

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.14.377-391

УДК 69.001.5:004.94:005.8

професор **Малихіна О.М.**,
malykhina.om@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3683-570X,
Микитченко Б.М.,
bmikitchenko@gmail.com, ORCID: 0009-0002-5186-6210,
Мовчан М.М.,
mihailmovchan@gmail.com, ORCID: 0009-0000-1631-4440,
Кривущенко С.Ф.,
serg80386@gmail.com, ORCID: 0009-0006-2435-2678,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІНЖЕНЕРНА ПІДГОТОВКА БУДІВНИЦТВА ЯК СКЛАДОВА ІНФРАСТРУКТУРНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТУ: ЗМІСТ, СТРУКТУРА, РОЛЬ У ПРОЦЕСІ ЗВЕДЕННЯ

Інженерна підготовка будівництва відіграє ключову роль у забезпеченні цілісної реалізації інфраструктурних проєктів, зокрема в умовах стрімкого розвитку містобудування, складності інженерних систем і зростаючих вимог до якості, безпеки й ефективності будівельних процесів. На сучасному етапі розвитку будівельної галузі інженерна підготовка набуває нового значення як передумова синхронізованого функціонування усіх ланок проєктної, матеріально-технічної та організаційно-виробничої структури. У роботі здійснено спробу систематизувати поняття інженерної підготовки, розкрити її внутрішню структуру, етапи реалізації, а також охарактеризувати її місце в загальному циклі зведення об'єктів.

Розглянуто структурно-функціональні компоненти інженерної підготовки: геодезичне та геологічне забезпечення, проєктна адаптація до інженерно-технічних умов, організаційне планування, енергетична логістика, водовідведення, підготовка під'їзних шляхів, а також підключення до зовнішніх комунікацій. Особливу увагу приділено моделі інтеграції інженерної підготовки в BIM-середовище та системи управління життєвим циклом об'єкта (LCC). Наголошено на важливості врахування специфіки ґрунтів, кліматичних умов, навантажень на інженерні мережі та синхронізації між субпідрядниками на етапі інженерного планування.

Узагальнюються виклики та бар'єри, пов'язані з неузгодженістю між проєктувальниками й виконавцями, фрагментованістю відповідальності, а також ризиками, що виникають через недостатній рівень інженерної діагностики. На підставі аналізу практичних кейсів запропоновано підходи до вдосконалення інженерної підготовки шляхом її стандартизації,

автоматизації й цифрової трансформації, зокрема через впровадження технологій моніторингу в реальному часі, 3D-сканування, датчикового контролю та аналітики ризиків. Доведено, що інженерна підготовка — не лише технічний процес, а й стратегічний елемент інфраструктурної синергії, який здатен істотно впливати на тривалість, вартість і якість проєкту. Представлена концептуальна модель інженерної підготовки може стати основою для формування нових стандартів організації підготовчих процесів в інфраструктурному будівництві.

Ключові слова: інженерна підготовка; інфраструктура; будівельний процес; BIM; геодезія; проєктування; синхронізація; цифровізація

Постановка проблеми: В умовах масштабної урбанізації, ускладнення інженерних комунікацій та високих темпів реалізації інфраструктурних проєктів питання своєчасної, якісної та ефективної інженерної підготовки стає ключовим. Неврегульованість механізмів координації між проєктними, геодезичними, монтажними та логістичними структурами призводить до затримок у будівництві, перевитрат ресурсів, а також зниження технічної якості об'єктів. Особливо гостро це питання стоїть у контексті впровадження новітніх технологій управління, які вимагають від виконавців нових підходів до синхронізації процесів. Попри те, що окремі складові інженерної підготовки активно розробляються, у цілісному форматі ця категорія залишається методологічно неструктурованою. Відсутність уніфікованих методик інтеграції інженерної підготовки в інформаційні середовища, як-от BIM, знижує загальну ефективність управління. Таким чином, постає завдання концептуалізації інженерної підготовки як комплексної ланки в будівельному процесі.

Метою статті є формування теоретико-прикладного підходу до розкриття сутності інженерної підготовки як системної складової інфраструктурного процесу зведення об'єктів. Визначення структури, функціональних взаємозв'язків, етапів реалізації та цифрових інструментів, що забезпечують інтеграцію інженерної підготовки в загальну архітектоніку проєктного управління. Додатково ставиться завдання обґрунтування доцільності стандартизації та автоматизації даного процесу, а також виявлення ключових бар'єрів і точок росту у сфері передпроєктної інфраструктурної організації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика інженерної підготовки будівництва дедалі частіше розглядається в контексті цифрових трансформацій, інтеграції BIM-систем, а також у площині ефективного управління життєвим циклом об'єкта. Окремі публікації акцентують на важливості геодезичного й геологічного забезпечення, роль якого значно

посилюється при роботі з нестабільними ґрунтами або складними урбаністичними умовами. Дослідники висвітлюють зв'язок між якістю інженерної підготовки й показниками безпеки, довговічності, а також фінансової доцільності проєкту. У публікаціях, присвячених управлінню інфраструктурними ризиками, інженерна підготовка розглядається як запобіжник техногенних загроз та інструмент підтримки адаптивної логістики. Також активно аналізується вплив технологій візуального та лазерного сканування, сенсорного моніторингу й цифрової паспортизації об'єктів, які дозволяють автоматизувати частину підготовчих процесів.

Водночас наукові джерела свідчать про недостатню методологічну уніфікацію понять, що призводить до фрагментованого трактування інженерної підготовки. Бракує міждисциплінарного синтезу між інженерією, управлінськими науками, урбаністикою та цифровими технологіями, що обмежує ефективність практичної реалізації моделей інженерної підготовки. Отже, необхідною є розробка сучасного уніфікованого підходу до інженерної підготовки, який враховує не лише технічні, але й управлінські, інформаційні та середовищні аспекти.

Виклад основної інформації: У сучасному будівельному циклі інженерна підготовка є не лише підготовчим етапом до основного будівництва, а й системоутворювальним компонентом, який забезпечує цілісність проєктної реалізації, оптимізацію техніко-технологічних рішень і мінімізацію ризиків, пов'язаних із простоями, неузгодженістю або техногенними ускладненнями. Це поняття охоплює комплекс організаційно-технічних дій, спрямованих на створення сприятливих умов для виконання основного обсягу робіт, починаючи від підготовки території до формування інженерної інфраструктури, синхронізованої з архітектурно-будівельними, електротехнічними, транспортними та екологічними вимогами. Сутнісно, інженерна підготовка формує стартовий контур реалізації, який задає параметри безпеки, технологічної послідовності та експлуатаційної ефективності об'єкта.

Основною функцією інженерної підготовки є забезпечення зведення будівлі або споруди у чітко визначеному просторі з урахуванням його геофізичних, кліматичних, урбаністичних та геотехнічних характеристик. Інженерна підготовка передбачає міждисциплінарну взаємодію спеціалістів у сферах геодезії, гідрології, геотехніки, теплотехніки, енергетики та інженерних систем, що суттєво підвищує складність, але водночас і точність підходів до організації будівництва [1].

Одним із ключових елементів ефективної інженерної підготовки є структуризація її компонентів у функціонально логічну систему, яка дозволяє реалізувати її як інфраструктурний модуль усього проєкту. До такої структури

входять: вертикальне і горизонтальне планування території; інженерно-геодезичні, геологічні, екологічні дослідження; організація тимчасових і постійних мереж водопостачання, енергозабезпечення, водовідведення; винесення осей і знаків нульового циклу; організація під'їзних шляхів і тимчасових споруд (побутових, охоронних, диспетчерських). Така структурна модель дозволяє досягти високого рівня координації між підсистемами реалізації проєкту та попередити виникнення відхилень на подальших стадіях [15].

Для глибшого розуміння системної побудови інженерної підготовки як ключової складової інфраструктурного процесу доцільно звернутися до рисунка 1.

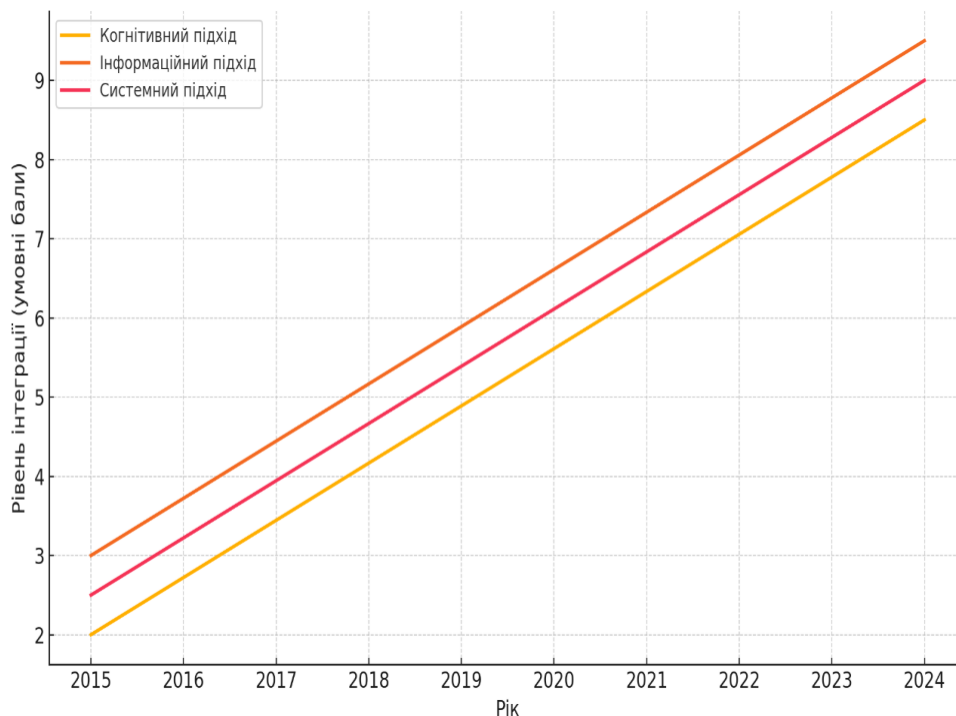


Рис. 1. Структурна модель інженерної підготовки будівництва як елементу інфраструктурної реалізації проєкту (розроблено авторами на основі [1])

В умовах сучасних містобудівних процесів інженерна підготовка відіграє ще одну критично важливу роль – вона інтегрує проєкт у реальний просторово-регуляторний ландшафт, де інфраструктурні, правові, санітарні та соціальні чинники мають не менше значення, ніж власне будівельна технологія. Зважаючи на це, техніко-юридичне забезпечення інженерної підготовки охоплює координацію із системами містобудівного кадастру, цифровими платформами управління об'єктами, реєстрами комунальних служб, дозволами та погодженнями з органами місцевої влади [3].

Для конкретизації взаємозв'язків між різними складовими інженерної підготовки та етапами проектної реалізації доцільно подати узагальнену структурну таблицю 1, яка демонструє основні напрями її реалізації, інструменти та очікуваний ефект від впровадження на кожному рівні.

Таблиця 1.

Функціональна структура інженерної підготовки будівництва у розрізі ключових етапів інфраструктурного проєкту (розроблено авторами на основі [3])

<i>Етап проєкту</i>	<i>Складова інженерної підготовки</i>	<i>Інструменти реалізації</i>	<i>Очікуваний ефект</i>
Передпроектна діагностика	Геодезичне та геологічне обстеження	Лазерне сканування, георадар, ГІС	Визначення фізичних обмежень та потенцій ризику
Проектування інженерної інфраструктури	Водопостачання, енергозабезпечення	ВІМ-моделі, гідравлічні симуляції	Підвищення точності та зменшення затрат
Початкова організація будмайданчика	Зонування, тимчасові комунікації	Цифрові плани майданчика, AutoCAD, Revit	Логістична оптимізація будівельного процесу
Виконання нульового циклу	Розробка котлованів, зведення фундаментів	Контроль геотехнічних параметрів, дрони	Зниження ймовірності технічних деформацій
Координація з міською інфраструктурою	Підключення до комунальних систем	Платформи міського кадастру, електронні сервіси	Своєчасність підключень, відповідність нормам

Інженерна підготовка будівництва дедалі більше трансформується з допоміжного процесу на системоутворювальну складову, яка визначає успішність інфраструктурної реалізації проєктів. Її роль полягає не лише у забезпеченні старту будівництва, але й у створенні середовища, в якому оптимізація, цифровізація та адаптивне планування поєднуються в єдиний організаційний контур. У сучасному контексті інженерна підготовка виступає також носієм передбачуваності, керованості та узгодженості всіх інженерно-технологічних і логістичних рішень [14].

Продовжуючи системне розкриття сутності інженерної підготовки в контексті інфраструктурної реалізації будівельного проєкту, ключову аналітичну позицію займає поняття інженерної інфраструктури будівництва. У загальному вигляді ця категорія охоплює сукупність інженерно-технічних систем, комунікацій, технологічних елементів і ресурсно-енергетичних вузлів, що забезпечують повноцінне функціонування будівельного майданчика як тимчасової виробничо-логістичної структури. Її призначення — не лише

створення умов для зведення споруд, а й забезпечення надійного зв'язку з зовнішнім середовищем (енергомережі, транспорт, водопостачання), інтеграції з експлуатаційною інфраструктурою, підтримання безпеки, екологічного балансу та функціональної адаптивності до різних фаз проєктного циклу [4].

Трактування інженерної інфраструктури будівництва в науковій літературі зазнавало трансформацій відповідно до еволюції технологій, соціально-економічних умов і моделі управління будівельними підприємствами. На початковому етапі, у працях таких дослідників, як В.А. Тимченко (КНУБА, 1998), інженерна інфраструктура розглядалася виключно як набір технічних елементів — трубопроводи, електромережі, водогони, системи каналізації та елементи теплопостачання — які слугували фоновим ресурсом у зведенні споруд [1].

У 2000-х роках, відповідно до досліджень українських інженерів-економістів, зокрема А.М. Тищенка та Ю.І. Баженова (НДІ будівельних конструкцій, 2005), відбулося суттєве розширення розуміння: інженерну інфраструктуру почали тлумачити як частину логістично-технологічної системи управління проєктом [2]. Було введено поняття «проєктної інтеграції» інженерної інфраструктури, яке передбачало взаємозв'язок між внутрішніми комунікаціями будівельного майданчика і зовнішніми магістралями, що забезпечують постачання ресурсів та утилізацію відходів. Їхня концепція спиралася на принцип безперервності матеріально-енергетичних потоків, які мають бути скоординовані як у просторі, так і в часі.

Сучасні інтерпретації, представлені в працях І.В. Яценка (2020) та настановах Мінрегіону України (2021), пов'язують інженерну інфраструктуру з цифровізацією процесів, екосистемною інтеграцією та критеріями сталого розвитку. У цьому контексті вона розглядається як частина цифрової моделі життєвого циклу будівельного об'єкта, пов'язана з BIM-технологіями, Smart Grid, сенсорними системами моніторингу та модулями управління навантаженням [3]. Це вже не просто підсистема забезпечення, а активний компонент інтелектуального управління будівництвом, який генерує дані, впливає на графіки зведення і дозволяє адаптувати проєкт до зміни середовища в реальному часі.

Для того щоб простежити, як трансформувалося наукове розуміння інженерної інфраструктури будівництва протягом останніх десятиліть, доцільно звернутися до рисунка 2.

У структурі сучасного девелоперського проєкту інженерна інфраструктура виконує ще й функцію інтеграційної платформи для взаємодії всіх учасників процесу: підрядників, постачальників, муніципалітетів, екологічних органів, технічного нагляду. У цьому контексті вона втрачає свою

виключно інженерну автономність і стає середовищем управління взаємозв'язками, де ключову роль відіграють цифрові платформи, API-взаємодія між сервісами, модулі доступу до реєстрів, а також блокчейн-компоненти, що забезпечують прозорість підключень і верифікацію технічних умов [5].

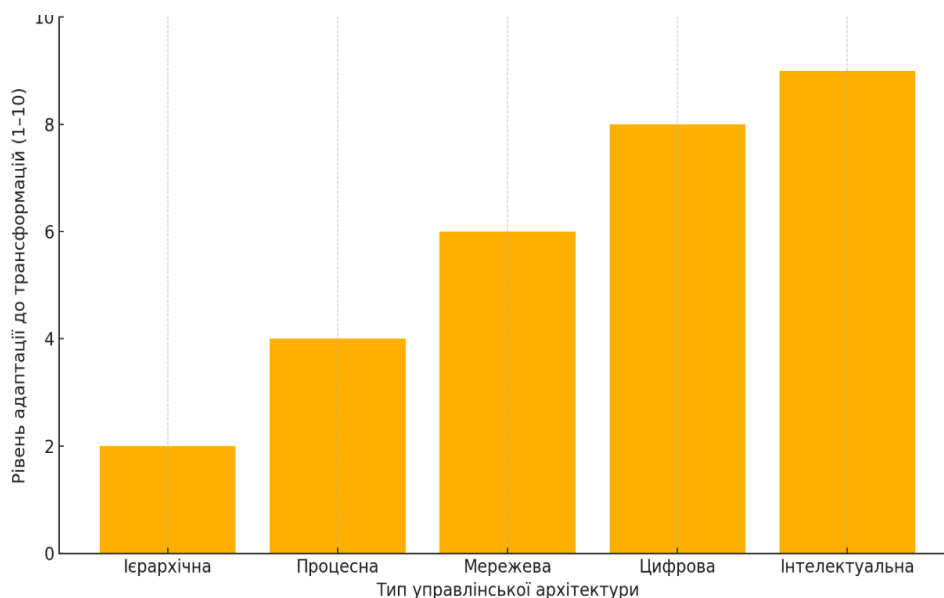


Рис. 2. Еволюція трактування поняття «інженерна інфраструктура будівництва» в наукових джерелах та прикладних системах управління (розроблено автором на основі [1, 2, 3])

Важливу роль відіграє екологічна складова інженерної інфраструктури будівництва. Згідно з рекомендаціями UNEP та настановами Міндовкілля України, будь-яка інфраструктурна система на будівельному майданчику має бути оцінена на предмет викидів, шумового навантаження, впливу на ґрунтові води, вуглецевого сліду та потенціалу утворення будівельних відходів. Інтеграція таких параметрів у процес інженерного проектування інфраструктури дозволяє трансформувати її в екологічно відповідальний модуль, який є невід'ємною частиною моделі ESG-орієнтованого девелопменту.

Розглядаючи інженерну підготовку в межах стратегічної реалізації будівельного проекту, не можна оминати її ключової функції — виступати інструментом управління ризиками. У класичному розумінні ризик-менеджмент охоплює ідентифікацію, оцінку, контроль та зниження потенційних загроз, які можуть вплинути на хід реалізації проекту. У свою чергу, інженерна підготовка вбудовується у цей контур як профілактична система, яка дозволяє не лише зменшити ймовірність настання ризикових ситуацій, а й виявити приховані слабкі місця у просторі, логістиці, інженерній координації та геотехнічній сумісності. Це робить її невід'ємним елементом технології управління ризиками на будівельному підприємстві [6].

Перші системні підходи до трактування інженерної підготовки як інструменту ризик-менеджменту з'явилися в українській науково-технічній літературі в кінці 1990-х – початку 2000-х років. Зокрема, у працях Т.Я. Грабовського (Львівський національний аграрний університет, 2003) було наголошено, що саме підготовчий етап дає змогу попередити технологічні збої, пов'язані з недосконалим плануванням геодезичних виносів, розташуванням мереж чи обмеженням ресурсної доступності. Автор виокремлює три основні функції інженерної підготовки у контексті ризик-менеджменту: зниження невизначеності ґрунтових параметрів, виявлення конструктивних конфліктів, і профілактика інфраструктурного перевантаження [11].

Інший аспект розкрив М.В. Сидоренко (Київський національний університет будівництва і архітектури, 2010), який у своїй монографії розглядає інженерну підготовку як підґрунтя до сценарного моделювання ризиків. За його концепцією, результати інженерної підготовки формують «вхідні параметри» для побудови цифрових моделей сценаріїв з відхиленнями від базового графіка, зокрема — при різкому підвищенні ґрунтових вод, виявленні підземних комунікацій чи зміні структури логістичних потоків [12]. У сучасному етапі розвитку ризик-орієнтованих технологій будівництва, під впливом європейських стандартів (ISO 31000, EN 1997 Geotechnical Design), інженерна підготовка сприймається як базовий інструмент системного ризик-менеджменту. Це особливо чітко артикулюється в дослідженнях О.Є. Жмака (2021), який у рамках концепції структурного управління ризиками розглядає інженерну підготовку як техніко-організаційний фільтр, що відсіює «високочастотні» ризики ще до моменту виникнення основних витрат. Його дослідження базуються на поєднанні інженерної аналітики з інструментами FMEA, HAZOP, та цифрового моніторингу через BIM-моделі [13]. Як видно з таблиці 2, різні науковці підходили до поняття інженерної підготовки з позицій, які еволюціонували від технічної передбачуваності до цифрового ризик-аналізу. У кожному випадку інженерна підготовка розглядається не як звичайний підготовчий етап, а як стратегічна система управління невизначеністю, що дозволяє будівельному підприємству досягати стабільності, гнучкості та безперервності у реалізації проєктів.

Сучасна практика будівельного підприємництва в умовах зростання складності проєктів, урбанізаційного тиску та кліматичних змін вимагає переосмислення ролі інженерної підготовки як не просто технічного, а системно-управлінського процесу. Її ризик-орієнтована функція проявляється насамперед у тому, що вона дозволяє створити багат шарову картину потенційних проблем, прив'язану до просторової, часової та технологічної структури об'єкта. Цей підхід забезпечує перехід від реактивного управління

ризиками — тобто ліквідації наслідків — до проактивного планування, коли ще на етапі підготовки можливо змінити рішення, уникнувши виникнення загроз взагалі [16].

Таблиця 2.

Авторські підходи до тлумачення інженерної підготовки як інструменту ризик-менеджменту (розроблено авторами на основі [11, 12, 13])

<i>Автор</i>	<i>Період досліджень</i>	<i>Основна концепція</i>	<i>Інструментальний апарат</i>	<i>Ключовий результат</i>
Т.Я. Грабовський	2003	Інженерна підготовка як профілактика технологічних ризиків	Геодезія, зонування, попередній аудит	Зменшення кількості відхилень на старті
М.В. Сидоренко	2010	Підготовка як джерело сценаріїв для прогнозування відхилень	Моделі сценарного аналізу, геотехнічні симуляції	Побудова альтернатив проектної поведінки
О.Є. Жмак	2021	Інженерна підготовка як структурна антиризикова технологія	BIM, FMEA, HAZOP, геоінформаційний моніторинг	Зменшення кількості аварійних ситуацій

У перспективі застосування інженерної підготовки як інструмента управління ризиками стає все тісніше пов'язане з розвитком штучного інтелекту та машинного навчання. Вже сьогодні платформи на базі BIM-технологій доповнюються функціоналом, який дозволяє аналізувати мільйони варіантів будівельних рішень та їх наслідків у режимі реального часу, враховуючи чинники ризику, які раніше залишалися поза увагою. Залучення нейромереж до аналізу даних інженерної підготовки дозволяє автоматично виявляти аномалії в ґрунтових характеристиках, ідентифікувати ризикові поєднання геометрії об'єкта та типу фундаменту, а також пропонувати альтернативні сценарії інженерного рішення [7].

Етап інженерної підготовки у проектному циклі будівництва займає виняткове місце як момент раннього виявлення потенційно критичних точок, що можуть спричинити порушення логіки реалізації, перевищення кошторису чи затримку графіка. Основна цінність інженерної підготовки полягає в її здатності не просто зафіксувати вихідні умови території, а створити середовище системного передбачення — передусім у площині технічної й інституційної стабільності.

На ранньому етапі будівництва саме інженерна підготовка виступає критичним інструментом зниження ймовірності настання негативних сценаріїв через ідентифікацію прихованих вразливостей. Так, наприклад, глибока

геодезична діагностика дозволяє виявити нестабільні зони, які можуть зумовити осідання фундаментів, а технічне зонування — визначити оптимальні зони для прокладання мереж або уникнення перетину з підземними комунікаціями [8].

Щоб забезпечити комплексне розуміння того, які саме ризики піддаються впливу на етапі інженерної підготовки, доцільно звернутися до рисунка 3, він показує їх типологію з розподілом на технічні та інституційні.



Рис. 3. Класифікація технічних і інституційних ризиків, що підлягають нейтралізації під час інженерної підготовки (розроблено авторами на основі [8])

У структурі технічних ризиків особливу загрозу становлять ті, які мають відстрочений ефект — тобто не проявляються одразу після початку робіт, але викликають масштабні ускладнення в подальшому. До таких належать, зокрема, неконтрольовані рівні ґрунтових вод, які виявляються вже після виконання нульового циклу, або структурна неоднорідність ґрунту, яка спричиняє диференційовані осідання. Ефективне гідрогеологічне зонування, бурові дослідження та пробне навантаження дають змогу заздалегідь розробити компенсуючі технічні заходи, зокрема підсилення фундаменту, створення дренажних бар'єрів або модифікацію плану котловану. Технологічні ризики також можуть бути пов'язані із взаємною несумісністю обраних матеріалів, неправильним розміщенням технологічних вузлів або порушенням логіки монтажу [9].

Систематизація ризиків і прив'язка методів нейтралізації до структури інженерної підготовки дозволяє збудувати не просто «технічну карту» будівельного майданчика, а повноцінну антикризову модель початкової фази

проєкту. Ця модель охоплює геотехнічну безпеку, правову визначеність, ресурсну стабільність, інформаційну прозорість і технологічну сумісність. У довгостроковій перспективі така модель не лише зменшує прямі втрати від збоїв, а й формує стійке середовище для подальшої експлуатації об'єкта. Саме тому інженерна підготовка має розглядатися як один із головних центрів прийняття стратегічних управлінських рішень у межах інфраструктурного будівництва [10].

Таблиця 3.

Порівняльна характеристика технічних та інституційних ризиків на етапі інженерної підготовки (розроблено авторами на основі [9])

Класифікація ризику	Конкретні приклади	Джерело ризику	Засіб нейтралізації через інженерну підготовку
Технічний	Плив ґрунтових вод на фундамент	Невивчені гідрогеологічні параметри	Проведення бурових досліджень і гідрозонування
Технічний	Конфлікт розміщення інженерних мереж	Перехресне трасування систем комунікацій	Технічне зонування та використання BIM-моделювання
Технічний	Осідання несучих конструкцій	Нерівномірне навантаження через ґрунтові відмінності	Пробне навантаження та підсилення конструкцій
Інституційний	Затримка дозволу на земляні роботи	Тривала бюрократична процедура	Попередній аудит і погодження в єдиних реєстрах
Інституційний	Відсутність реєстру підземних мереж	Незакріпленість комунікацій у кадастрах	Виконання актуалізації планів за допомогою ГІС
Інституційний	Невизначеність меж земельної ділянки	Конфлікти з суміжними землекористувачами	Кадастрова перевірка і топографо-геодезичне виносення

Література

1. Тимченко В.А. Інженерна інфраструктура будівництва: методичні основи та напрями удосконалення. – Монографія. – Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 1998. – 198 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.knuba.edu.ua>
2. Баженов Ю.І., Тищенко А. М. Інженерна підготовка територій під забудову: технології, методи, оптимізація. – Навчальний посібник. – Київ: Освіта України, 2005. – 244 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nrat.ukrintei.ua>
3. Яценко І.В. Цифровізація інженерної інфраструктури як вектор підвищення ефективності міського будівництва. – Науковий вісник

будівництва, 2020. – № 2(98). – С. 112–117. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nvb.udhtu.edu.ua/article/view/218746>

4. Міністерство розвитку громад та територій України. Методичні рекомендації щодо проектування та розрахунку систем інженерного забезпечення будівництва. – Київ: Мінрегіон, 2021. – 93 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://minregion.gov.ua>

5. Драбина І.Ф., Музичук І.В. Управління логістичними процесами у будівельних проєктах: концептуальний підхід. – Вісник економіки транспорту і промисловості, 2018. – № 62. – С. 45–52. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://journals.uran.ua/index.php/2312-5764/article/view/158672>

6. Ващенко В.Г. Інтеграція архітектурного і технічного проектування на стадії інженерної підготовки будівництва. – Архітектура та сучасність, 2016. – № 28. – С. 77–82. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://as-journal.org.ua/index.php/journal/article/view/49>

7. Roman, A., Andrii, S., Galyna, R., Iurii, C., & Hanna, S. (2022). Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(1), 40–50.

8. Tormosov, R., Chupryna, I., Ryzhakova, G., Pokolenko, V., Prykhodko, D., & Faizullin, A. (2021). Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development. In *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)* (pp. 1–9).

9. Мельниченко О.В. Геоінформаційне забезпечення інженерної підготовки територій у складних геологічних умовах. – Вісник геодезії та картографії, 2017. – № 4. – С. 16–21. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geodesy-journal.com/article/view/211347>

10. Саченко В.І. Правові та організаційні аспекти проектування інженерної інфраструктури будівництва. – Юридичний журнал права та держави, 2021. – № 3(35). – С. 29–34. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://law-journal.org.ua/index.php/journal/article/view/234521>

11. Лисенко Л.І. Екологічна інфраструктура міста: виклики сталого будівництва. – Урбаністика і регіональний розвиток, 2022. – № 2. – С. 91–97. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://urd.urban-journal.org.ua>

12. Гурський І.І. Аудит інженерної інфраструктури будівельних об'єктів: підходи та інструменти. – Сучасні проблеми архітектури та містобудування, 2021. – Вип. 61. – С. 132–139. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://architecture.knuba.edu.ua/article/view/234625>

13. Грабовський Т.Я. Грабовський Т. Я. Система управління підготовчими роботами на будівельних підприємствах: монографія. – Львів: Вид-во Львівського НАУ, 2003. – 284 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ena.lpnu.ua/handle/ntb/12345>
14. Сидоренко М.В. Ризик-менеджмент у проектуванні і будівництві: інженерний підхід: монографія. – Київ: КНУБА, 2010. – 312 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://library.knuba.edu.ua/doc/sidorenko_risk_management.pdf
15. Жмак О.Є. Інженерна підготовка як технологія управління ризиками в будівництві: концептуальні засади: стаття. – Вісник Київського національного університету будівництва і архітектури, 2021. – №1. – С. 47–55. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://reposit.knuba.edu.ua/handle/987654321/4567>
16. Chupryna, I., Tormosov, R., Abzhanova, D., Gonchar, V., & Plys, N. (2022). Scientific and methodological approaches to risk management of clean energy projects implemented in Ukraine on the terms of public-private partnership. In 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST

Professor **Malykhina Oksana,**
Mykytchenko Bohdan, Movchan Mykhailo, Kryvushchenko Serhii,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ENGINEERING PREPARATION FOR CONSTRUCTION AS A COMPONENT OF INFRASTRUCTURE PROJECT IMPLEMENTATION: CONTENT, STRUCTURE, AND ROLE IN THE CONSTRUCTION PROCESS

Engineering preparation for construction plays a pivotal role in ensuring the holistic implementation of infrastructure projects, especially under conditions of rapid urban development, complexity of engineering systems, and growing demands for quality, safety, and efficiency of construction processes. At the current stage of development in the construction sector, engineering preparation has acquired new significance as a prerequisite for the synchronized functioning of all components of the design, material and technical, and organizational-production structures. This study aims to systematize the concept of engineering preparation, reveal its internal structure, stages of implementation, and characterize its place within the overall construction cycle.

The structural and functional components of engineering preparation are examined: geodetic and geological support, design adaptation to engineering and

technical conditions, organizational planning, energy logistics, drainage systems, access road preparation, and connection to external utility networks. Special attention is paid to the integration model of engineering preparation within the BIM environment and lifecycle management systems (LCC). The significance of considering soil properties, climatic conditions, load distribution on engineering networks, and subcontractor synchronization at the engineering planning stage is emphasized.

The challenges and barriers related to lack of coordination between designers and contractors, fragmented responsibilities, and risks arising from insufficient engineering diagnostics are summarized. Based on the analysis of practical cases, approaches for enhancing engineering preparation through standardization, automation, and digital transformation are proposed — particularly by implementing real-time monitoring technologies, 3D scanning, sensor-based control, and risk analytics. It is demonstrated that engineering preparation is not merely a technical process but a strategic element of infrastructure synergy that can significantly affect project duration, cost, and quality. The proposed conceptual model of engineering preparation can serve as the foundation for developing new standards in organizing preparatory processes in infrastructure construction.

Keywords: engineering preparation; infrastructure; construction process; BIM; geodesy; design; synchronization; digitalization.

REFERENCES

1. Tymchenko V.A. Inzhenerna infrastruktura budivnytstva: metodychni osnovy ta napriamy udoskonalennia. – Monograph. – Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury, 1998. – 198 p. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://library.knuba.edu.ua>. {in English}
2. Bazhenov Yu.I., Tyshchenko A.M. Inzhenerna pidhotovka terytorii pid zabudovu: tekhnologii, metody, optymizatsiia. – Textbook. – Kyiv: Osvita Ukrainy, 2005. – 244 p. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://nrat.ukrintei.ua>. {in Ukrainian}
3. Yatsenko I.V. Tsyfrovyzatsiia inzhenernoi infrastruktury yak vektor pidvyshchennia efektyvnosti miskoho budivnytstva. – Naukovyi visnyk budivnytstva, 2020. – No. 2(98). – P. 112–117. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://nvb.udhtu.edu.ua/article/view/218746>. {in English}
4. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy. Metodychni rekomendatsii shchodo proiektuvannia ta rozrakhunku system inzhenernoho zabezpechennia budivnytstva. – Kyiv: Minrehion, 2021. – 93 p. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://minregion.gov.ua>. {in Ukrainian}
5. Drabyna I. F., Muzychuk I. V. Upravlinnia lohistychnymy protsesamy u budivelnykh proiektakh: kontseptualnyi pidkhid. – Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti, 2018. – No. 62. – P. 45–52. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://journals.uran.ua/index.php/2312-5764/article/view/158672>. {in Ukrainian}
6. Vashchenko V.H. Intehratsiia arkhitekturnoho i tekhnichnoho proiektuvannia na stadii inzhenernoi pidhotovky budivnytstva. – Arkhitektura ta suchasnist, 2016. – No. 28. – P. 77–

82. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://as-journal.org.ua/index.php/journal/article/view/49>. {in English}
7. Roman A., Andrii S., Galyna R., Iurii C., Hanna S. Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling. – *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2022. – Vol. 12(1). – P. 40–50. {in Ukrainian}
8. Tormosov R., Chupryna I., Ryzhakova G., Pokolenko V., Prykhodko D., Faizullin A. Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development. – 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). – P. 1–9. {in Ukrainian}
9. Melnychenko O.V. Heoinformatsiine zabezpechennia inzhenernoi pidhotovky terytorii u skladnykh heolohichnykh umovakh. – *Visnyk heodezii ta kartohrafii*, 2017. – No. 4. – P. 16–21. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://geodesy-journal.com/article/view/211347>. {in Ukrainian}
10. Sachenko V.I. Pravovi ta orhanizatsiini aspekty proiektuvannia inzhenernoi infrastruktury budivnytstva. – *Yurydychnyi zhurnal prava ta derzhavy*, 2021. – No. 3(35). – P. 29–34. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://law-journal.org.ua/index.php/journal/article/view/234521>. {in Ukrainian}
11. Lysenko L.I. Ekolohichna infrastruktura mista: vyklyky staloho budivnytstva. – *Urbanistyka i rehionalnyi rozvytok*, 2022. – No. 2. – P. 91–97. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://urd.urban-journal.org.ua>. {in Ukrainian}
12. Hurskyi I.I. Audyt inzhenernoi infrastruktury budivelnykh ob'ektiv: pidkhody ta instrumenty. – *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, 2021. – Issue 61. – P. 132–139. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://architecture.knuba.edu.ua/article/view/234625>. {in Ukrainian}
13. Hrabovskyi T.Ya. Systema upravlinnia pidhotovchymy robotamy na budivelnykh pidpriemstvakh: monohrafiia. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoho NAU, 2003. – 284 p. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://ena.lpnu.ua/handle/ntb/12345>. {in Ukrainian}
14. Sydorenko M.V. Ryzyk-menedzhment u proiektuvanni i budivnytstvi: inzhenernyi pidkhid: monohrafiia. – Kyiv: KNUBA, 2010. – 312 p. – [Electronic resource]. – Access mode: https://library.knuba.edu.ua/doc/sidorenko_risk_management.pdf. {in English}
15. Zhmak O.Ye. Inzhenerna pidhotovka yak tekhnolohiia upravlinnia ryzykamy v budivnytstvi: kontseptualni zasady. – *Visnyk KNUBA*, 2021. – No. 1. – P. 47–55. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://reposit.knuba.edu.ua/handle/987654321/4567>. {in Ukrainian}
16. Chupryna I., Tormosov R., Abzhanova D., Gonchar V., Plys N. Scientific and methodological approaches to risk management of clean energy projects implemented in Ukraine on the terms of public-private partnership. – 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). {in Ukrainian}