації будівельного проекту виникає ряд проблем пов'язаних із управлінням знаннями, основними з яких є: знання не використовуються там, де вони згенеровані; знання втрачаються із закінченням проектів та у разі змін в команді проекту.

Дослідження категорії «знання» відносно до реалізації проектів у будівництві вказує на недостатній рівень теоретичних, методологічних та практичних напрацювань для ефективного управління проектами. Попередні дослідження були сфокусовані на тому, щоб підкреслити важливість соціальних процесів, моделей та практик для управління знаннями окремої організації й лише незначна кількість досліджень була направлена на аналіз процесу інтеграції знань в цілому проекті. Вивчення інтеграції знань учасників реалізації проекту здатне забезпечити краще розуміння процесів, мінімізувати негативний вплив недоліків, що виникають через фрагментацію етапів будівництва, знизити ймовірність внесення змін у складові «залізного трикутника проекту» і в подальшому дозволить підвищити ефективність будівельних проектів. Отримання більшого ефекту від використання знань учасників реалізації будівельного проекту можливе за умови спільного запровадження трьох сучасних концепцій: інтеграції підприємств, інформаційного моделювання у будівництві та управління великими даними.

Ефективність реалізації інтеграційного процесу багато в чому залежить від того, наскільки ефективно здійснюється управління різними формами взаємодії будівельних підприємств. В умовах, коли взаємодія підприємств в межах інтегрованих структур не приносить бажаних ефектів, зростає потреба в актуалізації методичних підходів, що дозволяють удосконалювати механізм управління інтегрованими структурами. Однією з умов, ефективного управління знаннями в проекті є створення та продуктивне функціонування комунікаційної системи, яка об'єднує учасників реалізації проекту. Комунікація є ключовим підґрунтям для створення бази знань проекту, яка включає взаємодію між учасниками і забезпечує вільне переміщення інформації між ними.

Окрім ефективно працюючої системи комунікації в межах проекту, важливою умовою є наявність дійових інструментів управління знаннями. Інструменти

управління знаннями – це технологій, що використовуються для поліпшення та забезпечення реалізації підпроцесів управління знаннями.

Технології інформаційного моделювання в будівництві можуть стати важливим інструментом для аналізу великих даних, генерації інформації і знань, оскільки після завершення кожного з етапів реалізації будівельного проєкту залишаються великі набори даних. Накопичені дані можуть бути корпоративним активом, набуття й використання якого дозволяє складати кращі прогнози та приймати правильні управлінські рішення. Крім того, знання, які виникли в проєкті та пройшли випробування практикою, можна вважати більш надійними у порівнянні з даними експериментів або моделювання, оскільки вони містять більше основоположних знань щодо реальності.

**Актуальність дослідження.** Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої для сучасної України науково-прикладної проблеми розробки теоретичних основ методології, що містять когнітивні механізми, моделі, методи, що дозволяють, здійснювати покроковий аналіз, вибір, оптимізацію та оцінку ефективності запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

**Об’єктом** дослідження є процес формування знання та управління комунікаційних мереж й інформаційних зв’язків учасників реалізації будівельного проєкту.

**Предметом** дослідження є методологія, яка містить когнітивні механізми, моделі, методи, що дозволяють аналізувати, вибирати, оптимізувати та оцінювати ефективність від запровадження сучасних концепцій знання інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

**Основна гіпотеза** досліджень полягає у припущенні, що підвищення рівня результативності управління проєктами залежить від ефективності функціонування когнітивних механізмів та пов’язане із застосуванням сучасних концепцій інформаційного моделювання й інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка методології, яка містить когнітивні механізми, моделі, методи, що дозволяють покроково аналізувати, вибирати, оптимізувати та оцінювати ефективність від запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

Для досягнення мети дослідження були сформульовані такі завдання:

- провести аналіз сучасних концепцій: інтеграції підприємств, інформаційного моделювання у будівництві, управління великими даними, що чинять вплив на когнітивні механізми управління проєктами у будівництві;
- дослідити термінологічну базу знань, щодо визначення інформаційного моделювання в будівництві;
- проаналізувати існуючі методи оцінки ефекту від впровадження інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації проєкту в будівництві;
- визначити актуальні методи та інструменти аналізу мережевих організаційних структур і якості комунікаційних зв’язків між учасниками реалізації проєкту;

- дослідити іноземний досвід запровадження інформаційного моделювання в будівництві;
- запропонувати поетапний графік запровадження інформаційного моделювання в публічних замовленнях в будівельній галузі України;
- проаналізувати переваги застосування інформаційного моделювання та методу інтегрованої реалізації проєкту в будівництві;
- розробити математичну модель вибору оптимальної мережевої організаційної структури проєкту;
- виокремити основні чинники, які мають вплив на синергетичний ефект реалізації будівельного проєкту (витрати на внесення змін в проєкт, збільшення часу реалізації проєкту, трансакційні та експлуатаційні витрати);
- побудувати та здійснити практичну перевірку математичної моделі оцінки синергетичного ефекту від спільного запровадження інтегрованої реалізації будівельного проєкту та інформаційного моделювання в будівництві;
- синтезувати імітаційну модель, що дозволяє проводити комплексне дослідження, а також оптимізацію комунікаційної мережі учасників реалізації будівельного проєкту;

#### **Методи дослідження:**

- при визначенні мети і завдань дослідження використовувалися методи пізнання, теорії систем, системного аналізу, управління проєктами та програмами;
- при проведенні теоретичних досліджень використовувалися методи логічного та порівняльного аналізу, а також прийоми абстрактно-логічного методу, а саме: аналіз і синтез, аналогія і співставлення;
- при розробці методології були застосовані методи математичного та імітаційного моделювання, ітерації та оптимізації, теорії ймовірності, соціального аналізу мереж, алгоритми кластеризації, методи прийняття управлінських рішень, методи теорії графів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Основний науковий результат полягає в створенні теоретичних основ методології, яка включає модель вибору оптимальної мережевої організаційної структури за критерієм максимальної ефективності використання інформаційних зв'язків між учасниками проєкту для обміну інформацією та знаннями; модель, яка дозволяє здійснення оцінки ефекту від спільного запровадження інформаційного моделювання в будівництві й інтегрованої реалізації будівельного проєкту; імітаційну модель, яка дозволяє проводити комплексне дослідження та оптимізацію комунікаційної мережі та інформаційних зв'язків учасників реалізації будівельного проєкту.

До вагомих результатів дослідження, що характеризуються науковою новизною, розкривають зміст дисертації і виносяться на захист, належать:

#### ➤ уперше:

- запропоновано концептуальні засади спільного застосування когнітивних механізми впливу на управління знаннями в проєктах – концепції інтеграції підприємств, інформаційного моделювання у будівництві, управління великими даними;

- згенеровано математичну модель, що дозволяє вирішувати завдання вибору оптимальної мережевої організаційної структури за критерієм максимальної ефективності використання інформаційних зв'язків між учасниками проєкту;
- сформульовано та обґрунтовано основні чинники, які мають вплив на синергетичний ефект реалізації будівельного проєкту (витрати на внесення змін в проєкт, збільшення часу реалізації проєкту, трансакційні та експлуатаційні витрати);
- синтезовано математичну модель, яка дозволяє оцінити ефект від спільного запровадження інформаційного моделювання в будівництві й інтегрованої системи управління проєктом та вирішено завдання виділення із загального ефекту діяльності підприємств тої частки, що виникає внаслідок інтеграційних процесів;
- розроблено, з використанням мови програмування Python та пакету Networkx, імітаційну модель, що дозволяє проводити комплексне дослідження та оптимізацію комунікаційної мережі учасників реалізації будівельного проєкту;
  - отримали подальший розвиток:
    - запропоновано авторське бачення дефініції «інформаційного моделювання в будівництві», а саме еволюційний шлях цього поняття від «інформаційної моделі», через «інформаційне моделювання» і до «інформаційного менеджменту»;
    - запропоновано поетапний алгоритм запровадження інформаційного моделювання в публічних замовленнях в Україні;
    - упорядковано класифікацію переваг, які отримують основні учасники реалізації будівельного проєкту від запровадження концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації проєкту в будівництві;
      - удосконалені:
        - методи оцінки витрат, що виникають як наслідок переробок в будівництві та запропоновані основні напрямки їх зниження в залежності від етапу реалізації будівельного проєкту;
        - моделі та методи ідентифікації ключових елементів комунікаційних мереж, шляхом використання випадкових (рандомних) мір центральності;

**Практичне значення отриманих результатів.** Висновки та пропозиції виконаної дисертаційної роботи мають характер теоретико-методологічних напрацювань і практичних рекомендацій, які можуть бути використані при аналізі, виборі, оптимізації та оцінці ефективності від спільного запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

Розроблені методи та моделі дозволяють: вирішувати завдання вибору оптимальної мережевої організаційної структури за критерієм максимальної ефективності використання інформаційних зв'язків між учасниками проєкту; здійснювати оцінку ефекту від спільного запровадження інформаційного моделювання в будівництві й інтегрованої реалізації будівельного проєкту; проводити комплексне дослідження та оптимізацію інформаційної та комунікаційної мережі учасників реалізації будівельного проєкту; розпочати процес запровадження інформаційного моделювання в публічних закупівлях в будівельній галузі України.

Отримані результати можуть бути використані науковими установами, закладами освіти, ключовими учасниками реалізації будівельних проєктів, органами

влади різних рівнів, а також становлять підґрунтя для подальших теоретичних, методологічних і прикладних досліджень.

Основні положення і результати виконаного дослідження впроваджено: Управлінням капітального будівництва Департаменту з питань будівництва та архітектури Рівненської ОДА (акт впровадження б/н від 26.04.2021 р.), Управлінням містобудування та архітектури виконавчого комітету Рівненської міської ради (акт впровадження б/н від 12.04.2021 р.), Конфедерацією будівельників України (довідка впровадження № 251/04 від 13.04.2021 р.), ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені Шульгіна» (акт впровадження б/н від 21.04.2021 р.), Національним університетом водного господарства та природокористування (довідка впровадження № 011/28 від 27.04.2021 р.), ТОВ «Реноме-Євробуд» (довідка впровадження № 323 від 13.04.2021 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є завершеною науковою працею, в якій результати та висновки, що виносяться на захист, одержані автором самостійно. У дисертації не використовувалися розробки, що належать співавторам разом з якими були опубліковані наукові праці. Особистий внесок автора у статтях, що були опубліковані у співавторстві, наведено в переліку публікацій.

**Апробація результатів дисертаційного дослідження.** Результати, висновки та пропозиції дисертаційної роботи, доповідалися, обговорювалися та отримали позитивні відгуки на Міжнародній науково-практичній конференції «Менеджмент, аудит та фінанси: стан, проблеми та науково-економічний розвиток» (Дніпро, 2016), IV Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку національної економіки» (Запоріжжя, 2016), Міжнародній науково-практичній конференції «Економічна система в умовах інтеграційних процесів: стан та перспективи» (Київ, 2017), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні шляхи стабілізації фінансово-економічного стану країни» (Львів, 2017), III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний розвиток підприємств у процесі формування економіки інтелектуального капіталу» (Київ, 2017), III Міжнародній науково-практичній конференції «Перезавантаження будівництва: економіка, організація, менеджмент» (Київ, 2017), International scientific – practical conference of young scientists «Build-master-class-2017» (Kyiv, 2017), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні теоретичні та практичні аспекти антикризового регулювання економіки країни» (Одеса, 2018), World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium (Prague, Czech Republic, 2018), Міжнародній науково-практичній конференції «Реалізація концепції сталого розвитку: взаємодія держави та бізнесу» (Дніпро, 2018), 49. Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna «Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych» (Olsztyn, Poland, 2018), Дев'ятій міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (Рівне, 2018), 50. Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna «Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych» (Warszawa, Poland, 2019), 51. Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna «Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych» (Poznań, Poland, 2020), 66. Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Łądowej i Wodnej PAN, (Krynica, Poland, 2020).

**Публікації.** Результати досліджень опубліковані в 58 наукових працях, з яких: 43 у фахових виданнях, включаючи 12 публікацій у іноземних журналах, що зареєстровані в наукометричних базах даних Web of Science та Scopus; 15 публікацій - тези доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій в тому числі іноземних.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, додатків та списку використаних літературних джерел в межах розділів. Повний обсяг дисертації становить 428 сторінок друкованого тексту, із них 399 сторінок основного тексту, який містить 33 таблиць та 69 рисунків. Загальний список використаних джерел містить 546 найменування. Додатки подано на 29 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ**

У вступі обґрунтована актуальність, наукова новизна та практична цінність роботи, наведена її загальна характеристика.

**Перший розділ** «Когнітивні механізми впливу на управління знаннями в проєктах» присвячений аналізу впливу когнітивних механізмів (інтеграція підприємств, інформаційне моделювання у будівництві, управління великими даними) на управління знаннями в будівельних проєктах.

Сфера знання і дослідження вчених в XXI столітті кардинально відрізняється від таких, що розглядались у XIX і XX століттях. У XIX столітті максимальні зусилля були спрямовані на предмет виробництва, в XX – на засоби виробництва. У наш час в основі досліджень повстає суб'єкт виробництва, зі своїми знаннями, вміннями та навичками. Всупереч кордонам дисциплінарної приналежності та прихильності до різних наукових шкіл сьогодні вчених об'єднує парадигма, теорія і методологія когнітивної науки. Актуальність проблематики когнітивних досліджень визначається її особливостями розвитку сучасного суспільства, яке підходить до нового етапу свого розвитку: на зміну інформаційного суспільства приходить суспільство, засноване на знанні.

Національний науковий фонд США у 2002 році опублікував звіт «Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science» (Конвергентні технології для покращення людської діяльності Нанотехнології, Біотехнології, Інформаційні Технології та Когнітивні Науки) в якому наведено прогноз розвитку науки на найближчі 50 років. Його автори представляють новий погляд наукової спільноти на перспективи трансдисциплінарності інтеграції знань і технологій та вводять у використання термін NBIC-конвергенції, де «N» – це нанотехнології, «B» – біотехнології, «I» – інформаційні технології та «C» – когнітивні науки.

Когнітивні науки являють собою міждисциплінарний синтез наук, пов'язаних єдиною проблематикою. Слово «cognitio» перекладається з латинської як «знати», «пізнавати». Термін «когнітивний» описує пізнавальну діяльність з точки зору процесів інформаційного обміну людини з навколишнім середовищем. Цілями при створенні когнітивних систем є: отримання нових знань, прийняття рішень в складних ситуаціях і інтелектуальна обробка даних.

Реалізація проєктів у будівництві є складним процесом, що відбувається в турбулентному середовищі з непередбачуваними процесами, унікальними роботами



та тимчасово організованими командами. Крім того, будівельна галузь характеризується обмеженими ресурсами та високим рівнем конкуренції. Саме обмеженість ресурсів і конкурентне середовище визначають управління знаннями, як особливо важливий напрям розвитку галузі.

Управління знаннями в проєктах, з урахуванням специфіки будівельної галузі вже потрапляло в поле зору науковців. Проте більшість попередніх досліджень були сфокусовані на аналізі теоретичних напрацювань, методів, моделей та практичної діяльності, щодо управління знаннями окремого підприємства. Незначна частина зусиль науковців була спрямована на аналіз процесу інтеграції знань учасників проєкту. Дослідження проєктних знань ключових учасників може мінімізувати негативний вплив недоліків, що виникають через поділ етапів будівництва, знизити ймовірність внесення змін у об'єм, тривалість та кошторис проєкту, а в майбутньому дозволить підвищити їх ефективність.

Питанням розробки і впровадження моделей і методів управління проєктами на основі знань присвячені наукові праці багатьох авторів, серед яких необхідно відзначити: Бушуєва С.Д., Михайленка В.М., Білощицького А.О., Буркова В.М., Гогунського В.Д., Рача В.А., Данченко О.Б., Цюцюри С.В., Фесенко Т.Г., Бушуєвої Н.С., Зачко О.Б., Становської І.І., Лященко А.А., Терентьєва О.О., Яковенка В.Б., Цюцюри М.І., Поколенко В.О., Танака Х., Прайк С., Ньюман М.Е., П. Чіновські, П. Лав.

Інтеграція знань була визначена як процес, в ході якого люди, які раніше отримали досвід в спеціалізованих областях знань, діляться ними з метою досягнення спільного результату. У будівельній галузі спільною метою може бути вирішення практичних проблем і конкретних завдань, для успішної реалізації будівельних проєктів.

В даному дослідженні, під когнітивними механізмами розуміються сучасні концепції – інформаційного моделювання, інтегрованої реалізації проєкту та великих даних, з їх методами, інструментами та сучасними апаратно-програмними засобами. Інтегроване використання когнітивних механізмів дозволяє отримувати, обробляти, зберігати та використовувати згенеровані в проєкті знання, а також здатне забезпечити зростання ефективності реалізації проєкту, досягнення запланованих цілей та підвищити ймовірність його успішного завершення. Концептуальна модель дослідження, що базується на спільному запровадженні когнітивних механізмів представлена на рис. 1.

Інтеграція підприємств у будівельному проєкті характеризується появою нової синергетичної складової, яка і являє собою ефект від інтеграції підприємств. Наявність синергетичного ефекту означає, що результат роботи інтегрованої системи вище, ніж сума результатів окремо функціонуючих підприємств, об'єднаних в процесі інтеграції.

Ефективність реалізації інтеграційного процесу багато в чому залежить від того, наскільки ефективно здійснюється управління різними формами взаємодії будівельних підприємств. В сучасних умовах, почали з'являтися інформаційні інструменти здатні забезпечити підтримку інтегрованої реалізації будівельного проєкту. Саме до таких інструментів можна віднести технологію інформаційного

моделювання в будівництві (англ. *Building Information Modeling, BIM*). Ідея BIM походить з 80-тих років ХХ ст., коли була концептуально описана науковцями і запроваджена в перших версіях програмного забезпечення САПР (*Система Автоматизованого Проектування*). В основі технології BIM лежить концепція об'єктно-орієнтованого параметричного проектування (моделювання) будівель. І це параметричне моделювання є однією з тих принципових особливостей, які відрізняють BIM-програми від всіх інших САПР систем проектування.

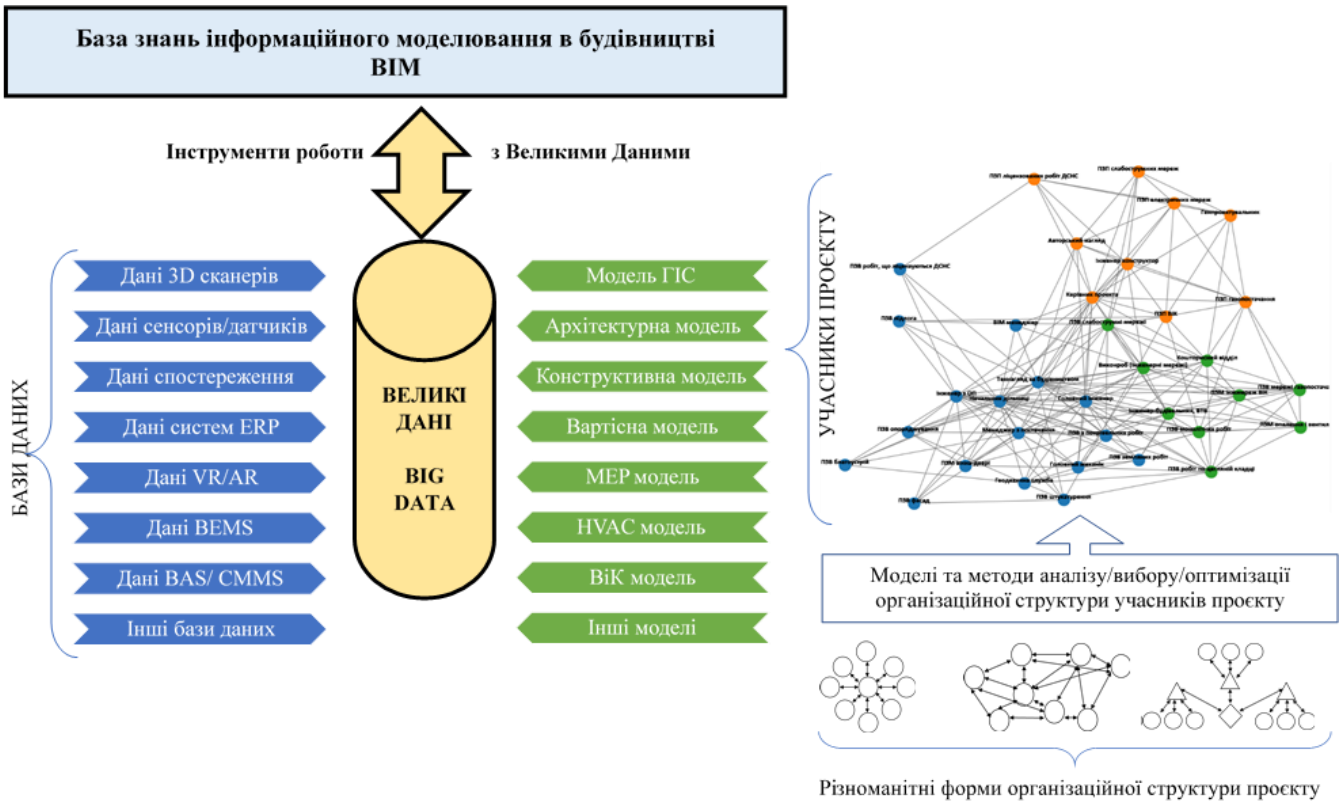


Рис. 1. Концептуальна модель дослідження, що базується на спільному запровадженні когнітивних механізмів (розроблено автором)

Інформаційне моделювання в будівництві може стати важливим інструментом для аналізу великих масивів даних (англ. *Big Data*) та генерації інформації і знань, які утворюються на кожному з етапів будівельного проекту. З активним розвитком концепції великих даних потребують зміни й деякі традиційні методи та моделі. Зокрема, концепція управління знаннями, заснована на порівняно невеликій їхній кількості, не завжди справляється з обробкою, аналізом і отриманням знань при значному збільшенні обсягу вхідних даних. Накопичені великі набори даних можуть бути корпоративним активом, використання якого дозволяє складати кращі прогнози і приймати правильні обґрунтовані рішення. Крім того, знання, які виникли в проекті та пройшли випробування практикою, можна вважати більш надійними у порівнянні з даними експериментів або моделювання, оскільки вони містять більше основоположних знань щодо реальності.

Основні результати даного розділу опубліковані в роботах автора [1; 12; 14; 15; 17; 23; 36; 50; 52; 54].

**Другий розділ** «Аналіз методологічних основ систем управління проектами в будівництві» присвячений дослідженню методів та моделей аналізу системи управління знаннями у будівництві.

Аналіз перспектив використання концепції інформаційного моделювання в будівництві показав, що даний інноваційний інструмент може бути придатним на всіх стадіях реалізації проекту, починаючи з етапу планування і проектування та закінчуючи етапом управління будівельним об'єктом. BIM включає в себе різнопланову інформацію та знання про будівельний об'єкт: геометрія, просторові зв'язки, географічна інформація, кількість і властивості будівельних матеріалів і комплектуючих, специфікації, вогнестійкість, вартість, аналіз зовнішнього освітлення тощо. Стандартні системи САПР дозволяють створення тривимірних моделей, які називають 3D моделями. Система BIM виходить за ці межі, даючи можливості для моделювання, що визначається як 4D, 5D, 6D та навіть 7D.

Етапи розвитку технології BIM від 3D до 7D може бути описана так (рис. 2).

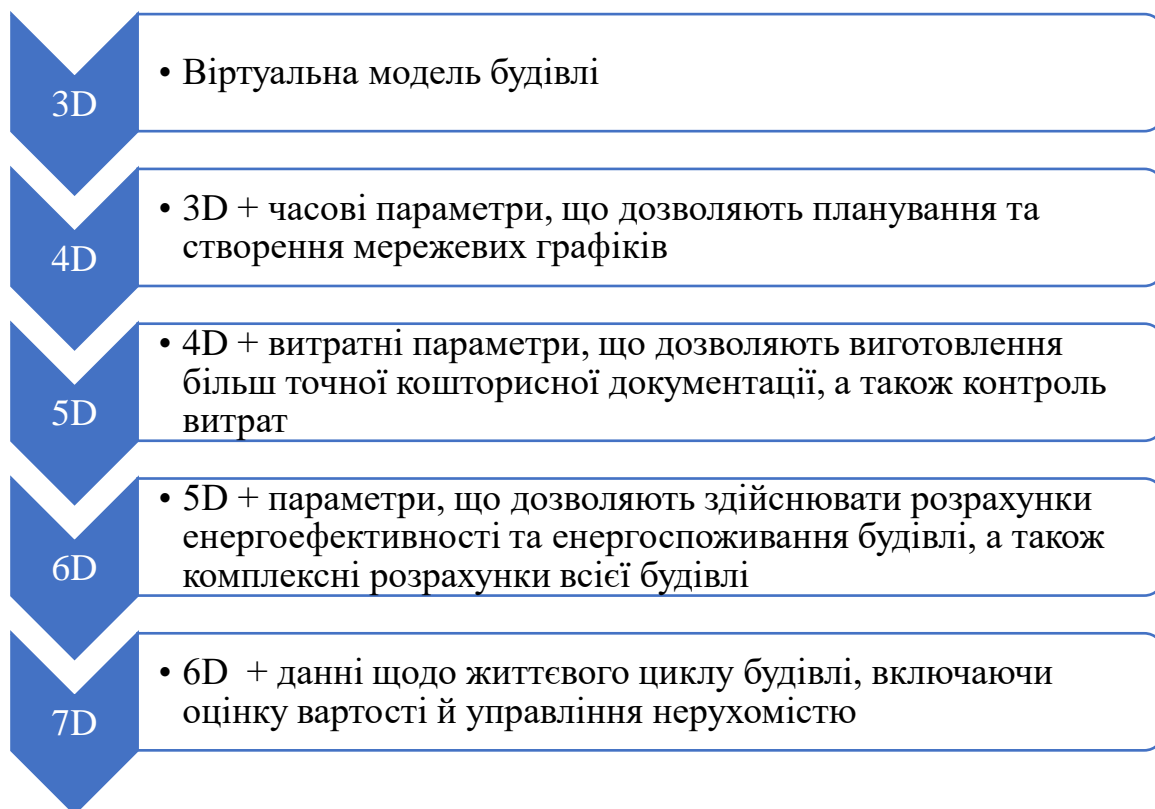


Рис. 2. Етапи розвитку технології BIM (розроблено автором)

Інформаційне моделювання в будівництві (BIM) можна описати як спосіб:

- розробки стратегії реалізації будівельного проекту, а саме ключових його етапів: проектування, будівництва, експлуатації за допомогою моделювання та комп'ютерної імітації самого об'єкту та його життєвого циклу;
- забезпечення інтегрованого управління потоками даних, інформацією та знаннями, у поєднанні з описом процесу, у рамках єдиного інформаційного середовища;
- перетворення окремих виконавців у команди для вирішення складних завдань

й інтеграції окремих завдань в процеси;

– швидшого, більш ефективного, менш витратного виконання різних операцій протягом всього життєвого циклу будівельного проєкту.

Будівельні проєкти можуть реалізовуватися при використанні різноманітних видів організаційних структур. Мережева структура є новою, в порівнянні з лінійними, дивізійними, матричними, проєктними, моделлю перерозподілу інтелектуальних і виробничих ресурсів, що дозволяє їй суб'єктам мінімізувати часові та матеріальні витрати на адаптацію до умов ринку.

Основні її позитивні ефекти та переваги полягають в такому:

- наявності синергетичного ефекту, який в результаті об'єднання елементів створює можливість отримувати більший ефект, ніж арифметична сума ефектів від діяльності окремих суб'єктів;
- зниженні сукупних витрат;
- можливості швидкого навчання суб'єктів мережевої організації, що є важливим чинником для широкого розповсюдження позитивних ефектів;
- раціональному використанні спільних матеріальних і нематеріальних ресурсів;
- доступності великих будівельних проєктів і джерел капіталу для малих та середніх підприємств будівельної галузі;
- мінімізації дублювання компетенцій робочої сили та виробничих потужностей;
- високому ступені організації і скоординованості інформаційного потоку та інноваційного процесу, посилення їх ключових компетенцій;
- підвищенні швидкості та якості виконання проєкту, кращому задоволенні потреб замовника.

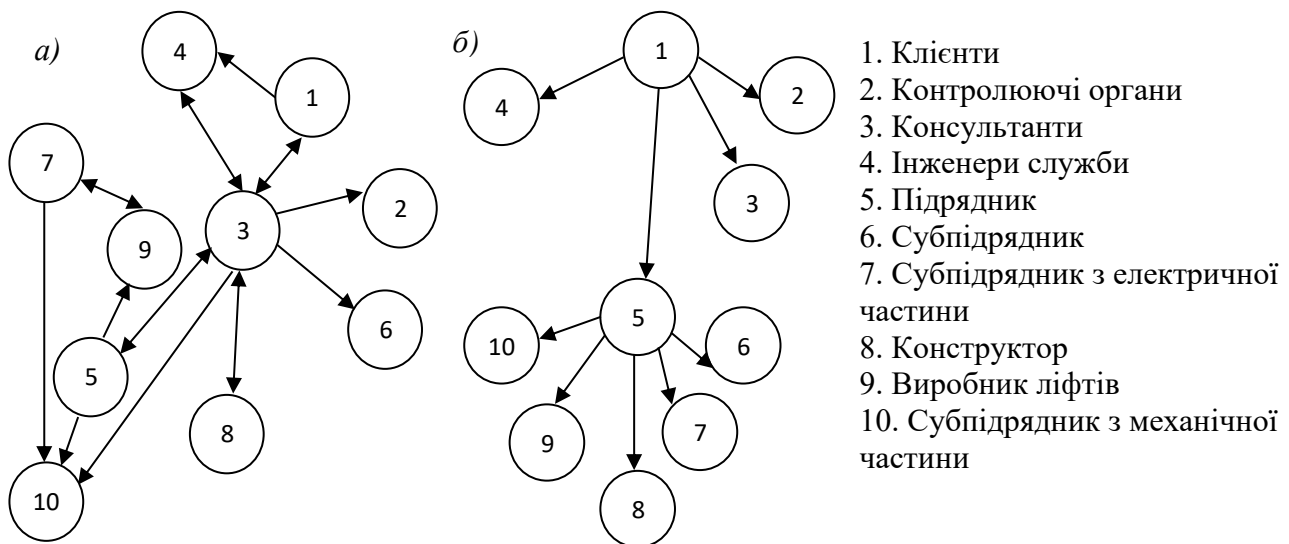


Рис. 3. Мережа договірних відносин (а) та мережа обміну інформацією (б) учасників проєкту (розроблено автором)

Основні результати даного розділу опубліковані в роботах автора [20–22; 26; 38; 43; 44].

Одним з методів, що дозволяють оцінити ефективність мережевої організаційної структури є Аналіз Соціальних Мереж (*англ. Social Network Analysis, SNA*). Концепція SNA базується на тому, що групи або окремі індивіди обмінюються інформацією та знаннями в ході будь-якої діяльності й цей процес може бути представлений за допомогою соціограм. Крім того, мережевий обмін інформацією може бути оцінений математично і дає можливість проводити розрахунок потенційної ефективності та виявляти слабкі сторони групи.

Схематично приклад застосування мережевого аналізу показано на рис. 3, де відображено дві різні мережі одного і того ж будівельного проекту (мережа договірних відносин і мережа обміну інформацією).

**Третій розділ** «Структурний аналіз переваг застосування сучасних концепцій для покращення управління знаннями в проєктах» присвячений аналізу переваг та бар'єрів, що виникають при інтеграції підприємств та застосування інформаційного моделювання в будівельних проєктах.

Вигоди, які можуть отримувати учасники будівельного процесу від застосування ВІМ відображені на рис. 4.

<b>ВИГОДИ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ ВІМ</b>			
<b>ВИКОНАВЕЦЬ</b>	<b>ІНВЕСТОР</b>	<b>ПРОЄКТАНТ</b>	<b>УПРАВЛЯЮЧИЙ</b>
Зниження помилок реалізації і логістики Створення нової цінності (напр. кращі умови праці) Коротший час реалізації Зниження кількості відходів Відповідність з документацією Управління змінами безпосередньо на будівництві Контроль графіків і витрат	Нижчі інвестиційні витрати Коротший час реалізації Вища якість Контроль процесів Створення нової цінності (напр. вибір з поміж варіантів) Кращий контроль витрат і відхилень від проєкту Нові інструменти продажу Просторове планування інвестиції	Краща комунікація Зниження ітерацій Зменшення колізій Краща координація між дисциплінами Краще управління змінами Простіший нагляд Сумісність з реальністю Управління документацією Економія часу і витрат	Автоматизація процесів адміністрування Простіше моделювання витрат на утримання Ефективний контроль якості ремонтів Поточний облік ремонтів і модернізацій Повна поточна інформація про об'єкт Ефективніше виконання гарантії Моделювання модернізації
<b>УРЯДОВЕЦЬ</b>	<b>КОРИСТУВАЧ</b>	<b>СЛУЖБИ</b>	
Контроль відповідності проєкту Легше отримання необхідних даних Повна, зрозуміла і сумісна документація Аналіз впливу інвестицій на середовище	Вища якість і безпека Контроль особи, що управляє об'єктом Повна інформація про обладнання і матеріали Прогнозованість витрат утримання	Моделювання аварійних ситуацій (пожежа, евакуація) Простіша локалізація місця випадку Докладне визначення умов при рятункових заходах	

Повна інформація про інфраструктуру Простіша верифікація вимог безпеки Зниження державних витрат	Оптимізація параметрів (освітлення, тепловитрати) Аналіз витрат енергії	Доступ до 3D моделі об'єкту і оточення Моделювання руху, логістика міських служб Повна інформація про інфраструктуру навколо об'єкта
--	--	--

Рис. 4. Вигоди, які отримують учасники реалізації проєкту від запровадження BIM (розроблено автором)

Застосування технології BIM, дозволяє на впровадження у будівництві нових стандартів виробництва та управління, а саме запровадження концепції інтегрованої реалізації будівельного проєкту (*англ. Integrated Project Delivery, IPD*).

IPD - це підхід до реалізації проєкту, який об'єднує людей, організації, бізнес-структури та практичний досвід в процес, який спільно використовує знання та ідеї всіх учасників проєкту, з метою оптимізації результатів, підвищення цінності, скорочення відходів і максимальної ефективності на всіх етапах планування, проєктування та будівництва.

Інтегрований процес характеризують:

- рання участь зацікавлених сторін. Принцип полягає в залученні зацікавлених сторін, включаючи проєктанта, виконавця, конструкторів і підрядників з самого початку роботи над проєктом.
- загальний ризик і винагороди. Учасники проєкту розподіляють між собою як можливі ризики, так і винагороду від реалізації проєкту.
- спільне прийняття рішень і контроль. На основі поставлених власником цілей, сторони проєкту формулюють чіткий і конкретний набір критеріїв для прийняття рішень і контролю над проєктом.
- спільно розроблені та затверджені цілі проєкту. Власник за допомогою зацікавлених сторін чітко визначає досяжні цілі та контрольні показники для їх вимірювання.
- високий рівень довіри між членами команди проєкту. Довіра лежить в основі ефективної інтеграції учасників реалізації будівельного проєкту, є ефективним способом мінімізації проблем взаємодії, покращення комунікації та відповідно підвищення успішності реалізації проєкту. Наявність довіри об'єднує ключових учасників проєкту, а відсутність навпаки - руйнує. Для оцінки рівня довіри між учасниками проєкту доцільно використовувати когнітивні карти довіри.

Бар'єри, які стримують використання технологій BIM та IPD:

- побоювання незначного ефекту або взагалі його повної відсутності;
- високі початкові інвестиційні витрати;
- необхідний час для вивчення програмного забезпечення;
- відсутність підтримки з боку керівництва підприємства (консервативний підхід);

- висока вартість програмних комплексів ВІМ порівняно із вартістю проектних послуг;
- неврегульованість нормативної бази щодо статусу інформаційного моделювання та його впровадження у процес будівництва на всіх етапах;
- неготовність інвесторів нести додаткові витрати на інформаційні моделі, що можуть бути використані не тільки при будівництві, але і при експлуатації об'єктів;
- інертність та традиційність будівельної галузі, недостатнє розуміння переваг ВІМ;
- відсутність стандартизованих бізнес- та контракт моделей у будівництві, до яких міг би бути «прив'язаний» наскрізний процес ВІМ.

Основні результати даного розділу опубліковані в роботах автора [13; 16; 18; 19; 28; 24; 29; 33; 45; 54].

**Четвертий розділ** «Система інтегрованої реалізації проєктів у будівництві» присвячений дослідженню методологічних основ для оцінки синергетичних ефектів, що виникають при інтегрованій реалізації проєкту та комунікаційної мережі учасників проєкту. Для ідентифікації ключових елементів комунікаційних мереж важливо знати структурну значимість всіх учасників мережі та зв'язків між ними. В роботі були проаналізовані існуючі підходи до визначення мір центральності вузлів комунікаційної мережі, які дають краще розуміння місця учасника в мережі та рівень його важливості й впливу. Існує широкий діапазон мір, що описуються теорією графів. Від простих мір таких як кількість вузлів і ребер, що описують розмір і розрідженість графа, до ступенів вузлів, які показують наскільки локально добре пов'язаний кожен вузол мережі з іншими. Інші міри включають геодезичні відстані в графі або міри центральності, що дають можливість зрозуміти наскільки важливим і впливовим є кожен вузол в графі.

Показники, які використовуються для дослідження графів можна класифікувати в залежності від напрямку аналізу:

- показники для аналізу характеристик мережі (графа): щільність, середній ступінь мережі, середня довжини шляху, коефіцієнт кластеризації, які показують наскільки повно залучені в структуру зв'язку всі учасники проектних команд.
- показники центральності, які вказують на ступінь нерівнозначності для аналізу учасників (вузлів) мережі. Розрахунок і аналіз мір центральності може дати відповідь на такі запитання:
  - ✓ який вузол є найбільш центральним і/або впливовим в даній мережі;
  - ✓ наскільки даний вузол є критичним для проходження потоку інформації в мережі;
  - ✓ який вузол є найбільш периферійним в даній мережі.
- показники для аналізу спільнот в мережі, які вказують на міру наскільки вузли в графі мають тенденцію групуватися в спільноти (кластери).

Міри центральності, що були розраховані автором в роботі, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Міри центральності графів (розроблено автором)

Міра	Формула	Опис
------	---------	------

Центральність вузла $i$	$Cd(i) = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n-1},$ де $a_{ij}$ – елемент квадратної матриці $A$ . Значення $a_{ij}$ дорівнює кількості ребер з вузла $i$ до вузла $j$ ; $n$ – кількість вузлів.	Міра визначається як кількість ребер (вхідних і вихідних), які має вузол.
Центральність за власним вектором $i$	$Ce(i) = k_1^{-1} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j,$ де $a_{ij}$ – елемент матриці суміжності; $x_j$ – центральність власного вектора вузла $j$ ; $k_i$ – власні значення матриці суміжності $A$ , а $k_1$ – найбільше з них.	При розрахунку даної міри вузол може мати високе значення, якщо він має багато зв'язків із вузлами з низьким рівнем впливу або мало зв'язків із вузлами із високим рівнем впливу.
PageRank	$Spr(i) = \alpha \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{x_j}{k_j^{out}} + \beta,$ де $a_{ij}$ – елемент матриці суміжності; $x_j$ – центральність власного вектору вузла $j$ ; $\alpha$ і $\beta$ – константи, $k_j^{out}$ – кількість ребер, що виходять з вузла $j$ . Якщо вузол $j$ не має вихідних ребер, то $k_j^{out}$ прирівнюється до одиниці, щоб уникнути ділення на нуль.	Високе значення міри центральності $Ce(i)$ , яке було отримане завдяки високому рівню вузлів-сусідів, може спотворити реальний вплив вузла в мережі. Ця невідповідність була врахована при обчисленні міри PageRank.
Центральність потоку за посередництвом вузла $k$	$Cb_{flowk} = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{l=2}^n \sum_{i=1}^{l-1} \sum_{j \in N(k)}  i_{jk}^{(il)} ,$ де $i$ – початковий вузол, $l$ – вузол призначення, $k$ – проміжний вузол.	Міра базується на ідеї протіканні струму в електричному ланцюгу, в якому кожна гранична вага розглядається як провідність, тобто величина зворотна до опору.
Центральність потоку за близькістю вузла $i$	$Cc_{flowi} = \frac{1}{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n r_{ij}^{eff}},$ де $r_{ij}^{eff}$ – ефективний опір між вузлами $i$ та $j$ .	Міра базується на заміні величини «відстань найкоротшого шляху», на різницю електричних потенціалів між двома вузлами.

Оскільки інтеграція є процесом, в якому може бути задіяно два і більше учасників, оцінку ефекту варто давати з позиції отриманого сукупного результату, втіленням якого є синергетичний ефект.

Синергію можна визначити як концепцію, що описує системні процеси, при яких бізнес-одиниці різних, складних організацій будуть приносити більшу користь, працюючи як одна система, ніж працюючи як окремі суб'єкти. На підставі проведених досліджень, автором запропоновано такі ключові фактори впливу на синергетичний ефект та їхні значення (табл. 2).



Таблиця 2. Синергетичний ефект, який може бути отриманий від застосування спільної моделі BIM/IPD (розроблено автором)

Фактори, які мають вплив на синергетичний ефект	Синергетичний ефект, в % від вартості проекту
Зменшення кількості помилок та відповідно кількості змін в будівельному проекті ( $S_1$ )	8,78
Скорочення часу реалізації проекту за рахунок більш високої координації дій ( $S_2$ )	1,74
Зниження трансакційних витрат ( $S_3$ )	5,52
Зниження витрат на етапі експлуатації будівлі ( $S_4$ )	2,67
Разом	18,70

Як приклад наведемо методику розрахунку показника  $S_1$  «Зменшення кількості помилок та відповідно кількості змін в будівельному проекті». В основу була покладена одна з переваг, яку отримують учасники проекту від впровадження спільної моделі BIM/IPD, а саме підготовка проектної документації вищої якості та уникнення в майбутньому додаткових робіт та переробок. Додаткові роботи та переробки, в свою чергу призводять до додаткових витрат. На рис. 5 показано приклад помилки в проектній документації щодо розміщенні сходів і колони. Дана помилка була виявлена на етапі виконання будівельних робіт і призвела до будівельних переробок та відповідно до додаткових витрат (витрати на переробку).

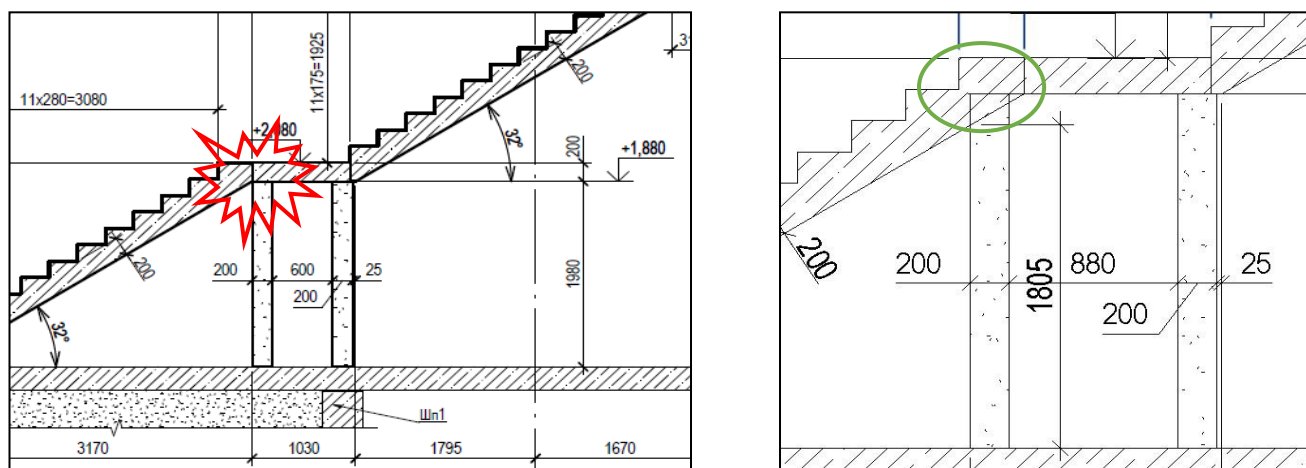


Рис. 5. Приклад помилки в проектній документації щодо розміщенні сходів і колони (розроблено автором).

На основі аналізу 15 джерел іноземної літератури (табл. 2) було розраховано середнє значення показника витрат на переробку (18,70% від вартості проекту), яке в подальшому було використано для оцінки ефекту від впровадження спільної моделі BIM/IPD.

Таблиця 2. Аналіз витрат на переробку в будівництві

Автор дослідження	% витрат від вартості проєкту	Автор дослідження	% витрат від вартості проєкту
Cannistraro	15,74%	Jongeling	4,77%
CIDA	10%	Burati та ін.	12,4%
Giel та ін.	5,72%	Abdul-Rahman	2,5–5%
Love та ін.	11,07%	Marosszeky	5,5%
Azhar	2,02%	Meshksar	1,3%–3,30%
Lee	12,13%	Oyewobi та ін.	5,29%
Josephson і Hammarlund	2,3–9,4%	Simpeh	9,94%
Fayek	2%–12%		
<i>Середнє значення</i>		<i>18,70%</i>	

Основні результати даного розділу опубліковані в роботах автора [3; 6; 7; 31; 32; 35; 39; 46; 48; 53; 55].

**П'ятий розділ** «Модельовання інтегрованої системи управління проєктами у будівництві» присвячений оцінці ефективності від застосування спільної моделі BIM/IPD, діяльності мережевих організаційних структур (МОС), а також дослідженню методів кластеризації мереж.

Оптимальність прийнятих рішень суттєво залежить від ефективності комунікаційного процесу, який у свою чергу залежить від організаційної структури проєкту та інформаційних зв'язків. Були розглянуті три основні типи мережевої організаційної структури (МОС), що можуть застосовуватися підприємствами при реалізації проєкту в будівництві: фокальна, динамічна і мультифокальна.

Схема фокального типу МОС (рис. 6) передбачає, що всі рішення приймаються за погодженням з керівником мережі. Ефективність роботи фокального типу МОС визначається із співвідношення:

$$F = k_1 \times F_0, \quad (1)$$

де  $F_0$  – потенційна ефективність МОС, яка визначається лише її структурною схемою;  $k_1$  – коефіцієнт покриття, який визначає відношення кількості проведених і завершених комунікацій  $l$  до загальної кількості запитів  $n$  ( $k_1 = l/n$ ). За експертними оцінками при кількості учасників проєкту  $n \geq 10$ , коефіцієнт покриття можна оцінити як  $k_1 \approx 0,5$ .

Схема динамічного типу МОС (рис. 7) передбачає, що кожен учасник повинен погодити свою пропозицію з усіма іншими учасниками мережі. Ефективність роботи такої схеми визначається з виразу:

$$F = k_2 \times F_0, \quad (2)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт перевантаження враховує зниження ефективності роботи працівників, які змушені поєднувати свої виробничі обов'язки з інтенсивною

комунікаційною діяльністю. Його значення можна прийняти  $k_2 \approx 0,5$ .

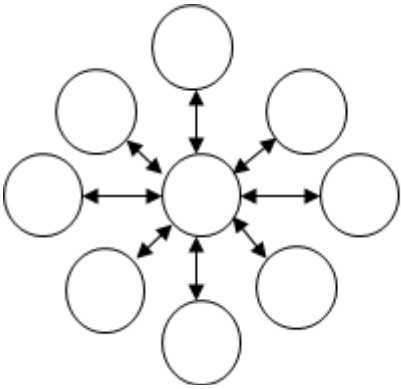


Рис. 6. Схема фокального типу МОС (розроблено автором)

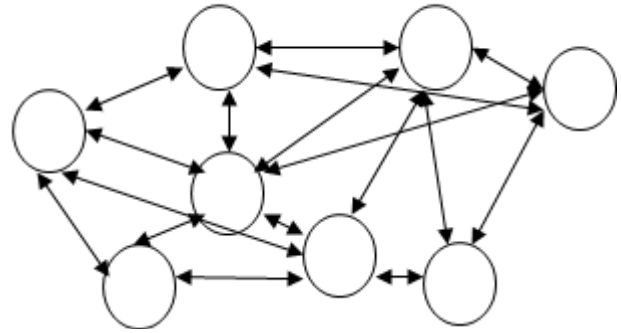


Рис. 7. Схема динамічного типу МОС (розроблено автором)

Схема мультифокального типу МОС (рис. 8) передбачає наявність «заступників» керівника мережі, завдання яких полягає у здійсненні комунікації та погодженні пропозицій за відповідним профілем.

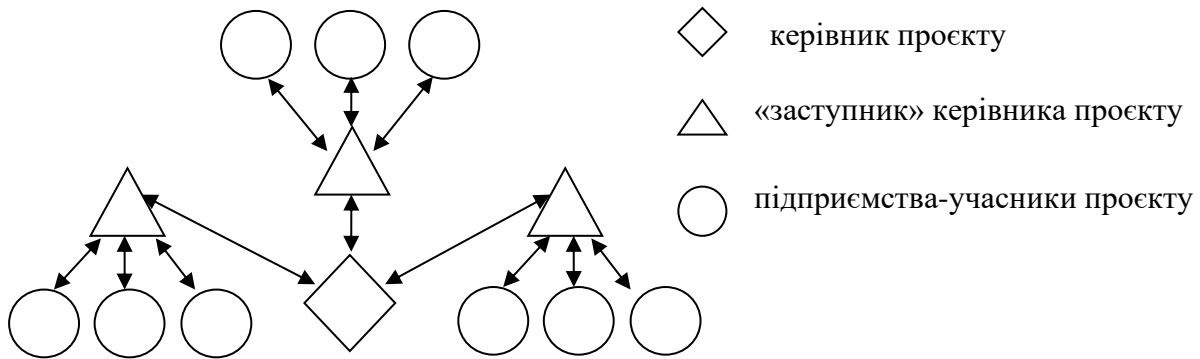


Рис. 8. Схема мультифокального типу МОС (розроблено автором)

Ефективність роботи такої схеми роботи визначається із співвідношення:

$$F = k_3 \times F_0, \quad (3)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт покриття, який, на відміну від фокальної структури, можна вважати близьким до 1, оскільки навантаження на одного заступника є суттєво меншим, ніж на керівника мережі.

Наступний етап – це безпосереднє оцінювання потенційної ефективності роботи МОС, яка визначається типом її структури. Потенційну ефективність було оцінено на підставі векторних моделей комунікаційних процесів, графічне представлення яких наведено на рис. 9 і 10.

Для фокального типу МОС потенційна ефективність одного комунікаційного акту  $f_0$  дорівнює

$$f_0 = |\overline{OM}| \times |\overline{OA}| \times \cos \frac{\alpha}{2} = \cos^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (4)$$

Тоді потенційна ефективність комунікаційного процесу всіх учасників проекту дорівнює

$$F_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos^2 \frac{\alpha}{2} d\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \approx 0,8. \quad (5)$$

Для динамічного типу МОС потенційна ефективність одного комунікаційного акту  $f_0$  дорівнює

$$f_0 = |\overline{OM}| * |\overline{OA}| \times \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \cos \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \times \cos \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2} = \frac{1}{2} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2). \quad (6)$$

Тоді потенційна ефективність комунікаційного процесу всіх учасників проекту дорівнює

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha_1 d\alpha_1 + \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha_2 d\alpha_2 = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha d\alpha = \frac{2}{\pi} \approx 0,64. \quad (7)$$

Для мультифокального типу МОС потенційна ефективність комунікаційного процесу всіх учасників проекту дорівнює

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha_1 d\alpha_1 + 2 \times \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} \cos \alpha_2 d\alpha_2 = \frac{1}{\pi} + \frac{\sqrt{2}}{\pi} \approx 0,77. \quad (8)$$

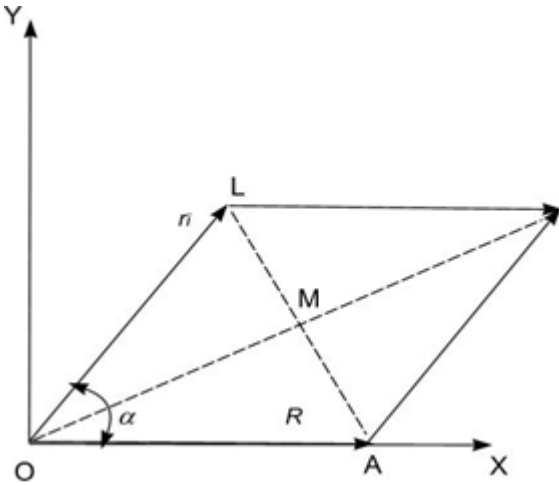


Рис. 9. Векторна модель процесу комунікації для фокального типу МОС (розроблено автором)

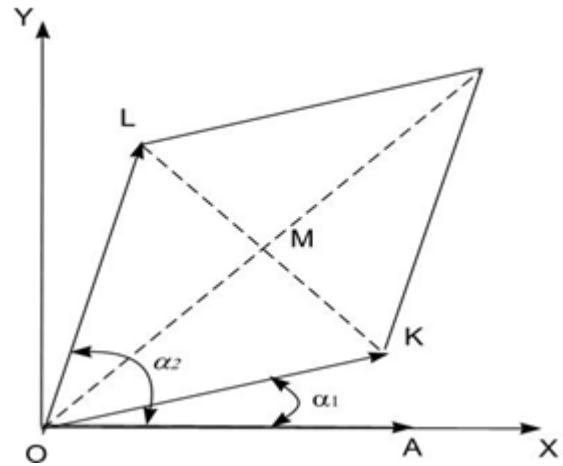


Рис. 10. Векторна модель процесу комунікації для динамічного та мультифокального типу МОС (розроблено автором)

Якщо врахувати коефіцієнт покриття вхідних запитів і прийняти його значення, як вказано вище, а саме  $k_1=0,5$ ;  $k_2=0,5$ ;  $k_3=1$ , то отримаємо  $F_1=0,41$ ;  $F_2=0,32$ ;  $F_3=0,77$ . Звідси слідує, що найбільш ефективним є мультифокальний тип МОС прийняття колективних рішень, при якій керівник мережі має декількох «заступників».

В рамках синергетичного підходу в якості критерію економічної ефективності інтеграції підприємств у даній роботі пропонується прийняти відношення отриманого доходу до витрат на реалізацію інновації. Відповідно, оцінка ефекту від спільного запровадження інтегрованої системи управління проектом (IPD) та інформаційного моделювання в будівництві (ВІМ) (далі спільна модель ВІМ/IPD) може бути виражена такою залежністю:

$$E = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{I}{(1+n)^i}}{\sum_{i=0}^t \frac{CI}{(1+n)^i} + \sum_{i=0}^t \frac{CO}{(1+n)^i}}, \quad (9)$$

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;  $t$  – період часу, що аналізується;  $n$  – прийнята для розрахунків ставка (норма) дисконтування.

Сумарний потік доходів від запровадження спільної моделі BIM/IPD є рівним сумі синергетичних ефектів:

$$I = S_1 + S_2 + S_3 + S_4, \quad (10)$$

де  $S_1$  – зменшення кількості помилок та колізій при реалізації будівельного проекту;  $S_2$  – загальне зменшення часу реалізації проекту за рахунок більш високої координації дій;  $S_3$  – зниження трансакційних витрат;  $S_4$  – зниження витрат на етапі експлуатації будівлі відповідно.

Проаналізуємо структуру витрат, пов'язаних з запровадженням спільної моделі BIM/IPD. Витрати можна розділити на інвестиційні та експлуатаційні.

Інвестиційні витрати обумовлені в своїй структурі забезпеченням виконання завдання впровадження спільної моделі в організаційну структуру проекту та мають наступний вигляд:

$$CI = \left[ \sum_{q=1}^y (C_e \times T_{s\ bas} + C_{st}) + CI_{ce} + CI_s + CI_{db} \right] + \sum_{q=1}^j (C_{as} \times T_{adapt}), \quad (11)$$

де  $C_e$  – середня норма оплати праці працівника підприємства, що проходить навчання;  $T_{s\ bas}$  – 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 і робочих місць, інтегрованих в систему;  $j$  – кількість «заступників» керівника проекту.

Експлуатаційні витрати визначені виразом:

$$CO = \sum_{q=1}^y (CO_{ce} + CO_s + CO_{db}) + \sum_{q=1}^j (C_{as} \times T_w) + \sum_{q=1}^x (C_e \times T_{s\ add}), \quad (12)$$

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;  $T_{s\ add}$  – 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.

Підставивши формули (10–12) в (9), отримаємо:

$$E = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}{(1+n)^i}}{\sum_{i=0}^t \frac{\left[ \sum_{q=1}^y (C_e * T_{s\ bas} + C_{st}) + CI_{ce} + CI_s + CI_{db} \right] + \sum_{q=1}^j (C_{as} * T_{adapt})}{(1+n)^i}} + \quad (13)$$

$$+ \sum_{i=0}^t \frac{[\sum_{q=1}^y (CO_{ce} + CO_s + CO_{ab}) + \sum_{q=1}^j (C_{as} * T_w) + \sum_{q=1}^x (C_e * T_{s add})]}{(1+n)^t}$$

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.

Запропоновані методи, які застосовуються для знаходження оптимальної кластеризації засновані на ідеї, що задача кластеризації мережі може бути розв'язана як результат загального процесу оптимізації. Для вирішення завдань кластеризації графів використовуються графові алгоритми. Графові алгоритми кластеризації – сукупність алгоритмів, які спрямовані на упорядкування даних і створення ієрархії вкладених кластерів (спільнот). Використання алгоритмів кластеризації забезпечує поділ набору об'єктів на кластери, що не пересікаються. Члени одного кластера дуже «схожі» між собою, тоді як об'єкти, що належать до різних кластерів відносно неоднакові. Для оцінки якості алгоритму кластеризації використовується функціонал модулярності,

Критерій оцінки якості виявлених спільнот – модулярність визначається на основі щільності зв'язків всередині спільноти в порівнянні зі зв'язками між спільнотами. Для зваженого графа модулярність виражається як:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left[ A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(c_i, c_j), \quad (14)$$

де  $A_{ij}$  – вага ребра між вузлами  $i, j$ ;  $k_i, k_j$  – сума ваг ребер, що сполучені з вузлами  $i, j$ ;  $\delta$  – функція  $\delta(u, v)$ , яка дорівнює 1 якщо  $u = v$ , інакше = 0;  $c_i, c_j$  – спільноти вузлів  $i, j$ ;  $m$  – напівсума ваг всіх ребер графа ( $m = \frac{1}{2} \sum_{i,j} A_{ij}$ ).

Поширеним методом машинного навчання, призначеним для виявлення спільнот у великих мережах даних, є метод Louvain, який забезпечує позитивний баланс між універсальністю та продуктивністю. Алгоритм являє собою багатоетапну процедуру і передбачає локальну оптимізацію модулярності по відношенню до сусідів кожного вузла: процедура виконується ітераційно до тих пір, поки триває зростання модулярності.

Алгоритм Louvain можна розділити на два етапи:

1. Етап локальної оптимізації. На першому етапі кожному вузлу мережі призначається окрема спільнота. Таким чином, при початковому розподілі в графі є стільки спільнот, скільки й вузлів. Спочатку, для кожного вузла  $i$  відбувається ідентифікація всіх суміжних кластерів  $N_c(i)$ , тобто кластерів, що містять щонайменше один сусідній вузол  $j$  та  $l(i) \neq l(j)$  (мітка кластера  $i$ ,  $l(i)$  відрізняється від мітки кластера  $j$ ,  $l(j)$ ).

Множина всіх суміжних кластерів вузла  $i$  позначається як (індекс  $C$  в  $N_c(i)$  означає набір кластерів, а не окремі вузли):

$$N_c(i) = \{Ck \mid \exists j : (j \in N(i)) \wedge (l(j) = k) \wedge (l(j) \neq l(i))\}. \quad (15)$$

Потім для кожного вузла  $i$  вивчаються варіанти зміни модулярності, при можливому переміщенні вузла з однієї в іншу спільноту. Вузол  $i$  переміщається в ту спільноту, в якій значення модулярності є максимальним. Якщо позитивного результату (виграшу) від переміщення вузла немає – вузол залишається в своїй початковій спільноті.

Поелементно модулярність поділу графа  $G$  можна обчислити за допомогою формули:

$$Q(\overline{C_1, C_m}) = \sum_{k=1}^m \left[ \frac{\sum_{i \in C_k} \sum_{j \in C_k} a_{ij}}{a_{\circ\circ}} - \frac{(\sum_{i \in C_k} a_{i\circ})(\sum_{j \in C_k} a_{\circ j})}{(a_{\circ\circ})^2} \right], \quad (16)$$

де  $\overline{C_1, C_m}$  – кластери графа  $G$ ;  $a_{ij}$  – ребро матриці суміжності, яке з'єднує вузли  $i$  та  $j$ ;  $a_{\circ\circ} = \sum_{i,j=1}^n a_{ij}$  – сума всіх елементів матриці  $A$  або іншими словами об'єм графа ( $vol(G)$ );  $a_{i\circ} = \sum_{j=1}^n a_{ij}$  – для неорієнтованого графа сума рядка  $i$  дорівнює сумі стовбця  $i$ .

Як видно з рівняння, неформально модулярність – це різниця між реальною та очікуваною (за умови, що ребра з'являються незалежно від структури спільноти) часткою ребер всередині кожного кластера, накопичених у всіх кластерах.

Вводячи  $(n \times 1)$  мірний бінарний вектор приналежності  $u_k$  для кожного кластера  $k$  ( $[u_k]_i = 1$  якщо  $i$  належить до кластера  $k$ , інакше  $[u_k]_i = 0$ ), а  $a_{\circ\circ}$  є об'ємом графа  $G$  ( $vol(G)$ ) рівняння (16) можна переписати в матричному відображенні в такий спосіб:

$$\begin{aligned} Q(\overline{u_1, u_m}) &= \sum_{k=1}^m \left[ \frac{u_k^T A u_k}{vol(G)} - \frac{(u_k^T A e)(e^T A u_k)}{(vol(G))^2} \right] = \sum_{k=1}^m u_k^T \left( \frac{A}{vol(G)} - \frac{d_o d_i^T}{(vol(G))^2} \right) u_k = \\ &= \frac{1}{vol(G)} \sum_{k=1}^m u_k^T \left( A - \frac{d_o d_i^T}{vol(G)} \right) u_k, \end{aligned} \quad (17)$$

де  $Q$  – матриця модулярності;  $A$  – матриця суміжності;  $u_k$  – бінарний вектор приналежності, який дорівнює 1 в позиції  $i$ , якщо вузол  $i$  належить кластеру  $C_k$  та дорівнює 0 в іншому випадку;  $u_k^T$  – транспонований вектор  $u_k$ ;  $d_o = A e$  – вихідний вектор ступеня графа  $G$ ;  $d_i = A_e^T$  – вхідний вектор ступеня графа  $G$ ;  $vol(G)$  – об'єм графа  $G$ .

Елементи стандартної матриці модулярності  $Q$  можуть бути визначені як:

$$Q = \left( A - \frac{d_o d_i^T}{vol(G)} \right). \quad (18)$$

Тоді критерій модулярності може бути розрахований за формулою:

$$Q(\overline{u_1, u_m}) = \frac{1}{vol(G)} \sum_{k=1}^m u_k^T Q u_k. \quad (19)$$

Розглянуто як розрахунок збільшення в модулярності при переміщенні вузла  $i$  з поточного кластера  $k$  в кластер  $l$ . Оскільки вузол  $i$  залишає кластер  $C_k$ , його вектор членства стає  $(u_k - e_i)$ . Точно так само, оскільки вузол  $i$  переміщається в кластер  $C_l$ , вектор приналежності  $C_l$  стає  $(u_l + e_i)$ .

Припускаючи неорієнтований граф  $a$ , отже, симетричну матрицю модулярності, а також враховуючи, що  $k \neq l$ , збільшення в модулярності розраховується як:

$$\begin{aligned} \Delta Q(i, C_l) &= Q(\text{після переміщення вузла } i \text{ в кластер } C_l) - Q(\text{до переміщення вузла } i \text{ в } C_l) \\ &= \frac{1}{\text{vol}(G)} [((u_k - e_i)^T Q(u_k - e_i) + (u_l + e_i)^T Q(u_l + e_i)) - (u_k^T Q u_k + u_l^T Q u_l)] = \\ &= \frac{1}{\text{vol}(G)} [(e_i^T Q e_i - 2u_k^T Q e_i) + (e_i^T Q e_i - 2u_l^T Q e_i)] = \frac{2}{\text{vol}(G)} (e_i + u_l - u_k)^T Q e_i. \end{aligned} \quad (20)$$

Таким чином, розрахунок виграшу в модулярності при переміщенні вузла  $i$  до сусіднього кластера  $C_l$  визначається за формулою:

$$\Delta Q(i, C_l) = \frac{2}{\text{vol}(G)} (e_i + u_l - u_k)^T q_i, \text{ де } q_i = \text{col}_i(Q) = Q e_i. \quad (21)$$

При розрахунку модулярності необхідно лише перерахувати  $u_l^T q_i$  для кожного цільового кластера  $C_l$ . Другий член рівняння,  $(e_i - u_k)^T q_i$  розраховується попередньо лише один раз.

Якщо вузол  $i$  знаходиться в одному кластері  $k$ , то  $u_k = e_i$  і  $\Delta Q(i, C_l)$  зменшується до  $\frac{2 u_l^T q_i}{\text{vol}(G)}$ .

Процес розрахунку виграшу в модулярності повторюється багато разів і послідовно для всіх вузлів, до тих пір, поки не досягається подальше поліпшення. Перший етап припиняється, коли досягаються локальні максимуми модулярності. Тобто, коли жоден наступний крок вже не може поліпшити модулярність.

2. Етап агрегації або укрупнення. Другий етап роботи алгоритму полягає у використанні поділів, отриманих після виконання локальної оптимізації. Для побудови нового графа  $G'$ , вузлами якого є спільноти, знайдені на першому етапі. Кожен кластер  $C_l$  графа  $G$ , утворений на етапі локальної оптимізації, стає вузлом графа  $G'$ . Зв'язки між вузлами однієї і тієї ж спільноти призводять до створення контурів цієї спільноти в новій мережі. Ваги ребер нового графа  $G'$  встановлюються, як сума ваг зв'язків, які з'єднують між собою кластери графа  $G$  (міжкластерні ваги).

Таким чином, нова вага між вузлами  $k$  та  $l$  графа  $G'$ , які відповідають кластерам  $C_k$  і  $C_l$  графа  $G$  дорівнює

$$w'_{kl} = w(C_k, C_l) = \sum_{i \in C_k} \sum_{j \in C_l} a_{ij}. \quad (22)$$

Якщо між  $C_k$  і  $C_l$  в графі  $G$  не було зв'язків – це відповідає нульовій вазі в матриці суміжності. Крім того, для кожного вузла  $G'$  призначається самоконтроль, а його вага задається як загальна вага всередині відповідного кластера  $G$ . Отже,

$$w'_{kk} = w(C_k, C_k). \quad (23)$$

Матриця суміжності  $G'$  обчислюється з нових ваг для всіх кластерів

$$a'_{kl} = w'_{kl}. \quad (24)$$



Потім відбувається повернення до етапу 1 для виконання нової локальної оптимізації.

Послідовність етапів 1 і 2 називається прогоном. Кожен запуск призводить до створення нового кластерного розділу, який виникає в результаті об'єднання кластерів, отриманих при попередньому запуску. Це створює ієрархію вкладених розділів на різних рівнях агрегації. Прогони повторюються до тих пір, поки стане неможливо поліпшити модулярність, тобто не буде переміщення вузла (локальна оптимізація) і агрегування вузлів з подальшою локальною оптимізацією.

Інфологічна схема роботи алгоритму приведена на рис. 11.

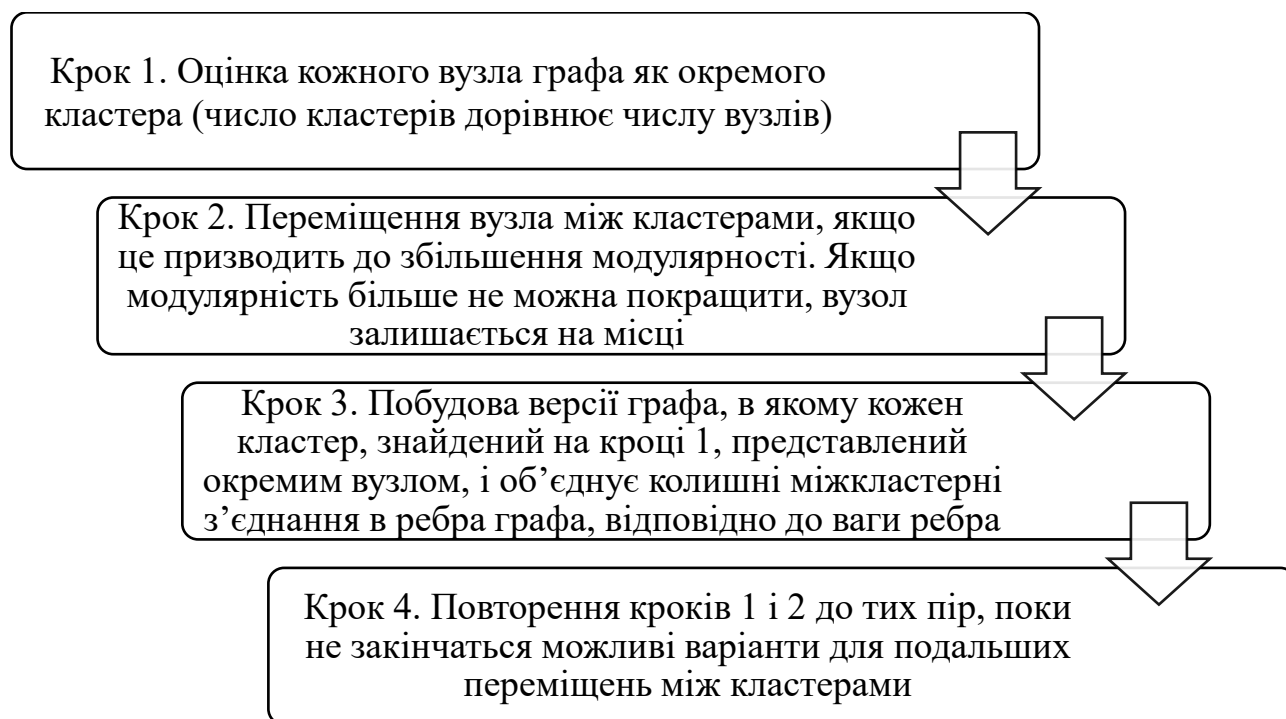


Рис. 11. Інфологічна схема роботи алгоритму Louvain (розроблено автором)

Основні результати даного розділу опубліковані в роботах автора [2; 5; 9; 27; 34; 37; 42; 49; 51; 56; 57].

**Розділ шостий** «Науково-методичні підходи і практичний інструментарій удосконалення системи управління знаннями при реалізації проєктів у будівництві» присвячений практичній верифікації запропонованих когнітивних механізмів.

В перспективі ВІМ може стати ресурсом для аналізу великих даних. Генерацією інформації й знань, оскільки після завершення кожного з етапів реалізації будівельного проєкту залишаються великі набори даних. Накопичені дані можуть бути корпоративним активом, набування і використання якого дозволяє підприємствам складати кращі прогнози і приймати правильні рішення. Крім того, знання, які виникли в проєкті та пройшли випробування практикою, можна вважати більш надійними у порівнянні з даними експериментів або моделювання, оскільки вони містять більше основоположних знань щодо реальності.

Великі дані та BIM об'єднують в одному місці фрагментовану інформацію щодо будівельного об'єкта протягом усього життєвого циклу і таким чином здатні створити цілісну реальну картину того, що відбувається (рис. 12).



Рис. 12. Структура інформаційної моделі зберігання та обробки геометричної та негеометричної інформації про проєкт (розроблено автором)

На підставі аналізу іноземного досвіду використання інформаційного моделювання в публічних закупівлях було запропоновано такі стадії його запровадження в Україні (рис. 13).

Для оцінки комунікаційної мережі, нами був проаналізований проєкт будівництва житлового комплексу (три багатоквартирні житлові будинки, загальною площею 6850 м<sup>2</sup>), що розташований в м. Рівне. Будівництво розпочалося у лютому 2019 року, а його завершення заплановане на вересень 2022 року. Схема проведення дослідження мережі комунікаційних зв'язків проєкту подана на рис. 14.



Рис. 13. Стадії впровадження концепції BIM в публічних закупівлях (розроблено автором)

На підставі зібраної від учасників реалізації проекту інформації автором було розраховано значення показника «вага зв'язку» ( $E_{ij}$ ). Були розраховані міри центральності, які допомагають зрозуміти зв'язок конкретного вузла з найближчими сусідами в мережі та виявити рівень його важливості й впливу.

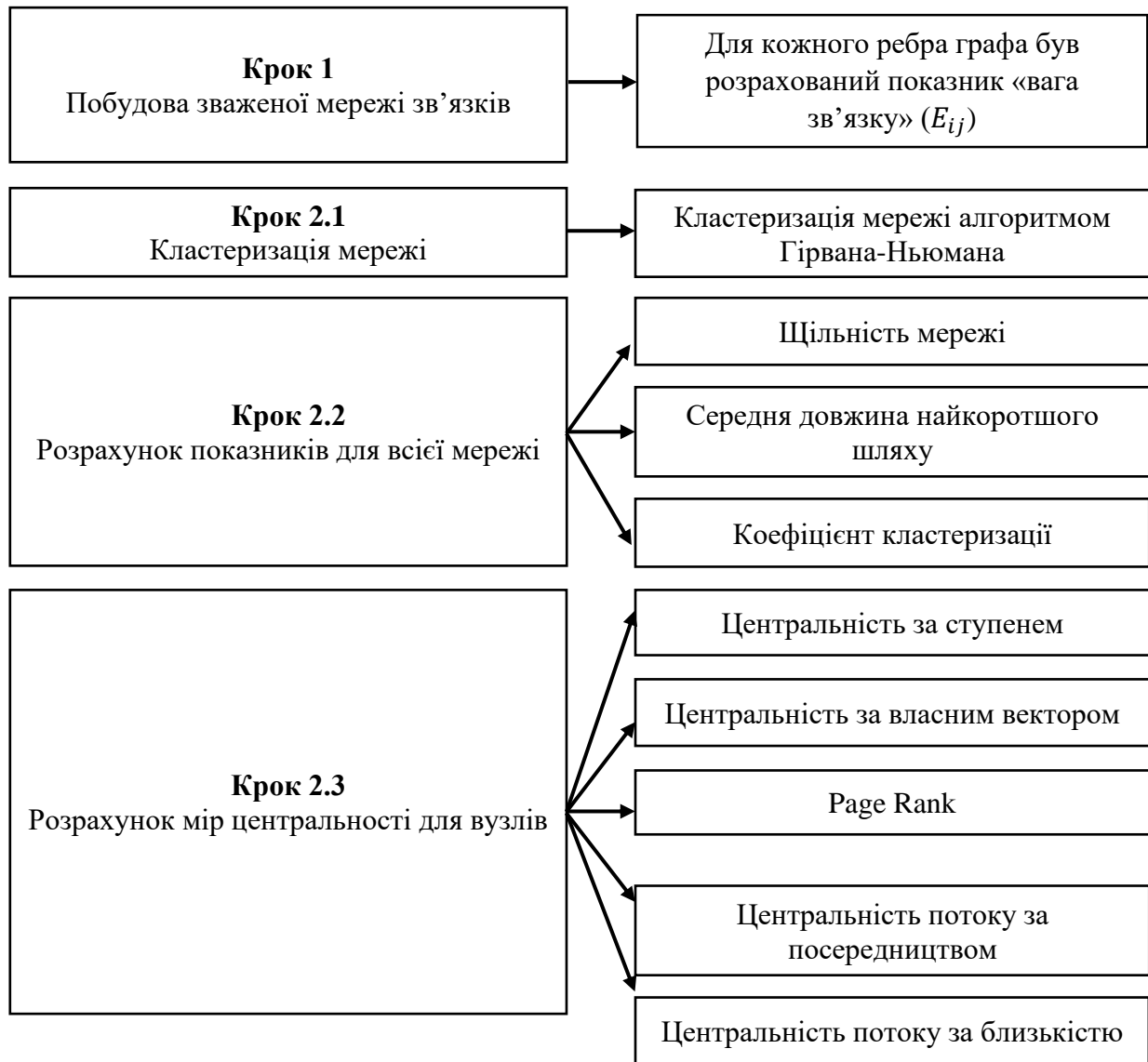


Рис. 14. Схема проведення дослідження мережі комунікаційних зв'язків проекту (розроблено автором)

Задача виділення в мережі спільнот була розв'язана за допомогою кластеризації графів, яка основана на розрахунку критеріїв оптимальності розбиття графа на підмножини.

Вагу зв'язку між вузлами  $i$  та  $j$  можна визначити з виразу:

$$E_{ij} = F_{ij} \times Q_{ij}, \quad (25)$$

де  $F_{ij}$  – частота комунікації, яка розраховується як  $f_{ij}/5$ ,  $Q_{ij}$  – якість комунікації, яка розраховується як  $q_{ij}/9$ . Значення ваги вузла мережі розраховується, як сума ваг всіх ребер («вага зв'язку»), що з'єднані з даним вузлом.

Розрахунок основних мір центральності наведено у табл. 4, на рис. 14 представлена візуалізація мережі на прикладі міри «Центральність за власним вектором». Розрахунок мір центральності та візуалізація були реалізовані з використанням бібліотеки Networkx на мові програмування Python.

Таблиця 4. Показники центральності вузлів мережі (розроблено автором)

	Центральність		Page Rank	Центральність	
	за ступенем	за власним вектором		потоків за близькістю	за посередництвом
Технічний нагляд за будівництвом	234,48	0,283	0,052	0,152	2,088
Керівник проєкту	202,5	0,225	0,046	0,136	1,951
Начальник дільниці	266,69	0,318	0,059	0,165	2,143
Виконроб (інженерні мережі)	163,31	0,23	0,036	0,083	1,819
Інженер-будівельник, ВТВ	168,99	0,237	0,037	0,082	1,837
Головний інженер	191,93	0,273	0,042	0,093	1,941
Архітектор (авторський нагляд)	121,89	0,134	0,03	0,071	1,531
Інженер конструктор	126,69	0,151	0,03	0,075	1,607
Головний механік	143,51	0,211	0,032	0,067	1,715
Геодезична служба	139,26	0,182	0,032	0,08	1,676
Інженер з ОП	117,53	0,145	0,029	0,074	1,61
Менеджер з постачання	166,32	0,223	0,038	0,094	1,822
Кошторисний відділ	108,48	0,13	0,026	0,067	1,521
Генпроектувальник	89,19	0,08	0,023	0,053	1,311
ПЗП електричних мереж	105,67	0,094	0,027	0,055	1,402
ПЗП ВіК	129,13	0,127	0,031	0,093	1,632
ПЗП газопостачання	128,66	0,132	0,031	0,085	1,617
ПЗП слабострумних мереж	77,07	0,073	0,02	0,04	1,208
ПЗП ліцензованих робіт ДСНС	77,94	0,065	0,021	0,052	1,187
ПЗВ земляних робіт	105,57	0,167	0,025	0,049	1,503
ПЗВ монолітних робіт	143,83	0,192	0,032	0,075	1,732
ПЗВ робіт з цегляної кладки	129,67	0,174	0,03	0,066	1,643
ПЗВ з покрівельних робіт	131,00	0,202	0,03	0,059	1,664
ПЗМ віконних та дверних конструкцій	104,93	0,172	0,025	0,044	1,484
ПЗМ інженерних мереж ВіК	138,58	0,179	0,032	0,066	1,682
ПЗМ систем опалення та вентиляції	110,18	0,151	0,026	0,049	1,513
ПЗВ з виконання мереж газопостачання	118,41	0,154	0,027	0,054	1,563
ПЗВ робіт слабострумних мереж	114,91	0,141	0,027	0,072	1,574
ПЗВ робіт по влаштуванню підлог	51,93	0,081	0,015	0,026	1,014
ПЗВ робіт, що ліцензуються ДСНС	51,48	0,07	0,015	0,036	0,971
ПЗВ робіт з утеплення та оздобленню фасаду	65,56	0,103	0,017	0,028	1,144
ПЗВ робіт з влаштуванню благоустрою	58,1	0,097	0,016	0,022	1,074
ПЗВ робіт по штукатуренню та лицюванню	81,35	0,108	0,021	0,048	1,301
ПЗВ внутрішніх опоряджувальних робіт	80,44	0,118	0,02	0,038	1,297

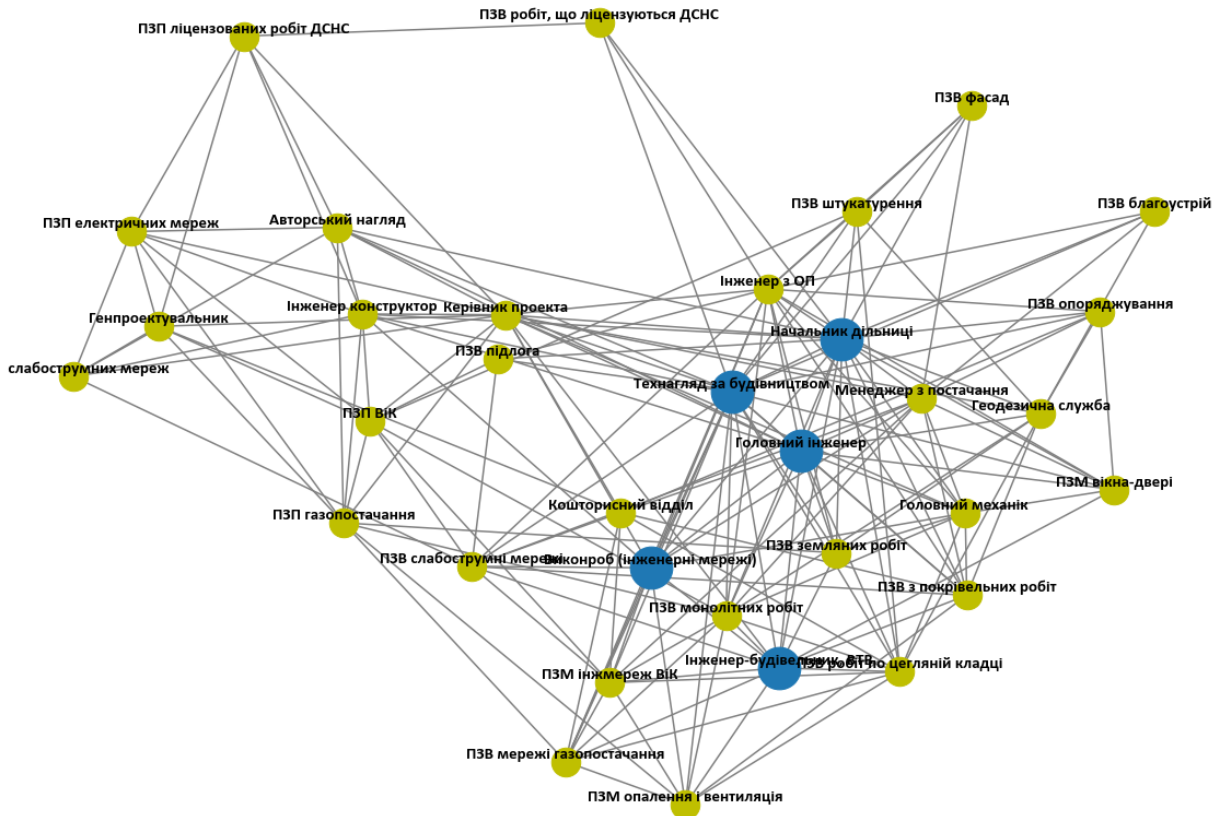


Рис. 14. Центральність вузлів мережі за власним вектором (розроблено автором)

Кластеризація мережі була проведена за допомогою алгоритму Гірвана-Ньюмана (рис. 15). Алгоритму вдалося виділити дві спільноти, хоча набір учасників «жовтого» кластеру (вузли зазначені жовтим кольором) виглядає неповним. На підставі отриманих результатів було прийняте рішення про оптимізацію мережі та використання іншого алгоритму кластеризації.

Наступний етап дослідження полягав у зниженні комунікаційного навантаження для ключових учасників мережі «Технічний нагляд за будівництвом», «Керівник проекту», «Начальник дільниці» і «Виконроб (інженерні мережі)». Зазначене завдання було вирішено за допомогою введення в мережу зв'язків проекту нового вузла-учасника – «ВІМ менеджер». Пріоритетною мірою центральності вибрано міру «Центральність за власним вектором».

Розрахунок мір центральності наведено у табл. 5, а на рис. 16 представлена візуалізація мережі на прикладі міри «Центральність за власним вектором».

Таблиця 5. Показники центральності за ступенем та власним вектором після додавання нового вузла-учасника – «ВІМ менеджер» (розроблено автором)

Учасник	Центральність за ступенем	Учасник	Центральність за власним вектором
Начальник дільниці	274,92	ВІМ менеджер	0,314
Керівник проекту	238,78	Начальник дільниці	0,311
Технічний нагляд за будівництвом	233,08	Керівник проекту	0,292
Головний інженер	191,93	Технічний нагляд за будівництвом	0,261

Виконроб (інженерні мережі)	175,95	Головний інженер	0,247
Інженер-будівельник, ВТВ	168,99	Виконроб (інженерні мережі)	0,238
<i>ВІМ менеджер</i>	<i>167,05</i>	Інженер-будівельник, ВТВ	0,213
Менеджер з постачання	166,32	Менеджер з постачання	0,204
ПЗВ монолітних робіт	143,83	Головний механік	0,192
Головний механік	143,51	ПЗВ з покрівельних робіт	0,179
Геодезична служба	139,26	ПЗВ монолітних робіт	0,168
ПЗМ інженерних мереж ВіК	138,58	Геодезична служба	0,163
ПЗВ з покрівельних робіт	131	ПЗМ інженерних мереж ВіК	0,159
ПЗВ робіт з цегляної кладки	129,67	ПЗВ робіт з цегляної кладки	0,152
ПЗП ВіК	129,13	ПЗМ віконних та дверних конструкцій	0,152
ПЗП газопостачання	128,66	Інженер конструктор	0,15
Інженер конструктор	126,69	ПЗВ земляних робіт	0,149
Архітектор (авторський нагляд)	121,89	ПЗВ з виконання мереж газопостачання	0,137
ПЗВ з виконання мереж газопостачання	118,41	ПЗМ систем опалення та вентиляції	0,134
Інженер з ОП	117,53	Архітектор (авторський нагляд)	0,133
ПЗВ робіт слабострумних мереж	114,91	Інженер з ОП	0,132
ПЗМ систем опалення та вентиляції	110,18	ПЗП газопостачання	0,128
Кошторисний відділ	108,48	ПЗВ робіт слабострумних мереж	0,127
ПЗП електричних мереж	105,67	ПЗП ВіК	0,125
ПЗВ земляних робіт	105,57	Кошторисний відділ	0,118
ПЗМ віконних та дверних конструкцій	104,93	ПЗВ внутрішніх опоряджувальних робіт	0,105
Генпроектувальник	89,19	ПЗП електричних мереж	0,098
ПЗВ робіт по штукатуренню та лицюванню	81,35	ПЗВ робіт по штукатуренню та лицюванню	0,097
ПЗВ внутрішніх опоряджувальних робіт	80,44	ПЗВ робіт по утепленню та оздобленню фасаду	0,093
ПЗП ліцензованих робіт ДСНС	77,94	ПЗВ робіт з влаштуванню благоустрою	0,087
ПЗП слабострумних мереж	77,07	Генпроектувальник	0,084
ПЗВ робіт по утепленню та оздобленню фасаду	65,56	ПЗП слабострумних мереж	0,075
ПЗВ робіт з влаштуванню благоустрою	58,1	ПЗВ робіт по влаштування підлог	0,074
ПЗВ робіт по влаштування підлог	51,93	ПЗП ліцензованих робіт ДСНС	0,067
ПЗВ робіт, що ліцензуються ДСНС	51,48	ПЗВ робіт, що ліцензуються ДСНС	0,064

Як видно, введення в мережу зв'язків проєкту нового вузла «ВІМ менеджер», який за рахунок відносин із найбільш впливовими учасниками мережі має максимальне значення центральності за власним вектором (0,314), дозволить знизити комунікаційне навантаження з ключових учасників.

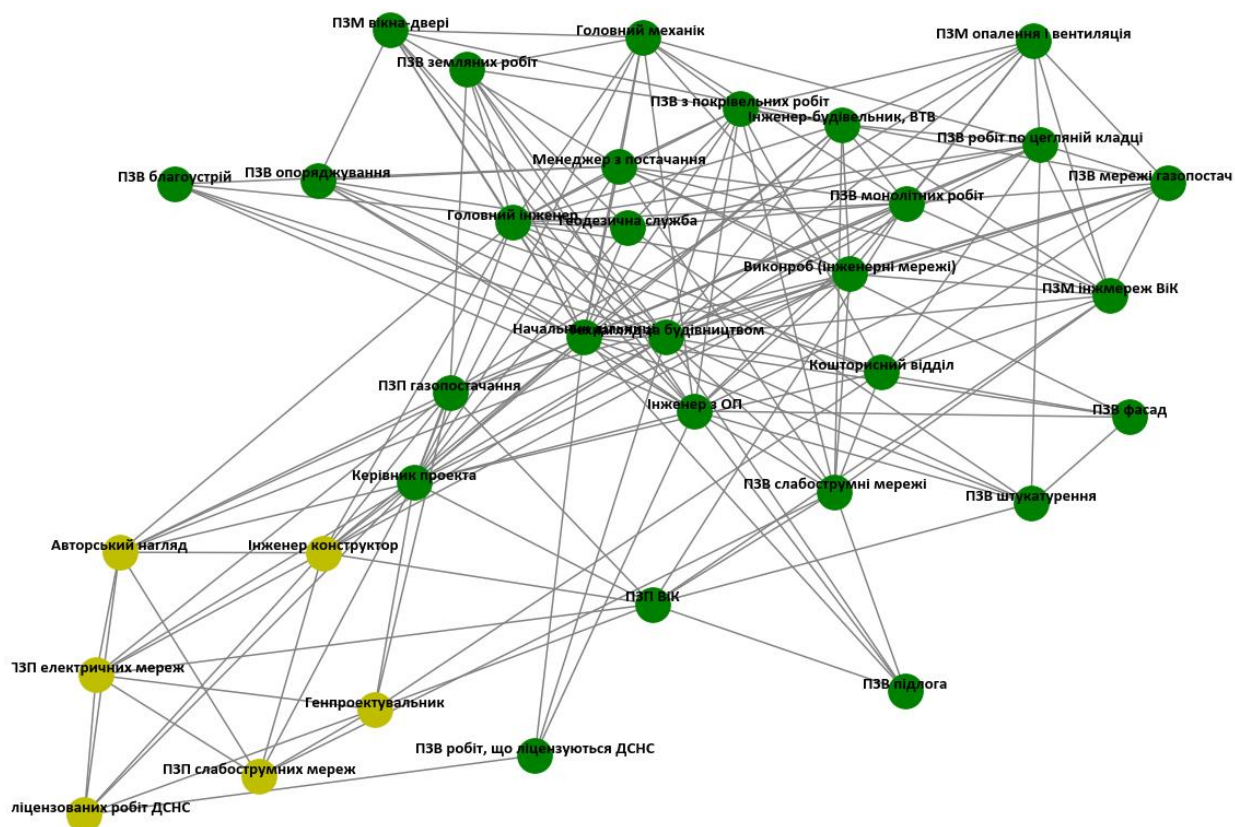


Рис. 15. Результат кластеризація мережі алгоритмом Гірвана-Ньюмана (розроблено автором)

Наступним етапом дослідження була оптимізація комунікаційної мережі для виділення пов'язаних спільнот. Оптимізація була проведена за допомогою алгоритму оптимізаційної кластеризації Louvain, який є алгоритмом машинного навчання без учителя (відсутня потреба у попередньому визначенні кількості кластерів) та ефективно працює на зважених неорієнтованих графах.

Графічне відображення результатів виконання оптимізаційного алгоритму наведені на рис. 17. Один з трьох кластерів включає в себе ключових, для даної мережі, учасників «Технічний нагляд за будівництвом» та «Начальник дільниці», а також: «Головний інженер», «Головний механік», «Геодезична служба», підрядники з виконання різних будівельних робіт. Також в даному кластері знаходяться «Інженер з охорони праці» та «Менеджер з постачання», оскільки дані учасники часто комунікують із підрядниками з виконання будівельних робіт.

Другий кластер включає в себе ключового, для даної мережі, учасника «Виконроб (інженерні мережі)», а також учасників, що мають з ним тісні комунікаційні зв'язки - підрядники з інсталяції різних інженерних мереж. Дивним виглядає наявність в даному кластері «ПЗВ монолітних робіт» та «ПЗВ робіт з цегляної кладки», які за структурою проекту та виконуваними роботами мали б належати до учасників «синього» кластеру.



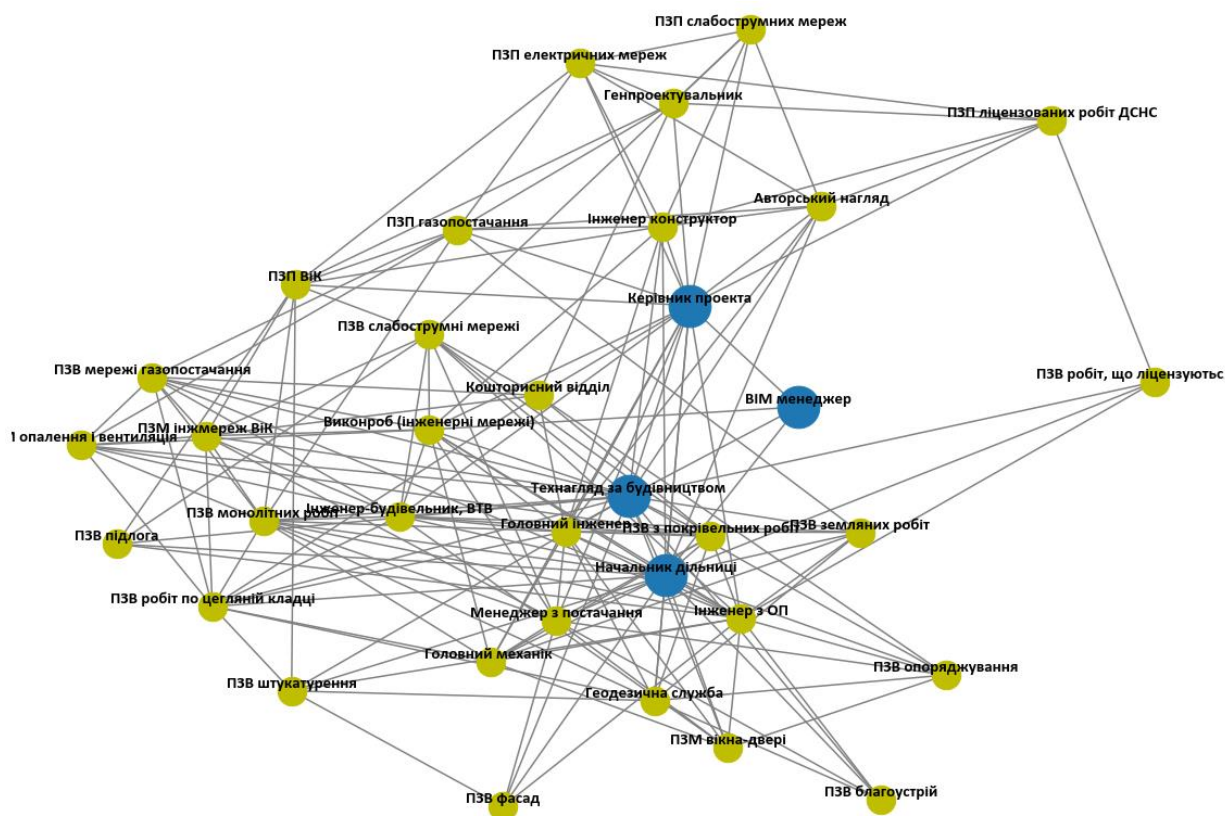


Рис. 16. Центральність вузлів за власним вектором після додавання нового вузла «ВІМ менеджер» (розроблено автором)

Третій кластер включає в себе ключового, для даної мережі, учасника «Керівник проекту», а також групу проектувальників – «Авторський нагляд», «Інженер конструктор», «Генпроектувальник» та підрядників з проектування. Крім того в даному кластері знаходиться учасник, який був доданий на етапі оптимізації – «ВІМ менеджер».

На думку автора, оптимізацію мережі алгоритмом Louvain можна вважати вдалою. Дана кластеризація може бути використана менеджментом проекту для аналізу реальної комунікаційної мережі та при прийнятті управлінських рішень.

Оцінка ефекту від впровадження спільної моделі ВІМ/IPD була проведена відповідно до запропонованого методу (формула 13). Дані для розрахунку інвестиційних та експлуатаційних витрат наведені в табл. 6 та 7 відповідно.

«ВІМ менеджер» функціонально підпорядкований керівнику проекту. Головним його завданням є щоденна інтеграція, координація і консолідація всіх дисциплін проекту та ключових учасників кожного з кластерів для досягнення мети проекту.

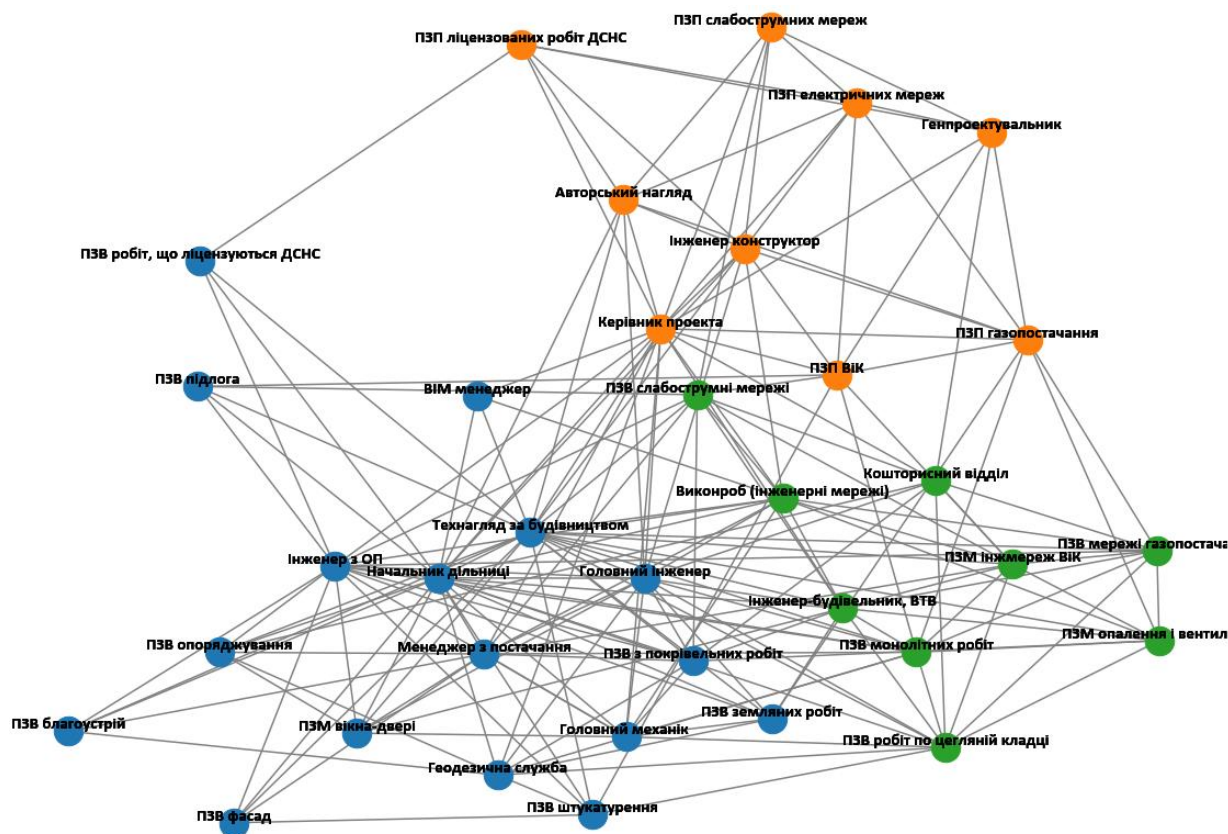


Рис. 17. Графічне відображення результатів виконання оптимізаційного алгоритму Louvain (розроблено автором)

Таблиця 6. Дані для розрахунку інвестиційних витрат, грн. (розроблено автором)

Показник	Символ	Значення
Середня норма оплати праці працівника підприємства, що проходить навчання	$C_e$	12 772
Час навчання, координації одного працівника та інтеграції робочого місця	$T_{s\ bas}$	3
Кількість працівників підприємств та робочих місць, інтегрованих в систему	$y$	10
Кількість «заступників» керівника проекту	$j$	2
Витрати на персонал з врахуванням зниження продуктивності праці	$y*(C_e*T_{s\ bas})$	127 720
Середня вартість навчання працівників	$C_{st}$	15 873
Витрати на придбання комп'ютерного обладнання	$CI_{ce}$	35 714
Витрати на придбання програмного забезпечення	$CI_s$	103 873
Витрати на придбання баз даних	$CI_{db}$	16 254
Середня норма оплати праці «заступника» керівника проекту	$C_{as}$	20 925
Час на адаптацію «заступника» керівника	$T_{adapt}$	3
Разом		2 313 842

Таблиця 7. Дані для розрахунку експлуатаційних витрат, грн. (розроблено автором)

Показник	Символ	Значення		
		1 рік	2 рік	3 рік
Витрати на обслуговування комп'ютерного обладнання	$CO_{ce}$	0	17 857	35 714

Витрати на обслуговування програмного забезпечення	$CO_s$	0	103 873	103 873
Витрати на обслуговування баз даних	$CO_{db}$	0	16 254	16 254
Середня норма оплати праці «заступника» керівника проекту	$C_{as}$	20 925	20 925	20 925
Час роботи «заступника» керівника проекту	$T_w$	9	12	12
Час на додаткове навчання працівника підприємства	$T_{s\ add}$	3	3	3
Частка працівників, що будуть потребувати додаткового навчання	$x$	10%	10%	10%
Середня норма оплати праці працівника підприємства, що проходить навчання	$C_e$	12 772	12 772	12 772
Кількість працівників підприємств та робочих місць, інтегрованих в систему	$y$	10	10	10
Кількість «заступників» керівника проекту	$j$	2	2	2
Разом		389 422	2 170 782	2 385 067
Дисконт (10%)		389 422	2 387 860	2 623 574
Накопичувально		389 422	2 777 282	5 400 856

На підставі даних з табл. 2 сумарний синергетичний ефект, при ймовірності настання 100%, становить 18,7% від вартості будівельного проекту. В подальшому, у програмі MS Office Excel, проведено розрахунок значень всіх чотирьох синергетичних ефектів при рівнях ймовірності настання 25%, 50%, 75% і 100%. З отриманої сукупності 256 значень синергетичних ефектів за допомогою інструмента «Вибірка» пакету Analysis Tool Pack MS Office Excel була сформована репрезентативна вибірка з таких випадкових значень: вибірка 1 – 10,03%; вибірка 2 – 15,22%; вибірка 3 – 18,90%; вибірка 4 – 10,35%; вибірка 5 – 17,66%. Розрахунок ефекту було проведено для будівельних проектів загальною вартістю 40, 50 і 60 млн грн.

Проведено практичну перевірку функціонування розробленої моделі для будівельних проектів загальною вартістю 40, 50 і 60 млн грн. При вартості 40 млн грн. ефект досягається лише при 100% ймовірності настання ефектів синергії. При вартості 50 млн грн. ефект досягається при ймовірності настання ефектів синергії 75% і 100%, а також при трьох випадкових значеннях синергетичних ефектів (вибірка 2 – 15,22%; вибірка 3 – 18,90%; вибірка 5 – 17,66%).

Результати аналізу ефекту від впровадження спільної моделі BIM/IPD для проектів загальною вартістю 60 млн. грн. наведені у таблиці 8 та на рисунку 18.

Таблиця 8. Аналіз ефективності впровадження спільної моделі BIM/IPD (вартість проекту 60 млн грн.) (розроблено автором)

	1 рік	2 рік	3 рік	Разом
Сума витрат на запровадження спільної моделі BIM/IPD, грн.	2 703 264	2 387 860	2 623 574	7 714 698
Розподіл витрат при інтегрованій реалізації проекту, %	57,11	38,92	3,97	100,00

Вартість проекту, грн.	60 000 000			
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (ймовірність 100%)	21,76			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	7 455 687	5 081 152	518 725	13 055 564
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (ймовірність 75%)	16,32			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	5 591 765	3 810 864	389 044	9 791 673
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (ймовірність 50%)	10,88			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	3 727 843	2 540 576	259 363	6 527 782
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (ймовірність 25%)	5,44			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	1 863 922	1 270 288	129 681	3 263 891
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (вибірка 1)	10,03			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	3 436 474	2 342 004	239 091	6 017 570
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (вибірка 2)	15,22			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	5 215 287	3 554 289	362 851	9 132 427
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (вибірка 3)	18,90			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	6 475 337	4 413 031	450 518	11 338 886
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (вибірка 4)	10,35			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	3 545 956	4 413 031	450 518	8 409 505
Сума синергетичних ефектів в % від вартості проекту (вибірка 5)	17,66			
Розподіл синергетичних ефектів при інтегрованій реалізації проекту, грн.	6 052 316	4 124 736	421 087	10 598 139

Як видно з табл. 7 та рис. 16 при реалізації будівельного проекту загальною вартістю 60 млн грн. ефект від впровадження спільної моделі BIM/IPD досягається при ймовірності настання ефектів синергії 75% і 100%, а також при чотирьох випадкових значеннях синергетичних ефектів (вибірка 2 – 15,22%; вибірка 3 – 18,90%; вибірка 4 – 10,35%; вибірка 5 – 17,66%).

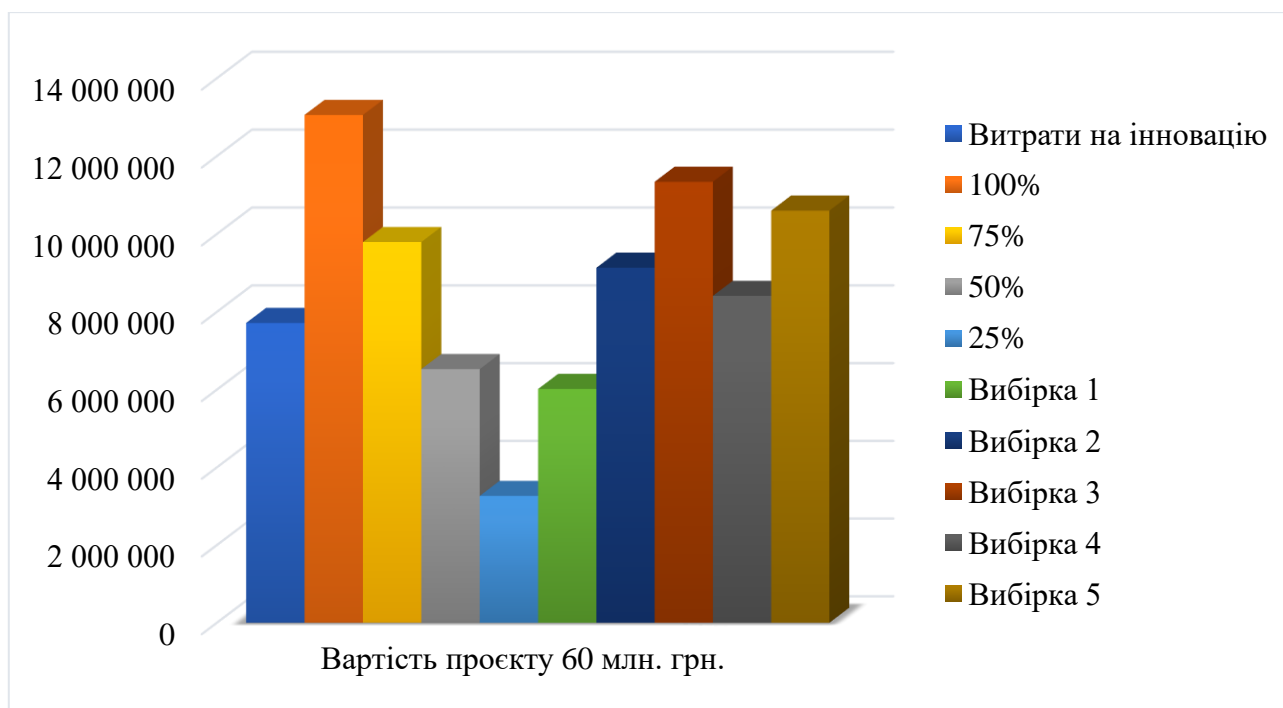


Рис. 18. Аналіз ефективності впровадження спільної моделі BIM/IPD (вартість проекту 60 млн грн.) (розроблено автором)

Крім того, ефект від впровадження спільної моделі BIM/IPD збільшиться при реалізації наступних проектів, у зв'язку із зменшення інвестиційних витрат.

Основні результати даного розділу опубліковані в роботах автора [4; 8; 10; 13; 25; 30; 40; 41; 51; 52; 54].

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема з розробки теоретичних основ і методології, яка містить когнітивні механізми, моделі, методи, що дозволяють здійснювати покроковий аналіз, вибір, оптимізацію та оцінку ефективності запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проекту.

В дослідженні отримано нові наукові результати, а саме:

- досліджено сучасні концепції, що чинять вплив на когнітивні механізми управління проектами у будівництві. Проведений аналіз довів, що отримання більшого ефекту від використання знань учасників реалізації будівельного проекту можливе за умови спільного запровадження трьох сучасних концепцій: інтеграції підприємств, інформаційного моделювання у будівництві та управління великими даними.

- досліджено термінологічну базу знань, щодо питання інформаційного моделювання в будівництві. Аналіз показав неоднозначність у трактуванні науковцями та практиками дефініції «інформаційне моделювання». Запропоновано авторське бачення дефініції «інформаційного моделювання в будівництві» (BIM), а саме еволюційний шлях цього поняття від «інформаційної моделі», через «інформаційне моделювання» і до «інформаційного менеджменту».

- проаналізовано існуючі методи оцінки ефекту від впровадження інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації проєкту в будівництві. Доведено, що жоден із методів не є настільки комплексним, щоб забезпечити повну і достовірну оцінку ефекту, хоча кожен з них має свій специфічний підхід, вартий уваги при побудові комплексного методу.
- запропоновано актуальні методи та інструменти аналізу мережових організаційних структур і якості комунікаційних зв'язків між учасниками реалізації проєкту. Зроблено висновки щодо недостатньої вивченості: критеріїв, що визначають ефективність мережової інтеграції підприємств; застосування математичних методів для дослідження мережових організаційних структур і можливість їх використання для прогнозування перспективи об'єднання та оцінки результатів функціонування інтегрованих систем.
- досліджено іноземний досвід запровадження інформаційного моделювання в будівництві. Звернено увагу, що у переважній більшості країн планування, організація, реалізація та контроль намічених програм запровадження ВІМ забезпечується урядом та урядовими агенціями.
- виокремлено першочергові задачі, які необхідно розв'язати для ефективного впровадження ВІМ при публічних закупівлях в Україні. На підставі задач сформовано поетапний графік запровадження ВІМ із зазначенням конкретних завдань і проблем для вирішення. Запропоновані стратегічні напрямки, завдання та етапи запровадження ВІМ можуть бути використані будівельними підприємствами, громадськими та суспільними об'єднаннями, органами державного управління.
- упорядковано класифікацію переваг, які отримують основні учасники реалізації будівельного проєкту від запровадження концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації проєкту в будівництві.
- згенеровано математичну модель, що розв'язує завдання вибору оптимальної мережової організаційної структури. Запропонована модель дозволяє: вирішувати завдання вибору оптимальної мережової організаційної структури за критерієм максимальної ефективності використання інформаційних зв'язків між учасниками проєкту для обміну даними, інформацією та знаннями.
- сформульовано та обґрунтовано основні чинники, які впливають на синергетичний ефект, що утворюється при інтегрованій реалізації проєкту із застосуванням інноваційних інструментів інформаційного моделювання в будівництві. Такими чинниками є: зменшення кількості помилок (колізій) та відповідно кількості внесених в будівельний проєкт змін; скорочення часу реалізації проєкту за рахунок більш високої координації дій; зниження трансакційних витрат; зниження витрат на етапі експлуатації будівлі.
- синтезовано математичну модель, яка дозволяє оцінити ефект від спільного запровадження інформаційного моделювання в будівництві й інтегрованої системи управління проєктом. Доведено, що оптимальним для оцінки ефекту інтеграції є метод, який передбачає співставлення ефектів, отриманих від провадження діяльності до понесених витрат. При цьому поставлено і вирішено завдання виділення із загального ефекту виробничої діяльності підприємств тої частки, що виникає внаслідок інтеграційних процесів. Без подібного поділу ефектів і витрат на дві

частини можна судити лише за сукупною динамікою показників ефективності роботи всього підприємства.

– розроблено імітаційну модель, що дозволяє проводити комплексне дослідження та оптимізацію комунікаційної мережі учасників реалізації будівельного проєкту. Дана модель може бути використана менеджментом проєкту для аналізу реальної комунікаційної мережі та при прийнятті відповідних управлінських рішень.

### Список публікацій здобувача

#### Статті у фахових міжнародних виданнях:

1. Tracz R. Strategia zarządzania przedsiębiorstwem budowlanym, etapy rozwoju i stan współczesny. *Acta Scientiarum Polonorum – Architectura*, 16 (4), 2017, 93–102.

#### Міжнародне фахове видання

2. Trach R., Lendo-Siwicka M. Zastosowanie sieciowej struktury organizacyjnej w zintegrowanej realizacji przedsięwzięcia budowlanego. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* (2018), 27 (1), 84–92. **НМБД Scopus.** Автором запропонована методика побудови моделі мережевої організаційної структури в будівельних проєктах.
3. Lendo-Siwicka M., Pawluk K., Paulina Żerek, Trach R. Rozliczenia wprowadzonych zmian na kontrakcie inwestycji infrastrukturalnych według warunków kontraktowych FIDIC – studium przypadku. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* (2018), 27 (3), 387–398. **НМБД Scopus.** Автором запропоновано підхід щодо оцінки витрат на внесення змін в проєкт.
4. Trach R., Polonski M., Hrytsiuk P. Modelling of Efficiency Evaluation of Traditional Project Delivery Methods and Integrated Project Delivery (IPD), *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 471, 112043, 2019. **НМБД Scopus & Web of Science.** Автором запропоновано методика модельної оцінки ефекту від запровадження методу IPD в будівництві.
5. Trach R., Lendo-Siwicka M., Pawluk K., Bilous N. Assessment the effect of the integration realisation in construction projects. *Technical Journal*.13(3), 2019, 254–259. **НМБД Web of Science.** Автором розроблено модель оцінки синергетичного ефекту.
6. Lendo-Siwicka M., Pawluk K., Trach R. Bill of quantities and quantity survey of construction works of renovated buildings – case study, *Open Engineering*, 9(1), 2019, 350–358. **НМБД Scopus & Web of Science.** Автором запропоновано класифікацію причин переробок в будівництві.
7. Trach R., Pawluk K., Lendo-Siwicka M. Causes of rework in construction projects in Ukraine, *Archives of Civil Engineering*, 2019, Vol. LXV (3), 61–74. **НМБД Scopus & Web of Science.** Автором розроблена методика модельної оцінки витрат на внесення змін в будівельний проєкт.
8. Trach R., Pawluk K., Lendo-Siwicka M. The assessment of the effect of BIM and IPD on construction projects in Ukraine. *International Journal of Construction Management*, 2020, 1–8. **НМБД Scopus & Web of Science.** Автором розроблено модель, яка дозволяє здійснювати оцінку ефекту від спільного запровадження

*інформаційного моделювання в будівництві й інтегрованої реалізації будівельного проєкту та здійснено її практичну перевірку.*

9. Trach R., Bushuyev S. Analysis communication network of construction project participants. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences* (2020), 29 (3), 388–396. **НМБД Scopus**. *Автором розроблено модель, яка дозволяє проводити дослідження комунікаційної мережі учасників проєкту.*
10. Trach R., Lendo-Siwicka M., Pawluk K., Polonski M. Analyze of direct rework costs in Ukrainian construction. *Archives of Civil Engineering*. 2021, Vol. LXVII (2), 397–411. **НМБД Scopus & Web of Science**. *Автором проведена оцінки витрат на внесення змін в будівельний проєкт.*
11. Trach R., Polonski M., Hrytsiuk P. Decision making in choosing a network organizational structure in integrated construction projects. *Archives of Civil Engineering*. 2021, Vol. LXVII (2), 195–208. **НМБД Scopus & Web of Science**. *Автором розроблено модель вибору оптимальної мережевої організаційної структури.*
12. Trach, R., Lendo-Siwicka, M. Centrality of a Communication Network of Construction Project Participants and Implications for Improved Project Communication. *Civil Engineering and Environmental Systems*. 2021. 38(2):145–160. **НМБД Scopus & Web of Science**. *Автором розроблено модель оцінки та оптимізації комунікаційної мережі учасників проєкту.*
13. Trach, R.; Trach, Y.; Lendo-Siwicka, M. Using ANN to Predict the Impact of Communication Factors on the Rework Cost in Construction Projects. *Energies*. 2021, 14, 4376. **НМБД Scopus & Web of Science**. *Автором розроблено модель штучної нейронної мережі.*

#### **Статті у національних наукових фахових виданнях:**

14. Трач Р. В. Трансформація методико-аналітичних засад та прикладного інструментарію розробки та вибору адаптогенних стратегій будівельного підприємства. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин* : зб. наук. праць. К. : КНУБА, 2015. Вип. 33. Ч. 2. С. 100–116.
15. Трач Р. В. Врахування сучасних концепцій мотивації при формуванні сучасної системи індикаторів стану економічної рівноваги будівельного підприємства. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин* : зб. наук. праць. К. : КНУБА, 2015. Вип. 34. Ч. 2. С. 115–124.
16. Трач Р. В. Формування стратегічного розвитку будівельного підприємства у взаємодії інноваційного потенціалу та ресурсної бази. *Вісник НУВГП. Сер. Економічні науки*. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 2(74). С. 222–229.
17. Трач Р. В. Ресурсна стратегія підприємства: становлення, сучасний стан, перспективи розвитку. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. Економічні науки*. 2016. Вип. 21. Ч. 2. С. 117–120.
18. Трач Р. В. Аналіз світового досвіду запровадження інформаційного моделювання в будівництві. *Сталий розвиток економіки* : Міжнародний науково-виробничий журнал. 2017. Вип. 1(34). С. 54–59.



19. Трач Р. В. Інформаційне моделювання у будівництві (ВІМ): сутність, етапи становлення та перспективи розвитку. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 16. С. 490–495.
20. Трач Р. В. Застосування інформаційного моделювання (ВІМ) як фактор підвищення конкурентоспроможності будівельного підприємства. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. 2017. Вип. 1(54). Т. 22. С. 93–97.
21. Трач Р. В. Управління інформацією під час інтегрованої реалізації інвестиційно-будівельних проєктів. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер. Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2017. Вип. 12. Ч. 2. С. 130–133.
22. Трач Р. В. Сучасний стан розвитку стратегічного управління будівельним підприємством. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 17. С. 457–461.
23. Трач Р. В. Інформаційне моделювання, як один з ключових факторів інноваційного розвитку будівельного підприємства. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер. Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2017. Вип. 13. С. 129–132.
24. Трач Р. В. Методологічні аспекти формування і розвитку структурного управління діяльністю будівельних підприємств. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. 2017. Вип. 6 (59). Т. 22. С. 120–123.
25. 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 : зб. наук. праць*. 2017. Вип. 31. С. 173–178. *Автором запропоновано модель спільного використання інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельних проєктів*.
26. Трач Р. В. Вдосконалення технологічного контенту та адміністративного формату інвестування комплексних будівельних програм. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин : зб. наук. праць*. К. : КНУБА, 2017. Вип. 35. С. 160–176.
27. Марчук Т. С., Трач Р. В., Ручинська Ю. М. Термінологічні та практичні підходи до визначення імперативів бюджетування інвестиційно-будівельного проєкту. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 32. С. 130–138. *Автором досліджено теоретичні імперативи бюджетування будівельних проєктів*.
28. Трач Р. В. Вибір оптимальної організаційної структури підприємств під час реалізації інвестиційного проєкту в будівництві. *Вісник НУВГП. Економічні науки*. 2017. Вип. 3(79). С. 106–116.
29. Трач Р. В. Методи оцінки ефекту від впровадження інформаційного моделювання (ВІМ) в будівництві. *Вісник НУВГП. Економічні науки*. 2017. Вип. 4(80). С. 23–31.
30. Трач Р. В. Дослідження сучасних методів реалізації будівельних проєктів. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2017. Вип. 4(80). С. 159–167.

31. Трач Р. В. Переваги застосування концепції інформаційного моделювання в будівництві. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. 2018. № 36. С. 288–294.
32. Трач Р. В. Застосування концепцій інтегрованої реалізації проєкту та інформаційного моделювання в публічних замовленнях. *Сталий розвиток економіки* : Міжнародний науково-виробничий журнал. 2018. Вип. 3(40). С. 147–153.
33. Трач Р. В. Трансакційні витрати при реалізації проєкту в будівництві. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2018. Вип. 6 (17). С. 376–379.
34. Трач Р. В. Причини виникнення переробок під час реалізації проєкту в будівництві. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Сер. Технічні науки*. 2018. Том 29 (68). № 6. С. 208–211.
35. Трач Р. В. Дослідження сучасних методів реалізації будівельних проєктів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2018. № 9. С. 149–158.
36. Трач Р. В. Застосування концепції аналізу мереж при реалізації будівельних проєктів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2018. № 10. С. 169–177.
37. Трач Р. В. Витрати на переробку при реалізації будівельного проєкту. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2018. Вип. 1(81). С. 105–114.
38. Трач Р. В. Сучасні концепції управління проєктом у будівництві. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2018. Вип. 2(82). С. 232–239.
39. Трач Р. В. Застосування методів оптимізації для вирішення завдань проєктного управління. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(85). С. 178–188.
40. Трач Р. В. Моделювання організаційної структури проєкту. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(86). С. 213–224.
41. Трач Р. В. Методи дослідження мережі зв'язків при реалізації проєкту. *Управління розвитком складних систем* : зб. наук. праць. 2019. Вип. 39. С. 32–38.
42. Трач Р. В. Якимчук А. Ю. Інформаційне забезпечення інтеграції знань при реалізації проєкту в будівництві. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2020. Вип. 1(89). С. 129–141. *Автором запропоновано модель інтеграції знань проєкту.*
43. Бушуєв С. Д., Трач Р. В. Методи кластеризації мережі учасників реалізації проєкту. *Управління розвитком складних систем* : зб. наук. праць. 2020. Вип. 43. С. 19–25. *Автором проведено аналіз алгоритмів кластеризації мережі проєкту.*

***Матеріали міжнародних конференцій, де здійснено апробацію роботи:***

44. Трач Р. В. Концептуальні підходи до поняття еко-інновацій. Міжнародна науково-практична конференція «Менеджмент, аудит та фінанси: стан, проблеми та науково-економічний розвиток» : тези доповідей. Дніпро, 2016. С. 86–88.
45. Трач Р. В. Роль ресурсів у процесі формування стратегії підприємства. IV Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку національної економіки» : тези доповідей. Запоріжжя, 2016. С. 141–144.
46. Трач Р. В. Перспективи розвитку ресурсної стратегії управління будівельним

- підприємством. Міжнародна науково-практична конференція «Економічна система в умовах інтеграційних процесів: стан та перспективи» : тези доповідей. Київ, 2017. С. 87–91.
47. Трач Р. В. Сучасні тенденції інноваційного розвитку будівельних підприємств. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні шляхи стабілізації фінансово-економічного стану країни» : тези доповідей. Львів, 2017. С. 13–16.
  48. Трач Р. В. Напрямки інноваційного розвитку підприємств інвестиційно-будівельного комплексу. Третя Всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційний розвиток підприємств у процесі формування економіки інтелектуального капіталу» : тези доповідей. Київ, 2017. С. 69–72.
  49. Трач Р. В. Методологічний комплекс щодо формування та впровадження економіко-управлінських та адміністративних інновацій на підприємствах будівельного кластеру. Третя міжнародна науково-практична конференція «Перезавантаження будівництва: економіка, організація, менеджмент» : тези доповідей. Київ, 2017. С. 162–163.
  50. Trach R. V. Adaptation of analytical tools to content of economic diagnostics of construction investment project. *International scientific – practical conference of young scientists «Build-master-class-2017»*. Kyiv National University of Construction and Architecture, 2017. P. 323–324.
  51. Трач Р. В. Застосування концепції інформаційного моделювання при реалізації будівельних проєктів. Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні теоретичні та практичні аспекти антикризового регулювання економіки країни» : тези доповідей. Одеса, 2018. С.168–170.
  52. Trach R., Polonski M., Hrytsiuk P. Modelling of Efficiency Evaluation of Traditional Project Delivery Methods and Integrated Project Delivery (IPD). *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium*, Prague, Czech Republic, 2018. P. 923. *Автором запропоновано методика модельної оцінки ефекту від запровадження методу IPD в будівництві.*
  53. Трач Р. В. Перспективи застосування концепції інформаційного моделювання в публічних закупівлях. Міжнародна науково-практична конференція «Реалізація концепції сталого розвитку: взаємодія держави та бізнесу» : тези доповідей. Дніпро, 2018. С. 124–126.
  54. Lendo-Siwicka M., Pawluk K., P. Żerek, Trach R. Rozliczenia wprowadzonych zmian na kontrakcie inwestycji infrastrukturalnych według warunków kontraktowych FIDIC – studium przypadku. *Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna «Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych»*, Zeszyt streszczeń, Olsztyn, Poland, 2018. P. 41. *Автором запропоновано підхід щодо оцінки витрат на внесення змін в проєкт.*
  55. Трач Р. В. Переваги застосування концепції інформаційного моделювання в будівництві. Дев'ята міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» : тези доповідей. Рівне, 2018.
  56. Trach R., Pawluk K., Lendo-Siwicka M. Causes of rework in construction projects in Ukraine, 50. *Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna «Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych»*, Zeszyt streszczeń, Warszawa, Poland, 2019. P. 29.

*Автором розроблена методика модельної оцінки витрат на внесення змін в будівельний проєкт.*

57. Trach R., Polonski M., Hrytsiuk P. Wybór sieciowej struktury organizacyjnej w zintegrowanym zarządzaniu przedsięwzięciami budowlanymi, 66. *Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Zeszyt streszczeń*, Krynica, Poland, 2020. P. 83. *Автором розроблено модель вибору оптимальної мережевої організаційної структури.*
58. Trach R., Pawluk K., Lendo-Siwicka M., Polonski M. Analiza kosztów bezpośrednich robót naprawczych w projektach budowlanych na Ukrainie, 51. *Ogólnopolska konferencja naukowa «Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych»*, Zeszyt streszczeń, Poznań, Poland, 2020. P. 29. *Автором проведена оцінка витрат на внесення змін в будівельний проєкт.*

### Анотація

*Трач Р. В.* Когнітивні механізми управління будівельними проєктами на основі BIM технологій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.22 – Управління проєктами та програмами. – Київський національний університет будівництва і архітектури. Міністерства освіти і науки України. Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми розробки теоретичних основ методології, що дозволяють здійснювати покроковий аналіз, вибір, оптимізацію та оцінку ефективності запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

Метою дослідження є розробка теоретичних основ методології, яка містить когнітивні механізми, моделі, методи, що дозволяють аналізувати, вибирати, оптимізувати та оцінювати ефективність від запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

Розглянуто теоретичні особливості категорії «знання» у будівництві, сучасні концепції, які чинять вплив на управління знаннями в проєктах, іноземний досвід запровадження інформаційного моделювання. Проаналізовано методи оцінки ефекту від впровадження інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації проєкту в будівництві; актуальні методи та інструменти аналізу мережевих організаційних структур і якості комунікаційних зв'язків між учасниками реалізації проєкту. Досліджено переваги, які отримують ключові учасники реалізації будівельного проєкту від застосування інформаційного моделювання та методу інтегрованої реалізації, а також основні чинники, що мають вплив на синергетичний ефект реалізації будівельного проєкту.

Основний науковий результат полягає в створенні теоретичних основ методології, яка включає: модель вибору оптимальної мережевої організаційної структури за критерієм максимальної ефективності використання інформаційних зв'язків між учасниками проєкту для обміну інформацією та знаннями; модель, яка дозволяє здійснення оцінки ефекту від спільного запровадження інформаційного моделювання в будівництві й інтегрованої реалізації будівельного проєкту;

імітаційну модель, яка дозволяє проводити комплексне дослідження й оптимізацію комунікаційної мережі та інформаційних зв'язків учасників реалізації будівельного проєкту; запропоновано поетапний графік запровадження інформаційного моделювання в публічних замовленнях в Україні.

Висновки та пропозиції виконаної дисертаційної роботи мають характер теоретико-методологічних напрацювань і практичних рекомендацій, які можуть бути використані при аналізі, виборі, оптимізації та оцінці ефективності від спільного запровадження сучасних концепцій інформаційного моделювання та інтегрованої реалізації будівельного проєкту.

Розроблені методи та моделі дозволяють: вирішувати завдання вибору оптимальної мережевої організаційної структури за критерієм максимальної ефективності використання інформаційних зв'язків між учасниками проєкту; здійснювати оцінку ефекту від спільного запровадження інформаційного моделювання в будівництві й інтегрованої реалізації будівельного проєкту; проводити комплексне дослідження та оптимізацію інформаційної та комунікаційної мережі учасників реалізації будівельного проєкту. Отримані результати можуть бути використані науковими установами, закладами освіти, ключовими учасниками реалізації будівельних проєктів, органами влади різних рівнів, а також становлять підґрунтя для подальших теоретичних, методологічних і прикладних досліджень.

*Ключові слова:* когнітивні механізми, інформаційне моделювання, інтегрована реалізація проєкту, будівельний проєкт, мережева структура, синергія.

## Abstract

*Trach R. V.* Cognitive mechanisms for managing construction projects based on BIM technologies. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in speciality 05.13.22 – Project and Program Management. – Kiev National University of Construction and Architecture. Ministry of Education and Science of Ukraine. Kiev, 2021.

The dissertation is devoted to solving the scientific and applied problem of developing theoretical foundations and methodology that allow for step-by-step analysis, selection, optimization and assessment of the effectiveness of the implementation of modern concepts of information modelling and the integrated project delivery in construction.

The aim of the study is to develop a methodology that contains cognitive mechanisms, models, methods that allows to analyse, select, optimize and evaluate the effectiveness of the implementation of modern concepts of information modelling and the integrated project delivery in construction.

The theoretical characteristics of the category «knowledge» in construction, modern concepts that influence knowledge management in projects, foreign experience in the implementation of information modelling are considered. Methods for assessing the effect of the implementation of information modelling and integrated project delivery in construction are analysed; current methods and tools for analysing network organizational structures and the quality of communication relationships between project participants.

The advantages that key participants in the implementation of a construction project receive from the use of information modelling and the method of integrated implementation, as well as the main factors influencing the synergistic effect of the implementation of a construction project, have been investigated.

The main scientific result is the creation of a methodology that includes: a model for choosing the optimal network organizational structure according to the criterion of maximum efficiency of using information links between project participants for the exchange of information and knowledge; a model for assessing the effect of the joint introduction of information modelling in construction and the integrated project delivery in construction project; a simulation model that allows for a comprehensive study and optimization of the communication network and information links between the participants of a construction project; proposed a phased schedule for the introduction of information modelling in public orders in Ukraine.

The developed methods and models allow: to solve the problem of choosing the optimal network organizational structure according to the criterion of maximum efficiency of using information links between project participants; assess the effect of the joint implementation of information modeling in construction and the integrated project delivery; conduct a comprehensive study and optimization of the communication network of construction project participants. The results obtained can be used by scientific institutions, educational institutions, construction projects participants, authorities at various levels, and also form the basis for further theoretical, methodological and applied research.

*Keywords:* cognitive mechanisms, information modelling, integrated project delivery, construction project, network structure, synergy.