

DOI: 10.32347/2076-815x.2025.88.303-327

УДК 69.003.2:658.5

к.т.н., доцент **Малихін М.О.**,

malykhin.mo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9721-2733,

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ «ЦИФРОВА ІНТЕГРОВАНА ПІДГОТОВКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА»

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі цифровізація процесів організації будівництва стає критично важливим фактором підвищення ефективності управління проектами. Одним із перспективних напрямів впровадження цифрових технологій є застосування комплексу прикладних програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва». Цей комплекс надає можливість комплексної автоматизації підготовчих і виконавчих етапів, забезпечуючи інтеграцію даних, моделювання процесів і оптимізацію рішень у сфері управління будівництвом.

Практичне впровадження комплексу програм дозволяє забезпечити багаторівневий підхід до організації будівельних процесів, що включає розробку цифрових моделей об'єктів, аналіз технологічних і логістичних схем, а також прогнозування витрат і ресурсного забезпечення. У поєднанні з сучасними методами управління проектами, такими як BIM-технології, штучний інтелект і великі дані, цифрові рішення сприяють зменшенню ризиків, покращенню контролю за виконанням робіт і підвищенню загальної продуктивності галузі. Особливістю запропонованого підходу є впровадження системи інтегрованого управління інформаційними потоками, що дозволяє ефективно координувати дії всіх учасників будівельного процесу. Це включає розробку єдиної цифрової платформи для взаємодії між проектувальниками, підрядниками, замовниками та контролюючими органами. Завдяки впровадженню таких рішень можна значно зменшити вплив людського фактора, скоротити терміни реалізації проектів та оптимізувати використання матеріальних і фінансових ресурсів.

Комплекс програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва» також передбачає можливість автоматизованого аналізу альтернативних сценаріїв виконання будівельних робіт. Це дає змогу обирати найефективніші варіанти організації процесів, що відповідають техніко-економічним критеріям. Крім того, впровадження таких технологій створює передумови для переходу до стратегії адаптивного

управління будівництвом, що дозволяє оперативно реагувати на зміну умов проектної та виробничої діяльності. У межах цифрової інтеграції особливу увагу приділено питанням забезпечення надійності даних та їхньої захищеності від несанкціонованого доступу. Використання блокчейн-технологій і розподілених реєстрів сприяє підвищенню рівня прозорості та довіри між учасниками проектів, а також запобігає можливим корупційним ризикам. Додатково цифрові інструменти дозволяють автоматизувати процеси моніторингу якості виконання робіт, що забезпечує відповідність проектної документації та фактичних результатів будівництва. Практичне впровадження комплексу прикладних програм у сфері будівництва є важливим кроком до підвищення конкурентоспроможності галузі на національному та міжнародному рівнях. Використання цифрових технологій дозволяє забезпечити гнучкість та адаптивність будівельних організацій, підвищити рівень управління ресурсами та мінімізувати втрати, пов'язані з неефективною організацією робіт. Разом із цим, цифрові методи управління сприяють розвитку інноваційних моделей співпраці, що базуються на принципах відкритості, інтеграції та обміну даними.

Ключові слова: Цифрова інтеграція; моделювання; проектування; BIM (Building Information Modeling); CAD (Computer-Aided Design); автоматизація; управління проектами; будівельні процеси.

Постановка проблеми. Незважаючи на значні досягнення у сфері цифрових технологій, процес їх впровадження у будівельну галузь залишається нерівномірним і пов'язаним із рядом викликів. Однією з ключових проблем є недостатня інтеграція цифрових рішень на всіх етапах життєвого циклу будівельних проектів. Багато компаній продовжують використовувати застарілі методи управління, що призводить до втрат ресурсів, низької ефективності координації між учасниками проекту та збільшення строків реалізації будівництва.

Ще однією серйозною проблемою є відсутність єдиного стандарту цифрового обміну даними між різними платформами та програмними комплексами. Через це ускладнюється процес інтеграції інформаційних систем та виникають труднощі у взаємодії між замовниками, підрядниками, проектувальниками та контролюючими органами. Крім того, низький рівень цифрової грамотності персоналу будівельних компаній ускладнює впровадження нових технологій та гальмує процеси автоматизації. Фінансові бар'єри також є значною перешкодою для широкомасштабного використання цифрових рішень у будівництві. Впровадження сучасних програмних комплексів вимагає значних інвестицій у технічну інфраструктуру, навчання

персоналу та адаптацію процесів управління. Багато компаній, особливо малого та середнього бізнесу, не мають достатніх фінансових ресурсів для реалізації таких ініціатив, що призводить до нерівномірного розвитку цифрової трансформації у галузі.

Проблемою залишається і забезпечення кібербезпеки цифрових платформ, що використовуються у будівництві. Великий обсяг конфіденційної інформації, що циркулює у цифрових системах, вимагає надійного захисту від кіберзагроз та несанкціонованого доступу. Відсутність належних механізмів захисту може призвести до втрати даних, фінансових збитків та порушення роботи будівельних процесів. Отже, ефективне впровадження комплексу прикладних програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва» вимагає подолання низки проблем, пов'язаних із інтеграцією цифрових рішень, стандартизацією процесів, підвищенням цифрової грамотності персоналу, фінансуванням інноваційних проектів та забезпеченням належного рівня кібербезпеки. Вирішення цих викликів сприятиме підвищенню ефективності будівельної галузі, оптимізації процесів управління та забезпеченню сталого розвитку цифрових технологій у будівництві.

Мета статті. Обґрунтування та аналіз практичного впровадження комплексу прикладних програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва». Дослідження спрямоване на оцінку ефективності цифрових технологій для підвищення точності планування, оптимізації ресурсів і автоматизації управління будівельними процесами. Особливий акцент зроблено на визначенні впливу цифрових інструментів на скорочення часу реалізації будівельних проектів, підвищення рівня контролю за якістю виконання робіт та вдосконалення механізмів взаємодії між усіма учасниками процесу.

Крім того, стаття спрямована на виявлення ключових факторів успішного впровадження цифрових технологій у будівельну сферу, аналіз можливих бар'єрів та шляхів їх подолання. Значна увага приділяється оцінці економічної ефективності застосування сучасних програмних комплексів, а також дослідженню можливостей адаптації цифрових рішень під специфічні умови будівельних підприємств. Запропоновані методологічні підходи та практичні рекомендації сприятимуть вдосконаленню цифрової трансформації у будівництві та забезпеченню високої конкурентоспроможності галузі у сучасних умовах ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження на тему "Практичне впровадження комплексу прикладних програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва»"

зосереджуються на використанні цифрових технологій для оптимізації управління будівельними процесами. Основна увага приділяється розробці інтегрованих цифрових платформ, які поєднують різні інструменти для моделювання та автоматизації проектних рішень, що дозволяє значно підвищити ефективність планування ресурсів, прогнозування ризиків та контролю за виконанням робіт.

Аналіз останніх публікацій показує, що застосування методів інформаційного моделювання (BIM) в будівництві стало важливим кроком до створення єдиної цифрової моделі будівельного процесу, що дозволяє враховувати всі етапи реалізації проекту. Зокрема, такі платформи дозволяють проводити детальний аналіз взаємозв'язків між етапами, оцінювати можливі ризики та розробляти альтернативні стратегії управління.

Дослідження також підкреслюють важливість автоматизації процесів управління та координації між учасниками проекту. Впровадження комплексів програм для моделювання будівельних процесів допомагає знижувати витрати та час на реалізацію проекту, підвищуючи продуктивність і точність розрахунків.

Крім того, експерти відзначають значення таких комплексів для розвитку аналітичних можливостей у будівництві, що сприяє покращенню фінансової стабільності проектів і зменшенню невизначеності, що виникає при плануванні та виконанні робіт.

Виклад основного матеріалу. У наш час цифрові технології стають прстійною складовою частиною різних галузей, і будівництво не є винятком. Практичне впровадження комплексу прикладних програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва» дозволяє значно покращити управління проектами, підвищити їх ефективність і знизити витрати. Цей комплекс передбачає інтеграцію різних цифрових інструментів для автоматизації підготовчих, проектних і виконавчих етапів будівництва, а також забезпечення моніторингу та контролю за виконанням робіт.

Цифрова інтеграція передбачає об'єднання різних цифрових технологій, таких як BIM, CAD та інші програмні рішення, для створення єдиного інформаційного простору. Це дозволяє всім учасникам проекту отримувати доступ до актуальної інформації, що значно спрощує процеси проектування та управління. Впровадження таких технологій дозволяє зменшити ймовірність помилок, які часто виникають при використанні традиційних методів.

Моделювання є одним із ключових аспектів цифрової інтеграції. Завдяки застосуванню 3D-моделей будівель можна детально планувати та прогнозувати хід виконання робіт. Моделювання дозволяє візуалізувати проект на різних

етапах, що дає змогу вчасно виявляти та усувати недоліки. У випадку виявлення проблеми на етапі моделювання, витрати на її усунення будуть значно меншими, ніж у разі, якщо проблема виникне вже під час виконання будівельних робіт.

ВІМ технологія є важливим інструментом для моделювання. Вона дозволяє створювати детальні цифрові моделі будівель, які містять всю необхідну інформацію про конструктивні елементи, матеріали, системи інженерії та інші важливі аспекти проекту. Використання ВІМ технології сприяє покращенню співпраці між архітекторами, інженерами та підрядниками, оскільки всі учасники проекту працюють з однією моделлю, що постійно оновлюється [1].

Автоматизація управлінських процесів є ще одним важливим елементом практичного впровадження цифрових технологій. Використання програмного забезпечення для управління проектами дозволяє автоматизувати рутинні операції, такі як планування ресурсів, контроль термінів, моніторинг виконання робіт і управління фінансами. Це дає змогу керівникам проектів зосередитися на стратегічному управлінні, а не витрачати час на виконання рутинних завдань.

Програмне забезпечення, яке включає модулі для планування, контролю і моніторингу, дозволяє не лише забезпечити точність виконання проекту, але й оперативно реагувати на зміни, що можуть виникнути в процесі реалізації. Наприклад, якщо постачання матеріалів затримується, керівник проекту може швидко перепланувати роботи, щоб уникнути затримок у графіку.

Практичне впровадження комплексу прикладних програм має ряд значних переваг. По-перше, це підвищення ефективності проектів. Завдяки цифровій інтеграції, всі етапи будівництва стають більш контрольованими та прогнозованими, що сприяє зменшенню ризиків. По-друге, це економія часу та коштів. Зменшення кількості помилок, що виникають на етапі проектування, призводить до зменшення витрат на виправлення недоліків під час виконання робіт. По-третє, підвищується якість будівництва, оскільки всі етапи виконуються з урахуванням найкращих практик та технологій [2].

Окрім того, цифрова інтеграція сприяє покращенню взаємодії між всіма учасниками проекту. Системи управління проектами забезпечують єдиний інформаційний простір, у якому кожен учасник має доступ до актуальної інформації. Це підвищує прозорість процесів і зменшує ймовірність конфліктів.

Незважаючи на численні переваги, впровадження цифрових технологій у будівництво не обходиться без викликів. Першим з них є необхідність навчання персоналу. Для ефективного використання нових технологій працівники повинні мати достатній рівень підготовки. Це вимагає інвестицій у навчання та

підвищення кваліфікації співробітників. Другим викликом є інтеграція нових систем з уже існуючими. Часто компанії мають усталені процеси і системи, які важко адаптувати до нових технологій. Це може вимагати значних зусиль та ресурсів для налаштування систем.

Теорія та практика організаційної підготовки будівельних ділянок і територій для забудови була предметом дослідження багатьох авторів, що свідчить про значущість цієї теми в галузі будівництва. Суть комплексної забудови, структура проектної документації для забудови мікрорайонів, а також підготовка територіальних кластерів дозволяють узагальнити принципи комплексної забудови ділянок, які є основою для ефективного розвитку населених пунктів.

Перший принцип передбачає, що житлові, культурно-побутові та комунальні об'єкти, які входять до складу територіального кластера, повинні відповідати потребам населення згідно з містобудівними нормами. Важливо, щоб такі об'єкти зводилися разом з необхідними інженерними мережами та комунікаціями. Цей принцип забезпечує автономність житлового кластера, що дозволяє йому функціонувати незалежно одразу після завершення забудови території. Це, в свою чергу, сприяє покращенню якості життя мешканців та забезпечує зручний доступ до всіх необхідних послуг.

Другий принцип полягає в компактному розташуванні об'єктів житлового фонду, що формує архітектурно-будівельний ансамбль. Такий підхід забезпечує раціональне використання території, а також дає можливість послідовно освоювати забудову з урахуванням технологічних обмежень. Компактність забудови сприяє створенню більш комфортного середовища для мешканців, що включає в себе можливість взаємодії між сусідами та розвиток соціальної інфраструктури.

Третій принцип вимагає, щоб об'єкти промислового комплексу вводилися в експлуатацію з мінімальними перервами, що виникають унаслідок організації та технології будівельного виробництва, а також з урахуванням термінів введення житлових об'єктів. Це дозволяє мешканцям нових житлових комплексів не лише займатися власним побутом, але й активно користуватися виробничими потужностями, які вже функціонують на території. Таким чином, інженерні мережі, а також підприємства комунально-культурного та побутового призначення можуть працювати на проектну потужність з моменту введення в експлуатацію [3].

Перший принцип комплексності підкреслює необхідність присутності в житловому кластері не лише житлових будинків, але й усіх об'єктів культурно-побутового та комунального призначення у ході розроблення та будування. Важливим аспектом організаційної підготовки є створення інженерних мереж

та комунікацій, що забезпечують функціонування території. Своєчасне виконання робіт з інженерного обладнання території, яка належить до даного житлового кластера, гарантує його відносну автономність і сприяє забезпеченню всіх необхідних умов для комфортного життя мешканців.

В цілому, комплексна забудова територій та підготовка будівельних майданчиків є ключовими елементами для створення ефективної, функціональної та зручної інфраструктури. Реалізація вищезгаданих принципів сприяє покращенню життєвого середовища, підвищенню якості послуг, що надаються населенню, та забезпеченню сталого розвитку міських територій. Таким чином, забезпечення якісної організаційної підготовки та комплексного підходу до забудови є необхідною умовою для створення комфортного і функціонального середовища для життя та роботи населення.

Інший вид комплексності забудови кластерних утворень може бути визначений як цілісне освоєння територій під забудову. У процесі забудови не повинно виникати ситуацій, коли ділянка, призначена для будівництва, оточена невідомими мережами та комунікаціями. Перед початком будівництва територія повинна бути ретельно досліджена. Ці дослідження можуть включати геодезичні, геологічні та екологічні оцінки, що дозволяють виявити потенційні ризики та підготуватися до них. Після завершення забудови ділянки житлового кластера будівельники не повинні повертатися для повторних робіт, що забезпечує безперервність і ефективність процесу. Це особливо важливо для оптимізації витрат та часу, оскільки повторні візити на об'єкт можуть призвести до додаткових фінансових витрат і затримок у реалізації проекту.

Третій принцип комплексності акцентує увагу на вимозі максимальної одночасності введення в експлуатацію всіх об'єктів комплексу. Дотримання цього принципу дозволяє перейти до планування та звітності в житлово-цивільному будівництві не лише по окремих об'єктах, але й по комплексах – житловим кластерам. Це забезпечує системний підхід до управління проектами, що дозволяє зменшити ймовірність виникнення затримок у реалізації та підвищити якість виконання робіт. Однак абсолютна одночасність введення в експлуатацію обмежена практичними умовами організації та технології будівництва. Наприклад, здачі будівель в експлуатацію передуватиме введення інженерних мереж, а благоустрій території може бути завершений лише після виконання основних будівельних робіт [4].

Цей принцип має значне економічне значення, адже до моменту введення в експлуатацію перших житлових будинків інженерні мережі повинні бути повністю підведені. Експлуатація цих мереж на повну потужність стане можливою тільки після завершення всіх будівельних робіт. У зв'язку з цим, враховуючи вагомі витрати на інженерне обладнання території, облаштування

доріг і транспортної інфраструктури, нові житлові кластери повинні освоюватися в максимально короткі терміни. Це може бути досягнуто за рахунок раціонального планування та використання сучасних технологій, таких як BIM (Building Information Modeling), які дозволяють створити детальну візуалізацію проекту і оптимізувати всі етапи будівництва.

Впровадження принципів комплексної забудови також має значний вплив на соціальний аспект життя в нових житлових комплексах. Забезпечення доступу до соціальної інфраструктури, такої як школи, дитячі садки, медичні заклади та зони відпочинку, є важливим для створення комфортного середовища для мешканців. Залучення громадськості на етапах проектування та реалізації може допомогти у визначенні потреб населення і забезпеченні належної якості життя.

Таким чином, ефективне впровадження цих принципів сприяє не лише раціональному використанню ресурсів, але й покращенню якості життя мешканців. Забезпечення комплексного підходу до забудови територій дозволяє створювати комфортні умови для життя, роботи та відпочинку, а також підвищує загальну ефективність будівельного процесу. Це дозволяє досягати стійкого розвитку міст, що є особливо важливим у контексті швидких змін в урбанізації та зростання населення. Зрештою, створення сучасних, функціональних і гармонійних житлових кластерів має велике значення для соціальної стабільності та розвитку суспільства в цілому [5].

Основні параметри, що визначають комплексну забудову, є неоднорідними і охоплюють різні етапи проектування та будівництва, а також масштаб житлової забудови. У цьому контексті існує два можливі підходи до визначення поняття комплексності: перший — відповідно до розміру житлового кластеру, а другий — відповідно до стадії будівництва. Міське планування, яке забезпечує комплексну забудову, формує набір елементів, що складають житловий комплекс в межах міста, в житлових районах і субрегіонах. Тому в процесі організаційно-технічного супроводу будівництва особливо важливим є забезпечення комплексної забудови на рівні житлового району. Це гарантує, що всі елементи інфраструктури, такі як дороги, зелені зони, соціальні об'єкти та інженерні мережі, інтегруються в єдину систему, яка відповідає потребам населення.

У подальшому розглядаються питання, пов'язані з комплексною підготовкою мікрорайонів, які безпосередньо вирішуються на етапі організаційно-технічного супроводу. Складність підготовки забудови мікрорайону в контексті організації будівництва визначається впливом двох основних факторів [6]:

1. Одночасним введенням в експлуатацію будівельних об'єктів, що дозволяє швидше задовольнити потреби мешканців у житлі та соціальних послугах.

2. Повнотою та послідовністю забудови мікрорайону, що забезпечує злагоджене функціонування усіх елементів інфраструктури та надає можливість реалізації проекту в оптимальні терміни.

Крім того, для успішної реалізації комплексної забудови важливо враховувати потреби місцевих мешканців та проводити регулярні консультації з ними. Це дозволяє адаптувати проектні рішення до конкретних умов, зокрема до соціальних, економічних і екологічних аспектів

Параметри, що стосуються першого принципу комплексності, в основному фокусуються на проблемі забезпечення комплексності на стадіях планування та проектування. Ці просторово-часові параметри — S та T — відображаються у формулі і прямо зв'язані із компанією будівельного виробництва. У зв'язку з цим доцільно розділити оцінку комплексності за формулою на кілька складових, кожна з яких характеризує певний аспект забезпечення комплексної забудови. Оцінка комплексності може бути представлена у формі:

$$K = f(N, C, T, S) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де: N — кількість об'єктів житлового кластеру,
 C — капітальні витрати на будівництво об'єктів,
 T — загальний час на будівництво об'єктів,
 S — якість інженерних мереж і комунікацій.

Додатково, важливими складовими можуть бути параметри просторової організації, які можна представити через складнішу формулу, що враховує взаємозв'язок між різними елементами забудови:

$$S = \frac{L \times W \times H}{V_i} \times \frac{P_{serv}}{D_{net}}, \quad (2)$$

де: L — довжина забудови,
 W — ширина забудови,
 H — висота забудови,
 V_i — обсяг інфраструктурних об'єктів,
 P_{serv} — кількість послуг, що надаються у територіальному кластері,
 D_{net} — середня відстань до основних комунікацій.

Ця формула дозволяє оцінити просторовий обсяг житлового кластеру з урахуванням інфраструктурних компонентів та їх взаємодії, що в свою чергу

допомагає у визначенні впливу на навколишнє середовище та забезпечення ефективності використання території.

Таким чином, дані параметри дозволяють більш детально оцінити й оптимізувати процеси, що відбуваються на етапах планування та проектування, забезпечуючи комплексний підхід до забудови територій.

Для оцінки складності організаційної підготовки до введення в експлуатацію об'єктів мікрорайону було висунуто два основні припущення. По-перше, критерієм складності будівництва мікрорайону, враховуючи фактор одночасності введення об'єктів в експлуатацію, виступає загальний час очікування між введенням в експлуатацію окремих об'єктів і повним завершенням будівництва мікрорайону. Це означає, що значний період очікування між етапами завершення різних об'єктів може суттєво вплинути на загальну ефективність проекту [7].

По-друге, передбачається, що об'єкти мікрорайону є еквівалентними один одному за часовими параметрами, що означає, що їх введення в експлуатацію відбувається за однаковим принципом. Це свідчить про те, що навіть завершений об'єкт на території мікрорайону не може бути повністю введений в експлуатацію та відповідати своїм функціональним вимогам, поки не буде завершено будівництво всього мікрорайону. Завершеність визначається сумою часу очікування, необхідного для повного заповнення мікрорайону всіма промисловими, житловими та культурними об'єктами, згідно з проектом, а також часом підготовки будівельного майданчика для цих цілей. Чим коротшим буде загальний час очікування, тим більш комплексно розвиненим виявиться мікрорайон.

Для кількісної оцінки загального часу очікування введення в експлуатацію об'єктів можна скористатися наступною формулою:

$$T_t = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (3)$$

Де: T_t — загальний час очікування,

T_i — час очікування для i -об'єкта,

n — число об'єктів у мікрорайоні.

Наприклад, загальна очікувана вартість мікрорайону може бути визначена як сума відхилень між термінами, запланованими відповідно до державних будівельних норм (ДБН), та оптимізованим графіком виконання робіт:

$$C_{exp} = \sum_{j=1}^m (DDBN_j - D_j), \quad (4)$$

де C_{exp} — загальна очікувана вартість,
 $DDBN_j$ — терміни, заплановані за ДБН для j -го об'єкта,
 D_j — терміни за оптимізованим графіком для i ,
 m — сума об'єктів, що підлягають оцінці.

Таке обґрунтування складності організаційної підготовки до введення об'єктів в експлуатацію є важливим аспектом для створення комфортного і функціонального середовища в нових мікрорайонах. Залежно від скорочення загального часу очікування, можна більш точно оцінити ефективність реалізації проекту і забезпечити зручність проживання для мешканців, що, у свою чергу, сприяє розвитку соціальної інфраструктури та поліпшенню якості життя в регіоні [8].

Принципи інтегрованого розвитку забудови є важливими елементами сучасного містобудування, що дозволяють забезпечити комплексний підхід до проектування та реалізації будівельних проектів. Інтегрований розвиток спрямований на врахування різних аспектів забудови, включаючи соціальні, економічні, екологічні та культурні фактори, що сприяє створенню комфортного та функціонального середовища для мешканців.

Перший принцип інтегрованого розвитку полягає у необхідності створення зручних умов для життя. Це передбачає не лише будівництво житлових об'єктів, а й забезпечення доступу до соціальної інфраструктури, такої як школи, дитячі садки, медичні заклади та зони відпочинку. Другий принцип акцентує увагу на раціональному використанні території, що включає оптимальне планування простору, збереження природних ресурсів і екологічних систем.

Третій принцип передбачає впровадження нових технологій, зокрема, використання сучасних методів проектування, таких як BIM (Building Information Modeling) [9]. Ці технології дозволяють забезпечити високий рівень координації між усіма учасниками процесу, що веде до зменшення витрат і строків виконання робіт. Четвертий принцип стосується гнучкості проектних рішень, які повинні мати можливість адаптуватися до змінюваних умов і потреб громади. Ці принципи забезпечують цілісний підхід до забудови, що враховує не лише інтереси забудовників, а й потреби мешканців. Зображення на 1 рисунку "Принципи інтегрованого розвитку забудови" ілюструє ці аспекти, підкреслюючи важливість комплексного планування та управління забудовою для досягнення сталого розвитку міст.

Запропоновано вимірювати складність введення в експлуатацію об'єктів кластеру на основі формули коефіцієнтів складності, отриманих на основі моделі зведеного календарного планування інституційної готовності. Ця

формула дозволяє враховувати різні фактори, що впливають на процес введення в експлуатацію, зокрема час, ресурси та стадії виконання робіт [10].

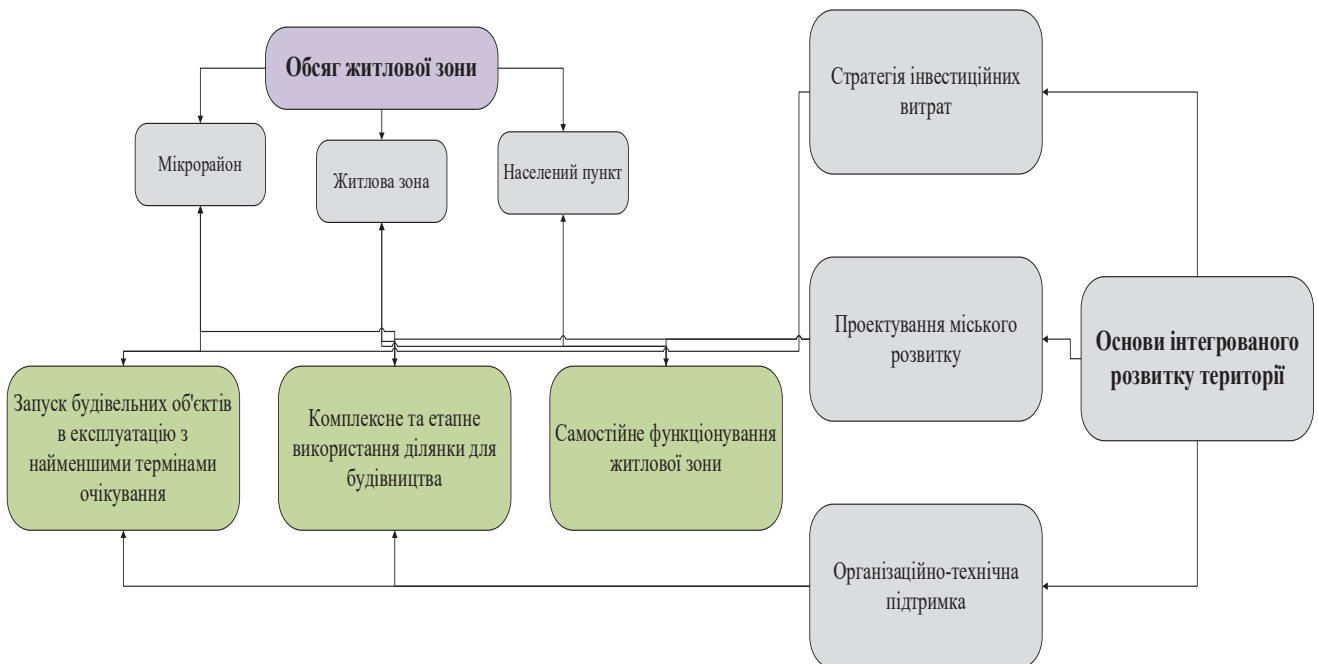


Рис. 1. Принципи інтегрованого розвитку споруд та забудов (розроблено на основі [10])

Складніша формула для оцінки коефіцієнта складності введення в експлуатацію може бути представлена у вигляді:

$$C = \left(\frac{Tt}{R \times S} \right) \times \left(\frac{Pc}{Fd} \right) \times \left(1 + \frac{Er}{100} \right), \quad (5)$$

де: C — коефіцієнт складності введення в експлуатацію,

Tt — загальний час, необхідний для введення всіх об'єктів в експлуатацію,

R — кількість ресурсів, залучених до процесу (наприклад, трудозатрати, матеріали),

S — ступінь готовності інфраструктури, що забезпечує функціонування об'єктів,

Pc — коефіцієнт координації між учасниками проекту (показник від нульового до одиниці, де 1 означає ідеальну координацію),

Fd — фактор затримок у процесі введення в експлуатацію (значення більше 1, що враховує потенційні затримки),

Er — оцінка ризиків, пов'язаних із проектом, у відсотках.

Ця формула дозволяє детально оцінити складність введення в експлуатацію, враховуючи не лише базові параметри, але й аспекти координації, затримок та ризиків. Високий коефіцієнт складності вказує на те,

що процес потребує значних зусиль і ресурсів, що може вплинути на ефективність завершення проекту [11].

Взаємозв'язок тривалості підготовки ділянок для об'єктів мікрорайону з моментом введення в експлуатацію заключного об'єкта націлений на зменшення відставання у введенні будь-якого об'єкта в заданому проекті. Відповідно до обраної бази для відліку (завершення робіт у кластері), для принаймні одного об'єкта в кластері (мікрорайоні) виконується умова $\Delta T_i = 0$.

Формула була перевірена для оцінки комплексності будівництва мікрорайонів (містобудівних комплексів), усі об'єкти яких зводяться, без урахування резервних ділянок. Підготовка майданчиків для будівництва об'єктів на резервних територіях може тривати кілька років, і ці ділянки не включаються в проекти організації будівництва. Це обставина може бути виражена у вигляді наступного обмеження:

$$l_i = T_i + \alpha, \quad (6)$$

де l_i — тривалість підготовки ділянки i -го об'єкта мікрорайону;

α — параметр, що характеризує тривалість резервування;

за експертними даними α коливається в межах від 5 до 10. З прийнятих визначень і позначень отримуємо таке співвідношення:

$$R = \sum_{i=1}^n l_i, \quad (7)$$

Розглянемо, як змінюється показник комплексності ККК в залежності від відношення загальної тривалості зведення об'єктів кластера до загальної величини розкиду. Нехай

$$K = L + R, \quad (8)$$

де R — деяке позитивне число. Тоді маємо:

$$K_1 > K_2, \quad (9)$$

Доведення: Розглянемо зміни показника комплексності K залежно від змін у відношенні загальної тривалості зведення об'єктів кластера до загальної величини розкиду. Позначимо $L = \frac{K}{A}$, де A — показник очікування.

Зворотну величину $u = 1/A$ назовемо показником розкиду, який може бути інтерпретований як відношення двох середніх арифметичних величин:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n \pi_i}{n}, \quad (10)$$

Таким чином, ці формули допомагають більш точно оцінити складність введення в експлуатацію об'єктів мікрорайону, а також зрозуміти вплив різних факторів на цей процес.

Графік, що ілюструє залежність між показниками K , L та u , представлений на рис. 2, демонструє, як коефіцієнт складності асимптотично наближається до 1 на верхньому графіку, і до 0 на нижньому. Водночас обсяг умовно постійної інформації, пов'язаної з підготовкою ділянок під будівництво, наведений на рис. 3, відображає ключові аспекти підготовчих робіт [12].

Коефіцієнт складності забудови кластеру або субрегіону варіюється в рівнях від нульового до одного і визначається за допомогою ймовірнісної комбінації двох основних показників. Перший показник відображає ефективність виконання складних організаційно-технічних заходів у нормативно встановлені терміни підготовки об'єктів. Другий показник враховує ймовірність одночасного початку підготовчих робіт на декількох об'єктах одночасно, що дозволяє оптимізувати процес будівництва та скоротити загальні строки реалізації проекту.

Процедура визначення коефіцієнта складності забудови відповідно представлена на рис. 2, де показано декілька типових сценаріїв. Наприклад, житлова забудова мікрорайону, що складається з семи об'єктів, має мінімальну загальну тривалість будівництва, яка відповідає найбільш тривалому періоду зведення одного з об'єктів (в даному прикладі — другого).

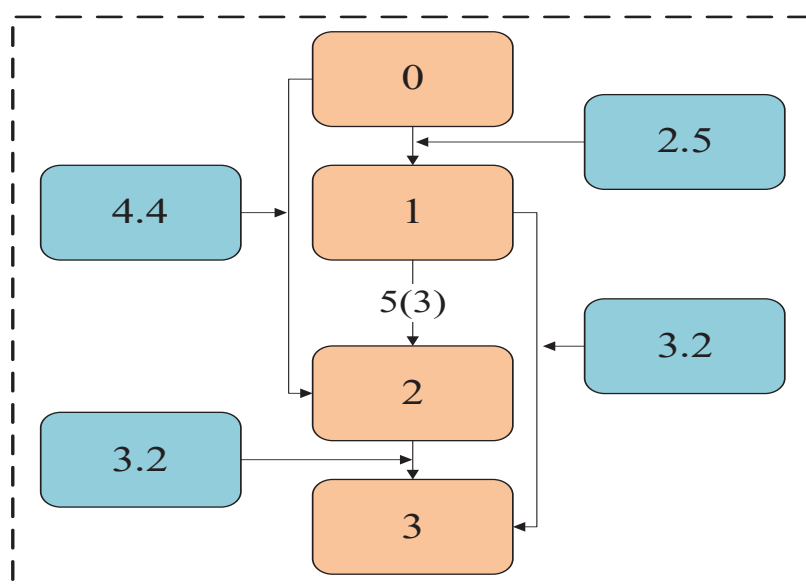


Рис. 2. Діаграми взаємозв'язку коефіцієнта складності з параметрами очікуваної величини та варіації (розроблено на основі [12])

Проте навіть при збереженні загальної тривалості будівництва мікрорайону, можна істотно підвищити коефіцієнт складності забудови — з 0,64 до 1 — за рахунок поєднання або часткового суміщення термінів будівництва окремих об'єктів. Ця оптимізація дозволяє не лише скоротити строки реалізації всього проекту, але й ефективніше використовувати ресурси, що позитивно впливає на загальну економічну та технічну ефективність забудови. У такій схемі організації будівництва зростає продуктивність праці, зменшується простоювання техніки, і поліпшуються логістичні процеси [13].

Таблиця 1 містить п'ять стандартних варіантів тривалості періоду, відведеного для складання узагальненого календарного плану організаційної підготовки будівництва станції, а також офіційно встановлені законодавством строки введення об'єкта в експлуатацію, за якими відбувається порівняння будівельних об'єктів. У представлених варіантах враховано ключові етапи підготовки, такі як узгодження технічної документації, отримання необхідних дозволів, забезпечення матеріально-технічної бази, а також завершення всіх юридичних та адміністративних процедур до моменту запуску об'єкта.

Таблиця 1.

Порівняльний аналіз будівельних об'єктів за критеріями часу, ресурсів та рентабельності (розроблено на основі [13])

Параметри	A	B	C	D
1	2	3	4	5
Площа житлового об'єкта (м²)	10,000	7,500	12,000	9,000
Мінімальна дата початку будівництва	01.06.2024	15.07.2024	01.08.2024	01.09.2024
Кінцева дата завершення будівництва	01.06.2025	15.06.2025	01.07.2025	15.07.2025
Максимальна тривалість будівництва (дні)	365	335	340	320
Виконавець робіт	ТОВ «БудПроект»	ТОВ «БудСервіс»	ТОВ «СтройІнвест»	ТОВ «ПроБуд»
Опція відстрочки робіт (так/ні)	Ні	Так	Ні	Так
Етап робіт для початку	Робота №2	Робота №1	Робота №3	Робота №2
Час виконання робіт (дні)	180	150	200	170
Кількість задіяних працівників	50	40	60	45
Загальна вартість виконання робіт (грн)	1,200,000	950,000	1,400,000	1,100,000
Відсоток рентабельності	15%	10%	20%	12%

1	2	3	4	5
Початок періоду неможливості виконання робіт	01.12.2024	01.11.2024	15.11.2024	01.12.2024
Кінець періоду неможливості виконання робіт	01.03.2025	01.02.2025	01.03.2025	15.02.2025
Постачальник обладнання	ТОВ «ТехМаш»	ПП «БудТехніка»	ТОВ «МехБуд»	ПП «ТехноМаш»
Потужність орендованих механізмів (кВт)	500	450	600	400
Потужність власного обладнання (кВт)	400	350	500	300
Аналіз часових витрат	Середня	Висока	Висока	Середня
Показники рентабельності	Висока	Середня	Висока	Середня

Аналіз базових співвідношень календарного плану демонструє, що коефіцієнт складності планування будівництва дорівнює 1 у разі дотримання певних умов, що визначають одночасність або розподіленість робіт. Розглянемо детальніше кожен із п'яти варіантів, які ілюструють ці співвідношення:

– Варіант 1: Коефіцієнт складності дорівнює 1, коли всі об'єкти мікрорайону вводяться в експлуатацію одночасно. Цей варіант представляє ідеальний сценарій, де організація будівництва досягає максимальної ефективності завдяки синхронізації всіх процесів. Всі ресурси використовуються максимально оптимально, а завершення робіт за всіма об'єктами відбувається в один і той самий час, що дозволяє забезпечити мінімізацію витрат та уникнути простоїв. Одночасне завершення будівництва також полегшує організацію процесу підготовки до експлуатації та дозволяє розпочати функціонування всіх об'єктів без додаткових затримок [14].

– Варіант 2: У цьому варіанті коефіцієнт складності не залежить від календарної дати початку та закінчення забудови всього мікрорайону. Коефіцієнт приймає мінімальне значення за умови нерівномірного початку будівництва різних об'єктів. Проте, якщо всі об'єкти починають будівництво одночасно, коефіцієнт досягає максимального значення. Така ситуація виникає в разі, коли будівництво різних об'єктів не координується між собою за строками, що може призвести до неефективного використання ресурсів. Цей варіант менш ефективний порівняно з першим, але все ще має потенціал до оптимізації за рахунок паралельної роботи над об'єктами.

– Варіант 3 та варіант 4: У цих варіантах коефіцієнт складності не залежить від того, який об'єкт розпочав будівництво пізніше або раніше, а також не змінюється залежно від функціонального призначення об'єкта. Це означає, що незалежно від специфіки будівництва кожного об'єкта, загальний процес організації залишається незмінним, і ресурсна ефективність розподіляється рівномірно. Наприклад, в одному з варіантів може бути передбачено поступове введення в експлуатацію об'єктів з різним функціональним призначенням (житлові будинки, адміністративні споруди тощо), що дозволяє збалансувати навантаження на ресурси й забезпечити своєчасне завершення кожного етапу робіт.

– Варіант 5: Коефіцієнт складності зменшується зі збільшенням різниці у часі між введенням в експлуатацію сусідніх об'єктів та введенням в експлуатацію останнього об'єкта. Іншими словами, якщо один об'єкт вводиться в експлуатацію значно пізніше за інші, це негативно впливає на загальну організацію будівництва, оскільки може виникнути необхідність в повторному залученні ресурсів або переналаштуванні роботи команд, що призводить до додаткових витрат. Крім того, такі затримки можуть спричинити невдоволення серед замовників, підрядників і навіть кінцевих користувачів об'єктів, що може вплинути на загальний успіх проєкту.

Аналіз варіантів організації будівництва показує, що найефективніший варіант – це варіант, у якому всі об'єкти вводяться в експлуатацію одночасно (варіант 1). Така організація дозволяє мінімізувати витрати, уникнути простоїв і забезпечити максимально ефективне використання ресурсів. Одночасне завершення всіх об'єктів забезпечує синхронізацію процесів підготовки та введення в експлуатацію, що є вигідним для всіх учасників будівельного процесу [15].

У варіантах 3 і 4 видно, що організація будівництва може бути ефективною незалежно від черговості початку будівництва об'єктів або їх функціонального призначення. Це дає змогу адаптувати планування до потреб конкретного проєкту, забезпечуючи рівномірне розподілення ресурсів та ефективне використання робочої сили. Варіант 5 вказує на те, що різниця в термінах введення об'єктів в експлуатацію може негативно впливати на загальну організацію робіт, і тому її варто мінімізувати задля досягнення оптимальних результатів. Загалом, складність організаційної підготовки відіграє важливу роль у плануванні будівельних проєктів. Вибір найбільш вигідного варіанту підготовчих заходів залежить від особливостей проєкту, доступних ресурсів та вимог замовників. Оптимізація будівництва та введення в експлуатацію об'єктів може бути досягнута за допомогою точного

планування, врахування всіх можливих варіантів розвитку подій та застосування науково обґрунтованих методів управління проектами.

Новітня стратегія містобудівного планування, що стосується розвитку кластерів у житлових районах, передбачає перехід від традиційної квартальної забудови до більш широкої районної забудови. Житловий кластер розглядається як специфічний вид кластеру, спрямований на забезпечення зайнятості власників індустріального житла. У процесі впровадження кластерного розвитку на початкових етапах організаційної підготовки регіону важливо, щоб регіональні органи влади враховували вартісну оцінку загального обсягу ресурсів, які необхідно інвестувати, в тому числі вартість ділянки, що підлягає інтенсивній забудові, як один із показників готовності. Існує можливість збільшення початкових витрат на централізоване будівництво, що може зробити його більш привабливим для потенційних інвесторів. Це ставить певні виклики перед комбінованими організаційними навчальними центрами [16].

Злиття означає перетворення моделі в таку, що має меншу кількість змінних або обмежень. Отримана об'єднана модель надає наближене описання досліджуваного об'єкта або процесу в порівнянні з початковою моделлю. Методи агрегування природно інтегруються в ієрархічну організаційну структуру систем управління проектами. Дійсно, на верхньому рівні проектні менеджери всього проекту, а на нижчих рівнях — менеджери підпроектів приймають рішення, спираючись на уніфіковані описи. На рис. 3 представлено чотири набори операцій методу уніфікації для отримання уніфікованої моделі.

На сьогоднішній день земельні ділянки без інженерних комунікацій в економ-сегменті займають менше 15% ринку, але їх вартість є майже вдвічі нижчою. Підключення інженерних комунікацій значно подовжує терміни реалізації проекту, принаймні на два роки. Це включає один рік на отримання технічних умов, півроку на розробку проекту і ще мінімум півроку на виконання самих робіт — і все це за найсприятливіших умов. Крім того, витрати на будівництво при цьому зростають щонайменше вдвічі. Як правило, забудовники не отримують суттєвої вигоди від встановлення інженерних систем.

Проект зазвичай розглядається як сукупність завдань, що складаються з серії операцій. Операція визначається як процес, який вимагає часу та ресурсів [19]. Щоб формально визначити операцію, потрібно вказати обсяг W і залежність швидкості (інтенсивності) виконання операції від кількості ресурсів, які беруть участь у її виконанні. Цю функцію можна описати наступною формулою:

$$v = \phi u(t), \quad (3)$$

де $u(t)$ – вихідний вектор операції в момент часу t .

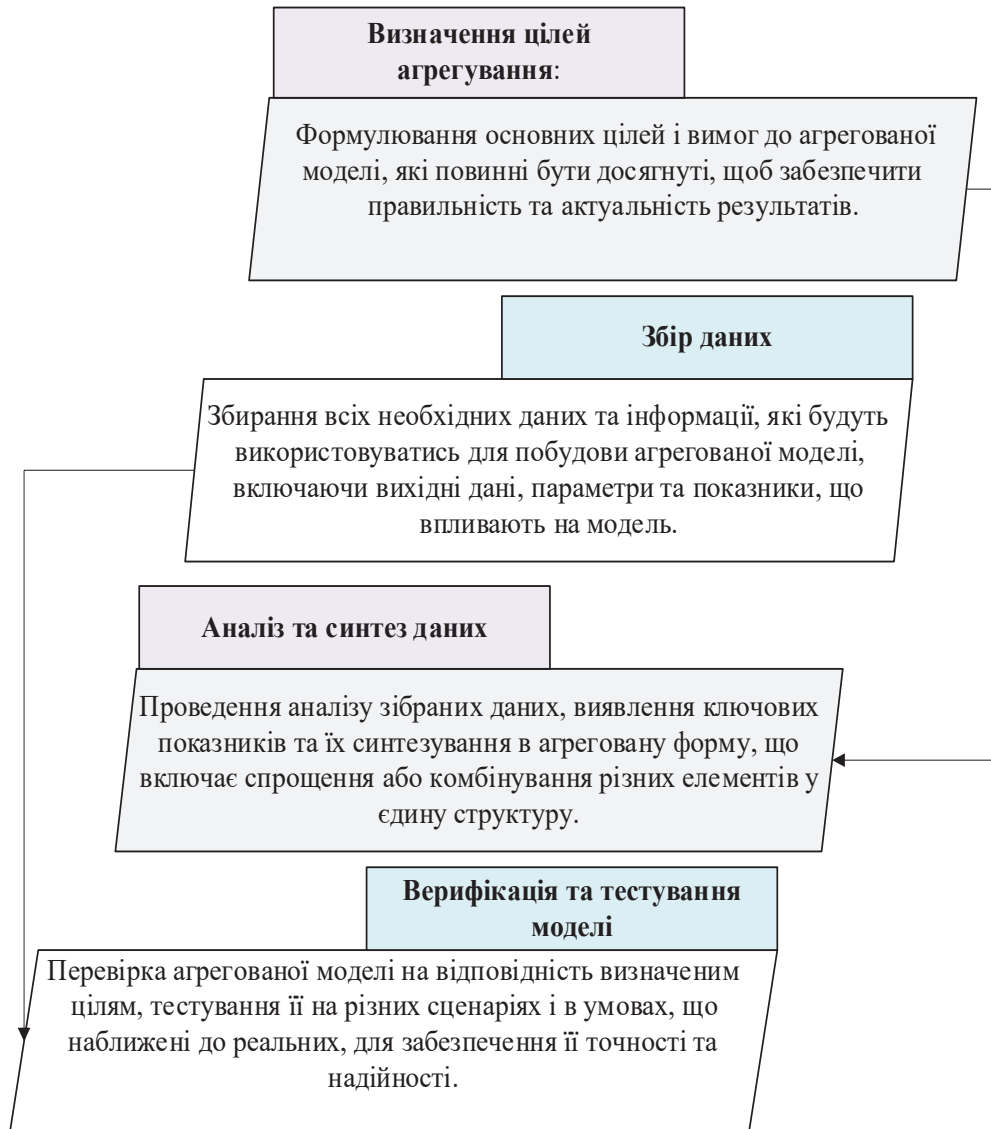


Рис. 3. Послідовність операцій методу агрегування для отримання агрегованих моделей (розроблено на основі [16])

У сучасному світі, де інформаційні технології стали невід'ємною частиною бізнесу, державного управління та особистого життя, питання кібербезпеки та автентифікації даних набуває особливого значення. Надійна ідентифікація користувачів та захист інформації є ключовими аспектами безпечного цифрового середовища. У цьому контексті електронний підпис відіграє критичну роль, адже він не лише спрощує документообіг, а й гарантує достовірність та цілісність переданої інформації. Саме тому цифрових технологій важливість електронного підпису, зокрема комплексного

електронного підпису (КЕП), важко переоцінити. КЕП забезпечує юридичну силу електронних документів, що робить їх рівнозначними паперовим носіям. Проте для успішного впровадження КЕП необхідно провести ретельну організаційну підготовку, яка включає аналіз вимог, розробку необхідних процедур та навчання персоналу [17].

На рис. 4 зображено ключові етапи та елементи, які є невід'ємною частиною процесу формування КЕП. Графік ілюструє різноманітні інформатори, що використовуються на етапах підготовки, такі як інформаційні системи, нормативні документи, технічні засоби та юридичні ресурси. Ці інформатори не лише спрощують процес створення КЕП, але й забезпечують дотримання всіх необхідних норм і стандартів.

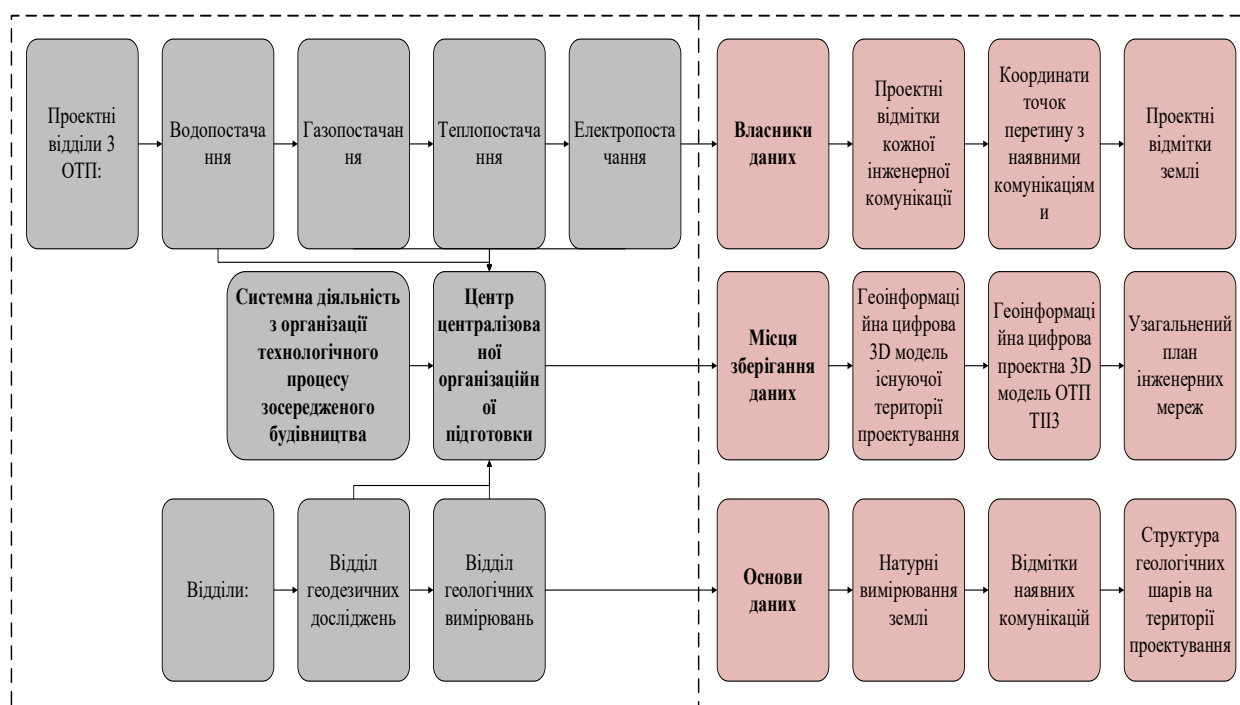


Рис. 4. Інформатори для створення КЕП та організаційна підготовка
(розроблено на основі [18])

Таким чином, детальний аналіз представлених етапів та інформаторів дозволить зрозуміти важливість організаційної підготовки в контексті впровадження КЕП. Розглянемо рисунок більш детально.

Висновки. Практичне впровадження комплексу прикладних програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва» є важливим кроком до оптимізації управління будівельними проектами та підвищення їх ефективності. У умовах швидкого розвитку технологій та зростаючих вимог до якості і швидкості будівництва, використання цифрових рішень стає необхідним для забезпечення конкурентоспроможності у будівельній галузі.

Однією з ключових переваг впровадження цифрових технологій є можливість інтеграції різних етапів підготовки і виконання будівельних робіт. Системи цифрової інтеграції дозволяють здійснювати планування, управління ресурсами, моніторинг виконання робіт і оцінку ризиків в одному інформаційному просторі. Це забезпечує прозорість процесів, зменшує ймовірність помилок та затримок, а також дозволяє швидше реагувати на зміни, що виникають під час реалізації проекту.

Використання методів моделювання, таких як BIM (Building Information Modeling), дозволяє створювати точні 3D-моделі будівель, що сприяє кращому розумінню проектних рішень і полегшує взаємодію між усіма учасниками будівельного процесу. Завдяки візуалізації проекту на ранніх етапах, можна виявити потенційні проблеми і вирішити їх до початку фізичного будівництва, що значно знижує ризики та витрати. Цифрова інтеграція також надає можливість для більш ефективного управління даними. Усі зміни, які вносяться в проект, автоматично відображаються у відповідних документах, що сприяє точності та актуальності інформації. Це є важливим фактором для забезпечення контролю за якістю виконання робіт, адже своєчасне виявлення та усунення недоліків запобігає збільшенню витрат та затримок у графіку.

Однак впровадження цифрових технологій вимагає від організацій значних зусиль, у тому числі навчання персоналу. Працівники повинні володіти новими навичками та знаннями для ефективного використання цифрових інструментів. Тому важливо інвестувати в навчання та розвиток кадрів, щоб забезпечити успішне впровадження цих технологій. Серед інших важливих аспектів є також необхідність адаптації законодавства та нормативних актів до нових технологій. Для повноцінного функціонування цифрових систем повинні бути створені правові основи, які регулюватимуть їх використання та забезпечуватимуть захист даних. Враховуючи всі переваги та виклики, які супроводжують впровадження комплексу прикладних програм «Цифрова інтегрована підготовка та моделювання процесів організації будівництва», можна зробити висновок, що їх використання має значний потенціал для трансформації будівельної галузі. Цифрові технології можуть не лише підвищити ефективність управління проектами, але й забезпечити високий рівень якості та швидкості будівництва.

Отже, для досягнення успішних результатів у впровадженні цих програм необхідно забезпечити комплексний підхід, що включає технічні, організаційні та правові аспекти. Це дозволить максимально реалізувати потенціал цифрових технологій у будівництві, створити сприятливе середовище для інвестицій та сприяти сталому розвитку міст і регіонів. Таким чином, майбутнє будівельної

галузі тісно пов'язане з впровадженням цифрових технологій, які відкривають нові горизонти для інновацій та розвитку.

Література

1. А.С. Бакунович, І.В. Гавриленко. Цифровізація будівництва: нові технології та інструменти // Будівництво та архітектура. – 2021. – № 1(15). – С. 12–25.
2. Н.В. Гладун, І.Ю. Руденко. Електронні платформи для управління будівельними проектами // Сучасні проблеми науки та освіти. – 2021. – № 10. – С. 34–40.
3. Р.О. Іванов, О.В. Пилипенко. Моделювання та оптимізація будівельних процесів з використанням інформаційних технологій // Проблеми та перспективи розвитку науки і освіти. – 2021. – № 2(12). – С. 56–62.
4. А.В. Костенко. Системи автоматизації в будівництві: сучасний стан та перспективи // Будівельна інженерія. – 2020. – № 3(36). – С. 14–20.
5. Н.П. Костюченко. Актуальні питання цифровізації в будівництві // Технології і проекти в будівництві. – 2021. – № 1(27). – С. 25–31.
6. Ю.В. Коваленко. Інтегровані інформаційні системи в управлінні будівництвом // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2020. – № 1273. – С. 132–138.
7. В.А. Кушнір. Цифрова інтеграція в управлінні будівництвом // Технічний вісник. – 2020. – № 1(1). – С. 23–30.
8. І.С. Лаврик, М.В. Шевченко. Сучасні методи моделювання в будівництві // Науковий вісник будівництва. – 2019. – № 2(33). – С. 45–52.
9. С.В. Мельник. Цифрові технології в управлінні проектами: міжнародний досвід // Вісник Національної академії державного управління. – 2022. – № 6(45). – С. 78–85.
10. Т.М. Олійник. Інтеграція цифрових технологій у процеси будівництва // Актуальні проблеми економіки. – 2020. – № 5(235). – С. 65–72.
11. С.Г. Петров. Інформаційне моделювання будівельних процесів: теорія та практика // Наука і техніка в будівництві. – 2022. – № 5(41). – С. 89–97.
12. К.П. Рибалка. Сучасні інформаційні технології в управлінні будівельними проектами // Наукові записки. – 2021. – № 5(30). – С. 112–119.
13. О.М. Сидоренко. Цифрова трансформація в будівельній галузі: проблеми та перспективи // Економіка та управління інвестиціями. – 2021. – № 2. – С. 44–50.
14. М.І. Смирнов. Інновації в будівельній галузі: досвід та перспективи // Будівельні технології. – 2022. – № 4(19). – С. 90–95.
15. О.В. Ткаченко. Використання BIM-технологій в організації будівництва // Будівельні матеріали, конструкції та технології. – 2020. – № 4(20). – С. 57–63.
16. О.В. Яковенко. Використання програмного забезпечення для управління будівельними проектами // Науковий журнал "Системи управління". – 2021. – № 3(28). – С. 46–53.
17. О.А. Зінченко. Моделювання будівельних процесів: методи та засоби // Технічний прогрес в Україні. – 2020. – № 2(25). – С. 39–45.
18. Ю.А. Чуприна. Побудова концепції інтеграції підприємств стейкхолдерів до складу будівельного кластеру // Формування ринкових відносин в Україні. – 2019. – № 1(212).
19. Yu.A. Chupryna. Methodological regulation and analytical and informational support of process-oriented management in the modern construction development system / G.S. Petrenko, I.M. Hrynenko, M.Yu. Nikolina, V.O. Pokolenko // Managing the Development of Complex Systems. – 2022. – No. 48. – pp. 175–187. (The collection is included in the scientometric databases: Ulrichsweb (USA), BASE (Germany), Index Copernicus (Poland)).

PhD, Associate Professor **Mykhailo Malykhin**,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE COMPLEX OF APPLICATION SOFTWARE "DIGITAL INTEGRATED PREPARATION AND MODELING OF CONSTRUCTION ORGANIZATION PROCESSES"

In the current conditions of the construction industry development, the digitalization of construction organization processes is becoming a critically important factor in increasing the efficiency of project management. One of the promising areas of implementation of digital technologies is the use of a set of application programs "Digital Integrated Preparation and Modeling of Construction Organization Processes". This complex provides the opportunity for comprehensive automation of preparatory and execution stages, ensuring data integration, process modeling and optimization of solutions in the field of construction management.

The practical implementation of the set of programs allows for a multi-level approach to the organization of construction processes, which includes the development of digital models of objects, analysis of technological and logistical schemes, as well as forecasting costs and resource provision. In combination with modern project management methods, such as BIM technologies, artificial intelligence and big data, digital solutions contribute to reducing risks, improving control over the performance of work and increasing the overall productivity of the industry. A feature of the proposed approach is the implementation of a system of integrated information flow management, which allows for effective coordination of the actions of all participants in the construction process. This includes the development of a single digital platform for interaction between designers, contractors, customers and regulatory authorities. Thanks to the implementation of such solutions, it is possible to significantly reduce the impact of the human factor, shorten project implementation times and optimize the use of material and financial resources.

The Digital Integrated Preparation and Modeling of Construction Organization Processes program package also provides for the possibility of automated analysis of alternative scenarios for the execution of construction work. This makes it possible to choose the most effective options for organizing processes that meet technical and economic criteria. In addition, the implementation of such technologies creates the prerequisites for the transition to an adaptive construction management strategy, which allows for a prompt response to changing conditions of design and production activities. Within the framework of digital integration, special attention is paid to ensuring data reliability and its protection from unauthorized access. The use of

blockchain technologies and distributed registries helps to increase the level of transparency and trust between project participants, and also prevents possible corruption risks. Additionally, digital tools allow to automate the processes of monitoring the quality of work, which ensures the compliance of design documentation and actual construction results. The practical implementation of a set of application programs in the construction sector is an important step towards increasing the competitiveness of the industry at the national and international levels. The use of digital technologies allows to ensure the flexibility and adaptability of construction organizations, to increase the level of resource management and to minimize losses associated with inefficient work organization. At the same time, digital management methods contribute to the development of innovative models of cooperation based on the principles of openness, integration and data exchange.

Keywords: Digital integration; modeling; design; BIM (Building Information Modeling); CAD (Computer-Aided Design); automation; project management; construction processes.

REFERENCES

1. A.S. Bakunovych, I.V. Gavrylenko. Digitalization of construction: new technologies and tools // Construction and architecture. – 2021. – No. 1(15). – P. 12–25. {in Ukrainian}
2. N.V. Gladun, I.Yu. Rudenko. Electronic platforms for managing construction projects // Modern problems of science and education. – 2021. – No. 10. – P. 34–40. {in Ukrainian}
3. R.O. Ivanov, O.V. Pylypenko. Modeling and optimization of construction processes using information technologies // Problems and prospects of science and education development. – 2021. – No. 2(12). – P. 56–62. {in Ukrainian}
4. A.V. Kostenko. Automation systems in construction: current state and prospects // Construction engineering. – 2020. – No. 3(36). – P. 14–20. {in Ukrainian}
5. N.P. Kostyuchenko. Current issues of digitalization in construction // Technologies and projects in construction. – 2021. – No. 1(27). – P. 25–31. {in Ukrainian}
6. Yu. V. Kovalenko. Integrated information systems in construction management // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". – 2020. – No. 1273. – P. 132–138. {in Ukrainian}
7. V.A. Kushnir. Digital integration in construction management // Technical Bulletin. – 2020. – No. 1(1). – P. 23–30. {in Ukrainian}
8. I.S. Lavryk, M.V. Shevchenko. Modern modeling methods in construction // Scientific Bulletin of Construction. – 2019. – No. 2(33). – P. 45–52. {in Ukrainian}

9. S.V. Melnyk. Digital technologies in project management: international experience // Bulletin of the National Academy of Public Administration. – 2022. – No. 6(45). – P. 78–85. {in Ukrainian}
10. T.M. Oliynyk. Integration of digital technologies into construction processes // Current problems of economy. – 2020. – No. 5(235). – P. 65–72. {in Ukrainian}
11. S.G. Petrov. Information modeling of construction processes: theory and practice // Science and technology in construction. – 2022. – No. 5(41). – P. 89–97. {in Ukrainian}
12. K.P. Rybalka. Modern information technologies in construction project management // Scientific notes. – 2021. – No. 5(30). – P. 112–119. {in Ukrainian}
13. O.M. Sydorenko. Digital transformation in the construction industry: problems and prospects // Economics and investment management. – 2021. – No. 2. – P. 44–50. {in Ukrainian}
14. M.I. Smirnov. Innovations in the construction industry: experience and prospects // Construction technologies. – 2022. – No. 4(19). – P. 90–95. {in Ukrainian}
15. O.V. Tkachenko. The use of BIM technologies in the organization of construction // Construction materials, structures and technologies. – 2020. – No. 4(20). – P. 57–63. {in Ukrainian}
16. O.V. Yakovenko. The use of software for managing construction projects // Scientific journal "Management Systems". – 2021. – No. 3(28). – P. 46–53. {in Ukrainian}
17. O.A. Zinchenko. Modeling of construction processes: methods and tools // Technical progress in Ukraine. – 2020. – No. 2(25). – P. 39–45. {in Ukrainian}
18. Yu.A. Chupryna. Building a concept of integration of stakeholder enterprises into the construction cluster // Formation of market relations in Ukraine. – 2019. – No. 1(212). {in English}
19. Yu.A. Chupryna. Methodological regulation and analytical and informational support of process-oriented management in the modern construction development system / G.S. Petrenko, I.M. Hrynenko, M.Yu. Nikolina, V.O. Pokolenko // Managing the Development of Complex Systems. – 2022. – No. 48. – pp. 175–187. (The collection is included in the scientometric databases: Ulrichsweb (USA), BASE (Germany), Index Copernicus (Poland)). {in English}