

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну
(повне найменування факультету)

Кафедра «Будівельне виробництво та управління проектами»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
бакалавра
_____ (ступінь вищої освіти)

на ТЕМУ «ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ
ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ КОМУНАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ».
RESEARCH ON THE ORGANIZATION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS
FOR THE UNDERGROUND SPACE OF UTILITY BUILDINGS.

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи БАД-111ін
Спеціальності 192 «Будівництво
та цивільна інженерія»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Промислове та цивільне будівництво
ШАХІН Гьоздегюль
(прізвище та ініціали)

Керівник СТОРЧАЙ Н.С.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну
Кафедра «Будівельне виробництво та управління проектами»
Ступінь вищої освіти перший (бакалавр)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Промислове та цивільне будівництво

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БВУП, к.т.н, доц.
О.М. Назаренко
“ ” 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ШАХІН Гьоздегюль

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **«ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ КОМУНАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ».**

RESEARCH ON THE ORGANIZATION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE UNDERGROUND SPACE OF UTILITY BUILDINGS.

Керівник проекту (роботи) д.т.н., професор СТОРЧАЙ Надія Станіславівна
(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “16” 04 2025 року №188

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 06 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) рекомендована література, технічне завдання, природно-кліматичні умови

Зміст розрахунково-пояснювальної записки

(перелік питань, які потрібно розробити)

1. Архітектурно-будівельний розділ.

2. Розрахунково-конструктивний розділ.

3. Організаційно-технологічний розділ. 4. Охорона праці та цивільна безпека.

4. Економіка будівництва.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайди презентації, графічний матеріал 6 аркушів А1 роздруковані на А3 зброшуровані

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Архітектурно-будівельний розділ	СТОРЧАЙ Н.С., професор		
Розрахунково-конструктивний розділ	СТОРЧАЙ Н.С., професор		
Організаційно-технологічний розділ	СТОРЧАЙ Н.С., професор		
Охорона праці та цивільна безпека	ЯКІМЦОВ Ю.В., доцент		
Економіка будівництва	СТОРЧАЙ Н.С., професор		
Нормоконтролер	БОБРАКОВ А.А., доцент		

7. Дата видачі завдання “06” червня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
	Постановка завдань по роботі	1 тиждень	Завдання
	Розробка архітектурно-будівельних рішень.	2–3 тижні	Розділ 1
	Розробка розрахунково-конструктивної частини.	4–5 тижні	Розділ 2
	Прийняття організаційно-технологічних рішень	6 тиждень	Розділ 3
	Розробка заходів з охорони праці та цивільної безпеки.	7–8 тижні	Розділ 4
	Розробка економічного розділу	10 тиждень	
	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї	11 тиждень	
	Оформлення графічної частини	12-13 тиждень	
	Нормоконтроль та рецензування	14–15 тижні	
	Захист роботи.	16 тиждень	

Студент(ка) _____

ШАХІН ГЪЗДЕГЮЛЬ

Керівник проєкту (роботи) _____ Надія СТОРЧАЙ
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

ВСТУП

Актуальність теми дослідження

В даний час спостерігається зростання та розвиток підземного будівництва у всьому світі. Світовий досвід містобудівного проєктування показує, що найбільш ефективним методом вирішення концентрації територіальних, транспортних проблем, що збільшується, є комплексне освоєння підземного простору.

Технологічні рішення щодо освоєння підземного простору повинні забезпечувати нормальні умови експлуатації та збереження наземних і підземних споруд, а також якісне проведення геотехнічного моніторингу будівель. Наразі нормативна база має передумови розвитку підземного простору із введенням в дію ДСТУ «Будівлі, споруди та комплекси підземні. Правила містобудівного проєктування». Оптимальні умови для сталого розвитку міста досягаються за частки підземних споруд 20-25 % від загальної кількості об'єктів.

В умовах історичної забудови великих міст, що склалася, очевидним є розширення корисних площ для розміщення об'єктів інфраструктури за рахунок збільшення підземних просторів існуючих будівель. Проте, стислість будівництва, належність будівель, що реконструюються, до об'єктів культурної спадщини потребує більш ретельного опрацювання проєктних та організаційно-технологічних рішень. У зв'язку з цим пошук організаційних і технологічних рішень, спрямованих на розробку та освоєння підземних просторів існуючих будівель, стає все більш актуальним.

Ступінь розробленості теми дослідження.

Підвищенням технологічної ефективності підземного будівництва та розробкою інноваційних методів створення «розумного підземного простору» займалися такі зарубіжні вчені як: Isam Shahrour, Chuangzhou WU, Yun Wan, Hee-Soon Shin, T. Hanamura, Jinyao Wang, Soo-Yeon So, Toshinori.

Мета дослідження – розробка раціональних організаційно-технологічних рішень улаштування підземних просторів під існуючими будинками на основі оптимальних технологічних параметрів та моніторингу із застосуванням сучасних методів та приладів.

Відповідно до поставленої мети було визначено такі задачі досліджень:

- аналіз сучасних технологічних методів улаштування підземних просторів існуючих будівель;
- виявлення організаційних, технологічних та конструкційних факторів, що впливають на розроблювану технологію влаштування підземних просторів існуючих будівель;
- на основі експертно-кваліметричного методу визначення факторів, що впливають на організаційно-технологічні рішення на стадіях проєктування, моніторингу та встановлення їхньої значущості;
- оптимізація найбільш значущих заходів на стадіях проєктування та моніторингу;
- розробка методики формування раціональних організаційно-технологічних рішень влаштування підземних просторів під існуючими будинками на основі оптимальних технологічних параметрів та моніторингу із застосуванням сучасних методів та приладів;
- впровадження запропонованих організаційно-технологічних рішень зі збільшенням підземних просторів існуючої будівлі на об'єкті реконструкції та оцінка техніко-економічної ефективності запропонованих методів.

Об'єкт дослідження – існуючі будівлі, ділянки підземного простору, що зводяться з метою збільшення їхньої корисної площі та подальшої експлуатації.

Предмет дослідження – система оптимізації організаційно-технологічних рішень при влаштуванні підземних просторів під існуючими будинками.

Науково-технічна гіпотеза дослідження полягає у можливості оптимізації організаційно-технологічних рішень збільшення підземних просторів під існуючими будинками за рахунок оптимізації технологічних параметрів, що дозволяють знизити трудомісткість та мінімізувати тривалість технологічних процесів при одночасному моніторингу будівельного монтажних робіт з використанням приладів.

Наукова новизна досліджень

1. Запропоновано методику побудови універсальної математичної моделі визначення оптимальних параметрів технологічних процесів під час влаштування підземних споруд методом переспирання будівлі на нові фундаменти.

2. Розроблено систему моніторингу організаційно-технологічних процесів з використанням сучасних методів та приладів.

3. Розроблено технічні рекомендації щодо науково-технічного супроводу із застосуванням нової геодезичної марки при влаштуванні підземних споруд під існуючими будинками.

4. Розроблено методику формування раціональних організаційно-технологічних рішень на основі оптимальних технологічних параметрів та моніторингу будівельно-монтажних робіт з використанням нових методів та приладів.

5. Науково обґрунтовано найбільш значущі заходи у системі прийняття організаційно-технологічних рішень, що впливають на забезпечення ефективності будівництва підземних споруд під існуючими будинками.

Теоретична значимість роботи полягає в обґрунтуванні ефективних організаційних та технологічних рішень влаштування підземних просторів під існуючими будинками та вибору параметрів виконання робіт на підставі запропонованої методики моніторингу виконання робіт реконструйованих будівель.

Практична значимість роботи полягає в запропонованих організаційно-технологічних рішеннях розглянутої технології збільшення підземного простору під існуючими будинками, застосуванні приладів наземного лазерного сканування при геотехнічному моніторингу реконструйованих будівель.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РІВНЯ РОЗВИТКУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ПРИСТРОЮ ПІДЗЕМНИХ ПРОСТОРІВ ПІД ІСНУЮЧИМИ БУДИНКАМИ

1.1. Проблеми урбанізації та шляхи їх вирішення в аспекті комплексного використання міського підземного простору

В умовах масштабного збільшення світового населення, швидкого зростання найбільших міст світу, розвитку їхньої інфраструктури, стрімкої активізації комерційної діяльності – збереження та пристосування об'єктів історичної та культурної спадщини заслуговують на особливу увагу. Високі темпи урбанізації, скорочення вільного простору міської території та необхідність створення додаткових площ та обмеження з будівництва нових висотних будівель в умовах історичної забудови, що склалася, змушують переглядати підходи містобудівного планування [26].

В даний час при плануванні забудови міської території відсутній комплексний підхід до освоєння підземного простору міста для будівництва об'єктів з різним функціональним призначенням. У зв'язку з тим, що необхідно розширення території транспортних розв'язок, поліпшення екологічної обстановки міст, озеленення, збільшення паркувальних місць, збереження історичного та естетичного виду будівель, освоєння підземного простору в останні роки звертають все більшу увагу. Освоєння підземного простору є важливим напрямом у будівництві нових об'єктів та реконструкції вже існуючих [202, 180].

Проблема ускладнюється тим, що разом зі зростанням світового населення спостерігається міграція сільського населення до міських агломерацій. Згідно зі статистичними даними міжнародних організацій та інститутів, урбанізація населення світу в найближчі роки тільки збільшуватиметься. За прогнозами фахівців, до 2030 міські жителі складуть 60% від загального населення планети, а до 2050 - 67% (рисунок 1.1) [58, 192].

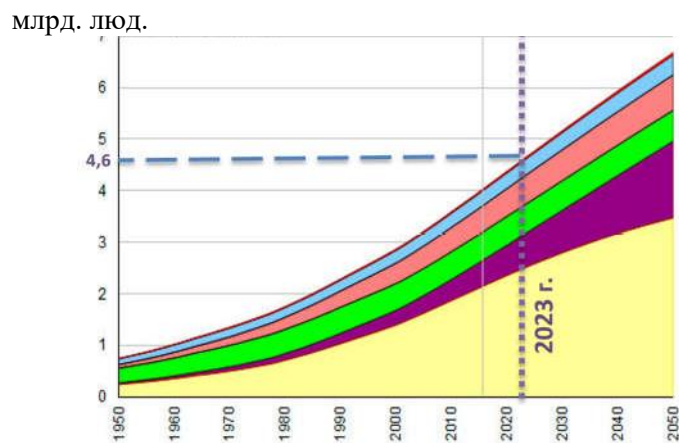


Рисунок 1.1 – Урбанізація. Чисельність міського населення за основними географічними регіонами світу, 1950-2050 роки;

Освоєння підземного простору є важливим напрямом у будівництві нових об'єктів та реконструкції вже існуючих. Одним із можливих рішень цього питання є використання підземного простору. В даний час при плануванні забудови міської території відсутній комплексний підхід до освоєння підземного простору міста для будівництва об'єктів з різним функціональним призначенням. Освоєння підземного простору є важливим напрямом у будівництві нових об'єктів та реконструкції вже існуючих. У зв'язку з тим, що необхідне розширення території транспортних розв'язок, покращення екологічної обстановки міст, озеленення, збільшення паркувальних місць, збереження історичного та естетичного вигляду будівель, до питань освоєння підземного простору останніми роками звертають все більшу увагу.

Згідно зі статистикою даних міжнародних організацій та інститутів, урбанізація міст у найближчі роки тільки збільшуватиметься. За прогнозами фахівців, до 2030 року міські жителі становитимуть 60% від загального населення планети, а до 2050 року – 67 % [65, 190] (рисунок 1.1).

За даними Міжнародної тунельної асоціації, об'єм світового ринку підземного будівництва у 2013 р. становив \$66,2 млрд, а 2024 р. становить \$97 млрд, що на 30 % більше [190].

Комплексне використання підземного простору дає можливість спільно вирішувати питання будівництва нових будівель, інженерних комунікацій, скорочувати території надземних будов, ефективно розташовувати допоміжні об'єкти, зберігати історичні об'єкти, підвищує економічну ефективність будівель, забезпечує «зелений дах» та звільняє простір над землею [].

Комплексне підземне будівництво є спорудами різного призначення, умовно їх можна розділити на три групи:

1. Транспортна інфраструктура включає транспортні розв'язки, пішохідні переходи між будинками, тунелі, пересадочні вузли.

2. Інженерна інфраструктура – промислові об'єкти, сховища, системи водопостачання та водовідведення.

3. Соціальна інфраструктура – паркування, спортивні, адміністративні, торговельні споруди, театри, об'єкти оборонного комплексу тощо.

Можливість створення системи комфортних міських надземних та підземних умов представлені на рис. 1.2.

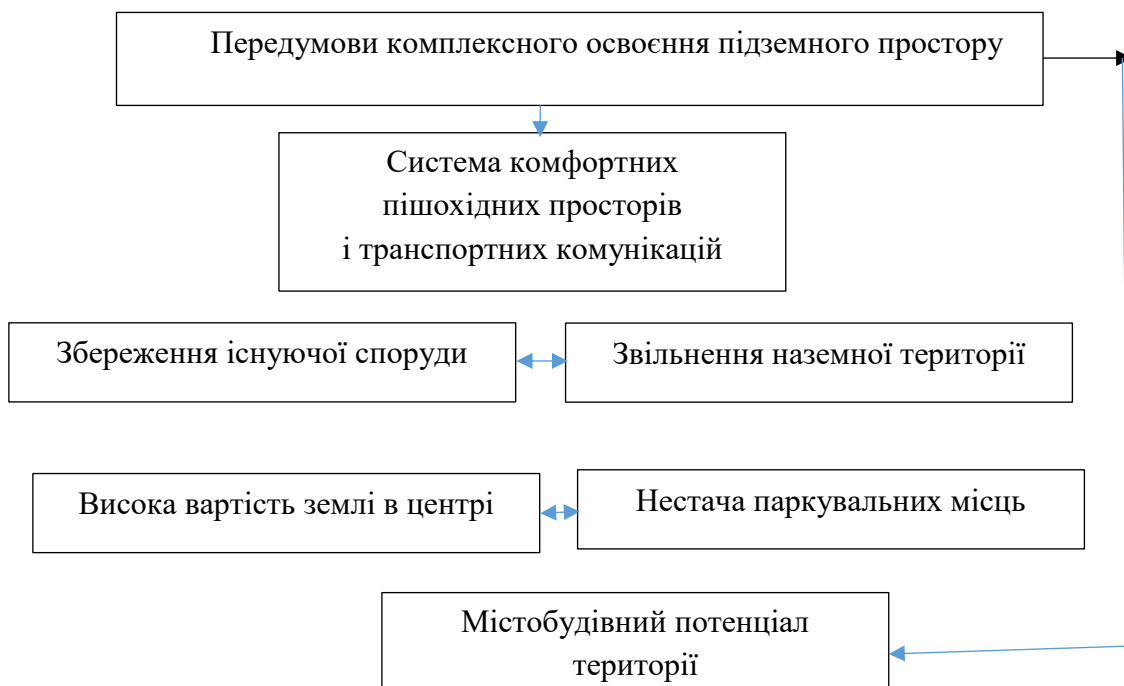


Рисунок 1.2 – Блок-схема передумови комплексного освоєння підземного простору

Зростання підземного простору в усьому світі з кожним роком стає більш відчутним, вплив держави на регулювання цих питань дає можливість широкому та всебічному розвитку для комплексного освоєння підземного простору [1]. Для регулювання будівництва підземного простору використовується СП «Містобудування. Планування та забудова підземного простору».

Знесення та знищення історичних будівель з метою забудови їх території новими об'єктами, так звана «руїнізація», приваблює величезну кількість замовників та інвесторів, і часто відбувається непоправна втрата важливих та цінних культурно-історичних пам'яток. Під загрозою знаходяться в основному будівлі, пов'язані з діячами культури.

Реконструкція та реставрація будівель та споруд є досить складним комплексом будівельних робіт, спрямованих на відновлення надземних та підземних конструкцій пам'яток. Основне значення – максимальне збереження справжності споруди; обґрунтування доповнень, що вносяться у процесі реставрації, на основі вивчення історичних документів; здійснення всіх видів реставраційних робіт лише з дозволу та під контролем державних органів з охорони пам'яток. Справедливість цих реставраційних постулатів була також підтверджена рішеннями Венеціанської Хартії, ухваленої II Міжнародним конгресом архітекторів та технічних фахівців у 1964 році [26].

Важливим аспектом освоєння підземних просторів вивчення гідрогеологічних умов. Наприклад, встановлено, що інженерно-геологічні райони в межах міста Львів дуже різнотипні, мають різну природну і техногенну спрямованість мінливості інженерно-геологічних умов. На території міста спостерігаються процеси підтоплення: гідротехнічним підтопленням охоплено 18 % території, 26 % і 39 % території володіють також небезпекою будівельного підтоплення, які частково збігаються з зонами просадних і карстових ґрунтів.

Багато багатонаселених розвинених країн працюють над поліпшенням стану підземного простору. До них відносяться Канада, Китай, Японія, Фінляндія, Сінгапур, Великобританія, Швеція та ін [215, 211, 208, 41].

У місті Гельсінкі (Фінляндія) розроблено генеральний план підземного простору міста. План включає площі для цивільних будівель, спорту, транспорту, паркування, зберігання, установ, об'єкти оборони і т.д. Наприклад, у Гельсінкі до 2014 року налічувалося понад 4400 підземних бомбосховищ, які забезпечують мешканців фінської столиці укриттями на 125%. [214, 41].

У Канаді, у занедбаних тунелях, створили підземну громадську зону Монреалю, названу «RESO» – французькою «La Ville Souterraine» або «Підземне місто». Проект дозволив об'єднати значні площі торгового простору (близько 2000 магазинів), пішохідні простори, паркувальні місця (43 автостоянки), 200 ресторанів, 1200 офісів, 34 кінотеатри, станції метрополітену та багато іншого. Підземне місто має 190 входів, щоденний потік людей становить близько 500 тисяч осіб, площа становить близько 12 км², при цьому на прогулянки містом не впливає погана погода. Вихід у підземне місто мають близько 20 музеїв, безліч готелів та бізнес-центрів, шкіл та університетів.

Висока вартість землі у мегаполісах сприяє розвитку освоєння підземного простору міської території, досягаючи надглибоких рівнів, у яких розміщуються об'єкти різного призначення: мережі інженерно-технічного забезпечення, тунелі; транспортні, соціальні та оборонні об'єкти, сховища палива, вуглеводнів та ін. Популярність використання власниками земельних ділянок підземного простору змусило владу Сінгапуру внести доповнення до законодавства, обмеживши право власників на розробку надр на глибину до 30 м, більш глибокі рівні залишаються у власності. На рис. 1.3 представлена схема планування та розміщення підземних об'єктів різного призначення в Сінгапурі на глибину понад 150 м [194].

Рівні під землею



1-3 м: Інженерні мережі (водопровід, телекомунікаційні кабелі, лінії електропередачі)
5-10м: Тунель загального обслуговування
12-20м: Простір на цокольному поверсі, що використовується під магазини, автостоянки, підземні пішохідні переходи, метро, швидкісні автомагістралі
20-50м: Глибока тунельна каналізація
60м: Тунелі для кабелів електропередач

Рисунок 1.3 – Планування освоєння підземного простору у Сінгапурі (2023 рік)

Розвиток підземного простору входить у програми містобудівного планування, для чого створюються тривимірні моделі надр.

Крім зменшення надземних міських територій, об'єкти, розташовані нижче денної позначки, мають такі переваги:

- збільшення корисної площі об'єктів при збереженні існуючої споруди;
- термічна стабільність ґрунту;
- не потрібні витрати на зовнішнє оздоблення, фасадні роботи;
- великі терміни експлуатації (200-500 років);
- ізоляваність від поверхневих впливів (шум, погодні умови, вібрації, радіоактивність);
- особливий мікроклімат, низький вміст пилу повітря;
- можливість влаштування в підземних спорудах оборонних об'єктів та ін.
- раціональне та економічне розташування промислових приміщень, інженерних мереж.

При цьому до цього часу виникають складнощі при вирішенні наступних технологічних питань:

- складні ґрунтові умови;
- висока вартість та тривалість підземного будівництва;
- обмеженість за функціональним призначенням;
- відсутність природного висвітлення;
- ризик деформацій чи обвалення під час будівництва підземних об'єктів під існуючими будинками.

Однак незважаючи на певні передумови та просування, освоєння підземного простору українських міст відстає за масштабами та комплексністю в сукупності вимог та тенденцій загальносвітового розвитку.

1.2. Існуючі способи зведення підземних споруд та досвід технології пересування будівель

Освоєння підземного простору в обмежених умовах та щільній міській забудові потребує застосування сучасних технологій будівництва, детального опрацювання проєктних рішень, високої кваліфікації робітників та належного рівня безпеки праці. Основними технологіями для зведення підземних споруд у класичному поданні є методи «стіна в ґрунті» та декельні методи, більш відомі як «top-down».

Застосування методу «стіна в ґрунті» при розвитку підземного простору дає можливість зниження фінансових витрат, за рахунок відсутності методів зі зміцнення укосів, зниження рівня ґрунтових вод, а в стиснених міських майданчиках, можливо, одним з єдино використовуваних способів. Технологія застосовується у разі високого рівня підземних вод, при необхідності виконання великого об'єму земляних робіт, а також у разі необхідності виконання складної форми будівлі у плані. Даний метод підходить для влаштування підземних споруд у стиснених міських умовах, протифільтраційних завіс, тунелі дрібного закладення для метро.

Класифікація технології «Стіна у ґрунті» з урахуванням аналізу літератури [] представлено на рис.1.4.



Рисунок 1.4 – Класифікація технології «стіна в ґрунті»

Основні переваги методу «стіна у ґрунті» полягають у: відсутності необхідності розробки котлованів; зменшенні об'ємів земляних робіт; високої несучої здатності. Недоліками даної технології є: слабе зчеплення арматури та бетону; висока вартість технології; складність виробництва, у зимових умовах.

Освоєння підземного простору в обмежених умовах та щільній міській забудові потребує застосування сучасних технологій будівництва, детального опрацювання проєктних рішень, високої кваліфікації робітників та належного рівня безпеки праці, що призводить до розвитку та впровадження нових технологій. Своє широке застосування отримали декількі методи виконання робіт. У разі потреби будівництва будівель з розвиненою підземною частиною, цей метод дає можливість прискорити процес будівництва за рахунок

одночасного ведення робіт у підземній та надземній частині . Технології ділять на два види: - закритий спосіб; напівзакритий спосіб.

Найбільше застосування та розвиток дана технологія знайшла в азіатських країнах: Китай, Гонконг, Малайзія. Широке застосування обумовлено тим, що дана технологія дозволяє виконувати роботи в обмежених міських умовах, скоротивши ризик негативного впливу на довколишні будівлі та ґрунти основи.

Технології «top-down» включає такі етапи: 1) пристрій шпунтового огороження з виготовленням паль по периметру або пристрою «стіни в ґрунті»; 2) влаштування плити перекриття, що є нульовою відміткою для верхнього підземного поверху; 3) будівництво одночасно надземної частини будівлі із підземною частиною зі зведенням необхідних конструкцій [209, 93].

До основних переваг цієї технології належить:

- можливість ведення будівельних робіт за умов щільної міської забудови;
- зниження негативного впливу будівництва на довколишні забудови.

До основних недоліків належить:

- прийняття складних технологічних рішень, що веде до детального опрацювання проєктної документації, ретельної та відповідальної роботи з боку підрядних організацій [43];
- подорожчання процесу будівництва.

Аналізуючи способи розробки підземного будівництва, досить складно відзначити універсальні варіанти для будівництва всіх типів об'єктів. Розвиток цих видів технологій дозволить впровадити більшу кількість підземних об'єктів, що призведе до сталого розвитку міського простору.

На шляху вирішення питання переспірання будівель на нові фундаменти заслуговує на увагу досвід підйому, повороту та перенесення будівель.

Вперше технологію переміщення будівлі застосували в епоху Відродження. У 1455 році італійський архітектор та інженер з Болоньї

Рідольфо Арістотель Фьораванті (1415–1486) пересунув у своєму рідному місті Болоньї дзвіницю церкви «Санта Марія Маджоре» [9].

Далі інформація про подібний досвід у світі відсутня. Починаючи з 1870 року зустрічаються приклади пересування невеликих будівель у США. Найбільш масштабним можна вважати пересування 552 будинків на відстань близько 2,5 км в Осборні у зв'язку з майбутньою повинню [].

Технологічні операції, що виконуються при підготовці до пересування будівлі багато в чому аналогічні технології пересування будівлі на нові фундаменти. Незважаючи на те, що цей спосіб рідко застосовується, в даний час відома низка організацій, що спеціалізуються в цьому питанні: "Expert House Movers", "Wolfe" (рис 1.5).



Рисунок 1.5– Пересування будівлі церкви XIX ст., м. Сейлем, штат Массачусетс, США

Технологічні операції, що виконуються при підготовці до пересування будівлі багато в чому аналогічні технології пересування будівлі на нові фундаменти.. Для перенесення будівель розглядають дві основні технології:

1) метод підтягування, де використовується система поліспастів та електролебідок; 2) використання гідравлічних домкратів.

У технології пересування будівель переважний інтерес становлять початкові – підготовчі – технологічні операції, які проводяться на конструктивних елементах будівель:

- обстеження технічного стану будівлі;

- виконання заходів щодо підвищення жорсткості будівель;
- відключення та перемикання інженерних комунікацій;
- будову тимчасових конструкцій, що сприймають вагу будівлі, та включення їх у роботу;
 - прорізання старих фундаментів та переопирання будівлі на тимчасові конструкції.

Далі в технології пересування будівель зазвичай виконують підйом будівлі на висоту 50-100 мм за допомогою домкратів для того, щоб здійснити горизонтальне переміщення будівлі над фундаментами, що залишилися. На даному етапі важливо дотримуватися синхронності підйому, щоб уникнути нерівномірних деформацій будівлі.

На наступному етапі за допомогою домкратів або лебідок виконується пересування будівлі зазвичай на візках (іноді самохідних) на колісному ході, або рідше по рейках, при цьому траєкторія переміщення може бути прямолінійною, радіальною та з поворотом, а також зі зміною висотної позначки.

1.3. Вітчизняний і зарубіжний досвід освоєння підземного простору під будівлею, що реконструюється.

1.3.1. Дослідження вітчизняного досвіду пересадки будівель на нові фундаменти

Розвиток підземного простору під існуючими будинками є актуальною темою для великих мегаполісів, особливо для центральних частин міста із щільною історичною забудовою. Найчастіше при реконструкції будівель виконується лише посилення фундаментів, без розробки підземного простору. В даний час існує безліч методів посилення, проте при реставрації будівель необхідно ретельніше підходити до цього питання, враховуючи новітні розробки в цій галузі. Для отримання найкращого результату забезпечення додаткового запасу міцності на перспективу зміни геотехнічних умов основ

будівлі необхідно в комплексі застосовувати зазначені прийоми, особливо заходи, спрямовані на передачу навантажень від будівель на більш глибокі шари ґрунту. Для цього, в першу чергу, необхідно забезпечити жорсткість та незмінність надземних конструкцій будівель, після чого приступати до підземних робіт.

Збільшення підземного простору пов'язане з метою створення нових додаткових приміщень. Аналіз основних напрямів використання підземного простору наведено на блок-схемі 1.6.

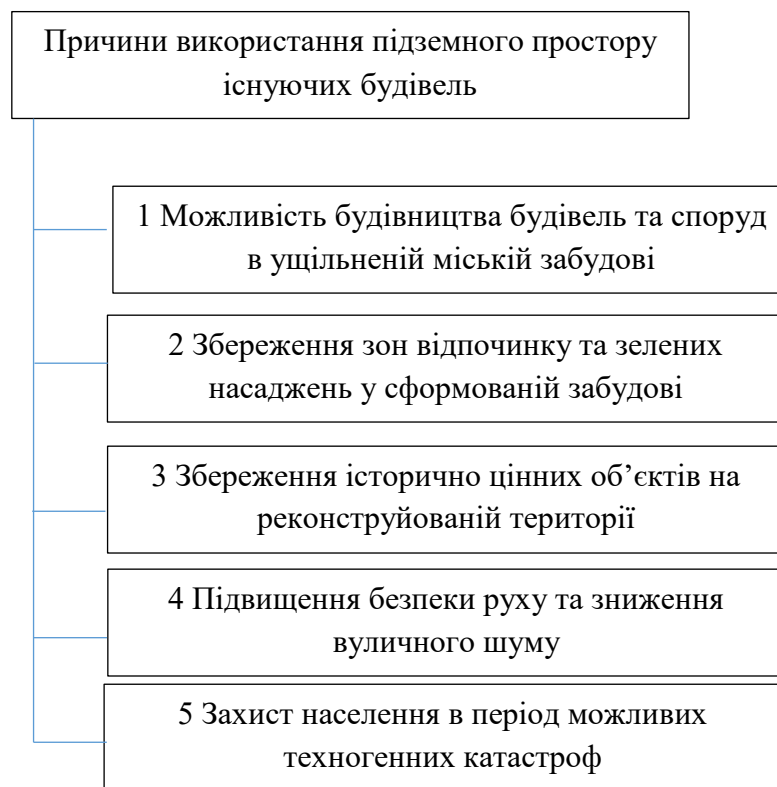


Рисунок 1.6 – Основні причини використання підземного простору існуючих будівель

Вибір технології посилення основ та фундаментів залежить від категорії стану будівлі, а також категорії ризику передбачуваних робіт із консервації, реставрації чи реконструкції. Реконструкція в загальному розумінні може бути пов'язана зі змінними навантаженнями на існуючі фундаменти за рахунок

додаткових надбудов, заміни дерев'яних перекриттів залізобетонними, зміни технології та ін. Однак у сучасних умовах масштабної урбанізації, ущільнення міської забудови та збереження історично цінних об'єктів культурної спадщини, у пріоритетному порядку необхідно опрацьовувати варіанти пересадки об'єктів, що реконструюються, на заглиблені фундаменти та можливість використання додаткового підземного простору під існуючими будинками.

Основними при виборі технології збільшення підземного простору є ряд організаційно-технологічних факторів, такі як, оптимальний вибір засобів механізації з розробки внутрішнього ґрунту, оснащеність підрядної організації кваліфікованими кадрами, раціональна організація процесу виконання робіт, оптимізація часу (сезонності) проведення роботи, забезпечення, пов'язаних з конструктивними особливостями будівлі, станом ґрунту та умовами проведення будівельно-монтажних робіт. Розробленим на сьогодні обладнанням можна виконувати роботи з посилення основ та фундаментів технологічно, швидко, надійно, з мінімальним використанням ручних операцій.

1.3.2. Зарубіжний досвід реконструкції будівель з улаштуванням нових підземних поверхів

Зарубіжними прикладами використання підземних просторів під існуючими будинками можуть бути «Реконструкція в Оксфордському університеті», Великобританія, 2019 р., «Каплиця Санта-Лузія», Сан-Паулу, Бразилія, 2018 р., «Національний театр Греції» – реновація із поглибленням підземного простору.; виконано підземні зали у «Мадридському королівському театрі» [64], комплекс із 19 історичних будівель за адресою 655 Нью-Йорк Авеню, Вашингтон, округ Колумбія, 20 001, США.

В Куїнс-коледжі в Оксфорді під історичним садом була інтегрована нова бібліотека, що примикає до існуючої бібліотеки, що є пам'яткою архітектури (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Центральна частина Acland House, розташована на плиті розподілу навантаження, Оксфорд

Компанія «Praeter Engineering» брала участь в одному з найбільших будівельних проектів у Шотландії. У проекті «St. James Quarter» роботи включали збереження існуючої будівлі «John Lewis Partnership», водночас дозволяючи продовжити будівництво під експлуатованим будинком. Було виконано 9 колон, що підтримують південну сторону будівлі «JLP», які були успішно «підняті домкратом» на тимчасові естакади, існуючі бетонні колони були прорізані під опорною пластиною захвату та видалені (рис. 1.8).

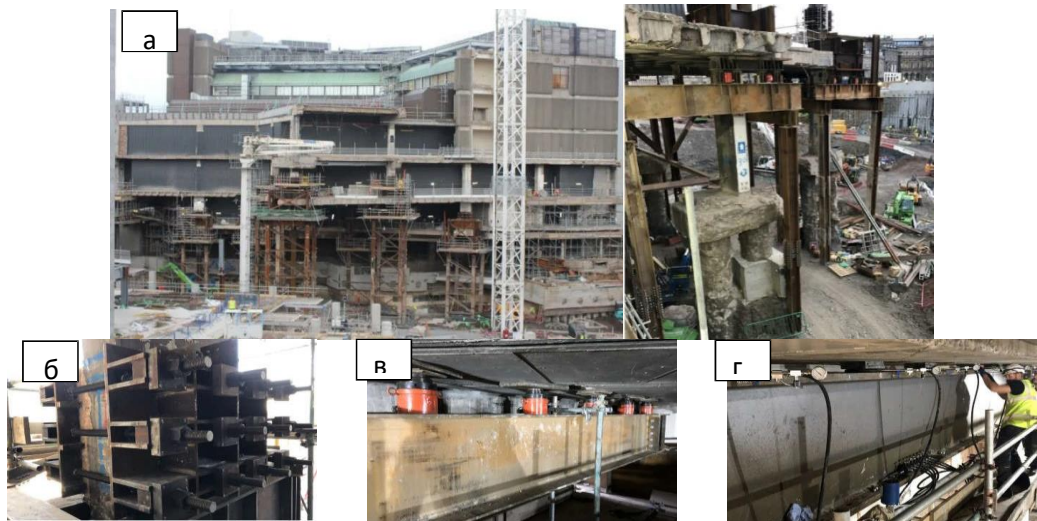


Рисунок 1.8 – Підйомні механізми під час реконструкції будівлі «Единбург Сент-Джеймс», Единбург, Шотландія, 2021 рік. а – загальний вигляд; б – стрижні Macalloy; в – плоскі домкрати Praeter FJ12-FJ48; г – тензодатчики

Існуючі колони підтримувалися захватами для сталевих конструкцій шляхом натягу кількох стрижнів через колону і навколо неї. Навантаження на естакади варіювалися від 100 до 450 т, додаткові балки, що проходять між естакадами, підтримували новий конструктивний стик існуючих плит. Підрядник застосував комбінацію гідравлічних циліндрів та плоских домкратів для підтримки існуючої надбудови у поєднанні з тензодатчиками та системою цілодобового моніторингу в режимі реального часу. Після того, як земляні роботи були завершені, навантаження від існуючих колон було перенесено на нові колони.

У проєкті було застосовано: гідравлічні циліндри: 32 x 200Т, плоскі домкрати Praeter FJ12–FJ48, 16 тензодатчиків по 200 тонн. Виконувався постійний моніторинг, натяг стрижнів Macalloy становив до 100 000 кН.

Завершений багатофункціональний комплекс у Нью-Йорку включає 19 історичних будівель до нового конгломерату забудови [193]. При реконструкції території виконувалося пересування окремих будівель, а також пересадження окремих будівель на нові фундаменти (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Реконструкція комплексу будівель з пересуванням та розробкою підземного простору. Нью-Йорк-авеню, 655, Вашингтон, округ Колумбія, США

Технологія пересадки каплиці «Капелла де Санта-Луїза» в Бразилії має деякі відмінності від загальноприйнятої технології: через відносно невеликих розмірів будівлі, пильовий ряд виконаний тільки по зовнішньому контуру будівлі, ну 19 метрів, ширину 17 метрів і товщину 1,15 метра, що спирається на палі по периметру, що служить для сприйняття навантажень від зовнішніх і внутрішніх стін будівлі, а потім також виконана розробка ґрунту. Вага каплиці складає 1075 тон. Глибина палі становить 54 метри, діаметр 1 метр. Кожна з палі підтримує 500 тон. Проектна глибина підземної споруди 31 м [191] (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10– Розробка підземного простору каплиці Санта-Лузія у Сан-Паулу, Бразилія

Будинок Джона Ірвіна 1873 р. - це історична будова, розташована в, одному з найстаріших житлових будинків, що збереглися в його околицях, розташований за адресою 21 Grenville Street. У 2012, 2013 та 2014 роках квартал навколо будинку був перебудований у 50-поверхову висотну будівлю, та були проведені заходи збереження будинку Джона Ірвіна (рисунок 1.11).

Будинок був тимчасово перенесений на бетонну платформу, яку підтримували глибокі палі, що проходили через кілька підземних поверхів до скелі. Після закінчення реконструкції проектом передбачено пристосування історичної будівлі під об'єкт комерційного призначення.

На основі аналізу реалізованих об'єктів встановлено, що технологія пересадки будівель, що застосовується в зарубіжних проектах, загалом ідентична загальноприйнятій схемі:

1. Виконується посилення кістяка будівлі, що реконструюється;
2. При необхідності, або у випадках, коли площа плями забудови підземного об'єкта перевершує площу реконструйованої будівлі, відсікається периметр котловану підвалу тимчасовими палами, що січуться, або шпунтом, пов'язаними ростверком;



Рисунок 1.11 - Дім Джона Ірвіна 1873, Торонто, Канада. Реконструкція
Едінбург Сент-Джеймс

3. Влаштування буронабивних паль зовні та зсередини стін будівлі з урахуванням забезпечення несучої здатності в період та після закінчення розробки підземної частини;
4. У рівні обрізу фундаменту виконується ростверк або рандбалка, або суцільна залізобетонна плита;
5. Влаштування додаткових тимчасових конструкцій, що забезпечують просторову стійкість системи, що реконструюється, – новий фундамент у період виконання БМР (зв'язку, розпірки тощо).
6. Розробка ґрунту під будівлею, що вміщує, в плямі забудови підземного об'єкта.
7. Влаштування нових фундаментів будівлі, що реконструюється.
8. Тимчасові палі зрізаються на цокольній плиті і під перехідною плитою, залишаючи будівлю, що спирається на постійну конструкцію.

1.3.3. Аналіз відомих вітчизняних та зарубіжних винаходів

У галузі вдосконалення технологічних рішень влаштування підземних поверхів під існуючими будинками з пересадкою будівель на нові фундаменти глибокого закладання зустрічаються винаходи вітчизняних та зарубіжних авторів.

У більшості винаходів при влаштуванні багатоземного підземного простору під існуючим будинком пропонуються різні варіанти методу «top-down», що дозволяють вести роботи в закритому просторі під захистом раніше виконаних конструкцій.

Винахід для влаштування підземних поверхів під реконструйованим будинком. У даному винаході пропонується пристрій зовнішнього ряду буронабивних паль, об'єднаних залізобетонною плитою під контуром стін у відмітці близько 0.000. Розробка підземних поверхів також виконується методом top-down (рисунок 1.12).

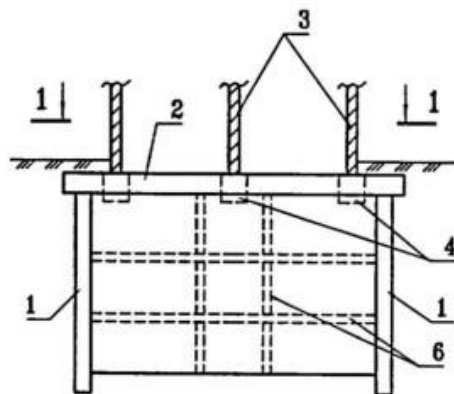


Рисунок 1.12 – Схема влаштування підземного поверху 1 – стіни підземної споруди; 2 – залізобетонна несуча плита; 3 – несучі стіни будівлі; 4 – фундаменти; 6 – конструкції підземних поверхів

Продовженням розвитку напряму є технологічні рішення, описані в винахідрах (рисунок 1.13).

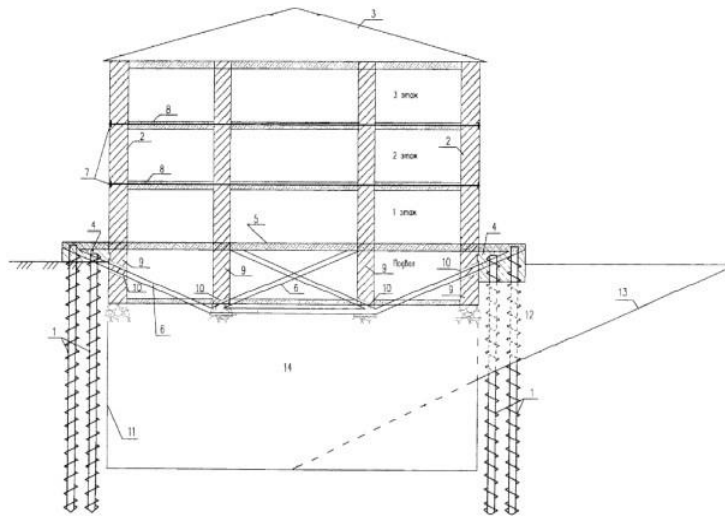


Рисунок 1.13– Схема влаштування підземного поверху 1 – одинарний чи подвійний ряд паль; 2, 3 – будинок; 4 – складний ростверк; 5 – з/б плита; 6 – стрижні ферм; 7 – пояси посилення; 8 – перекриття; 9 – стіна підвалу чи цокольного поверху; 10 – отвори для стрижнів ферм; 11 – об'єм підземного об'єкта; 12 – порталний отвір; 13 – пандус; 14 – ґрунт

У винаході вдосконалені технологічні рішення щодо влаштування підземної частини будівель, що реконструюються: пропонується пристрій одинарного або подвійного ряду гвинтових паль (за рахунок чого знижується ймовірність вертикальних і горизонтальних деформацій); опорна плита, яка передає навантаження від ваги будівлі на фундаменти, посилена просторовою фермою; розробку ґрунту простору, що вміщає підземний об'єкт, пропонується вести через зовнішній пандус; необхідно підвищення жорсткості будівлі за рахунок посилення поясами.

Як приклад зарубіжних розробок можна навести винахід, розроблений китайськими новаторами. У винаході пропонується пристрій огорожувальних стін у ґрунті по периметру будівлі, нових фундаментів глибокого закладання з ряду гвинтових паль безпосередньо під контуром стін будівлі, що реконструюється, пропонується авторська конструкція ростверків, а палі в обсязі поземної споруди посилені зв'язками. Додатково пропонується

варіанти влаштування підземного об'єкта з плямою забудови, що перевищує і менше будівлі, що реконструюється (рис. 1.14)

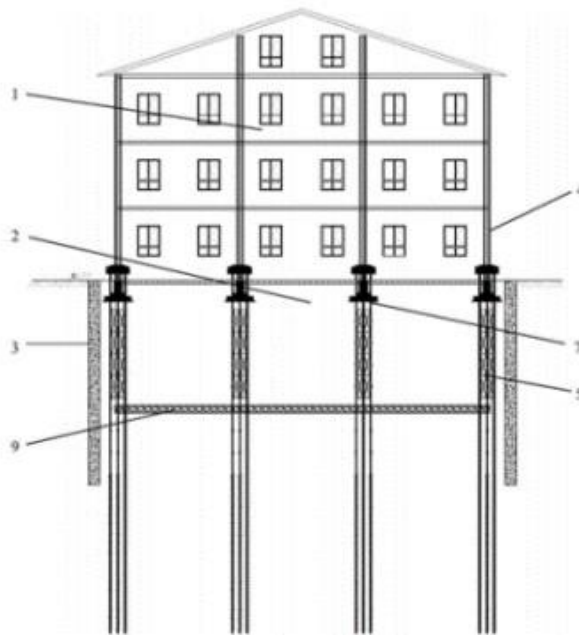


Рисунок 1.14 – Схема влаштування підземного поверху:

1 - будівля; 2 – підземна споруда; 3 – контур огороження підземної частини; 4 - існуючі стіни та/або колони будівельних конструкцій; 5 - зв'язки по палях; 7 – оригінальний фундамент; 9 - нижня плита підземної споруди

В іншому китайському винаході, присвяченій каркасним будинкам, пропонується пристрій тимчасових фундаментів, що підтримують стовпчасті фундаменти, пристрій буроін'єкційних паль під подошвою фундаментів у проєкції колон, демонтаж тимчасових фундаментів і устрійство підземного об'єкта.

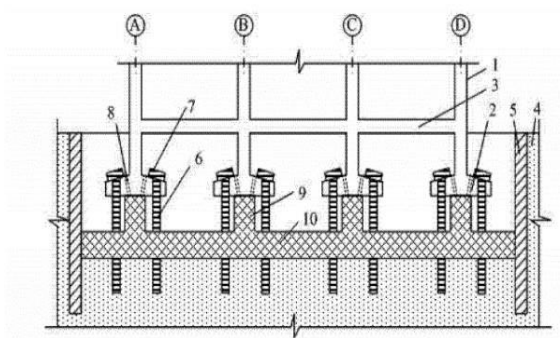


图 8

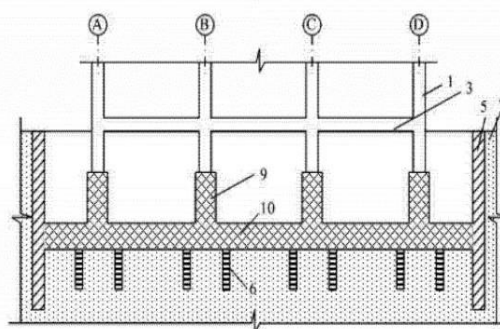


Рисунок 1.15 – Схема влаштування підземного поверху:

1 – колона будівлі; 2 – стовпчастий фундамент; 3 – перекриття; 4 – ґрунт; 5 – підпірна стіна; 6 – паля; 7 – амортизуючий ковпачок; 8 - буросікаючі палі; 9 – нова основа колони; 10 – нова фундаментна плита

1.4. Оптимізація організаційно-технологічних рішень при облаштуванні підземних просторів під існуючими будинками

Зведення та реконструкція об'єктів може здійснюватися за різними організаційно-технологічними схемами, зумовленими безліччю факторів, взаємопов'язаних між собою, що по-різному впливають на процес зведення, підсумкову тривалість та вартість проєкту. Кожен із чинників, своєю чергою, також може характеризуватись кількома ознаками.

Формування організаційно-технологічного рішення - це складний процес, з великою кількістю залучених учасників та зацікавлених сторін. У багатьох випадках в оцінці будівельних проєктів використовують експертні методи оцінок.

Основними критеріями оцінки ефективності будівельного виробництва при здійсненні будівництва та реконструкції об'єктів є: скорочення тривалості реалізації проєкту, забезпечення якості, відповідність вартості будівництва або реконструкції, забезпечення виробничої, екологічної безпеки проєкту та ін. Дані показники опрацьовуються на стадії розробки проєкту та передбачається їх реалізація на етапі проведення робіт. Однак, як показує практичний досвід, на стадії здійснення проєкту найчастіше відбуваються порушення графіка, що позначається на тривалості проведення робіт, кошторисній вартості будівництва (реконструкції), якості будівельної продукції тощо.

З вихідної інформації виконується підготовка організаційно-технологічних рішень, у якій мають бути враховані конструктивні особливості об'єкта, зовнішні обмежуючі чинники (стислість умов, часові рамки, транспортне забезпечення, логістика), наявність трудових ресурсів у районі будівництва та інших.

Для оцінки організаційно-технологічних рішень застосовуються методи та способи їх виміру. Перспективними є методи оптимізації, зокрема методи оптимізації великомасштабних задач, які успішно застосовуються за наявності всієї необхідної інформації. Основною проблемою використання методів багатокритеріальної оптимізації при вирішенні задач, що дозволяють формалізувати обмежену кількість параметрів, є також проблема взаємної кореляції різних критеріїв.

Ранжування критеріїв за значимістю може бути досягнуто експертними методами, наприклад, методом Дельфі, методом експертних оцінок та ін.

Для вирішення задач оптимізації прийняття організаційно-технологічних рішень останнім часом спостерігається тенденція оцінки параметрів проєктних рішень на основі нейромережових моделей.

1.5. Аналіз методів активного моніторингу та контролю якості виконання робіт при реконструкції будівель

Важливим етапом контролю якості є моніторинг за станом будівлі. Одним із видів моніторингу є геотехнічний моніторинг – це комплекс інженерно-геодезичних вимірів, які проводяться з метою виявлення деформацій існуючої будівлі до початку виконання робіт, або під час проведення будівельних робіт, для того щоб забезпечити безпеку будівництва та уникнути можливих незворотних процесів у конструкціях.

До задач моніторингу входить забезпечення надійності системи «основа спорудження» об'єкта, що будується або реконструюється, поблизу розташованих будівель і споруд, недопущення негативних змін навколишнього середовища, розробка технічних рішень попередження та усунення відхилень, що перевищують передбачені в проєкті, а також здійснення контролю за виконанням прийнятих рішень. Систему моніторингу будівлі, що реконструюється, можна представити в наступному виді

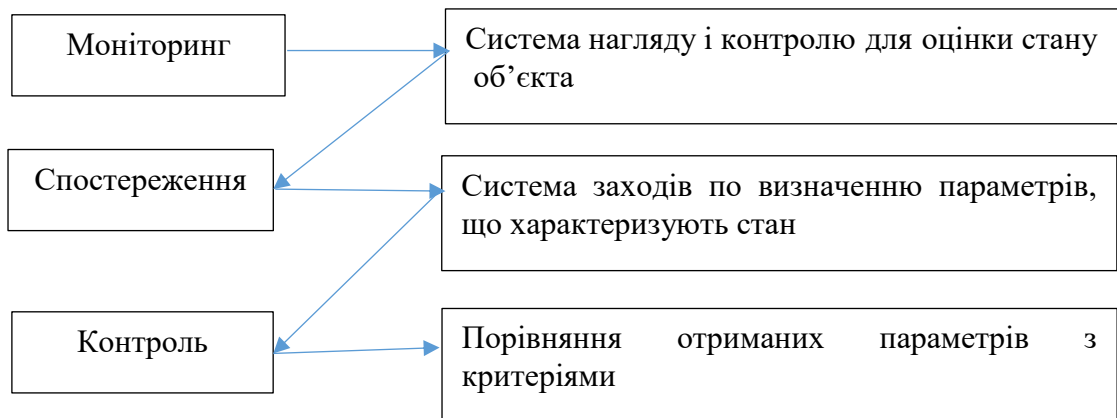


Рисунок 1.16 – Система моніторингу

До початку проведення моніторингу збирається та аналізується архівний матеріал, що містить інформацію про технічний стан будівлі, споруди або житлового комплексу, виконані ремонтні роботи, акти та приписи спеціалізованих експлуатаційних організацій про стан інженерного

обладнання. На підставі цих даних видається завдання на обстеження технічного стану будівлі з урахуванням особливостей будівель, наявних дефектів та пошкоджень, діючих експлуатаційних та зовнішніх навантажень, агресивних впливів, планованих робіт з реконструкції та умов експлуатації. Складається програма проведення моніторингу, де мають бути зазначені, методика виконання робіт, строки їх тривалості та вид отриманих результатів.

На сьогоднішній день в частині нормативної документації з проведення науково-технічного супроводу (далі – НТС) існують: посібник з науково-технічного супроводу та моніторингу будівель і споруд, що будуються, у тому числі великопрогонових, висотних та унікальних; технічні рекомендації з науково-технічного супроводу та моніторингу будівництва великопрогонових, висотних та інших унікальних будівель та споруд.

Останнім часом для робіт з моніторингу широкого поширення набули 3D сканери різних типів. За принципом дії ці типи приладів поділяють на контактні та безконтактні. Найбільш поширені безконтактні типи сканерів. Такі сканери отримали назву наземні лазерні сканери (далі – НЛЗ) або 3D сканерами.

На практиці, при складній конфігурації об'єкта, несприятливих умовах сканування, великої кількості далеких об'єктів та неякісному вирівнюванні даних, похибка часто перевищує зазначені значення. У зв'язку з цим потрібна перевірка цієї гіпотези та пошук більш точних методів моніторингу для своєчасного та оперативного коригування організаційно-технологічних рішень.

Таким чином, здійснення контролю технологічних процесів збільшення підземного простору будівель, що реконструюються при влаштуванні підземних об'єктів під існуючими будинками, є актуальним, і необхідно розробляти більш досконалі методи інструментального контролю технологічних процесів.

Висновки

1. Високі темпи глобальної урбанізації вимагають вирішення питань широкого та всебічного розвитку комплексного освоєння підземного простору в аспекті збереження об'єктів культурної спадщини в історичних центрах та стримування безперервного зростання міських територій. При цьому підземні об'єкти мають широкий спектр експлуатаційних переваг і нереалізований потенціал розвитку частки підземних об'єктів на величину щонайменше 12-17 % доводять актуальність теми дисертаційного дослідження.

2. В результаті аналізу нормативної, науково-технічної літератури встановлено, що існуючі методи збільшення підземного простору під існуючими будинками не завжди можуть бути застосовні на практиці. Необхідно вдосконалювати питання оптимізації та пошук нових організаційно-технологічних рішень під час виконання робіт. Необхідний пошук та вдосконалення методів контролю якості технологічних процесів, використовуючи сучасніші методи інструментального контролю.

3. Аналіз розглянутих технологій дозволяє зробити висновок, що технологічні процеси розширення підземного простору існуючих будівель повинні включати наступні етапи: 1) посилення основи, фундаментів, стін існуючої будівлі, підвищення жорсткості основної будівлі; 2) вибір методу влаштування тимчасового і нового фундаментів (підбір буронабивних паль: довжини, діаметра, а також обладнання та спеціальної техніки); 3) вибір способу влаштування підземного простору; 4) підготовка спеціальних заходів щодо захисту території від підземних вод та нерівномірних осад; 5) постійний моніторинг у процесі проведення БМР, взаємодія та, за необхідності, коригування організаційно-технологічних рішень. Сукупність виділених етапів вимагає вдосконалення організаційно-технологічних рішень, які дають можливість розширити підземний простір існуючих будівель, зберігаючи при цьому економічну ефективність будівлі, знижуючи трудомісткість робіт,

скорочуючи тривалість проведення робіт та зберігаючи цілісність та надійність існуючих будівель.

4. Останніми роками спостерігається тенденція збільшення кількості винаходів у галузі влаштування підземних просторів під існуючими будинками, що підкреслює актуальність наряду дослідження.

5. Необхідно вдосконалювати методи контролю якості технологічних процесів зі збільшенням підземних просторів існуючих будівель, застосовуючи досконаліші методи інструментального контролю.

2. НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ НАЙБІЛЬШ ЗНАЧУЩИХ ЗАХОДІВ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ НА ЕТАПАХ РОЗРОБКИ ПОС І МОНІТОРИНГА

2.1 Формування основних критеріїв та заходів, що впливають на оптимізацію організаційно-технологічних процесів

У числі відповідальних за реалізацію проєктів з реконструкції об'єктів з улаштуванням під ними додаткових підземних поверхів, крім загальноприйнятих учасників будівництва в особі забудовника, технічного замовника, інвестора, проєктувальника та особи, що здійснює будівництво, державного будівельного нагляду, найчастіше залучаються реставратори і будівельне планування та ін.

У зв'язку з розширеним колом відповідальних осіб задача додатково ускладнюється, починаючи зі стадії ескізного проєкту і опрацювання економічної доцільності, оскільки необхідно врахувати безліч факторів, таких як архітектурний вид будівлі, розташування будівлі в умовах забудови, ґрунто-геологічні умови, забезпечення збереження ОКН, включаючи зони охорони об'єкта ного ландшафту), реставраційні, археологічні та містобудівні вимоги, і при цьому проєкт має бути економічно життєздатним.

У процесі аналізу технологічних факторів та обґрунтування вибору найбільш ефективної технології влаштування підземних об'єктів під існуючими будинками виконано аналіз відомих способів переспирання будівлі на нові фундаменти, способи розробки ґрунту в обмежених умовах, потребу в машинах та механізмах тощо.

На стадії розробки проєкту на підставі календарного плану або мережевого графіка виконання робіт, графіка роботи машин та механізмів, а також об'єктного будженплану визначаються часові рамки для виконання тих чи інших типів робіт, та підсумкові терміни будівництва та реконструкції об'єкта.

Науково-методичні основи побудови моделей при розробці проекту в класичному поданні базуються на оптимізації робіт з урахуванням груп факторів, таких як технологія виробництва БМР, контроль якості робіт, ресурси особи, що здійснює будівництво, зовнішні фактори, тривалість робіт, прив'язка до кліматичних умов, необхідністю переміщення будівельного містечка та реалізацією об'єкта. Важливим фактором є підбір комплектів машин та механізмів для комплексної механізації будівельних робіт, що базується на технічних характеристиках, тривалості взаємодії, швидкості потоку тощо. [62, 47].

Однак при аналізі достовірних джерел встановлено, що питання організаційно-технологічного проектування з урахуванням адаптації процесів щодо об'єктів, що реконструюються, зі збільшенням підземного простору залишається маловивченим.

На підставі експертного опитування було виділено п'ять критеріїв, шість заходів на стадії проектування та п'ять заходів на стадії моніторингу, а також виконано їхнє ранжування.

Критерії, що забезпечують єдиний підхід до вибору оптимальних організаційно-технологічних рішень при влаштуванні підземних об'єктів під існуючими будинками, наведено в таблиці 2.1.

К₁ - Відповідність об'єкта реконструкції вимог проектно-кошторисної документації є одним з найважливіших критеріїв. У відповідність до вимог Містобудівного кодексу об'єкти, закінчені будівництвом чи реконструкцією, повинні відповідати проектній документації. У процесі проведення будівельно-монтажних робіт виникає необхідність оптимізації окремих проектних рішень, в окремих випадках, включаючи конструкції, що впливають на несучу здатність. Необхідно прагнути мінімізації відхилень від проектною документації, що пройшла експертизу. Альтернативними методами є експертний супровід процесу виконання робіт із боку експертної організації, повторне проходження експертизи чи затвердження змін, внесених у проектну документацію.

Таблиця 2.1 – Критерії оцінки ефективності технології влаштування підземних об'єктів під існуючими будинками

Позначення	Найменування критерію
К1	Відповідність об'єкту реконструкції вимогам ПСД
К2	Забезпечення виробничої та екологічної безпеки, облік умов обмеженості будівельного майданчика
К3	Скорочення тривалості реконструкції
К4	Забезпечення якості виконання робіт
К5	Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів (скорочення вартості проєкту)

К2 – Забезпечення виробничої та екологічної безпеки, урахування умов обмеженості будівельного майданчика чи зовнішні обмежуючі чинники.

При виробництві будівельно-монтажних робіт повинні передбачатися заходи щодо запобігання та усунення забруднення навколишнього середовища, застосовуватися ресурсозберігаючі, маловідходні, безвідходні та інші технології, що сприяють запобіганню та усуненню забруднення навколишнього середовища, охороні навколишнього середовища.

Організація будівельного виробництва та ділянки виконання робіт повинні забезпечувати безпеку виконання функціональних обов'язків та знаходження людей на будівельному майданчику на всіх етапах реконструкції.

Під обмеженими умовами будівництва розуміються умови, що обмежують робочу зону використовуваних машин і механізмів або зумовлюють непродуктивні дії та маневри, що створюють незручності транспортування, зберігання та подачі будівельних матеріалів та конструкцій, що призводить до зниження продуктивності праці та робіт.

Наявність стислих умов забудованої частини міст обумовлюються присутністю трьох з наступних факторів:

- інтенсивного міського руху транспорту та пішоходів поблизу будівлі;
- розгалуженою мережею підземних комунікацій;

- житлових та виробничих будівель у безпосередній близькості від місця виконання робіт;
- обмеженість умов складування;
- під час будівництва об'єктів, коли щільність забудови перевищує нормативну на 20% і більше;
- коли ПОС приписано обмеження повороту стріли баштового крана.

КЗ – Скорочення тривалості реконструкції – дозволить скоротити терміни на стадіях проектування та реконструкції, дозволить скоротити витрати на оплату праці; скоротить терміни окупності, підвищить економічну привабливість та доцільність проекту.

К4 – Забезпечення якості виконання робіт дозволить підвищити надійність, механічну безпеку та довговічність будівлі в цілому, знизить ризик виникнення гарантійних та післягарантійних робіт, та непередбачених витрат на етапі експлуатації будівлі, убезпечить перебування людей та обладнання всередині та поблизу закінченого реконструкцією об'єкта. Порушення якості також може бути спричинене недотриманням технологічної послідовності виконання робіт.

К5 – Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів – оптимальне співвідношення витрат за матеріально-технічне забезпечення будівельного виробництва до економічної ефективності проекту.

Для опрацювання способів підвищення економічної ефективності відтворення та використання матеріально-технічних ресурсів необхідно враховувати заходи, що впливають на прийняття рішень, на різних стадіях проектування, розробки організаційної технологічної документації та безпосередньо проведення будівельно-монтажних робіт. У дослідженні виділено основні заходи на етапах розробки проекту та моніторингу за проведенням БМР.

Відбір основних заходів для побудови моделі виконано на підставі досвідченого та експертного аналізу технологічного процесу влаштування підземних поверхів під існуючими будинками.

Основні заходи на стадії розробки проекту при реконструкції згруповані та представлені в таблиці 2.2.

Для обробки значущості виділених заходів застосовувалися методи математичного аналізу, що враховують комбінації факторів та критеріїв.

Таблиця 2.2 – Заходи, створені задля ефективність реконструкції об'єкта на стадії проектування

Позначення	Захід на стадії розробки проекту
$M_{п1}$	Оптимальний вибір засобів механізації, зокрема малогабаритна техніка
$M_{п2}$	Підбір кваліфікованих кадрів
$M_{п3}$	Раціональні організаційно-технологічні рішення процесу виконання робіт
$M_{п4}$	Оптимізація часу (сезонності) проведення роботи
$M_{п5}$	Організація логістики будівельних матеріалів та технологічного обладнання
$M_{п6}$	Вибір стабільних джерел фінансування

$M_{п1}$ – Оптимальний вибір засобів механізації, зокрема малогабаритна техніка. При реконструкції будівель та споруд: влаштуванні тимчасових підтримуючих конструкцій, демонтажі елементів будівель застосовуються будівельні машини та механізми.

При розробці ґрунтів, демонтажі конструкцій у стиснених умовах використовується малогабаритна будівельна техніка, здатна маневрувати в досить вузьких просторах, і призначена для полегшення ручної праці та збільшення продуктивності робіт. Подібні будівельні машини називають інакше «засобами малої механізації». У нормативних документах термін включає в себе машини та допоміжне обладнання, призначені для скорочення витрат ручної праці та механізації трудомістких операцій та окремих процесів.

За даними зарубіжної статистики, зараз вручну виконується близько третини робіт у будівництві, в Україні – близько 50%, тому прагнення до використання малогабаритної будівельної техніки цілком обґрунтоване, завдяки зниженню терміну виконання робіт і вартості порівняно з ручною працею. Використовують малогабаритну техніку і під час роботи у обмежених умовах, де використання великогабаритної техніки практично неможливо – розробки підземних просторів існуючих будинків.

Потреба використання малогабаритної техніки на дистанційному управлінні існує також при роботах на небезпечних, з погляду радіаційно-хімічного і вибухового ураження об'єктах.

Для якісного підбору комплекту машин необхідно сформувавши план раціонального комплекту машин і механізмів, виходячи з якого розраховуються основні характеристики, тип і кількість машин, і навіть доцільність використання механізмів. При експлуатації будівельних машин важливим чинником є організація технічного обслуговування та ремонту.

М_{п2} - Підбір кваліфікованих кадрів – роботи з реконструкції будівель, зокрема при застосуванні технології пересадки будівель на нові фундаменти, найчастіше виконуються на об'єктах культурної спадщини та є унікальними. Тому під час проведення робіт необхідно залучати особу, яка здійснює будівництво, має всі необхідні допуски до робіт, включаючи висококваліфікований персонал всіх рівнів управління.

М_{п3} - Раціональні організаційно-технологічні рішення процесу виконання робіт - при реконструкції будівель, зокрема при збільшенні корисного об'єму будівлі за рахунок розробки підземного простору, необхідно реалізувати величезну кількість складних інженерних рішень, при цьому враховуючи етапність робіт, організацію послідовності та взаємодію субпідрядних організацій, включаючи фахівців з прокладання мереж. Крім того, можливе виникнення непередбачених ситуацій або незапланованих робіт. У зв'язку з цим раціональна організація процесу виконання робіт одна із найважливіших чинників.

М_{п4} - Оптимізація часу (сезонності) проведення роботи. За можливості проведення робіт у теплий період року трудомісткість та строки проведення реконструкції знижуються. У цьому більший вплив сезонність впливає на роботи, що здійснюються на денній поверхні.

М_{п5} – Організація логістики будівельних матеріалів та технологічного обладнання – своєчасне постачання обладнання та будівельних матеріалів забезпечить безперебійну роботу будівельного процесу, що впливає на дотримання термінів реконструкції. Необхідно також врахувати можливість розміщення достатньої кількості матеріалів на приоб'єктному складі або розглянути варіант використання позаоб'єктного складу на оптимальній відстані від об'єкта. Враховуються також терміни виробництва та доставки складних конструкцій, імпортозаміщення, а також ризики затримок виробництва.

М_{п6} - Вибір стабільних джерел фінансування - раціональна система приймання робіт на підставі підтвердження якості виконаних етапів БМР дозволить підвищити ефективність освоєння коштів. При цьому не менш важливою є платоспроможність забудовника та інвесторів проекту.

Основні заходи на стадії моніторингу при реконструкції згруповані та представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Заходи, створені задля ефективності реконструкції об'єкта на стадії моніторингу під час реконструкції

Позначення	Заходи на стадії виконання робіт/моніторингу
М _{р1}	Відповідність організації робіт та МТО учасників будівництва/реконструкції параметрам, закладеним у ПСД
М _{р2}	Коригування графіка виконання робіт з урахуванням необхідності усунення порушень, виявлених з боку контролюючих органів
М _{р3}	Коригування технологічних операцій з урахуванням результатів моніторингу

M_{p4}	Відповідність фактичних гідрогеологічних умов ґрунтів, що вміщують, даним інженерно-геологічних вишукувань.
M_{p5}	Своєчасне фінансування етапів

M_{p1} – Відповідність організації робіт та матеріально-технічного забезпечення (далі – МТЗ) учасників будівництва/реконструкції параметрам, закладеним у ПСД – є одним із найважливіших факторів на етапі реалізації проєкту. Особа, яка здійснює будівництво, повинна виконувати будівельні роботи відповідно до чинного законодавства, проєктної, робочої та організаційно-технологічної документації. У разі наявності відхилень від ПСД у процесі будівництва чи реконструкції, необхідно вносити зміни до документації, що може призвести до додаткових фінансових витрат та збільшення тривалості реконструкції.

M_{p2} – Коригування графіка виконання робіт з урахуванням необхідності усунення порушень, виявлених з боку контролюючих органів – відбувається в основному через непередбачені роботи на виправлення допущених відхилень від вимог нормативної та проєктної документації, які складно передбачити на етапі розробки календарного плану. Крім збільшення тривалості робіт, настають додаткові фінансові витрати виконання додаткових БМР, і навіть оплати штрафів державних контролюючих органів, чи інших штрафів, передбачених договором підряду.

M_{p3} - Коригування технологічних операцій з урахуванням результатів моніторингу - також один із важкопередбачуваних факторів. Технологічна послідовність дій залежно від параметрів деформацій несучих будівельних конструкцій об'єкта (об'єктів) у період ведення будівельно-монтажних робіт (далі – БМР) мають бути передбачені у програмі моніторингу. Супровід об'єкта може виконуватися в рамках геодезичного та геотехнічного моніторингу.

M_{p4} – Відповідність фактичних гідрогеологічних умов вміщуючих ґрунтів даним інженерно-геологічних вишукувань – роботи зі збільшення

підземних просторів будівель можуть проводитися на об'єктах, розташованих у різних кліматичних зонах та в умовах різних ґрунто-геологічних умов. У разі розтину не передбачених проектом інженерно-геологічних елементів та рівня ґрунтових вод виникає необхідність коригування організаційно-технологічних рішень.

M_{p5} - Своєчасне фінансування етапів - також важливий фактор, що дозволяє покривати витрати учасників будівництва для дотримання календарного графіка виконання робіт.

На верхньому рівні ієрархії розташовується мета, що є вибором кращої альтернативи. Другий рівень складається з основних критеріїв оцінки ефективності K_1, K_2, \dots, K_5 . На третьому (останньому) рівні представлені шість заходів на стадії розробки проекту ($M_{п1}, M_{п2}, M_{п3}, \dots, M_{п6}$) та п'ять заходів на стадії моніторингу при реконструкції будівель ($M_{p1}, M_{p2}, M_{p3}, \dots, M_{p5}$).

2.2. Ранжування та обробка факторів, що впливають на вибір організаційно-технологічних рішень щодо пересадки будівель

При вирішенні задач організаційно-технологічного моделювання пристрою підземних поверхів під існуючими будинками необхідно оцінити ступінь впливу різних факторів на процес виконання робіт.

Ранжування виділених критеріїв та заходів виконувалося методом експертних оцінок.

Метод експертних оцінок – це метод організації роботи зі спеціалістами-експертами та опрацювання думок експертів. В основі методу закладено статистичні методи обробки результатів опитування експертів, що ґрунтуються на їх професійному, науковому та практичному досвіді.

Алгоритм математичної обробки даних та перевірки його достовірності представлений на рис.2.1.

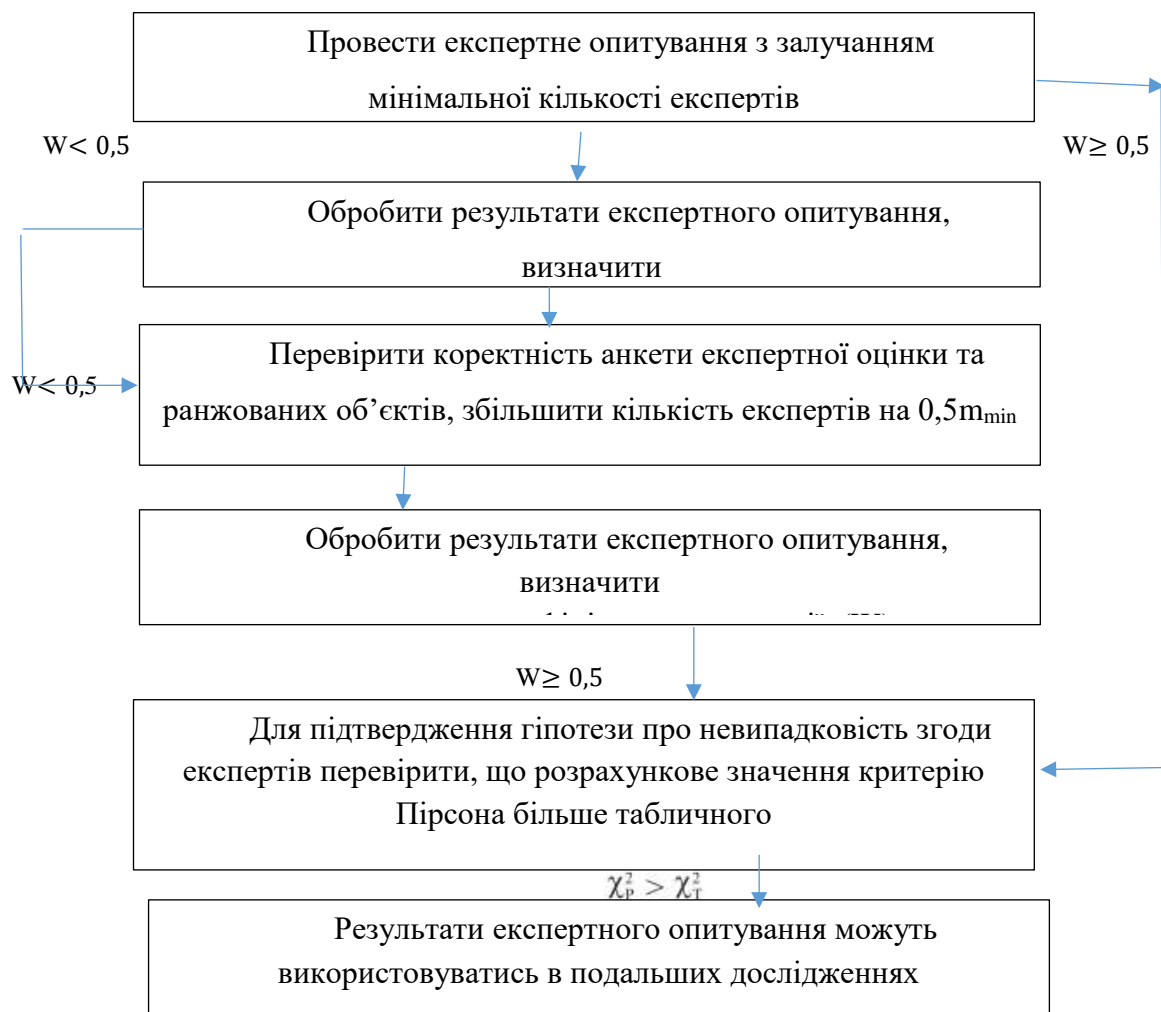


Рисунок 2.1 – Алгоритм проведення експертного аналізу та перевірки його достовірності

Таблиця 2.1 – Матриця для оцінки узгодженості думки експертів для стадії розробки проекту

Заходи, n	Експерти, K						
	1	2	3	4	5	6	7
M _{n1}	5	5	6	4	6	6	6
M _{n2}	6	6	5	6	4	4	5
M _{n3}	1	1	3	1	1	1	2
M _{n4}	4	3	2	5	3	5	4
M _{n5}	2	4	4	3	2	3	3
M _{n6}	3	2	1	2	5	2	1
Разом	21	21	21	21	21	21	21

Таблиця 2.2 – Матриця для оцінки узгодженості думки експертів для стадії розробки проекту

Заходи, m	Експерти, K						
	1	2	3	4	5	6	7
M _p	5	4	4	3	5	4	5
M _{p2}	3	1	3	4	1	5	4
M _{p3}	2	2	2	1	2	2	1
M _{p4}	1	3	1	2	3	1	2
M _{p5}	4	5	5	5	4	3	3
Разом	15	15	15	15	15	15	15

Узагальненим показником думки експертів може бути обчислене середньостатистичне значення важливості певного фактору на стадіях проєктування та моніторингу в балах, обчислене за формулою (2.1):

$$\bar{P} = \sum_{K=1}^K \frac{P_{kn}}{K} \quad (2.1)$$

де P_{kn} – оцінка K-го експерта для n-го фактору;

K – кількість експертів, у цьому дослідженні дорівнює 7.

Для стадії розробки проекту (таблиця 2.1) параметри позначимо індексом «П».

$$\bar{P}_{n1} = (P_{1,1} + P_{2,1} + P_{3,1} + P_{4,1} + P_{5,1} + P_{6,1} + P_{7,1}) / K = (5 + 5 + 6 + 4 + 6 + 6 + 6) / 7 = 5,43$$

$$\bar{P}_{n2} = (P_{1,2} + P_{2,2} + P_{3,2} + P_{4,2} + P_{5,2} + P_{6,2} + P_{7,2}) / K = (6 + 6 + 5 + 6 + 4 + 4 + 5) / 7 = 5,14;$$

$$\bar{P}_{n3} = 1,43; \bar{P}_{n4} = 3,71; \bar{P}_{n5} = 3,00; \bar{P}_{n6} = 2,29.$$

Для стадії моніторингу (таблиця 2.2) параметри позначимо індексом «Р».

$$\bar{P}_{p1} = (P_{1,1} + P_{2,1} + P_{3,1} + P_{4,1} + P_{5,1} + P_{6,1} + P_{7,1}) / K = (5 + 4 + 4 + 3 + 5 + 4 + 5) / 7 = 4,29;$$

$$\bar{P}_{p2} = (3 + 1 + 3 + 4 + 1 + 5 + 4) / 7 = 3,00;$$

$$\bar{P}_{p3} = 1,71; \bar{P}_{p4} = 1,86; \bar{P}_{p5} = 4,14.$$

Для переходу від таблиці оцінок до ранжирування, фактору, що має найбільшу оцінку в балах, присвоюється вищий ранг, з найменшою оцінкою – нижчий ранг. Тоді ранжування даних для стадій розробки проекту та моніторингу можна подати у такому вигляді

(Таблиці 2.3, 2.4):

Таблиця 2.3 - Ранжування значущості заходів для стадії розробки проекту

Захід, n	Ранг
M _{п1}	6
M _{п2}	5
M _{п3}	1
M _{п4}	4
M _{п5}	3
M _{п6}	2

Таблиця 2.4 - Ранжування значимості заходів для стадії моніторингу

Захід, m	Ранг
M _{р1}	5
M _{р2}	3
M _{р3}	1
M _{р4}	2
M _{р5}	4

2.3. Побудова математичної моделі

Рівень узгодженості думок експертів за всіма критеріями та факторами класифікується коефіцієнтом конкордації Кенделла (W) за формулою (2.2)

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})}{K^2 \cdot (n^3 - n)} \quad (2.2)$$

де: S_n - сума рангів, призначених експертами n -му фактору;

\bar{S} - середнє значення відповідної суми рангів;

n - кількість досліджуваних параметрів;

K - кількість експертів.

Коефіцієнт конкордації може набувати значень у межах від нуля до одиниці, причому при $W = 1$ спостерігається максимальна узгодженість думок експертів. Вважається, що для прийняття думок експертів у дослідженнях необхідно, щоб коефіцієнт конкордації був не меншим за $W \geq 0,5$. Обчислення суми рангів для кожного фактору виконується за формулою (2.3):

$$S_n = \sum_{K=1}^K P_{kn} \quad (2.3)$$

Для стадії розробки ПОС, сума рангів дорівнюватиме.

$$S_{n1} = 5 + 5 + 6 + 4 + 6 + 6 + 6 = 38;$$

$$S_{n2} = 6 + 6 + 5 + 6 + 4 + 4 + 5 = 36;$$

$$S_{n3} = 10; S_{n4} = 26; S_{n5} = 21; S_{n6} = 16.$$

Для стадії моніторингу сума рангів дорівнюватиме.

$$S_{p1} = 5 + 4 + 4 + 3 + 5 + 4 + 5 = 30;$$

$$S_{p2} = 3 + 1 + 3 + 4 + 1 + 5 + 4 = 21;$$

$$S_{p3} = 12; S_{p4} = 13; S_{p5} = 29.$$

Обчислення середнього значення сум рангів факторів виконується за формулою (2.4):

$$\bar{S} = \frac{\sum_{n=1}^N S_n}{N} \quad (2.4)$$

$$\bar{S}_n = (S_{n1} + S_{n2} + S_{n3} + S_{n4} + S_{n5} + S_{n6}) / 6 = (38 + 36 + 10 + 26 + 21 + 16) / 6 = 24,50;$$

$$\bar{S}_p = (S_{p1} + S_{p2} + S_{p3} + S_{p4} + S_{p5}) / 5 = (30 + 21 + 12 + 13 + 29) / 5 = 21.$$

Визначення квадратичних відхилень сум рангів від їхнього середнього значення за чисельником формули (2.2):

$$(S_{n1} - \bar{S}_n)^2 = (38 - 24,50)^2 = 13,50^2 = 182,25;$$

$$(S_{n2} - \bar{S}_n)^2 = (36 - 24,50)^2 = 11,50^2 = 132,25;$$

$$(S_{n3} - \bar{S}_n)^2 = (10 - 24,50)^2 = -14,50^2 = 210,25;$$

$$(S_{n4} - \bar{S}_n)^2 = (26 - 24,50)^2 = 1,50^2 = 2,25;$$

$$(S_{n5} - \bar{S}_n)^2 = (21 - 24,50)^2 = -3,50^2 = 12,25;$$

$$(S_{n6} - \bar{S}_n)^2 = (16 - 24,50)^2 = -8,50^2 = 72,25.$$

$$(S_{p1} - \bar{S}_p)^2 = (30 - 21)^2 = 9^2 = 81;$$

$$(S_{p2} - \bar{S}_p)^2 = (21 - 21)^2 = 0^2 = 0;$$

$$(S_{p3} - \bar{S}_p)^2 = (12 - 21)^2 = 9^2 = 81;$$

$$(S_{p4} - \bar{S}_p)^2 = (13 - 21)^2 = -8^2 = 64;$$

$$(S_{p5} - \bar{S}_p)^2 = (29 - 21)^2 = 8^2 = 64.$$

Загальна сума балів для стадії розробки проекту дорівнюватиме:

$$\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 = 182,25 + 132,25 + 210,25 + 2,25 + 12,25 + 72,25 = 611,5.$$

Загальна сума для стадії моніторингу дорівнюватиме:

$$\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 = 81 + 0 + 81 + 64 + 64 = 290.$$

Заносимо отримані значення комбіновані таблиці 2.5 і 2.6.

Таблиця 2.5 – Комбінована таблиця даних для оцінювання узгодженості експертів для стадії розробки проекту

Заходи, n	Середнє значення	Сума рангів	Відхилення від середнього (d)	Квадрат відхилення (d ²)
M _{n1}	5,43	38	13,50	182,25
M _{n2}	5,14	36	11,50	132,25
M _{n3}	1,43	10	-14,50	210,25
M _{n4}	3,71	26	1,50	2,25
M _{n5}	3,00	21	-3,50	12,25
M _{n6}	2,29	16	-8,50	72,25
Разом	21,00	147	0,00	611,5

Таблиця 2.6 – Комбінована таблиця даних для оцінювання узгодженості експертів для стадії розробки проєкту

Заходи, n	Середнє значення	Сума рангів	Відхилення від середнього (d)	Квадрат відхилення (d ²)
M _{p1}	4,29	30	9,00	81
M _{p2}	3,00	21	0,00	0
M _{p3}	1,71	12	-9,00	81
M _{p4}	1,86	13	-8,00	64
M _{p5}	4,14	29	8,00	64
Разом	15,00	105	0,00	290

Рівні узгодженості думок експертів для стадії розробки ПОС та моніторингу (коефіцієнт конкордації Кенделла) знаходимо за формулою (2.2)

$$W_{\Pi} = \frac{12 \cdot \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 \cdot (n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 611,5}{7^2 \cdot (6^3 - 6)} = 0,7131$$

$$W_p = \frac{12 \cdot \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 \cdot (n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 290}{7^2 \cdot (5^3 - 5)} = 0,5918$$

Перевіряємо необхідну умову узгодженості думок експертів:

$$W \geq 0,5 \quad (2.5)$$

Оскільки $W_{\Pi} = 0,7131 \geq 0,5$,

$$W_p = 0,5918 \geq 0,5,$$

тоді узгодженість експертів доказана.

У виді кількісної оцінки ступеню випадковості використовується рівень значимості коефіцієнту конкордації. Цей рівень знаходиться з таблиць на підставі зіставлення числа ступеню свободи (N-1) з величиною χ^2 (критерія Пірсона):

$$\chi^2 = K \cdot (n - 1) \cdot W \quad (2.6)$$

На наступному етапі перевіряється випадковість узгодженості експертів у зв'язку з критерієм узгодженості Пірсона.

$$\chi_{\text{п}}^2 = 7 \cdot (6 - 1) \cdot 0,7131 = 24,96$$

$$\chi_{\text{р}}^2 = 7 \cdot (5 - 1) \cdot 0,5918 = 16,57.$$

Отримані результати порівнюються з таблицями на підставі зіставлення числа ступенів свободи (N-1) з величиною табличного значення критерія Пірсона

$$\chi^2 > \chi_{\tau}^2 \quad (2.7)$$

де

χ^2 – розрахункове значення критерія Пірсона;

χ_{τ}^2 - табличне значення критерія Пірсона.

$$\chi_{\text{п}}^2 = 24,96 \geq \chi_{\tau}^2$$

$$\chi_{\text{р}}^2 = 16,57 \geq \chi_{\tau}^2.$$

Встановлено, що розрахункові коефіцієнти Пірсона більше табличних величин, тоді розрахункові коефіцієнти Кенделла для стадій розробки проєкту і моніторингу – не випадкові величини і можуть бути використані в подальших дослідженнях.

2.4. Багатокритеріальний аналіз ефективності заходів на стадії розробки проєкту та моніторингу

Відповідно до методики виконується математичний аналіз отриманих даних. З метою визначення важливості критеріїв та оцінок результатів використано матриці парних порівнянь [128]. У цьому методі результати зіставляються між собою за рівнем їх важливості і представляються як вектору пріоритетів, визначальний сукупність коефіцієнтів «важливості» («значимості») результатів.

За шкалою пріоритетів значимості заходів, створеної першому етапі, формується можлива комбінація заходів, ранг яких заданий у відповідність до думкою експертів. При заповненні матриці парних порівнянь визначальними є елементи вище за діагоналі матриці. Елементи нижче діагоналі обчислюються з умови $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

За результатами досліджень щодо різних заходів у будівельному виробництві на стадії організаційно-технологічного проектування та розробки проєкту виконано ранжування заходів за ступенем їх важливості (таблиця 2.6).

Таблиця 2.7 - Ранжування заходів на стадії розробки проєкту

Позначення	Заходи на стадії проектування	Ранг значимості
$M_{п1}$	Оптимальний вибір засобів механізації, зокрема малогабаритної техніки	6
$M_{п2}$	Підбір кваліфікованих кадрів	5
$M_{п3}$	Раціональні організаційно-технологічні рішення процесу виконання робіт	1
$M_{п4}$	Оптимізація часу (сезонності) проведення роботи	4
$M_{п5}$	Організація логістики будівельних матеріалів та технологічного обладнання	3
$M_{п6}$	Вибір стабільних джерел фінансування	2

Показники важливості заходів визначаємо за формулою (2.8):

$$M_{пm} = \frac{2(n-i)}{n(n+1)} \cdot 100 \quad (2.8)$$

де n – кількість заходів;

i – заданий ранг заходу/

Індекс $пm$ – етап проектування та тип заходу.

$$M_{п1} = \frac{2(6 - 6 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 4,76$$

$$M_{п2} = \frac{2(6 - 5 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 9,52$$

$$M_{п3} = \frac{2(6 - 1 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 28,6$$

$$M_{п4} = \frac{2(6 - 4 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 14,29$$

$$M_{п5} = \frac{2(6 - 3 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 19,05$$

$$M_{п6} = \frac{2(6 - 2 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 23,81$$

Виділяємо основні критерії з метою оцінки ефективності реконструкції. Виконуємо їх ранжування кожного заходу з таблиці 2.7.

Таблиця 2.8 – Ранжування критеріїв для заходу $M_{п1}$

Критерій	Ранг
K_1 - Відповідність вимогам ПСД	5
K_2 – Забезпечення виробничої та екологічної безпеки, облік умов обмеженості будівельного майданчика	2
K_3 – Скорочення тривалості реконструкції	4
K_4 – Забезпечення якості виконання робіт	3
K_5 – Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів	1

Показники важливості заходів визначаємо за формулою

$$K_{n-M} = \frac{2(n-i+1)}{n(n+1)} 100 \quad (2.9)$$

де n – кількість критеріїв;

M - різні заходи;

i – заданий ранг.

$$K_{1-Mп1} = \frac{2(5-5+1)}{5(5+1)} 100 = 6,67$$

$$K_{2-Мп1} = \frac{2(5-2+1)}{5(5+1)} 100 = 26,67$$

$$K_{3-Мп1} = \frac{2(5-4+1)}{5(5+1)} 100 = 13,33$$

$$K_{4-Мп1} = \frac{2(5-3+1)}{5(5+1)} 100 = 20$$

$$K_{5-Мп1} = \frac{2(5-1+1)}{5(5+1)} 100 = 33,3.$$

Виконаємо ранжування критеріїв щодо другого заходу.

Ранги критеріїв для заходу М_{п2} - Підбір кваліфікованих кадрів" наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Ранжування критеріїв для заходу М_{п2}

Критерій	Ранг
К ₁ - Відповідність вимогам ПСД	2
К ₂ - Стисненість умов будівельного майданчика	5
К ₃ – Скорочення тривалості реконструкції	4
К ₄ – Забезпечення якості виконання робіт	1
К ₅ – Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів	3

З урахуванням результатів досліджень щодо впливу різних типів заходів на ефективність будівельного виробництва на стадії моніторингу виконано ранжування заходів за ступенем їхньої значущості (таблиця 2.10).

Таблиця 2.10 - Ранжування заходів на стадії моніторингу

Позначення	Заходи на стадії виконання БМР	Ранг значимості
М _{р1}	Відповідність організації робіт та МТО учасників будівництва/реконструкції параметрам, закладеним у ПСД	5
М _{р2}	Коригування графіка виконання робіт з урахуванням необхідності усунення порушень, виявлених з боку контролюючих органів	3
М _{р3}	Коригування технологічних операцій з урахуванням результатів моніторингу	1

M_{p4}	Відповідність фактичних гідрогеологічних умов ґрунтів, що вміщують, даним інженерно-геологічних вишукувань.	2
M_{p5}	Своєчасне фінансування етапів	4

Показники важливості заходів визначаємо за формулою (2.8):

$$M_{p1} = \frac{2(6 - 5 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 6,6667$$

$$M_{p2} = \frac{2(6-3+1)}{6(6+1)} 100 = 20$$

$$M_{p3} = \frac{2(6 - 1 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 33,33$$

$$M_{p4} = \frac{2(6-2+1)}{6(6+1)} 100 = 26,6667$$

$$M_{p5} = \frac{2(6-4+1)}{6(6+1)} 100 = 13,3333$$

Таблиця 2.11 – Ранжування критеріїв для заходу M_{p1}

Критерій	Ранг
K_1 - Відповідність вимогам ПСД	5
K_2 – Забезпечення виробничої та екологічної безпеки, облік умов обмеженості будівельного майданчика	4
K_3 – Скорочення тривалості реконструкції	1
K_4 – Забезпечення якості виконання робіт	3
K_5 – Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів	2

Ранги критеріїв для заходу « M_{p2} – Коригування графіка виробництва робіт з урахуванням необхідності усунення порушень з боку контролюючих органів»

Таблиця 2.12 – Ранжування критеріїв для заходу M_{p2}

Критерій	Ранг
K_1 - Відповідність вимогам ПСД	5
K_2 – Забезпечення виробничої та екологічної безпеки, урахування умов обмеженості будівельного майданчика	4

К ₃ – Скорочення тривалості реконструкції	1
К ₄ – Забезпечення якості виконання робіт	3
К ₅ – Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів	2

Показники важливості заходів визначаємо:

$$K_{1-Mp2} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,67$$

$$K_{2-Mp2} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,33$$

$$K_{3-Mp2} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,333$$

$$K_{4-Mp2} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20$$

$$K_{5-Mp2} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,667$$

Виконаємо ранжування критеріїв четвертого заходу.

Ранги критеріїв для заходу «М_{р4} – Відповідність фактичних умов гідрогеологічних умов ґрунтів, що вміщують даним інженерно геологічних вишукувань», наведено в таблиці 2.30.

Таблиця 2.13 – Ранжування критеріїв для заходу М_{р4}

Критерій	Ранг
К ₁ - Відповідність вимогам ПСД	4
К ₂ – Забезпечення виробничої та екологічної безпеки, облік умов обмеженості будівельного майданчика	3
К ₃ – Скорочення тривалості реконструкції	1
К ₄ – Забезпечення якості виконання робіт	2
К ₅ – Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів	5

Показники важливості заходів визначаємо:

$$K_{1-Mp4} = \frac{2(5-4+1)}{5(5+1)} 100 = 13,333$$

$$K_{2-Mp4} = \frac{2(5-3+1)}{5(5+1)} 100 = 20,000$$

$$K_{3-Mp4} = \frac{2(5-1+1)}{5(5+1)} 100 = 33,333$$

$$K_{4-Mp4} = \frac{2(5-2+1)}{5(5+1)} 100 = 26,667$$

$$K_{5-Mp4} = \frac{2(5-5+1)}{5(5+1)} 100 = 6,667$$

Виконаємо ранжування критеріїв п'ятого заходу.

Ранги критеріїв для заходу «M_{p5} – Своєчасне фінансування етапів

Таблиця 2.14 – Ранжування критеріїв для заходу M_{p5}

Критерій	Ранг
K ₁ - Відповідність вимогам ПСД	1
K ₂ – Забезпечення виробничої та екологічної безпеки, облік умов обмеженості будівельного майданчика	4
K ₃ – Скорочення тривалості реконструкції	3
K ₄ – Забезпечення якості виконання робіт	2
K ₅ – Ефективність застосування матеріально-технічних ресурсів	5

Показники важливості заходів визначаємо:

$$K_{1-Mp5} = \frac{2(5-1+1)}{5(5+1)} 100 = 33,333$$

$$K_{2-Mp5} = \frac{2(5-4+1)}{5(5+1)} 100 = 13,333$$

$$K_{3-Mp5} = \frac{2(5-3+1)}{5(5+1)} 100 = 20,000$$

$$K_{4-Mp5} = \frac{2(5-2+1)}{5(5+1)} 100 = 26,667$$

$$K_{5-Mp5} = \frac{2(5-5+1)}{5(5+1)} 100 = 6,667$$

Результати статистичного аналізу значимості критеріїв для заходів на стадії моніторингу (рис.2.1)

Найбільш важливим критерієм для заходу $M_{p1} \in K_5-M_{p1}$, для заходу $M_{p2} \in K_3-M_{p2}$, для заходу $M_{p3} \in K_3-M_{p3}$, для заходу $M_{p4} \in K_3-M_{p4}$, для заходу $M_{p5} \in K_1-M_{p5}$

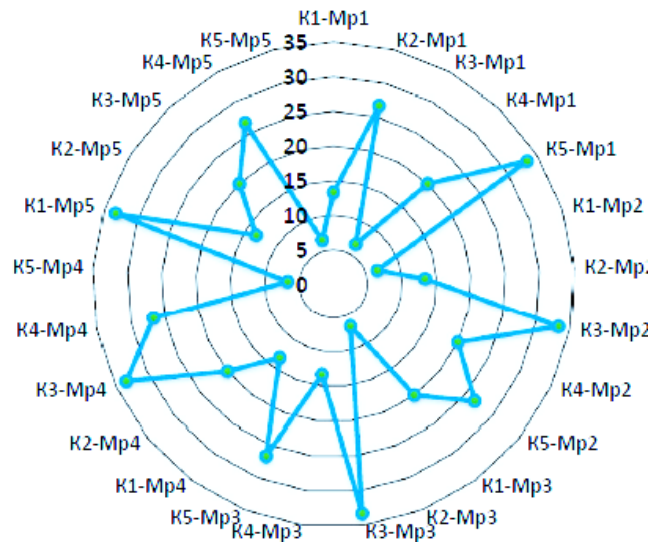


Рисунок 2.1 – Графічна оцінка значимості критеріїв для заходів на стадії моніторингу

Висновки

Проведено експертне опитування із семи експертів з метою оцінки важливості основних заходів при проведенні реконструкції з улаштуванням нових підземних поверхів під існуючим будинком на етапі розробки проекту та моніторингу виконання робіт.

На стадії проєктування найбільшу значущість набули заходи щодо «раціональної організації процесу виконання робіт» та «вибору стабільних джерел фінансування».

На стадії моніторингу/виробництва робіт найбільшу значимість набув захід «коригування технологічних операцій з урахуванням результатів моніторингу» з показником важливості 33,33.

За результатами багатокритеріального аналізу встановлено, що з заходів на стадії проєктування та моніторингу найважливішим є критерій «К4 – Забезпечення якості виконання робіт».

Урахування цих заходів сприяє оптимізації організаційно-технологічних рішень на стадіях проектування та безпосереднього проведення будівельних робіт при супроводі у вигляді моніторингу, що призведе до підвищення якості будівельних робіт з реконструкції об'єктів з улаштуванням додаткових підземних просторів.

3. ФОРМУВАННЯ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ ПРИСТРОЇ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ ІСНУЮЧОГО БУДИНКУ НА СТАДІЯХ РОЗРОБКИ ПОС І МОНІТОРИНГУ

3.1. Оптимізація організаційно-технологічних рішень на стадії розробки ПОС

За підсумками ранжування критеріїв для заходів на стадіях розробки ПОС та моніторингу отримано показники важливості критеріїв для кожної стадії. На стадії проектування найбільшу значущість набули заходи «Раціональні організаційно-технологічні рішення процесу виконання робіт».

У зв'язку з цим необхідно вирішити задачу пошуку оптимальних організаційно-технологічних рішень при розробці підземного простору існуючої будівлі, яка забезпечує ефективне виконання будівельно-монтажних робіт.

Проаналізувавши існуючі способи влаштування підземних просторів під існуючими будинками, встановлено, що необхідно вдосконалювати питання оптимізації та пошук нових організаційно-технологічних рішень при виробництві робіт, необхідний пошук і вдосконалення методів контролю якості технологічних процесів, використовуючи сучасні методи інструментального контролю.

Провівши дослідження відомих способів переспірання будівель на нові фундаменти, встановлено, що в даній технології існують напрями по оптимізації технологічних рішень, такі як пристрій подвійного ряду паль по зовнішньому контуру будівлі, пристрій комбінованої з фермами несучої плити, пристрій резервного додаткового порталу для доступу до підземного простору об'єкта.

3.1.1. Побудова розрахункової моделі

Об'єктом, для виконання чисельних розрахунків, виступає 3-поверхова будівля з розмірами в плані 18,0 х 6,0 м. Конструктивна схема прийнятої реконструйованої будівлі – безкаркасна. Є діафрагми жорсткості як сходових маршів. Фундаменти дрібного закладення стрічкові, виготовлені з керамічної цегли. Стіни виконані з повнотілої керамічної цегли різних розмірів 250×120×65 мм на складному вапняному розчині.

Конструктивна схема нової підземної частини будівлі – каркасна. Просторова жорсткість та стійкість будівлі забезпечується спільною роботою колон з дисками перекриттів (жорстке опирання). Фундамент – суцільна монолітна залізобетонна плита завтовшки 600 мм. Основою фундаментної плити служить міцний ґрунт. Міжповерхові перекриття – монолітні завтовшки 200 мм.

В якості навантаження було прийнято власну вагу споруди та корисне навантаження у розмірі 100 кН/м^2 , що приходить на покриття та перекриття споруди. Важливим етапом при застосуванні даної технології є посилення існуючої будівлі та забезпечення безпечного ведення будівельних робіт, у зв'язку з цим побудовано модель будівлі з використанням програм ЛПА для моделювання посилення будівлі (рисунок 3.1).

При посиленні існуючої будівлі використовуються такі види балок:

- швелери (рандбалки) по нижньому поясу будівлі, що стягуються болтами;
- поперечні двотаврові балки, які сприймають навантаження від рандбалки ;
- ростверки - двотаври в перерізі, що передають навантаження на буронабивні палі.

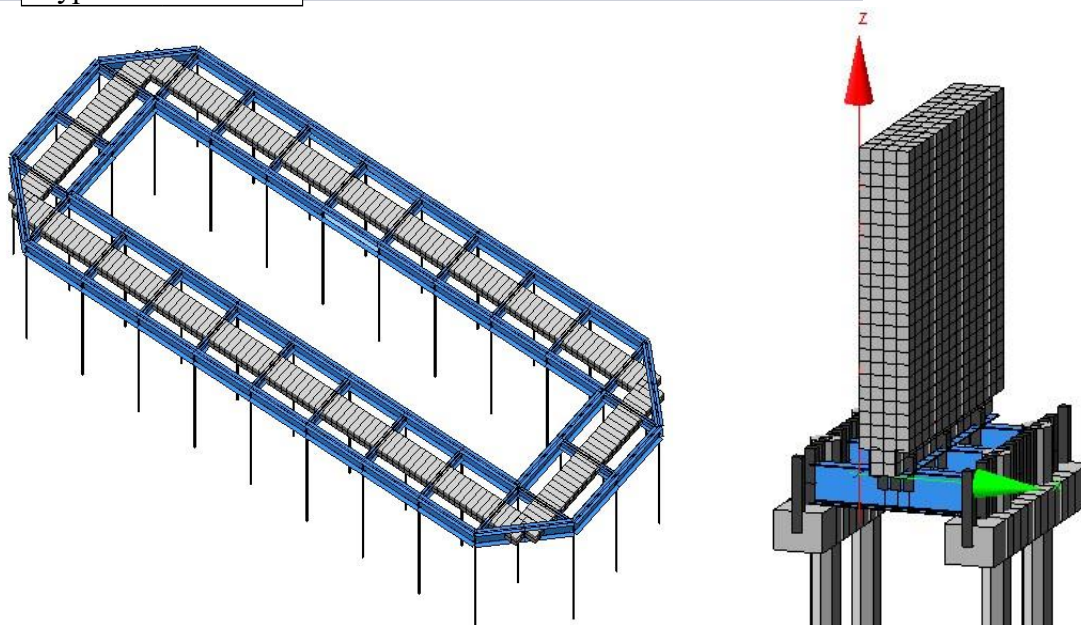
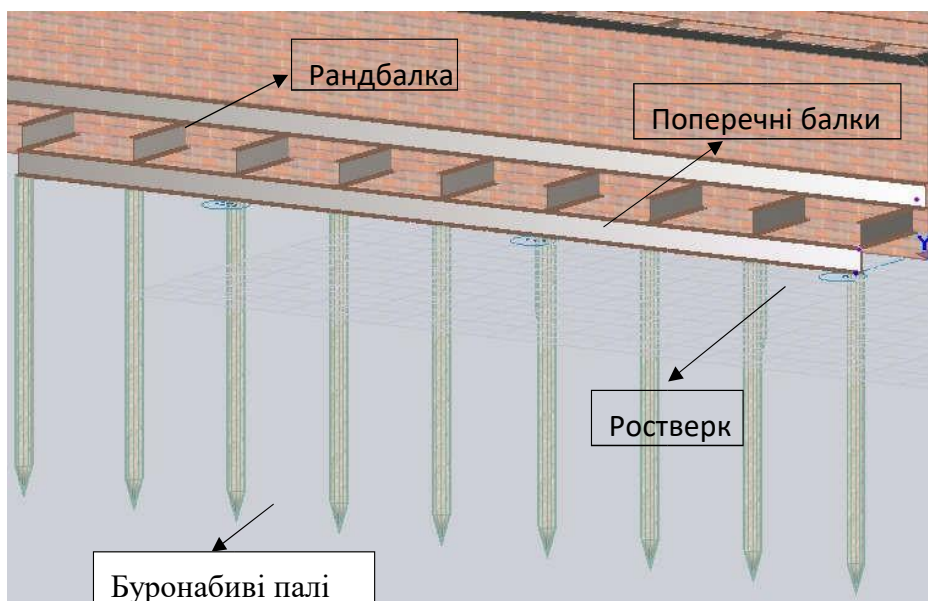


Рисунок 3.1 – розрахункова модель. а) модель будівлі; б) модель будівлі, збудована в ЛІРА; в) фрагмент ділянки стіни, збудований у ЛІРА

Мета побудови розрахункової моделі полягає в тому, щоб побудувати універсальну математичну модель, яка дозволить швидко і правильно визначати загальні трудовитрати при влаштуванні вузлів переопирання існуючих несучих конструкцій будівлі на нові фундаменти через визначення конструктивних параметрів: перетину підсилювальних балок, розташування і кроку балок, палі, прикладається на. ня, довжини палі.

Даний розрахунковий алгоритм, розроблений в ПК Excel, дає можливість при зміні навантаження і кроку балок швидко і правильно знаходити перерізи швелерів і двотавра, також визначити довжину палі та діаметр, забезпечивши достатню несучу здатність для сприйняття вище навантажень, що передаються. Ця таблиця є оптимізаційною, тобто дозволяє з варіацій можливих умов і даних вибрати найбільш оптимальний варіант, який визначається екстремумом (максимум або мінімум функції).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		вар 1		вар 2		вар 3			вар 4		вар 5		вар 6		вар 7		вар 8		вар 9		
2	шаг свай	1		2		1			2		0,79289		2,2071		1,5		1,5		1,5		
3	радіус рандбалки																				
4	q, расч	100		100		200 кН/м			200		150		150 кН/м		79,289		220,71		150		150 кН/м
5	длина стени	1		2		1 м			2		0,79289		2,2071 м		1,5		1,5		1,5		1,5 м
6	момент	8,3333333		33,3333333		16,6666667 кН*м			66,6667		7,85843		60,8911 кН*м		14,8667		41,8831		28,125 кН*м		28,125 кН*м
7	сечение штр	68,027211		272,108844		136,054218 см 3			544,218		64,1505		497,07 см 3		121,361		337,821		229,592 см 3		229,592 см 3
8	№ швеллера	14 П		27 П		20 П			36 П		14 П		36 П		18 П		30 П		30 П		24 П
9	вес рандбалки	0,123		0,277		0,184 кН/м			0,419		0,123		0,419 кН/м		0,174		0,318		0,24		0,24 кН/м
10	W	70,4		310		153			603		70,4		603		133		389		243		243
11	обеспечение несущ способности усиления	0,9682956 норм		0,8777046 норм		0,889244987 норм			0,90252 норм		0,91123 норм		0,82433 норм		0,91249 норм		0,88844 норм		0,94482 норм		0,94482 норм
12	прогиб	2,7186-12 норм		4,34826-11 норм		5,4939316-12 норм			8,76-11 норм		1,66-12 норм		9,76-11 норм		1,16-11 норм		36-11 норм		2,16-11 норм		2,16-11 норм
13																					
14	расч балок для выщипывания																				
15	q	100,2588		100,5817		200,3864 кН/м			200,88		150,258		150,88 кН/м		79,6544		221,378		150,504		150,504 кН/м
16	шаг балки	0,5		1		0,5 м			1		0,39645		1,10355 м		0,75		0,75		0,75		0,75 м
17	длина балки выщипывания	3		3		3 м			3		3		3 м		3		3		3		3 м
18	опорная реакция от рандбалки	25,064675		50,29085		50,0966 инч			100,44		29,7816		83,2518 инч		29,8701		83,0167		56,439 инч		56,439 инч
19	момент	37,596863		75,436275		75,1449 кН*м			150,66		44,6769		124,878 кН*м		44,8056		124,525		84,6585 кН*м		84,6585 кН*м
20	сечение штр	156,65359		314,317813		313,10375 см 3			627,75		186,154		520,323 см 3		186,69		518,854		352,744 см 3		352,744 см 3
21	№ двутавра	20		27		27			36		22		35		22		33		27		27
22	шаг балки выщипывания	0,21		0,315		0,315 кН/м			0,486		0,24		0,422 кН/м		0,24		0,422		0,315		0,315 кН/м
23	w	184		371		371			743		232		597		232		597		371		371
24	обеспечение несущ способности усиления	0,8513782 норм		0,84721782 норм		0,843945418 норм			0,84489 норм		0,80239 норм		0,87156 норм		0,8047 норм		0,8691 норм		0,95079 норм		0,95079 норм
25																					
26	расч ростверка																				
27	q	51,45215		51,2831		102,1777 кН/м			101,971		77,0361		76,6445 кН/м		40,8352		112,461		76,575		76,575 кН/м
28	момент	4,2876792		17,0943667		8,514808333 кН*м			33,9903		4,03589		31,1131 кН*м		7,6566		21,0865		14,3578 кН*м		14,3578 кН*м
29	сечение штр	35,001463		139,54585		69,50863946 см 3			277,472		32,946		253,985 см 3		62,5029		172,135		117,207 см 3		117,207 см 3
30	№ двутавра	10		14		14			24		10		14		14		20		14		14
31	шаг ростверки	0,0946		0,184		0,137 кг/м			0,273		0,0946		0,273 кг/м		0,137		0,21		0,184 кг/м		0,184 кг/м
32	w	39,7		143		81,7			289		289		289		81,7		184		143		143
33	обеспечение несущ способности усиления	0,8816489 норм		0,97584511 норм		0,850778944 норм			0,96011 норм		0,82987 норм		0,87884 норм		0,76503 норм		0,93551 норм		0,81963 норм		0,81963 норм
34																					
35	свай																				
36	радиус свай	0,15 м		0,3		0,3 м			0,3 м		0,3		0,3 м		0,3 м		0,3		0,3		0,3 м
37	длина свай	13 м		20		13 м			25 м		20		22 м		25 м		20		14 м		14 м

Рисунок 3.2 – Розрахунковий алгоритм визначення перерізів балок та довжини палі

За результатами вищенаведених досліджень розраховано вагу конструкцій посилення та трудовитрати на одиницю довжини будівельної продукції (на стіну 12 п. м., таблиці 3.1, 3.2):

Таблиця 3.1 - Визначення трудомісткості окремих будівельних процесів на одиницю довжини будівельної конструкції (стіна завдовжки 12 м)

№ варіанту	Трудомісткість (люд.-година)				
	Палі	Рандбалка	Балка	Ростверк	Загальна трудомісткість
1	58,50	57,75	274,72	3,08	394,07
2	96,93	130,05	214,29	5,99	447,27
3	117,01	86,39	412,09	4,46	619,96
4	121,16	196,72	330,61	8,90	657,41
5	207,71	57,75	392,70	3,08	661,25

6	91,39	196,72	262,21	8,90	559,23
7	155,78	81,69	213,50	4,46	455,45
8	124,62	149,30	375,41	6,84	656,19
9	87,23	112,68	280,22	5,99	486,14

Таблиця 3.2 - Вага металокопструкцій

№	Вага (кН/м)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
на 1 м	0,34	0,51	0,51	0,93	0,37	0,86	0,42	0,76	0,57
на 12 м	20,97	23,34	31,32	35,56	27,73	31,64	19,7	34,19	26,24

На основі отриманих розрахунків та аналізу, зіставлення різних комбінацій поєднань кроку балок та навантаження виведено формулу (3.1) знаходження загальної ваги металевих копструкцій посилення будівлі для виявлення оптимального кроку балок:

$$W = 2 \cdot W_p + n \cdot l \cdot W_{гб.} + 2 \cdot W_{рост.} \quad (3.1)$$

де W – загальна вага металу;

W_p - вага рандбалки;

$n = (L/m + 1)$; L – довжина ділянки (будівлі);

l -довжина поперечної балки;

$W_{гб.}$ – вага поперечних (головних балок);

$W_{рост.}$ -вага ростверка;

m - крок розміщення балок.

Використовуючи цю формулу, побудований графік (рисунок 3.3) залежності кроку балок від ваги металевих копструкцій. З графіка слідує, що зниження кроку балок менше 0,5 м та збільшення кроку балок більше 1 м викликає значне підвищення ваги металокопструкцій.

P , загальна вага металевих конструкцій (кН/м)

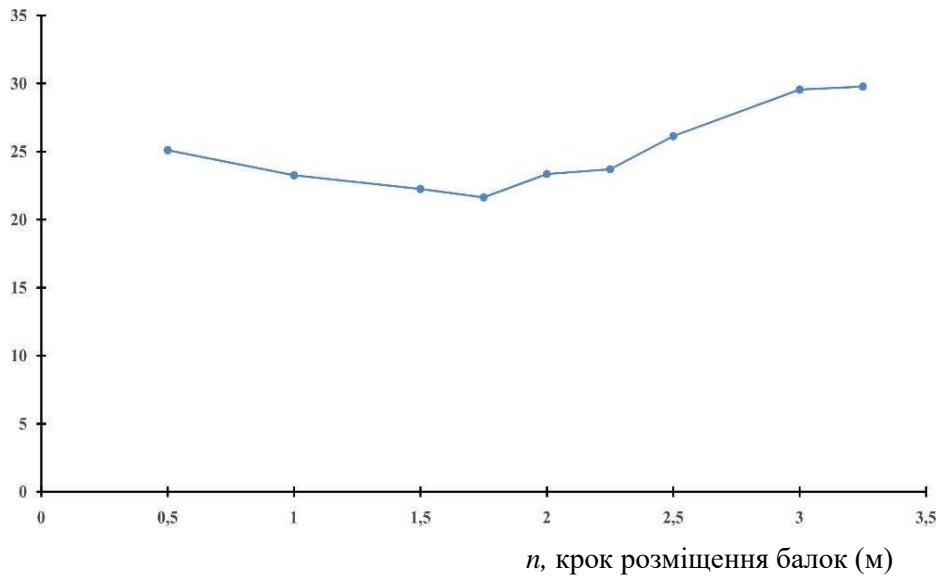


Рисунок 3.3 – Графік визначення оптимального кроку балок

3.1.2. Багатофакторний аналіз визначення оптимальних параметрів технологічних процесів

Сучасні методи розрахунку дають можливість оцінити та передбачити можливі ризики, вибрати оптимальні технічні рішення для реалізації ідей щодо розширення підземного простору. Метою даного етапу є оптимізація технічних рішень та виявлення за допомогою математичних моделей оптимальні параметри, при яких вартість технології та трудовитрати будуть мінімальними. Для вирішення цієї задачі використовується багатофакторний експеримент стохастичної залежності однієї величини Y від кількох інших величин X_i . Використано двофакторний план другого порядку (повна квадратична модель) – центральний композиційний план Бокса.

Багатофакторний експеримент є одним із ефективних способів аналізу, обробки та планування експериментальних досліджень.

Багатофакторний експеримент дозволяє вирішити задачі з високою точністю за допомогою вибору кількості експериментів, умов проведення. Усі параметри, які впливають на умову поставленої задачі, змінюються з певним кроком, що задаються попередньо, отримуючи при цьому результат

багатофакторного експерименту у вигляді математичної моделі досліджуваної функції.

Для того, щоб отримати функцію, яка описує дану залежність, необхідна правильна постановка умов задачі: вибрати математичну модель, фактори зміни з їх певним кроком, вибрати критерії оптимальності та план експерименту.

Постановка задачі: необхідно побудувати багатофакторну модель залежності ваги та трудомісткості від розташування кроку балок та навантаження. Тип плану: Двофакторний композиційний (ротатабельний) експеримент із квадратичною моделлю.

Головними факторами для вирішення цього завдання є крок розташування балок, а також навантаження, що передає з усіх конструкцій існуючої будівлі на підсилюючі елементи.

Рівні варіювання зазначених незалежних змінних, вибрані для даного експерименту, та матриця планування наведені у таблицях 3.3, 3.4.

Таблиця 3.3 -Матриця планування експерименту

№ складу	Матриця планування		Натуральні значення змінних	
	X1	X2	X1	X2
1	-1	-1	1	100
2	1	-1	2	100
3	-1	1	1	200
4	1	1	2	200
5	1,4142	-	0,79289	150
6	1,4142	-	2,2071	150
7	-	1,4142	1,5	79,289
8	-	1,4142	1,5	220,71
9	-	-	1,5	150

Таблиця 3.4 – Рівні варіювання

Чинники	Назва факторів	Рівні варіювання		
		-1	-	+1
X1	Крок розташування балок посилення, м	1	1,5	2
X	Навантаження, кН/м ²	100	150	200

Після виключення статистично незначимих коефіцієнтів від математичної залежності від незалежних змінних X_1 , X_2 набудуть наступного виду:

$$F_1 = 26,09 - 18,88X_1 + 0,053X_2 + 6,37X_1^2 + 0,000089X_2^2 + 0,0187X_1X_2 \quad (3.2)$$

$$F_2 = 832,78 - 574,33X_1 + 0,0544X_2 + 194,85X_1^2 + 0,0086X_2^2 - 0,1575X_1X_2 \quad (3.3)$$

Для визначення оптимальних параметрів ваги металевих конструкцій та трудомісткості, що відповідає мінімальному кроку, що залежить від розташування кроку балок та навантаження, було проведено чисельні розрахунки за заданими вихідними даними таблиці 3.3. Результати розрахунків наведено у таблицях 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5 - Результати розрахунків по відгуку - вага

№	Чинники впливу		Відгук
	Крок розташування балок, м	Навантаження від вище лежачих конструкцій, кН/м ²	Вага, кН
1	1	100	20,97
2	2	100	23,34
3	1	200	31,32
4	2	200	35,56
5	0,79289	150	27,73
6	2,2071	150	31,64
7	1,5	79,289	19,7
8	1,5	220,71	34,19
9	1,5	150	26,24

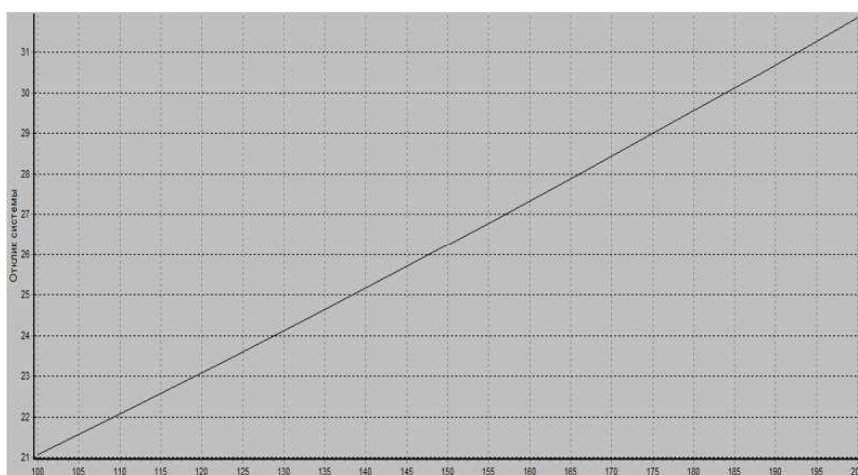
Таблиця 3.6 - Результати розрахунків по відгуку - трудомісткість

№	Фактори впливу		Відгук
	Крок розташування балок, м	Навантаження від вище лежачих конструкцій, кН/м ²	Трудомісткість, люд-год.
1	1	100	394,07
2	2	100	447,27
3	1	200	619,96

4	2	200	657,41
5	0,79289	150	661,25
6	2,2071	150	559,23
7	1,5	79,289	455,45
8	1,5	220,71	656,19
9	1,5	150	486,14

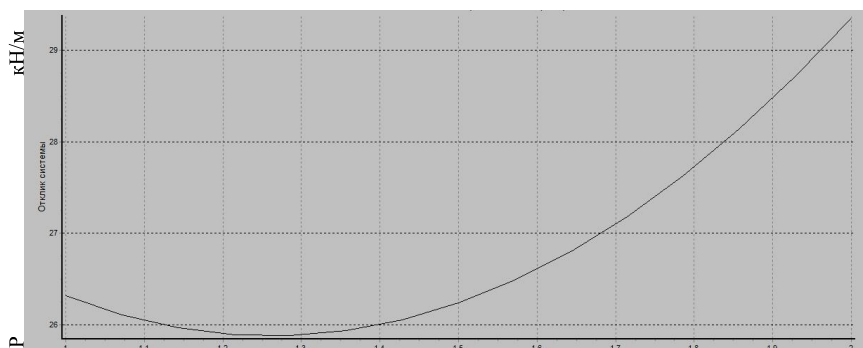
Графічні інтерпретації рівнянь (3.2) і (3.3) представлені на рис. 3.4 – 3.7 (суцільна лінія показує залежність зміни ваги металевих конструкцій і трудомісткості елементів, що монтуються, залежно від прикладеного навантаження і кроку розташування поперечних балок).

P , загальна вага метал. констр., (кН/м)



N , прикладене навантаження (кН/м²)

Рисунок 3.4 – Графічна інтерпретація впливу навантаження на загальну вагу металевих конструкцій



n , крок розташування балок (м)

Рисунок 3.5 – Графічна інтерпретація впливу кроку розташування поперечних балок на загальну вагу металевих конструкцій

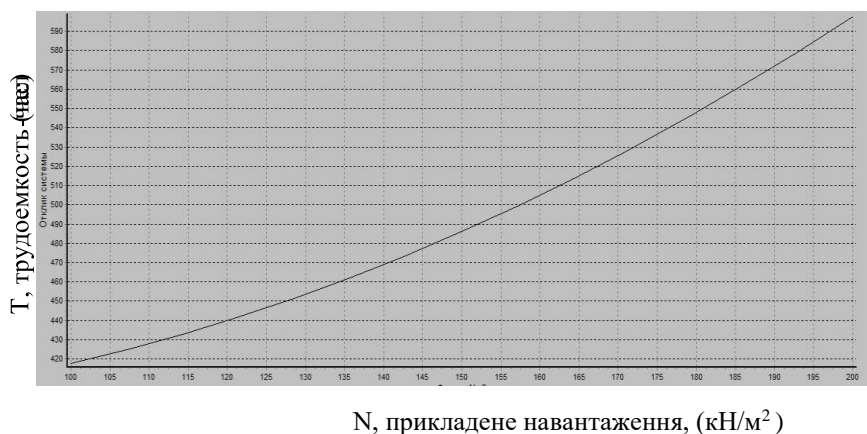


Рисунок 3.6 –Графічна інтерпретація впливу навантаження на трудомісткість підсилюючих елементів

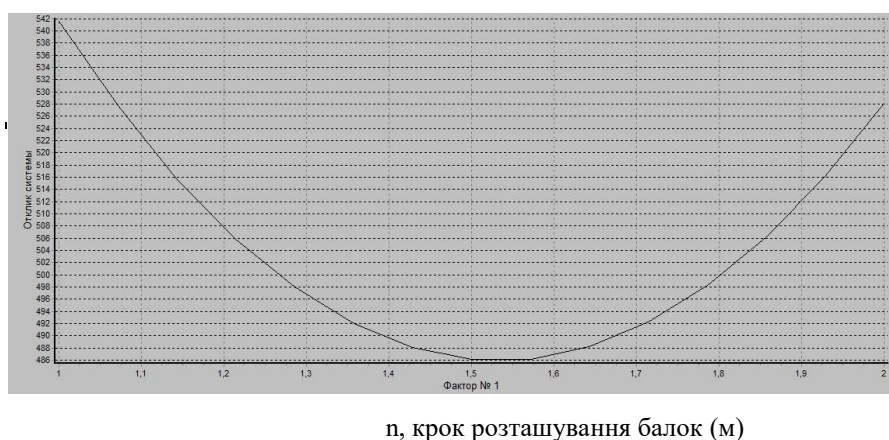


Рисунок 3.7 – Графічна інтерпретація впливу розташування кроку поперечних балок на трудомісткість підсилюючих елементів

Для побудови поверхонь та виведення оптимальних значень використовувалася програма для побудови математичних моделей, що дозволяє виконувати як чисельні, так і символічні розрахунки та має можливість побудови поверхонь із розвиненою графікою.

Ці дані були введені у програму у виді наступних поєднань (3.4, 3.5):

$$data1 = \{ \{1, 100, 20.97\}, \{2, 100, 23.34\}, \{1, 200, 31.32\}, \{2, 200, 35.56\}, \{0.79289, 150, 27.73\}, \{2.2071, 150, 31.64\}, \{1.5, 79.289, 19.7\}, \{1.5, 220.71, 34.19\}, \{1.5, 150, 26.24\} \} \quad (3.4)$$

$$data2 = \{ \{1, 100, 394.07\}, \{2, 100, 447.27\}, \{1, 200, 619.96\},$$

$$\{2,200,657.41\}, \{0.79289, 150, 661.25\}, \{2.2071, 150, 559.23\}, \quad (3.5)$$

$$\{1.5, 79.289, 455.45\}, \{1.5, 220.71, 656.19\}, \{1.5, 150, 486.14\}$$

За результатами обчислень, побудовано поверхні залежностей провідних факторів від ваги металевих конструкцій та трудомісткості підсилюючих елементів (рис. 3.8, 3.9) та знайдено оптимальні точки (рис. 3.10, 3.11):

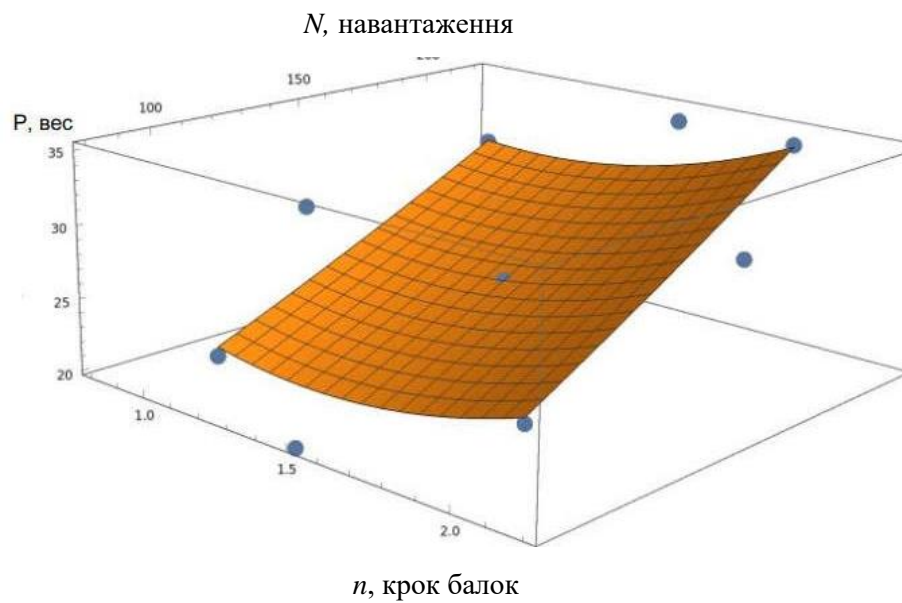


Рисунок 3.8 – Поверхня інтерпретації впливу провідних факторів на загальна вагу металевих конструкцій

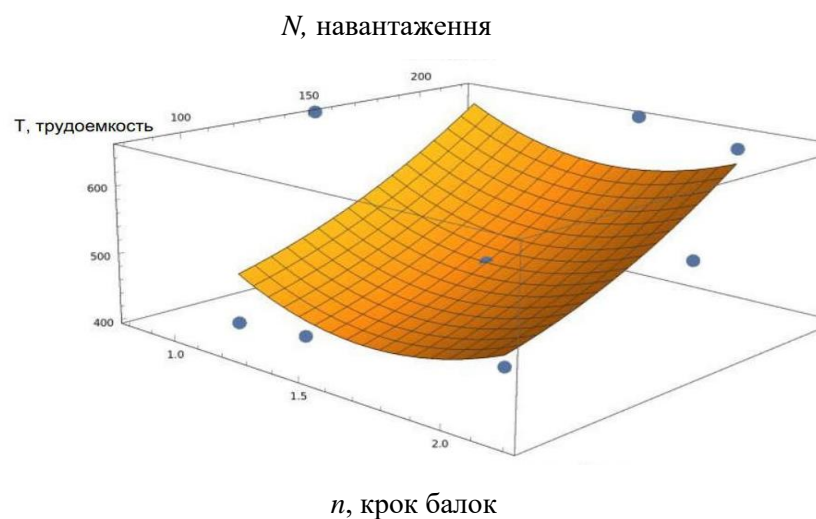


Рисунок 3.9 – Поверхня інтерпретації впливу провідних факторів на загальну трудомісткість

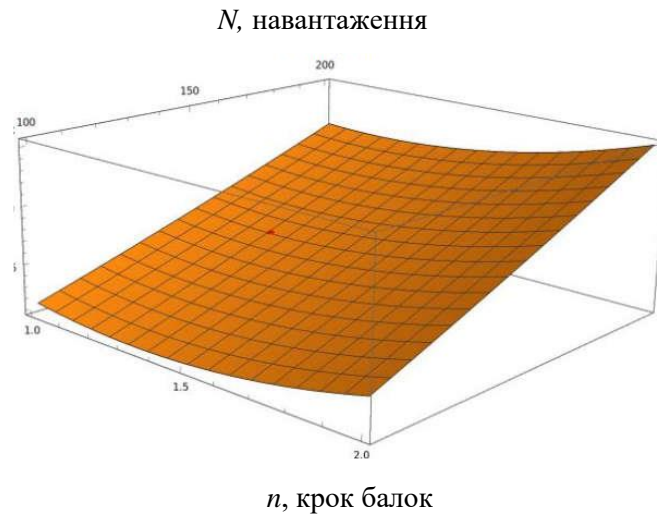


Рисунок 3.10 – Оптимальна точка ваги металевих конструкцій залежно від кроку розташування балок та навантаження, що прикладається.

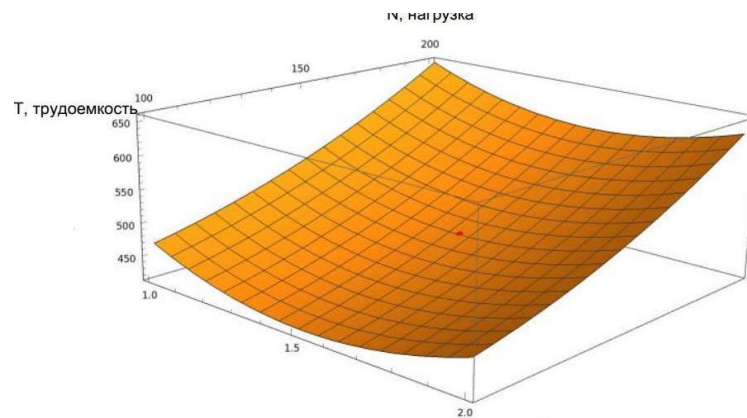


Рисунок 3.11 – Оптимальна точка трудомісткості в залежності від кроку розташування балок та навантаження, що прикладається.

Оптимальна точка дорівнює кроку розташування балок при навантаженні $N=150$ кН, дорівнює $n=1,2618$ м, при загальній вазі металевих конструкцій $P=25,878$ кН/м.

Оптимальна точка дорівнює кроку розташування балок при навантаженні $N = 150$ кН, дорівнює $n = 1,5344$ м, при загальній трудомісткості $T = 485,9$ люд.-год.

3.1.3. Визначення трудомісткості та тривалості робіт

За результатами досліджень методом експертних оцінок, виконано оптимізацію трудовитрат найбільш значущих заходів під час виконання робіт з улаштування підземного простору під існуючим будинком: визначено оптимальні конструктивні параметри, запропоновано механізацію ручної праці із застосуванням малогабаритної будівельної техніки та оптимізацію логістики будівельних матеріалів.

Доставка на місце проведення робіт обладнання, матеріалів здійснюється в основному автомобільним видом транспорту. Будівельні конструкції в основному є елементами відкритого зберігання та доставляються на приоб'єктний склад чи зону монтажу спеціалізованим автотранспортом у невеликій кількості. Складування елементів монтажу повинно проводитися з урахуванням мінімізації перекладання елементів. В умовах економічних санкцій з метою безперебійного забезпечення будівельного процесу будівельними матеріалами іноді доцільно завчасне придбання будівельних матеріалів у великому обсязі та тимчасове складування матеріалів на території Замовника або на іншому складі в межах населеного пункту, на якому розташований об'єкт. Логістика будівельних матеріалів у такому разі здійснюється у відповідність до уточненого графіка виконання робіт або за заявкою начальника ділянки в невеликих об'ємах.

На основі одиничних розцінок на будівельні та спеціальні будівельні роботи визначено витрати праці та тривалість робіт за передбачуваним варіантом та з урахуванням оптимізації організаційно-технологічних рішень при проведенні реконструкції на об'єкті впровадження .

За отриманими даними виконується календарний графік виконання робіт, а також будівельний генеральний план.

Оптимізація організаційно-технологічних рішень інтегрується до складу ПОС, таким чином удосконалюється ПОС і підвищується ефективність

виконання робіт при влаштуванні підземних споруд під існуючими будинками.

3.2. Контроль якості та оптимізація організаційно-технологічних рішень на стадії моніторингу (реконструкції)

За результатами ранжирування критеріїв заходів на стадії моніторингу встановлено, що найбільш значущим заходом є – «коригування технологічних операцій з урахуванням результатів моніторингу». У зв'язку з цим подальше дослідження спрямоване на вивчення застосування сучасних приладів активного моніторингу.

3.2.1. Аналіз нормативної бази та застосовувані прилади для геодезичного моніторингу та контроль якості виконання робіт

Контроль якості будівельно-монтажних робіт має здійснюватись службами підрядної будівельної організації. Виробничий контроль, що проводиться відповідно до нормативних документів, включає:

- вхідний контроль якості робочої документації;
- вхідний контроль якості матеріалів;
- вхідний контроль якості конструкцій;
- операційний контроль будівельних процесів чи операцій;
- приймальний контроль будівельно-монтажних робіт;
- розробку заходів щодо усунення порушень та дефектів.

Інструментальний контроль, який здійснюється за точністю виконання будівельно-монтажних робіт відповідно до вимог.

Після початку будівництва або реконструкції оцінка впливу робіт виконується у складі геотехнічного моніторингу, або науково-технічного супроводу об'єкта реконструкції та об'єктів навколишньої забудови. У процесі будівництва та реконструкції будівель та споруд з можливими силовими впливами на конструктивні елементи будівлі, що впливають на просторову жорсткість, а також демонтажем, поглибленням та посиленням фундаментів,

стін та перекриттів виникає необхідність контролю горизонтальних та вертикальних деформацій. Головною метою геотехнічного моніторингу є забезпечення безпеки будівництва та експлуатаційної надійності об'єктів нового будівництва або реконструкції, включаючи будівлі та споруди навколишньої забудови, за рахунок своєчасного виявлення зміни контрольованих параметрів конструкцій та ґрунтів основ, які можуть призвести до переходу об'єктів до обмеженопрацездатного чи аварійного стану. При цьому моніторинг застосовують різні методи: візуально-інструментальний, геодезичний, параметричний, гідрогеологічний та ін.

При аналізі нормативної документації

встановлено, що з технічного забезпечення геодезичного методу застосовують електронні, лазерні тахеометри, сканери, теодоліти, і навіть нівеліри.

Основними параметрами контролю є опади S (нерівномірні опади) та горизонтальні переміщення, а також непрямі ознаки деформації, такі як крен окремих елементів будівлі та їх взаємне переміщення (3.6).

$$S \leq S_{\max} \quad (3.6)$$

За допомогою лазерного сканування зазвичай вирішуються дві задачі:

- контроль якості або контроль геометрії різних об'єктів, і друга
- реверс-інжиніринг або зворотне завдання, коли на основі існуючого об'єкта створюється його тривимірна цифрова модель.

При виконанні робіт з реконструкції будівлі в якості основних контрольованих параметрів приймають вертикальні осадки та горизонтальні переміщення, а також непрямою ознакою наявності деформацій будівлі є крен вертикальних конструкцій.

Для підвищення точності спостережень, отримання об'ємних знімків етапів проведення робіт та більш інформативного подання результатів обробки даних висунуто гіпотезу про можливість використання цих цілей

лазерних 3d сканерів. При проведенні цих досліджень використовувалися три основні прилади: електронний тахеометр, лазерний сканер, лазерний трекер.

Складено програму моніторингу, відповідно до якої зміна геометричного положення будівлі або частин будівлі виявляється при порівнянні хмар точок, отриманих при зйомці з інтервалом часу. Інтервал часу вибирається в залежності від складності гідрогеологічних умов, категорії технічного стану конструкції та етапів БМР. Порівняльні технічні характеристики використовуваних у дослідженні типів сканерів представлені таблиці 3.7.

Для отримання максимально точних результатів сканування та моніторингу на об'єкті або в зоні сканування рекомендується попередня установка нерухомих марок (рисунок 3.13).

Для підвищення точності сканування та зручності роботи з моделлю додатково рекомендується використовувати марки. Під марками зазвичай розуміється плівковий відбивач, що є табличку квадратної форми, де розмічена мета із двох концентричних кіл, поєднаних з перехрестям (рисунок 3.13 а-в).

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики використовуваних приладів та 3D сканерів

Характеристики	Тахеометр Sokkia SET 550RX	Трекер API RADIANT R20	3D сканер FARO Focus S 150
Зовнішній вигляд			
Діапазон вимірюваних відстаней, м.м.	до 400	від 0 до 30	від 0,6 до 150
Діапазон вимірюваних кутів: - вертикальних - горизонтальних	- -	від +79° до -60° ±320°	300° 360°
Межі допустимої похибки вимірювань відстаней інтерферометром, мкм/м	$\pm (3+2 \times 10^{-6} \times D)$	±0,5	2 мм на 10 м, 3,5 мм на 25 м
Маса, кг, не більше	7,7 кг	9 кг.	4,2 кг.
Діапазон робочих температур, °С	від -20 ° до +50 °	від -10 до +45	від -20 до +55
Швидкість сканування	-	1000 точок/сек у динамічному режимі	від 122,000 до 976,000 точок/сек.
Джерело живлення	Вбудований	Зовнішній, 220В	Вбудований

У цьому дослідженні використовувалися марки двох типів: а) осадові деформаційні марки Г-подібної форми, закріплені на будівельній конструкції, стіні, підлозі, перекритті та інших конструкціях, що мають на кінці сферичний оголовок (рис. 3.13 г); б) марки за запропонованою конструкцією, що мають на кінці спеціальний пристрій для кріплення відбивача лазерного трекера, на яку розроблено патент на корисну модель (рисунок 3.13 д).

Також при роботі з приладами НЛЗ для зручності обробки інформації застосовують спеціальні сфери із вбудованим усередині відбивачем (рисунок 3.13 е).



Рисунок 3.13 – Основні види марок при геодезичних спостережень
а-в – плоскі контрастні марки; г- Г-подібні; е-спеціальні сфери з відбивачем;
ж- відбивач для лазерного трекера

Найбільш поширений спосіб моніторингу об'єктів, що реконструюються - установка на об'єкті контрольних марок і маяків і спостереження за ними з використанням високоточних геодезичних приладів, зазвичай тахеометрів, а також візуальний контроль за розкриттям тріщин. Аналіз результатів виконується переважно за координатами відносного переміщення заздалегідь встановлених геодезичних марок і знятих із них нульових показань. Алгоритм роботи з тахеометром і програмне забезпечення, що використовується, представлені у вигляді блок-схеми на рис. 3.14.

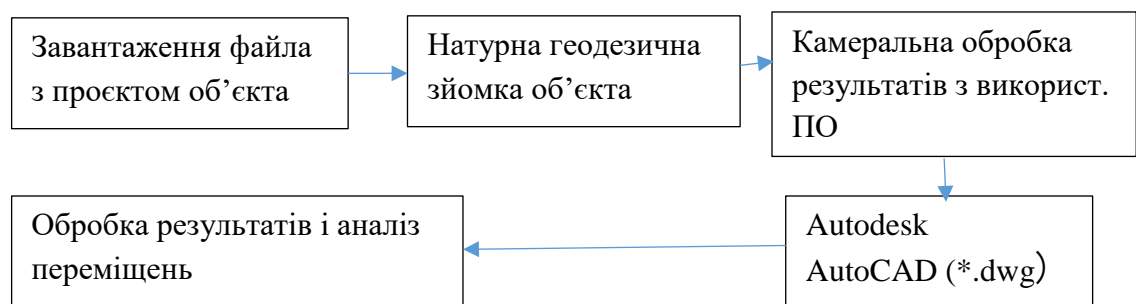


Рисунок 3.14 – Алгоритм роботи з тахеометром

З метою визначення деформацій будівлі, що реконструюється, крім широко відомого методу із застосуванням тахеометра, пропонується використовувати такі види приладів НЛС: 3d сканер і трекер. Алгоритм обробки результатів та програмне забезпечення, що використовується, представлені на блок-схемі (рисунок 3.15).

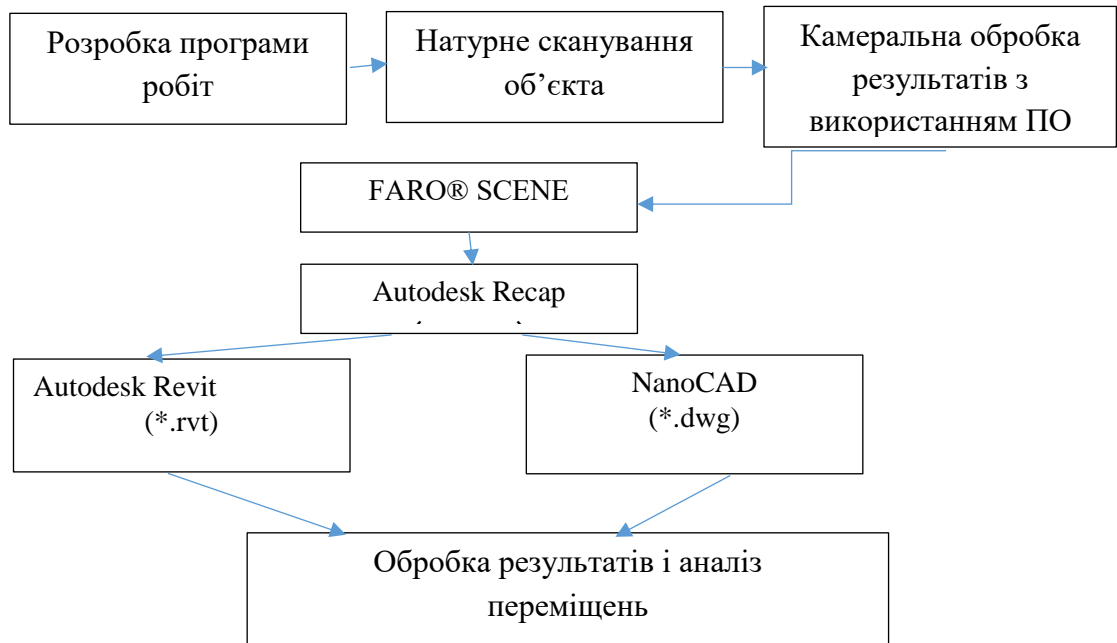


Рисунок 3.15 – Алгоритм роботи з 3d-сканером

Спостереження за розвитком тріщиноутворення

Для проведення спостережень за розкриттям (закриттям) тріщин, виявлених у процесі попереднього обстеження будівлі, було встановлено гіпсові маяки спеціальної форми. Усі маяки були пронумеровані, скоординовані та занесені до журналу спостережень. У процесі проведення будівельних робіт на об'єкті деякі маяки демонтувалися у зв'язку з розбиранням та відновленням конструкцій, на яких вони розташовувалися; інші маяки змінювалися на нові, внаслідок пошкоджень під час роботи із засобами механізації. В цілому, за весь час спостереження за гіпсовими маяками – критичних тріщин виявлено не було, що свідчить про відсутність деформацій, що розвиваються, несучої системи будівлі та відсутність осадку за рахунок вжитих заходів підготовки.

3.2.3. Методика проведення моніторингу з використанням приладів НЛЗ

Апробація методики виконувалася на об'єкті складної форми з монолітного залізобетонного каркаса. Особливістю об'єкта є наявність

ступінчастих консольних виносів фасаду і, відповідно, технологія будівництва об'єкта, коли в процесі виконання монолітних робіт зі зведення каркасу будівлі для влаштування зазначених консолей встановлюються тимчасові підтримуючі конструкції зі сталевих колон.



Рисунок 3.16 - Тимчасові підтримуючі конструкції

Після набору бетоном проектної міцності, тимчасові конструкції, що підтримують, витягуються. У цей момент виникає необхідність контролю за зміною деформації конструкції.

При прикладному використанні методу НЛЗ під час моніторингу будівель вибираються нерухомі точки на фасаді будівлі у характерних місцях, а також точки на реперному об'єкті, бажано не менше трьох. Як точки також можна використовувати заздалегідь встановлені репера та марки. Критеріями вибору (місця розташування) точок та місця стоянки приладу є:

- кут падіння лазерних променів має бути максимально перпендикулярним до поверхні об'єкта та реперних точок;
- дальність розташування сканера до об'єкта має бути не більше 50 м;
- об'єкти мають бути світлі (для кращого відображення лазерного променя);

- точку стоянки приладу рекомендується позиціонувати за раніше виконаною прив'язкою.

Поле зору сканера «StonexX300» складає 90° по вертикалі та 360° по горизонталі. Щільність вертикального сканування майже незмінна, щільність горизонтального сканування задається за рахунок кута обертання сканера. Розбіжність (дивергенція) променю $0,37$ мрад (мілірадіан) ($0,37$ мм на 100 м) (ступінь розширення самого лазерного пучка зі збільшенням відстані, або, при попаданні променю на далекі об'єкти, їх межі можуть виявитися менш чіткими).

Точність виміру – менше 6 мм при вимірі до 50 м (1 sigma). Дальність сканування – 300 м. Однак із підвищенням дальності сканування точність сканування знижується до 40 мм. Під час проведення польових робіт вибрано максимальні параметри сканування.

У відповідність до програми робіт моніторинг об'єкта, що будується, виконувався з інтервалом в один місяць. За період спостережень на будівлі було зведено три поверхи.

3.2.4. Визначення трудовитрат при роботі з приладами НЛС при моніторингу будівель, що реконструюються

У процесі проведення робіт науково-технічного супроводу об'єкта культурної спадщини на першому етапі спостережень застосовувалися переважно візуально-інструментальний і геодезичний методи. На другому етапі, після введення та початку експлуатації будівлі, були встановлені спеціальні марки та проводилися спостереження за їх переміщеннями у відповідність до «Програми моніторингу за об'єктом культурної спадщини з використанням приладів тривимірного наземного лазерного сканування».

Виконувався хронометричний аналіз часу роботи з різними типами приладів. При проведенні моніторингу досліджуваної будівлі технологічна послідовність установки і роботи 3D сканерів залежала від конкретної моделі.

Технологічна послідовність установки та роботи з тахеометром та 3D сканерами представлена в таблиці 3.16. З таблиці 3.16 видно, що загальна кількість операцій під час роботи з досліджуваними приладами, включаючи підготовчий процес, становить близько 8 найменувань. При цьому на другому та наступних циклах час роботи скорочується за рахунок виключення окремих операцій. За результатами вимірювання часу роботи сканерів на початковій позиції сканування отримані такі дані:

- середній час роботи тахеометра на 1 точці стоянки - 45 хвилин при першому циклі і до 18 хвилин на наступних точках;
- середній час роботи трекера на 1-ій стоянці становить 127 хвилин на першому циклі, при роботі бригадою з двох 2 людей і до 48 хвилин на наступних точках тією ж бригадою;
- середній час роботи 3d сканера на 1-ій стоянці – 47 хвилин при першому циклі і до 24 хвилин на наступних точках.

Таблиця 3.8 – Оцінка роботи з досліджуваними лазерними приладами активного моніторингу




Характеристики	Тахеометр Sokkia SET 550RX	3D сканер FARO Focus S 150	Трекер API RADIANT R20
Зовнішній вигляд			
Діапазон вимірюваних відстаней, м.м.	до 400	від 0,6 до 150	від 0 до 30
Межі допустимої похибки вимірів відстаней інтерферометром, мкм/м	$\pm (3+2 \times 10^{-6} \times D)$	2 мм на 10 м, 3,5 мм на 25 м	$\pm 0,5$
Клас точності вимірювань за ДСТУ	II	III, IV	I
Швидкість сканування	-	від 122,000 до 976,000 точок/сек.	1000 точок/сек у динамічному режимі
Сумарний час	29,5 хв на першому циклі виміру; 13 хв на наступні цикли	33 хв на першому циклі виміру; 15,5 хв на наступні цикли	70,5 хв на першому циклі виміру; 37 хв на наступні цикли
Норма часу	0,49 чол /год при першому вимірі, 0,217 чол/год при наступних	0,55 люд./год при першому вимірі, 0,258 чол/год за наступних	1,175 люд./год при першому вимірі, 0,62 чол/год за наступних
Норма часу на камеральну обробку, люд./зм	0,75	3	1
ПЗ	NanoCAD	ПО « Faro Scene »	ПЗ « SpatialAnalyzer »
Вимірювання	За марками	По марках + порівняння контуру стін по розрізів у хмарах точок	За марками
Переваги	Швидкість проведення польових робіт та камеральної обробки Мінімальні трудовитрати та вартість послуг	Можливість виявлення деформацій поза деформаційними марками Побудова ГІМ моделі будівлі	Висока точність вимірів, що дозволяє виявити деформації на початковій стадії Зручність камеральної обробки



Рисунок 3.17 – Послідовність технологічних операцій та норм часу під час роботи з приладами НЛЗ



Рисунок 3.18– Послідовність технологічних операцій та норм часу під час роботи з лазерним трекером

За результатами хронометражних спостережень та визначення трудовитрат при проведенні моніторингу з приладами НЛЗ встановлено:

- оптимальним за параметрами трудовитрат та вартості приладу є електронний тахеометр.
- найбільш точним і дорогим є лазерний трекер, однак він має зручне програмне забезпечення для оперативної камеральної обробки.

- найбільш трудомісткою виявилася робота з приладами НЛС, проте великим плюсом даного приладу є можливість створення ТІМ-моделей на основі отриманих хмар точок.

Висновки

1. Складено математичну модель залежності кроку балок і навантаження, що прикладається від ваги металевих конструкцій і трудомісткості підсилюючих елементів. Отримано функцію, що описує криву залежності трьох параметрів: ваги металевих конструкцій, що використовуються для посилення будівлі, трудомісткості монтажу та навантаження, що прикладається, від існуючої будівлі.

2. Виявлено оптимальні точки досліджуваних параметрів, при якому вага та трудомісткість приймають мінімальні значення, що тягне за собою зниження загальної ваги використовуваних металевих конструкцій для посилення існуючої будівлі, загальної вартості технології, підвищення економічного ефекту.

3. При моніторингу будівель та споруд, як геодезичні засоби вимірювань доведено можливість використання 3D сканера та високоточного лазерного трекара. Для підвищення точності геодезичного моніторингу розроблено універсальну конструкцію геодезичної марки.

4. На основі досвіду науково-технічного супроводу реальних об'єктів капітального будівництва розроблено методику проведення моніторингу будівель з використанням приладів НЛЗ.

4. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Розробка основних технологічних етапів збільшення підземного простору існуючої будівлі

Використання результатів дослідження проводилося на об'єкті «Мотор Січ».

В технології влаштування підземних об'єктів під існуючими будинками можна виділити дев'ять основних технологічних етапів, що дозволяють здійснити влаштування підземних просторів на кілька рівнів при існуючій забудові, зберігши її первозданий вид та несучі конструкції.

1 етап: передбачає проведення обстеження будівлі, що оцінює його технічний стан, проаналізувати можливі прогини, тріщини, дефекти, оцінити стани несучих конструкцій, вивчити проєктну документацію (за наявності). Для проведення даних видів робіт необхідне проведення 3D сканування об'єкта, для того щоб визначити фактичні розміри об'єкта або використання тахеометра з установкою маяків по стіні (рисунок 4.1 а) і кутових маяків (рис. 4.1 б), для того щоб відстежити розкриття тріщин, можливі переміщення, що протягом всієї технології та після виконання всіх будівель.



Рисунок 4.1 – Встановлення маяків: а) маяк М10; б) кутовий маяк

2 етап: посилення стін та влаштування рандбалки. Після отримання інформації про стан будівлі необхідно посилити стіни конструкції, для того щоб розвантажити стіни і забезпечити безпечне ведення робіт. Для цього застосовують пояси висотою будівлі в поздовжньому напрямку. У нижній частині будівлі необхідно встановити рандбалки, які будуть

розподільчим поясом для рівномірної передачі навантаження на конструкції, що знаходяться нижче. Рандбалки є швелером у перерізі і з'єднуються шпильками. Важливо відзначити, що з'єднання шпильок необхідно вести в шаховому порядку, в іншому випадку висока напруга в стінці швелера, що з'являються, можуть привезти до руйнування (рисунок 4.3).



Рисунок 4.2 – Влаштування рандбалки

3 етап: пристрій буронабивних паль, що виконують функцію опор для тимчасових балок, що підтримують. Крок розміщення, діаметр, арматурний каркас підбираються при розрахунках будівельних конструкцій. Найбільш простим способом устрою паль є буронабивні, де здійснюється заливка бетонного розчину із застосуванням металевого каркасу (рисунок 4.2). Подібна технологія є найбільш сприятливою при існуючій забудові, тому що відсутні ударні зусилля, які руйнівні можуть впливати на конструкції. Також аналогічно даному способу можна застосувати сучасну технологію "jet-grouting".

Технологічна послідовність робіт за таким методом полягає в наступному: виробляють буріння свердловини; в свердловину занурюють ін'єктор зі спеціальним отвором, що калібрується - соплом; подають під великим тиском (100 МПа) ін'єкційний розчин; здійснюють підйом ін'єктора з одночасним його обертанням; формують палю потрібного діаметра або стінку з паль.

Основні переваги струминної технології в умовах слабких ґрунтів: можливість ведення робіт у будь-яких несприятливих ґрунтових та у стиснених умовах; екологічна чистота всіх технологічних операцій.

Загальновідомим методом є пристрій палей із зовнішньої, та з внутрішньої сторони (рисунок 4.3 б) будівлі, з метою забезпечення рівномірного тиску по всій лінії пристрою опорних балок.

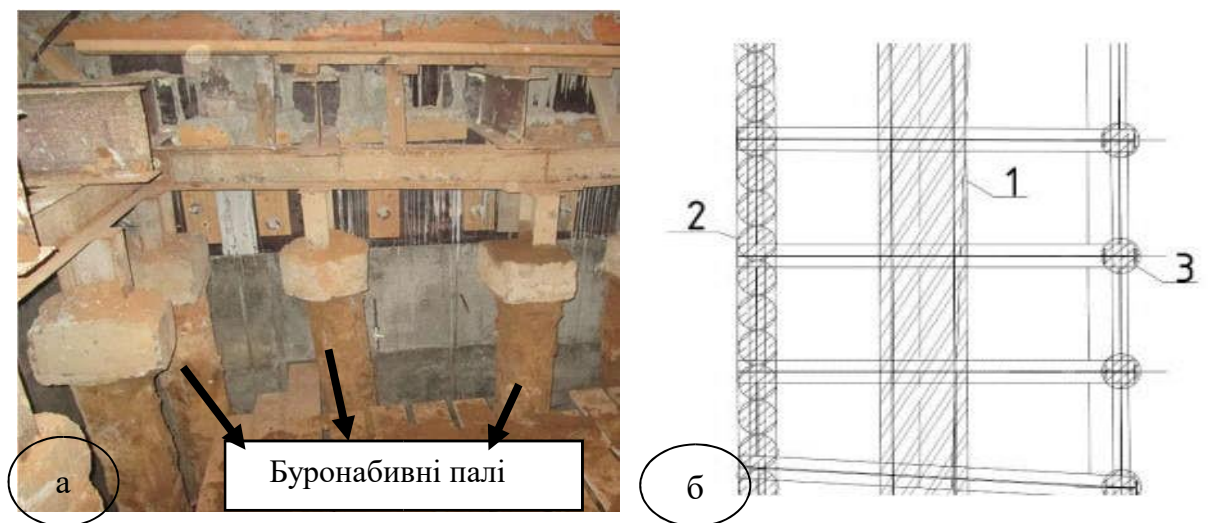


Рисунок 4.3 – а) влаштування буронабивних палей; б) розташування палей: 1- зовнішня стіна; 2- зовнішній ряд буронабивних палей; 3-внутрішній ряд буронабивних палей

4 етап: влаштування залізобетонних або металевих ростверків. Перетин ростверку визначається розрахунковим шляхом. Матеріал ростверку може бути, як залізобетонним, так і металевим, в даній технології пропонується використовувати металеві двотаврові балки, переріз яких залежить як від навантаження належать вищележачих конструкцій, так і від кроку розташування палей. Регулюючи перетином палей, можна визначити найбільш економічну і найменш трудомістку в монтажі балку. Ростверки виконують поверх палей для рівномірного розподілу навантажень на палі від вищих конструкцій (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Пристрій ростверків

5 етап: влаштування поперечних балок. У тілі будівлі за допомогою алмазного різання виконується штраба, через які у поперечному напрямку проводяться металеві балки та рівномірно переводять вагу всієї будівлі на ростверк (рисунок 4.5). Балки спираються на палі з обох боків стіни.



Рисунок 4.5 – Влаштування поперечних балок

6 етап: розробка ґрунту під подошвою старого фундаменту до проєктної позначки нового фундаменту.

7 етап: влаштування нового фундаменту. Фундамент приймається за розрахунком у вигляді суцільної монолітної або збірної стіни, для влаштування фундаменту розробляється невелика ділянка ґрунту з можливістю вільного переміщення та проведення робіт для робітників, та за

проведеними розрахунками із встановленими розмірами та характеристиками зводиться новий фундамент. На дно розробленої ділянки встановлюється фундаментна подушка та зводиться каркас стінової частини.

8 етап: демонтаж конструкцій. Після забезпечення додатковими підсилюючими елементами, необхідно здійснити демонтаж конструкцій та підсилювальних елементів.

Демонтаж здійснюється тих конструкцій та елементів, фізичне зношування яких має низький технічний показник експлуатаційних, механічних та інших якостей. Після пересадки будівлі на новий фундамент підсилюють елементи (поперечні балки, ростверки) також демонтуються. Бурунабивні палі по внутрішній частині будівлі також витягуються, зовнішня сторона палі за потребою може бути залишена в ґрунті.

9 етап: після проведення всіх робіт з посилення будівлі та зведення нового фундаменту розпочинаємо розробку підземної частини. Для цього рекомендується застосовувати малогабаритну техніку, що дозволяє здійснити розробку ґрунту в обмежених умовах (рисунок 4.6) та значною мірою підвищити механізацію праці. Розробку ґрунту можна вести на глибину понад 10 метрів, що дозволяє влаштувати підземні споруди на кілька поверхів. Технологія робіт здійснюється так:

- підготовка дорожньої частини (трапів, пандусів) для проїзду малогабаритної техніки та вивезення ґрунту;
- розробка ґрунту першого поверху підземної частини до позначки стелі другого поверху;
- бетонування з пристроєм арматурного каркаса, де залишають технологічний отвір, що дозволяє переміщатися малогабаритною технікою та розробляти ґрунт другого поверху. Дані етапи продовжуються до досягнення необхідної розрахункової позначки. Після того як бетон найнижчого рівня набирає необхідну міцність, починаються роботи зі встановлення перегородок та зведення внутрішнього простору за прийнятим проектом.



Рисунок 4.6 – Малогабаритна техніка, що застосовується

Як завершальний етап також можна виділити моніторинг у початковий період експлуатації будівлі. Після проведення всіх технологічних робіт необхідно проводити моніторинг будівлі, стежити за його опадами і т.п.

Відсоткове співвідношення додаткових площ стосовно корисної площі всієї будівлі після реконструкції визначимо:

$$S \% = 100 \% - (S_{\text{буд.}} - S_{\text{пересад}}) / S_{\text{буд.}} \cdot 100 \% \quad (4.1)$$

При виконанні розрахунків використовувався алгоритм, що включає наступні етапи:

1. Ресурсний метод розрахунку вартості будівництва, що базується на калькуляції ресурсів у поточних цінах та тарифах;
2. Метод розрахунку тривалості виконання будівельно-монтажних робіт на базі їхньої трудомісткості;
2. Дисконтований метод оцінки ефективності інвестиційних проєктів:
 - чиста наведена вартість проєкту

$$NPV = \sum \frac{CF_t}{(1+d)^t} - \sum \frac{l_t}{(1+d)^t} - l_0 > 0 \quad (4.2)$$

- дисконтований термін окупності (РВР);
- внутрішня норма рентабельності проєкту

$$IRR = d1 + \frac{NPV_{(d1)}}{NPV_{(d1)} - NPV_{(d2)}} \cdot (d2 - d1) > d \quad (4.3)$$

- норма доходності дисконтованих витрат:

$$PI = \frac{\sum \frac{CF_t}{(1+d)^t}}{\sum \frac{l_t}{(1+d)^t} + l_0} > 1 \quad (4.4)$$

де d - ставка дисконтування;

CF_t – грошові надходження від здавання приміщень у найм у період t ;

l_t - витрати у період t : реконструкція, комунальні платежі, витрати на страхування, податки, заробітна плата персоналу та ін;

l_0 –первісні вкладення у проєкт: придбання земельної ділянки та будівлі.

Аналіз ринку показав, що при високому інвестиційному потенціалі центр міста відчуває гостру нестачу в якісних комерційних приміщеннях, які мають унікальні дизайнерські рішення в оздобленні в стилі лофт, тому для поліпшення фінансово-економічних показників необхідно включення в корисну площу будівлі також підземного поверху.

Таким чином, необхідні роботи з його облаштування, які включають: пристрій рандбалки, буріння свердловин, встановлення арматурних каркасів у свердловини, бетонування буронабивних паль, пристрій ростверку металевого, пробивку прорізів в цегляних стінах для балок, установку поперечних балок, розробку ґрунту під подошвою фундаменту та ін.

Таблиця 4.1 – Тривалість виконання робіт до та після оптимізації

Номер п/п	Найменування	Тривалість робіт до оптимізації, дні	Тривалість робіт після оптимізації, дні
1	Влаштування рандбалки	21,8	15,81
2	Улаштування буронабивних паль	9,21	8,68
3.	Пристрій ростверку металевого	10,61	8,14
4.	Пробивка прорізів у цегляних стінах для балок	7,56	5,61
5.	Установка поперечних балок	10,33	3,78

6.	Розробка ґрунту під підшовою фундаменту	23,89	2,58
7.	Влаштування нового фундаменту	30,41	30,41
8.	Демонтаж тимчасових конструкцій (метал)	8,52	3,93
9.	Зрубування голів одиночних паль	7,83	9,71
10.	Влаштування підземного поверху (розробка ґрунту)	15,21	4,92
11.	Влаштування підземного поверху (монолітні перекриття)	6,55	6,55
12.	Разом	152	100

З таблиці 4.1 видно, що загальна тривалість робіт із реконструкції підземної частини будівлі без оптимізації становитиме 5 міс. Оптимізація проєктно-технологічних рішень дозволить зменшити тривалість робіт на 1,8 місяців.

Розрахунки щодо обґрунтування ефективності будівництва виконані з використанням програмного продукту. За виконання розрахунків було враховано такі інвестиційні витрати: купівля земельної ділянки, будівлі, вартість робіт з реконструкції підземного поверху. На стадії експлуатації було розраховано комунальні платежі та управлінські витрати, витрати на страхування будівлі, а також доходи від здавання приміщень в оренду.

Розрахунки показали, що влаштування підземного поверху дозволить збільшити загальну площу будівлі на 4,43%, а корисну площу – на 6,55%. При цьому розроблені рішення дозволять скоротити проєктне значення кошторисної вартості реставрації будівлі з реконструкцією підземного поверху на 1403 тис. грн.

Розроблені рішення дозволяють як знизити кошторисну вартість робіт, а й оптимізувати їх тривалість, що у своє чергу впливає на підсумкові показники ефективності

ВИСНОВКИ

1. У технології влаштування підземних об'єктів під існуючими будинками виділено дев'ять основних технологічних етапів, що дозволяють здійснити влаштування підземних просторів на кілька рівнів при існуючій забудові, зберігши її первозданий вид та несучі конструкції.

2. Доведено економічну ефективність розроблених організаційно-технологічних рішень на об'єкті впровадження: розрахунки показали, що застосування розроблених рішень при влаштуванні підземного поверху дозволить скоротити суму кошторисної вартості на 0,67 %.