МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

_____другий магістерський рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Обґрунтування ефективності методів посилення фундаментів будівель в ґрунтових умовах Запорізького району

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-пцб
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)
_____Петров Сергій Миколайович_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____доц., к.т.н., Мішук К.М._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент _____проф., д.т.н. Арутюнян І.А._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр і назва)
Спеціалізація -
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"27" 04 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Петров Сергій Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Обґрунтування ефективності методів посилення фундаментів будівель в ґрунтових умовах Запорізького району

керівник роботи Мішук Катерина Миколаївна, доц., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "27" 02 2025 року № *317-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи *грудень 2025р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи інженерно-геологічні умови Запорізького району, типові конструктивні рішення фундаментів, існуючі проблеми експлуатації фундаментів, технологічні схеми підсилення фундаментів, нормативно-правова база України
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, розділ 1 – Аналіз традиційних технологій та проблем улаштування і підсилення фундаментів у ґрунтових умовах Запорізького району; розділ 2 – Сучасні технології улаштування та підсилення фундаментів у ґрунтових умовах Запорізького району; розділ 3 – Сучасні

технології підсилення фундаментів в умовах просадочних грунтів

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 2	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Розділ 1	1.09.2025 - 13.10.2025	
2	Розділ 2	14.10.2025 – 10.11.2025	
3	Розділ 3	11.11.2025 – 30.11.2025	

Студент (підпис) Петров С.М. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) (підпис) Мішук К.М. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер (підпис) Данкевич Н.О. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Петров Сергій Миколайович. Обґрунтування ефективності методів посилення фундаментів будівель в ґрунтових умовах Запорізького району.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2025.

У роботі досліджено сучасні та традиційні технології улаштування й підсилення фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах Запорізького району, де поширені просадочні лесові ґрунти. Проаналізовано причини деформацій фундаментів, оцінено ефективність буроін’єкційних, ґрунтозмішувальних і струменевих технологій, визначено умови їх раціонального застосування при реконструкції будівель. Запропоновано рекомендації щодо вибору оптимальних методів підсилення з урахуванням геологічних, гідрогеологічних та експлуатаційних факторів.

Ключові слова: фундаменти; просадочні ґрунти; підсилення основ; буроін’єкційні палі; струменеве зміцнення.

Список публікацій магістранта:

1. Петров С. М., Мішук К. М. Обґрунтування ефективності методів посилення фундаментів будівель у ґрунтових умовах Запорізького району. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (м. Запоріжжя, 15–16 трав. 2025 р.). Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. С. 655–656.

ABSTRACT

Petrov Serhii Mykolaiovych. Justification of the effectiveness of building foundation reinforcement methods in the soil conditions of Zaporizhzhia District.

Master's Qualification Thesis for obtaining the Master's degree in Specialty 192 Construction and Civil Engineering. Academic supervisor: K. M. Mishuk. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu. M. Potebnia, Zaporizhzhia National University, Department of Industrial and Civil Engineering, 2025.

The thesis examines traditional and modern technologies for constructing and strengthening foundations under the challenging geotechnical conditions of the Zaporizhzhia district, characterized by collapsible loess soils. The causes of foundation deformations are analyzed, and the efficiency of bored-injection, deep soil mixing, and jet-grouting technologies is evaluated. Recommendations are developed for selecting optimal strengthening methods considering geological, hydrogeological, and operational factors during building reconstruction.

Keywords: foundations; collapsible soils; foundation strengthening; bored injection piles; jet grouting.

List of postgraduate publications

1. Петров С. М., Мішук К. М. Обґрунтування ефективності методів посилення фундаментів будівель у ґрунтових умовах Запорізького району. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (м. Запоріжжя, 15–16 трав. 2025 р.). Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. С. 655–656.

ЗМІСТ

ВСТУП……6

1 АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОБЛЕМ УЛАШТУВАННЯ І ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ У ҐРУНТОВИХ УМОВАХ ЗАПОРІЗЬКОГО РАЙОНУ ……...……10

1.1. Геотехнічні особливості Запорізького району та їхній вплив на роботу фундаментів……...……10

1.2. Традиційні підходи до улаштування та підсилення фундаментів у просадочних ґрунтах ……14

1.3. Причини деформацій фундаментів та актуальність їх підсилення……..16

1.4. Оцінка можливостей застосування традиційних технологій у ґрунтових умовах Запорізького району……..……18

2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ У ҐРУНТОВИХ УМОВАХ ЗАПОРІЗЬКОГО РАЙОНУ ...20

2.1. Сучасні технології монолітних фундаментів у системі підсилення будівель……..20

2.1.1. Підвищення технологічності виготовлення монолітних фундаментів …….….20

2.1.2. Монолітні цементоґрунтові фундаменти…….....22

2.2. Сучасні технології улаштування набивних паль як основа підсилення фундаментів……...…23

2.2.1. Буронабивні палі……...…24

2.2.2. Ґрунтоцементні палі (бурозмішувальна технологія, DSM)……...26

2.2.3. Набивні палі з використанням електричних розрядів ...……...…27

2.2.4. Буроін’єкційні палі …….……..29

2.2.5. Струменеві та струменево-змішувальні технології (Jet Grouting)…….……31

2.6. Фундаменти на армованих основах ……...……34

3 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ В УМОВАХ ПРОСАДОЧНИХ ГРУНТІВ……...……37

3.1. Технології підсилення фундаментів улаштуванням додаткової опори з залізобетонної плити……...……37

3.2. Технології підсилення фундаментів формуванням плями закріпленого ґрунту під підошвою……..43

3.3. Технологій підсилення фундаментів ґрунтозмішувальними способами…….....49

3.4. Технології підсилення фундаментів з використанням виносних паль…….54

3.4.1. Підсилення фундаментів палями вдавлювання…….……54

3.4.2. Технології підсилення фундаментів виносними палями……..…60

3.4.3. Технології підсилення стовпчатих фіндаментів шляхом перенесення частини навантаження від колони на додаткові опори …..……65

ВИСНОВКИ……70

Список використаної літератури……...…73

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівель і споруд у складних геотехнічних умовах є одним з ключових завдань сучасного будівництва. Для Запорізького району ця проблема набуває особливої гостроти через широке поширення лесових і лесоподібних суглинків, які належать до просадочних ґрунтів природної та техногенної зволожуваності. Просадочні ґрунти характеризуються нестійкою пористо-каркасною структурою, що руйнується під впливом навантаження або додаткового зволоження, що призводить до значного зменшення їхньої міцності та деформаційної здатності. Втрата структурної міцності основи спричиняє нерівномірні осідання фундаментів, деформації несучих конструкцій, порушення експлуатаційної придатності будівель та зростання аварійності.

Ситуацію ускладнюють техногенні фактори, характерні для Запорізького регіону: зміна природного гідрогеологічного режиму, підвищення рівня ґрунтових вод, порушення цілісності ґрунтового середовища внаслідок будівельної діяльності, інженерного втручання та комунікаційних робіт. Значний обсяг існуючої забудови сформовано в період, коли просадочні властивості ґрунтів часто не враховувалися належним чином, що призводить до появи деформацій у процесі довготривалої експлуатації.

У сучасних умовах зростає кількість об’єктів, що підлягають реконструкції, надбудові або зміні функціонального призначення, що супроводжується збільшенням навантаження на фундаментні конструкції. Це посилює потребу в застосуванні ефективних технологій підсилення фундаментів, здатних не лише компенсувати існуючі деформації, а й забезпечити подальшу надійність споруди в умовах змінного гідрогеологічного середовища. Традиційні методи підсилення - розширення

підошви фундаменту, улаштування бетонних обойм, локальна заміна ґрунту - часто є малоефективними або ризикованими для застосування в просадочних товщах, оскільки супроводжуються значними земляними роботами, що порушують напружено-деформований стан ґрунтового масиву.

Стрімкий розвиток сучасних геотехнічних технологій, зокрема буроін'єкційних паль, мікропаль, методів глибокого змішування ґрунту (DSM) та струменевої цементації (Jet Grouting), відкриває нові можливості для підсилення фундаментів без суттєвого втручання в роботу існуючих конструкцій. Ці технології забезпечують утворення просторових зон зміцнення ґрунтової основи, зниження деформацій та підвищення несучої здатності без потреби у масових розкопках. Проте їх ефективність значною мірою залежить від локальних ґрунтових умов, технологічних параметрів та умов будівельного майданчика, що потребує комплексного аналізу й обґрунтування.

Таким чином, актуальність дослідження полягає в необхідності наукового оцінювання ефективності сучасних технологій підсилення фундаментів саме в умовах просадочних лесових ґрунтів Запорізького району, визначення критеріїв їх раціонального застосування та розроблення рекомендацій для практики реконструкції та ремонту споруд.

Мета роботи - науково обґрунтувати ефективність сучасних технологій підсилення фундаментів будівель у специфічних ґрунтових умовах Запорізького району та визначити критерії раціонального вибору методів посилення для практики реконструкції та відновлення споруд.

Завдання роботи

1. Проаналізувати геологічні, інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови Запорізького району, що впливають на роботу фундаментів.
2. Дослідити основні причини деформацій фундаментів та передумови необхідності їх підсилення.

3. Виконати порівняльний аналіз традиційних та сучасних технологій підсилення фундаментів у просадочних ґрунтах.
4. Оцінити ефективність буроін’єкційних, ґрунтозмішувальних та струменевих методів для умов лесових товщ.
5. Надати рекомендації щодо вибору оптимального методу підсилення залежно від інженерно-геологічних умов, властивостей ґрунтів та типу будівлі.
6. Сформулювати загальні висновки щодо доцільності впровадження сучасних технологій підсилення в будівельну практику регіону.

Об’єкт дослідження - фундаменти та ґрунтові основи будівель, що експлуатуються в умовах просадочних лесових ґрунтів Запорізького району.

Предмет дослідження - методи підсилення фундаментів, їх конструктивні та технологічні особливості, ефективність та область застосування у просадочних ґрунтах.

Методи дослідження - у роботі використано комплекс наукових методів: аналітичний огляд наукових джерел і нормативних документів; порівняльний аналіз технологій підсилення; інженерно-геологічний аналіз ґрунтових умов; методи геотехнічної оцінки несучої здатності основ; узагальнення практичного досвіду застосування сучасних технологій у подібних умовах; систематизація результатів і формування рекомендацій.

Наукова новизна. У роботі вперше для умов Запорізького району виконано комплексне порівняння сучасних технологій підсилення фундаментів з урахуванням просадочних властивостей лесових ґрунтів, зміни гідрогеологічного режиму та фактичних обмежень реконструкції. Сформовано науково обґрунтовані критерії вибору найбільш ефективних технологій, що забезпечують підвищення надійності основи при мінімальному порушенні ґрунтового масиву. Запропоновано підходи до оптимізації застосування буроін’єкційних, струменевих і ґрунтозмішувальних методів для умов нерівномірно просідаючих ґрунтів.

Практична цінність. Результати дослідження можуть бути використані проектними та будівельними організаціями при виборі технологій підсилення фундаментів під час реконструкції та ремонту будівель у Запорізькому районі. Запропоновані рекомендації дозволяють підвищити надійність і довговічність фундаментів, зменшити ризики аварійних деформацій, оптимізувати обсяги земляних робіт та знизити вартість інженерних рішень. Отримані висновки можуть бути впроваджені у практику геотехнічного проєктування та навчальний процес з дисциплін будівельного профілю.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи докладалися в 2025 році на II Міжнародній науково-практичній конференції «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (м. Запоріжжя, 15–16 трав. 2025 р.), за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

Структура і об’єм магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел. Повний об’єм магістерської роботи складає 75 сторінок тексту, у тому числі 15 рисунки, 2 таблиці. Список використаних джерел містить 29 найменувань.

1 АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОБЛЕМ УЛАШТУВАННЯ І ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ У ҐРУНТОВИХ УМОВАХ ЗАПОРІЗЬКОГО РАЙОНУ

1.1 Геотехнічні особливості Запорізького району та їхній вплив на роботу фундаментів

Запорізький район належить до територій із досить складними інженерно-геологічними умовами, що безпосередньо позначається на роботі фундаментів будівель та споруд. У ґрунтовому розрізі значну частку займають лесові та лесоподібні суглинки, а також пилувато-піщані відклади, які в більшості випадків мають властивості просадочності. Для таких ґрунтів характерна наявність специфічної пористо-каркасної структури: ґрунтовий скелет формують агрегати, з’єднані слабкими цементуючими зв’язками, між якими розміщено розвинену систему пор і капілярів. За відсутності зволоження такі ґрунти можуть демонструвати прийнятні міцнісні характеристики, однак навіть відносно незначна зміна гідрогеологічного режиму призводить до різкого зменшення їхньої несучої здатності [4].

Особливою проблемою є те, що просадочний ефект у лесових ґрунтах виявляється не тільки під дією зростання зовнішнього навантаження, а й при замочуванні у вже навантаженому стані. В умовах Запорізького району така ситуація виникає доволі часто: з одного боку, маємо сезонні коливання рівня ґрунтових вод, з іншого – вплив техногенних джерел зволоження (витоки з водогінних і каналізаційних мереж, інфільтрація від дренажних систем, порушення поверхневого водовідведення, інтенсивний полив зелених зон, підпір води від підземних споруд) (Рис. 1.1) [10]. У результаті в зоні основ фундаментів формується складна картина напружено-деформованого стану, коли окремі ділянки ґрунтового масиву втрачають структурну міцність значно швидше, ніж інші. Це призводить до нерівномірних осідань, появи

кренів, повздовжніх і поперечних тріщин у стінах, розкриття швів, деформацій колон і плит перекриття.

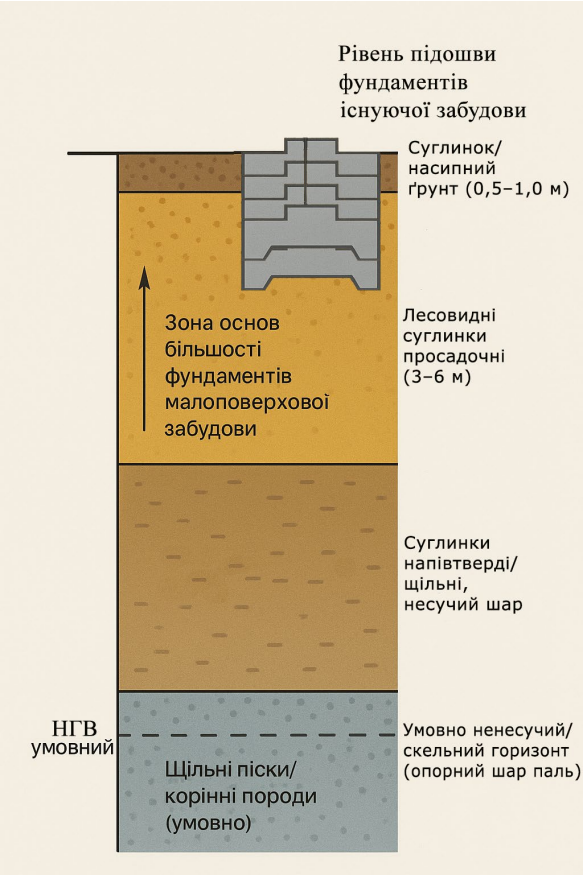


Рисунок 1.1 – Узагальнений інженерно-геологічний розріз ґрунтів Запорізького району з виділенням просадочних лесових товщ

В межах одного будівельного майданчика інженерно-геологічні умови часто характеризуються істотною неоднорідністю: товщина лесового шару, глибина залягання більш щільних суглинків або мергелів, положення рівня ґрунтових вод та наявність прошарків зниженої міцності можуть змінюватися на відстані декількох десятків метрів [1]. Для проектувальника це означає, що розрахункові характеристики основи, прийняті за результатами вишукувань у контрольних свердловинах, не завжди адекватно відображають реальну картину у всіх характерних зонах будівлі. Навіть за умов правильно виконаного розрахунку осідань можливе виникнення локальних ділянок підвищених деформацій, де фактичні напруження перевищують допустимі значення, а просадочний потенціал проявляється повною мірою.

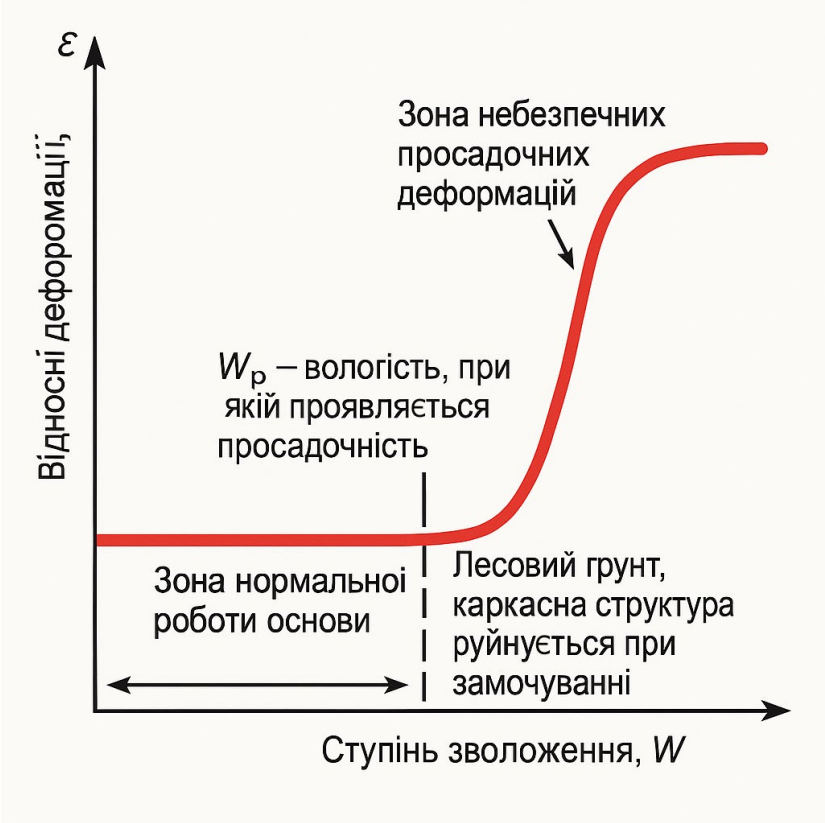


Рисунок 1.2 – Схематична залежність деформацій лесових ґрунтів від ступеня зволоження

Ще одним ускладнюючим чинником є розвиток урбанізованого середовища в Запорізькому районі. Існуюча забудова різних періодів – від промислових цехів і складських будівель до житлових багатоповерхівок – зводилася за різних нормативних вимог і підходів до урахування просадочних ґрунтів. Частина споруд має фундаменти, спроєктовані без повноцінного врахування просадочності, інша – з мінімальним комплексом заходів щодо протидії зволоженню основи. До цього додається практично постійна потреба у реконструкції: надбудова поверхів, заміна технологічного обладнання на більш важке, перепланування внутрішнього простору зі зміною схем передавання навантажень. Усі ці зміни створюють додатковий тиск на основу, яка часто вже працює в напруженому режимі [2].

Важливу роль відіграє й гідрогеологічний фактор. В ряді районів фіксується підвищення рівня ґрунтових вод унаслідок як природних, так і антропогенних причин. Відсутність ефективних дренажних систем, застаріле

або пошкоджене водовідведення, недосконала організація поверхневого стоку – усе це сприяє періодичному або постійному підтопленню підошви фундаментів. Для лесових ґрунтів це означає інтенсивне руйнування структури, перехід частини масиву у стан пливунів або слабких розріджених суглинків, що вже не здатні забезпечити задану несучу здатність. У таких умовах навіть незначне додаткове навантаження може стати пусковим механізмом для розвитку прогресуючих деформацій [5].

Слід також відзначити вплив техногенної динамічної дії. В промислових зонах, поблизу магістральних доріг та залізничних колій фундаментні конструкції зазнають додаткових вібрацій від роботи обладнання, руху важкого транспорту, ударних навантажень. У поєднанні зі зволоженням це прискорює руйнування лесового каркасу ґрунтів, сприяє ущільненню окремих зон та розбалансуванню напруженого стану основи. Внаслідок цього навіть споруди, які тривалий час працювали без видимих ознак деформацій, можуть за відносно короткий період перейти до аварійного або передаварійного стану.

Таким чином, геотехнічні умови Запорізького району формують комплекс факторів, що значно ускладнюють проєктування, будівництво й особливо реконструкцію будівель.

Вибір типу фундаментів та методів їхнього підсилення вимагає не тільки формальної відповідності нормативним документам, а й глибокого розуміння поведінки просадочних ґрунтів у часі, оцінки можливих змін гідрогеологічного режиму, урахування перспективного розвитку навантажень [7]. В цьому контексті традиційні технології підсилення, сформовані переважно для більш сприятливих ґрунтових умов, потребують критичної переоцінки щодо можливості їх безпечного й ефективного застосування саме в Запорізькому регіоні.

1.2 Традиційні підходи до улаштування та підсилення фундаментів у просадочних ґрунтах

Історично в будівництві Запорізького району домінували класичні конструктивні схеми фундаментів: стрічкові під несучими стінами, стовпчасті або стаканні під колонами, а також різновиди плитних фундаментів під будівлями з підвищеними навантаженнями. У разі виявлення слабких ґрунтів майданчиків часто віддавали перевагу монолітним та збірним залізобетонним фундаментам із розширеною підошвою або переходили до свайних рішень із застосуванням забивних паль. При реконструкції існуючих споруд основними інструментами інженера були обойми – бетонні чи залізобетонні «сорочки» для фундаментів і колон, локальне розширення підошви або підкопування окремих ділянок з частковою заміною ґрунту [8].

Умовно такі підходи ґрунтувалися на двох ідеях: збільшити опорну площу фундаменту та підвищити жорсткість і міцність його конструкції. Вважалося, що зменшення розрахункового тиску на ґрунт за рахунок збільшення площі підошви є достатнім заходом для усунення або принаймні зниження ризику надмірних осідань. Проте в умовах лесової просадочності таке припущення часто виявляється надто спрощеним. Навіть при зниженні середнього тиску на основу до нормативних значень нерівномірність деформацій між окремими зонами ґрунтового масиву залишається високою через їх різну структуру, неоднорідний просадочний потенціал та неоднаковий ступінь зволоження.

Розширення підошви стрічкових фундаментів традиційно виконували шляхом розробки виїмок до рівня підошви, очищення й шорсткування поверхні бетону, улаштування додаткової арматури та бетонування розширювальних елементів. Такі роботи [10], особливо в умовах діючої будівлі, вимагали розбиття процесу на короткі захватки й ретельного

контролю деформацій. У лесових ґрунтах підкопування фундаментів по всій товщі часто супроводжується порушенням природного напруженого стану основи, частковим випиранням ґрунту, зменшенням його щільності й, як наслідок, підвищеною осадкою вже після завершення робіт.

Стовпчасті та стаканні фундаменти підсилювали шляхом улаштування додаткових залізобетонних «розкосів», перемичок або обойм, що збільшували площу спирання й розподіляли навантаження. Однак у випадку просадочних ґрунтів ефективність таких рішень істотно залежить від того, наскільки точно вдалося врахувати реальні характеристики ґрунту в зоні нового елемента фундаменту. Якщо додаткові елементи спираються на ґрунт зі зниженим модулем деформації, вони не забезпечують очікуваного розвантаження існуючої конструкції, а іноді навіть створюють додаткові ексцентриситети й перекіс фундаменту [12].

Забивні палі, що активно застосовувалися у промисловому будівництві, мали беззаперечні переваги у випадку товстих шарів слабких ґрунтів, які необхідно було прорізати для спирання на більш міцні породи. Проте в умовах густої забудови, особливо при реконструкції, використання ударних методів заглиблення супроводжується суттєвими вібраційними впливами на сусідні споруди. Для лесових ґрунтів [15], схильних до розущільнення й руйнування структури під дією динамічних навантажень, це створює додаткові ризики й часто робить такі технології малоприйнятними.

У підсиленні фундаментів тривалий час домінував підхід, орієнтований переважно на конструкцію фундаменту, а не на зміну властивостей ґрунтової основи. В результаті багато рішень, ефективних на піщаних чи глинистих ґрунтах із прогнозованою поведінкою, у Запорізькому районі давали лише частковий результат, не усуваючи головної причини деформацій – просадочності та нерівномірного зволоження лесового масиву.

1.3 Причини деформацій фундаментів та актуальність їх підсилення

Деформації фундаментів у Запорізькому районі мають комплексний характер і, як правило, є наслідком одночасного впливу декількох факторів. До них належать зміна величини та схеми навантаження на будівлю у процесі її експлуатації, трансформація гідрогеологічних умов, старіння будівельних матеріалів і конструкцій, а також помилки або спрощення, допущені на стадії проектування. Типовою є ситуація, коли будівля, запроєктована для одних умов (менша поверховість, інші види обладнання, відсутність підвалів чи технічних підпіль), у процесі експлуатації зазнає трансформацій, що багаторазово змінюють навантаження на основу [11].

Серйозну роль відіграє й фактор часу. Структурна міцність лесових ґрунтів, особливо при періодичному зволоженні, знижується поступово, тому початкові деформації можуть бути джерелом прихованих накопичувальних процесів, що проявляються лише через десятиліття (Рис.1.3). Водночас технічний стан фундаментів, зведених у попередні нормативні епохи, часто не відповідає сучасним вимогам щодо надійності, жорсткості та деформаційної сумісності з надземною частиною будівлі. У сукупності це створює сталу потребу у підсиленні фундаментів як для промислових, так і для цивільних об’єктів.

У багатьох випадках саме поява тріщин у стінах, перекосів прорізів, деформацій підлог або різниця осідань між сусідніми частинами споруди стають першим сигналом до проведення детального обстеження. Результати таких обстежень [16] нерідко виявляють значне перевантаження окремих елементів фундаментів, розвиток корозійних процесів у залізобетоні, порушення гідроізоляції, інтенсивну фільтрацію води в зоні основи. У цих умовах підсилення фундаментів перестає бути локальним ремонтом і перетворюється на ключовий етап комплексної реконструкції.

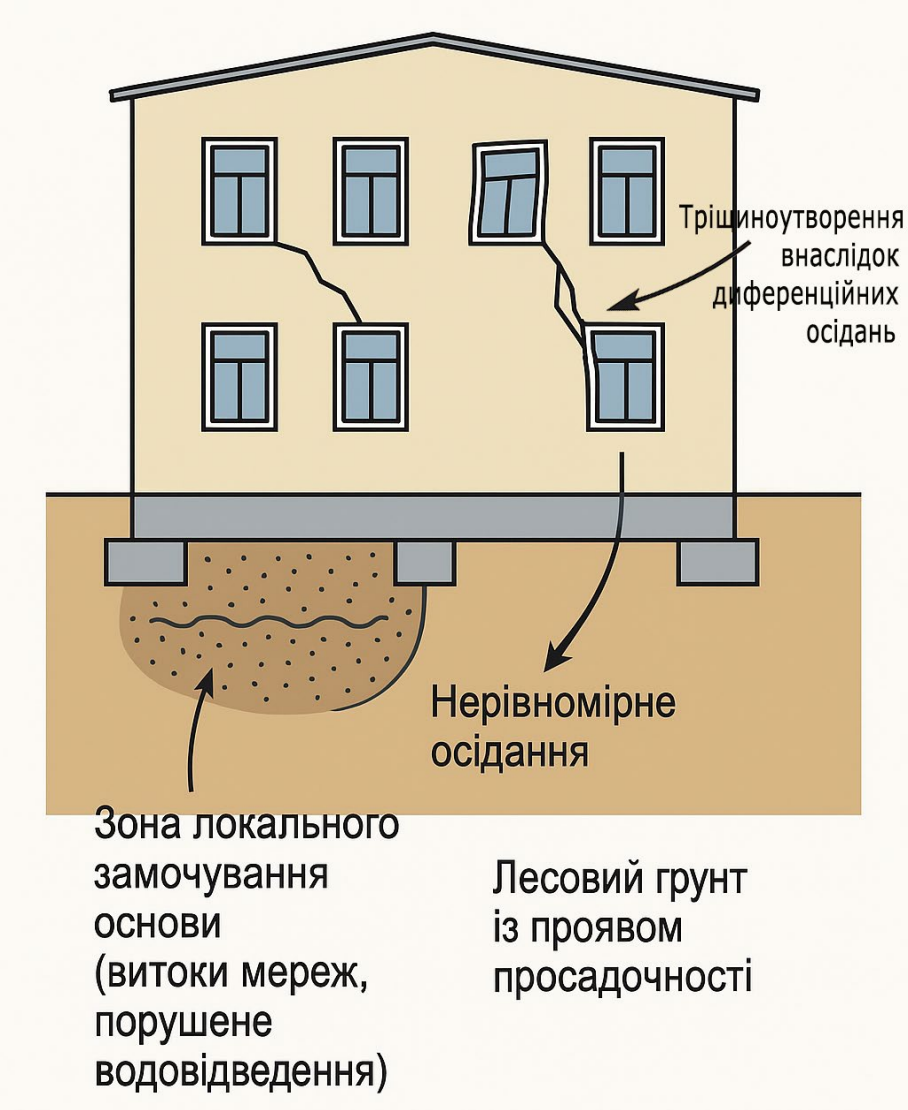


Рисунок 1.3 – Характерні деформації будівлі внаслідок нерівномірних осідань фундаментів на лесових ґрунтах

Актуальність проблеми підсилення посилюється ще й тим, що знесення старих будівель і споруд не завжди є економічно виправданим або містобудівно можливим. Часто йдеться про об’єкти, розташовані в сформованій забудові, з підведеними інженерними мережами, із соціально значущими функціями. У таких випадках завдання інженера полягає не лише у відновленні несучої здатності існуючої системи «фундамент–основа», а й у забезпеченні мінімального впливу будівельно-монтажних робіт на оточуючу забудову та функціонування самої будівлі.

1.4 Оцінка можливостей застосування традиційних технологій у ґрунтових умовах Запорізького району

Критичний аналіз досвіду застосування традиційних технологій улаштування та підсилення фундаментів у лесових ґрунтах Запорізького району показує, що їхня ефективність є обмеженою й сильно залежить від конкретних умов. У випадках, коли товщина просадочного шару незначна, а рівень ґрунтових вод залишається стабільно низьким, класичні рішення – розширені стрічкові фундаменти, плитні основи, локальні обойми – можуть забезпечувати прийнятний рівень надійності. Однак у більшості реальних ситуацій [17], характерних для забудови району, маємо поєднання значної товщі лесових відкладів, неоднорідності їх властивостей і потенційних змін гідрогеологічного режиму.

У таких умовах усі методи, пов’язані з масовою розробкою ґрунту навколо існуючих фундаментів, несуть у собі суттєві ризики. Відкопування фундаментів по всій висоті, улаштування додаткових елементів, монтаж важких збірних обойм часто призводять до перерозподілу напружень у масиві й активізації небажаних деформацій. Через це технології, які формально спрямовані на підсилення, за недостатньо вивіреної організації робіт можуть викликати погіршення стану будівлі.

Окремою проблемою є низька механізація традиційних процесів. Значна частина операцій – від розробки шурфів до монтажу опалубки й укладання бетону – виконується вручну або із застосуванням простих механізмів. Це збільшує тривалість робіт, підвищує вартість, а також ускладнює забезпечення стабільної якості на великих об’ємах. У сучасних умовах [21], коли будівельна галузь активно переходить до індустріальних технологій, такі методи об’єктивно програють технологіям, що дозволяють поєднати високу механізацію, контрольованість параметрів і мінімальне втручання у структуру ґрунтового масиву.

Додатковим обмеженням є екологічний аспект. Раніше широко застосовувалися методи хімічного закріплення ґрунтів із використанням різноманітних розчинів на основі смол, солей важких металів, агресивних реагентів. Сьогодні, з огляду на посилені вимоги до охорони довкілля і безпеки підземних вод, використання багатьох таких складів є небажаним або прямо забороненим. Це обмежує арсенал традиційних технологій і підштовхує до пошуку альтернативних, більш екологічно безпечних рішень (Рис.1.4).

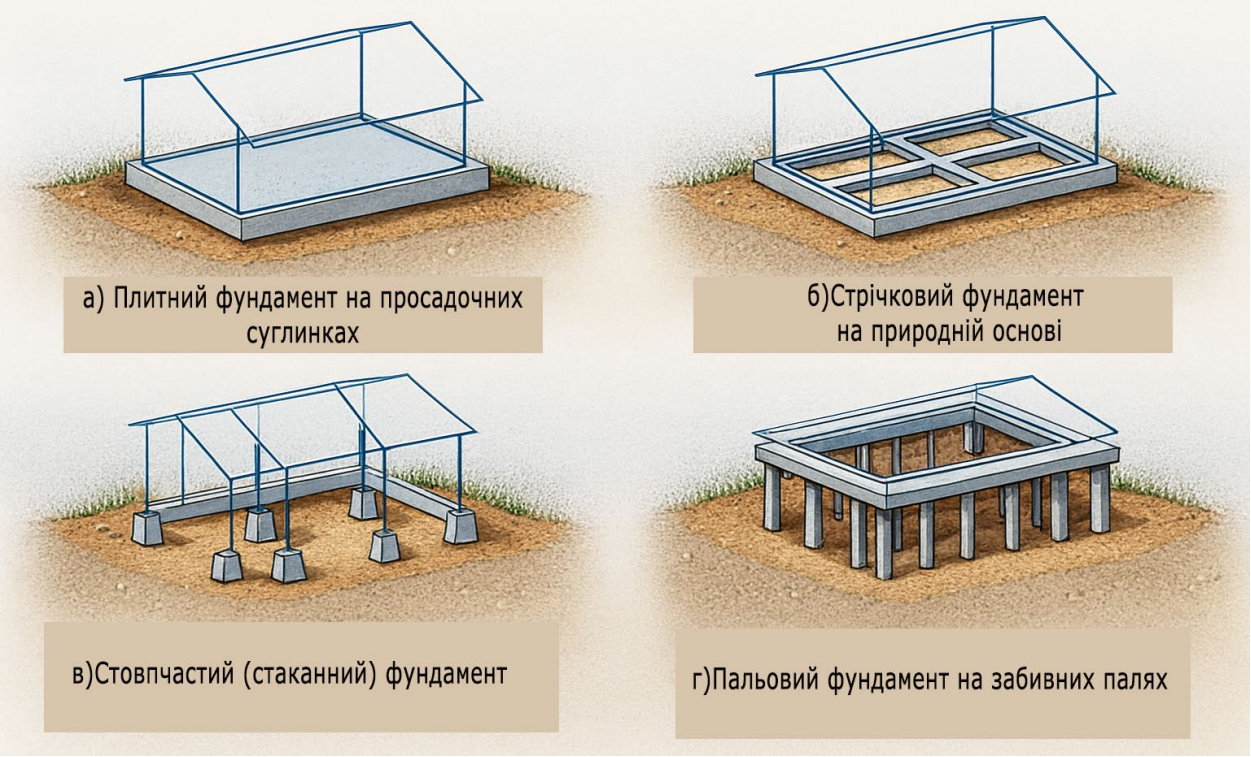


Рисунок 1.4 – Типові традиційні конструкції фундаментів, застосовані в умовах просадочних ґрунтів Запорізького району

Таким чином, у ґрунтових умовах Запорізького району традиційні підходи до підсилення фундаментів можна розглядати як резервний варіант для окремих, добре вивчених випадків, але не як універсальний інструмент. Сучасна практика вимагає переходу до технологій, у яких ключовий акцент робиться на керованому впливі на ґрунтову основу з використанням високоефективної техніки, мінімізацією земляних робіт і можливістю виконання робіт у стіснених міських умовах.

2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ У ҐРУНТОВИХ УМОВАХ ЗАПОРІЗЬКОГО РАЙОНУ

2.1 Сучасні технології монолітних фундаментів у системі підсилення будівель

У сучасній практиці реконструкції та нового будівництва в умовах Запорізького району особливе місце посідають монолітні залізобетонні фундаменти. Вони дозволяють формувати жорсткі просторові системи, що рівномірніше передають навантаження на основу і дають можливість адаптувати геометрію під фактичні інженерно-геологічні умови ділянки. У випадку підсилення існуючих споруд монолітні конструкції часто використовують як додаткові елементи – плитні вставки, розширення ростверків, монолітні подушки, які працюють разом з наявними фундаментами й вирівнюють напружено-деформований стан основи.

Зростання ролі монолітних фундаментів пов’язане з розвитком технологій товарного бетону, опалубних систем та бетононасосів. Це дозволяє організувати безперервне бетонування великих об’ємів, підвищити якість і однорідність бетону, скоротити тривалість робіт навіть у складних ґрунтових та погодних умовах [12]. Для Запорізького району, де просадочні лесові ґрунти часто мають значну змінність властивостей по площі, можливість формування суцільної монолітної плити або розширеної жорсткої системи фундаментів є одним із способів зменшити ризик диференційних осідань.

2.1.1 Підвищення технологічності виготовлення монолітних фундаментів

Технологічність монолітних фундаментів в умовах реконструкції та підсилення тісно пов’язана з організацією робіт на обмежених майданчиках,

у забудованому середовищі та при високому рівні ґрунтових вод. Сучасні опалубні системи (збірно-розбірні щитові, дрібно- і крупнощитова опалубка, просторові блоки) дають змогу мінімізувати обсяги ручної праці, скоротити час монтажу та забезпечити необхідну геометричну точність конструкцій. Використання готових арматурних каркасів і сіток, у тому числі виготовлених на спеціалізованих дільницях чи за допомогою механізованих інструментів для в’язки арматури, підвищує узгодженість роботи арматурно-бетонної системи й дозволяє більш точно реалізувати розрахункову схему[9].

Важливою умовою ефективності є організація безперервної подачі бетонної суміші до місця укладання. Для цього застосовують стаціонарні або мобільні бетононасоси, які по трубопроводах подають суміш у важкодоступні зони підсилення без залучення кранів до транспортних операцій. Це особливо актуально при роботах у підвалах, технічних підпіллях або обмежених дворових просторах, характерних для міської забудови Запорізького району. Забезпечення стабільних технологічних параметрів (рухливість суміші, режим ущільнення вібраторами, догляд за бетоном на ранніх стадіях тверднення) дозволяє отримати конструкції з прогнозованими міцнісними та деформаційними характеристиками.

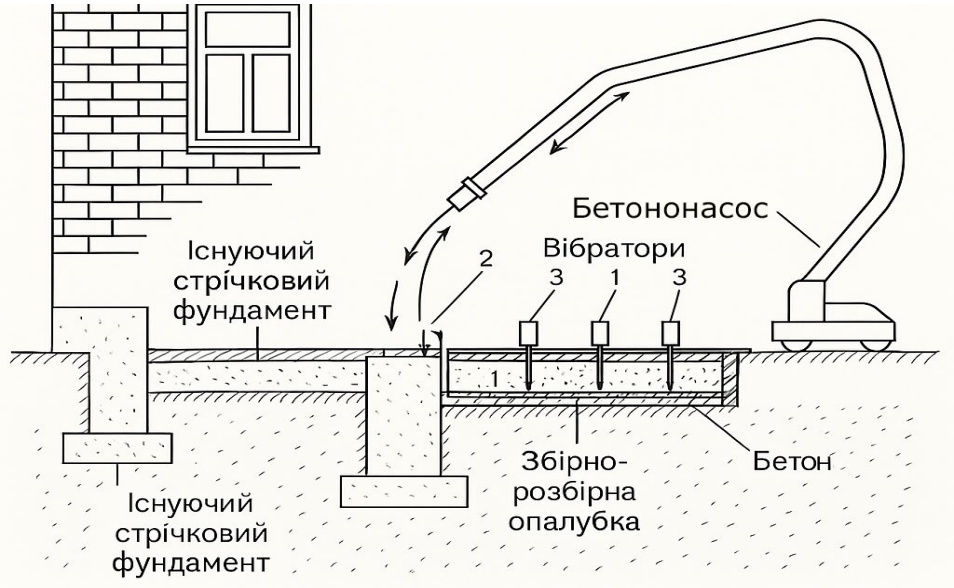


Рисунок 2.1 – Схема організації бетонування монолітного фундаменту при підсиленні існуючої будівлі

2.1.2 Монолітні цементоґрунтові фундаменти

Подальшим розвитком ідеї монолітних фундаментів є застосування цементоґрунтових основ, коли частина традиційного бетону замінюється місцевим ґрунтом, закріпленим цементним в’яжучим. Такі рішення дозволяють знизити обсяги земляних робіт і витрати бетонної суміші, а також максимально використати несучу здатність ґрунтового масиву. У вихідному документі розглядається технологія улаштування стрічкових цементоґрунтових фундаментів за допомогою шнекофрезерних машин, що розробляють ґрунт без виїмки з котловану та одночасно змішують його з цементним розчином.

Для умов Запорізького району така технологія є особливо цікавою у випадку реконструкції малоповерхової забудови або промислових будівель із невеликими глибинами закладання фундаментів. Формування цементоґрунтової стрічки дозволяє створити під існуючим фундаментом більш жорсткий та рівномірний за властивостями шар, який сприймає навантаження від будівлі, зменшуючи вплив локальних слабких зон лесового масиву[13]. При цьому практично відсутні відкриті виїмки, що знижує ризик випирання ґрунту та просідання під час будівництва.

Міцнісні характеристики цементоґрунту залежать від виду ґрунту, вмісту цементу та водоцементного відношення. Дослідження показують, що для більшості суглинків і лесових ґрунтів можливо досягти класів міцності, достатніх для ефективної роботи в якості фундаментної стрічки чи палі. За необхідності конструкцію можна додатково армувати сітками або стрижнями, які занурюються в свіжоутворену суміш за допомогою віброштанг.

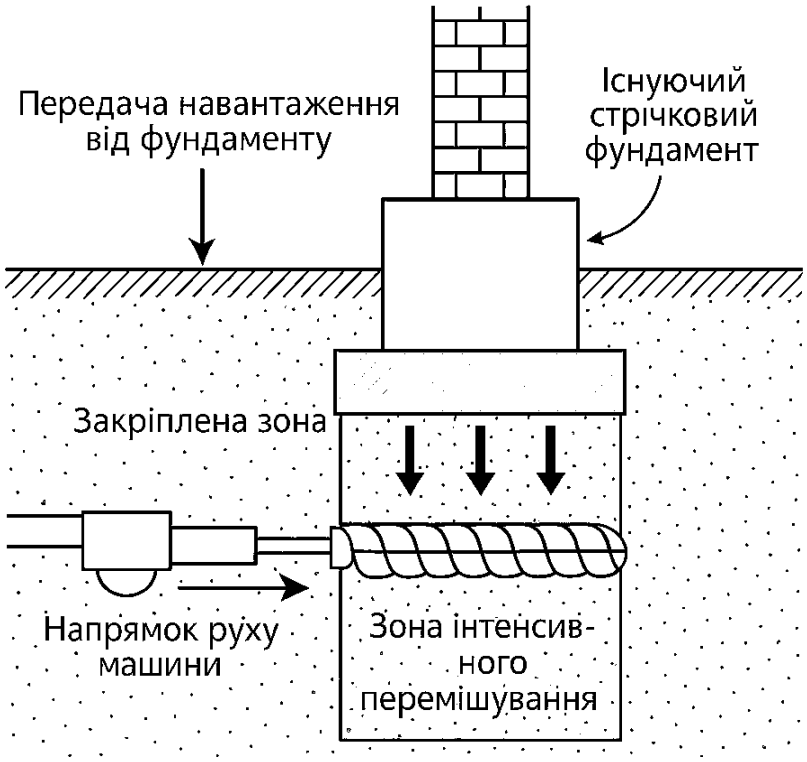


Рисунок 2.2 – Схема улаштування цементоґрунтової стрічки під існуючим стіновим фундаментом

2.2 Сучасні технології улаштування набивних паль як основа підсилення фундаментів

Перехід від забивних та віброзанурюваних паль до набивних є однією з ключових тенденцій у фундаментобудуванні. Набивні палі виготовляються безпосередньо в товщі ґрунтового масиву, що дозволяє відмовитися від ударного заглиблення та істотно знизити вібраційний вплив на оточуючу забудову. У вихідному тексті підкреслюється, що частка таких технологій у світовій практиці досягає переважної більшості, а їх розвиток пов’язаний із можливістю гнучко адаптувати конструкції до різних ґрунтових умов, у тому числі й просадочних.

Для Запорізького району набивні палі є одним із основних інструментів підсилення фундаментів будівель, що експлуатуються на лесових ґрунтах. Вони дозволяють передати частину навантаження з деформованої основи на

глибші щільніші горизонти, а також локально закріпити ослаблені зони. У межах набивних паль можна виділити кілька ключових груп: класичні буронабивні палі, ґрунтоцементні (бурозмішувальні), палі з електророзрядним ущільненням, буроін’єкційні палі та струменеві/струменево-змішувальні колони. Кожна з цих технологій має власні особливості формування тіла палі, впливу на ґрунт і області доцільного застосування.

2.2.1 Буронабивні палі

Технологія буронабивних паль включає два основні етапи: спочатку розробляють свердловину до проєктної глибини, після чого її заповнюють бетонною сумішшю з можливим улаштуванням армувального каркаса. Розробка свердловин виконується за допомогою шнекових або ударно-канатних бурових установок, вибір яких визначається геологічними умовами та необхідною продуктивністю робіт. У зв’язних ґрунтах формування свердловин може здійснюватися без обсадних труб[16], тоді як у водонасичених чи нестійких породах застосовують тимчасове кріплення стінок за допомогою глинистих розчинів або сталевих обсадних труб, що забезпечує стабільність стінок свердловини та запобігає їх обваленню.

В умовах Запорізького району буронабивні палі доцільно застосовувати в тих випадках, коли потужність просадочної лесової товщі є обмеженою, а нижче залягають щільні суглинки або піски, здатні надійно сприймати проєктні навантаження. За таких обставин палі працюють як елементи, що передають навантаження одночасно через бокову поверхню та нижній кінець, забезпечуючи надійне залучення нижчих несучих горизонтів. При підсиленні фундаментів буронабивні палі зазвичай улаштовують у безпосередній близькості до існуючих конструкцій, після чого оголовки паль об’єднують з фундаментом монолітним залізобетонним ростверком, що формує спільну роботу системи «фундамент – палі – ґрунт».

Додатковою перевагою буронабивних паль є можливість їх улаштування в умовах щільної забудови, оскільки процес буріння супроводжується мінімальним рівнем вібрацій і не створює значних динамічних впливів на сусідні споруди. Технологія також дозволяє регулювати діаметр і глибину паль залежно від фактичних інженерно-геологічних умов, що підвищує її адаптивність [18]. За необхідності можливо застосовувати методи ушільнення ґрунту в зоні свердловини або використання спеціальних бетонних сумішей підвищеної текучості для забезпечення якісного заповнення порожнин. У випадках реконструкції об’єктів буронабивні палі часто стають оптимальним рішенням завдяки можливості їх улаштування з мінімальним порушенням експлуатації будівлі. В сукупності ці переваги роблять технологію однією з найбільш універсальних і технологічно придатних для підсилення фундаментів у геотехнічних умовах Запорізького району.

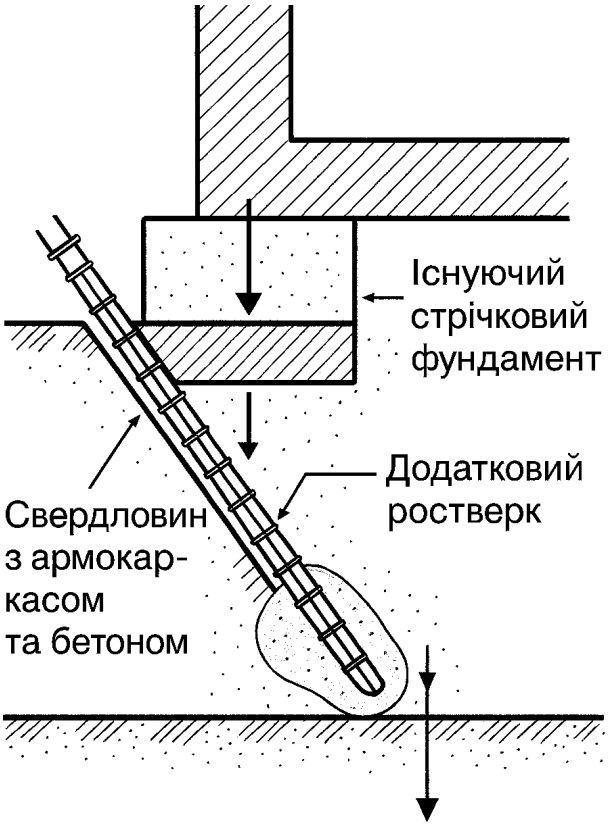


Рисунок 2.3 – Схема влаштування буронабивної палі при підсиленні стрічкового фундаменту

2.2.2 Ґрунтоцементні палі (бурозмішувальна технологія, DSM)

Ґрунтоцементні палі формуються без повної виїмки ґрунту: бурова штанга з шнеком і спеціальними ножами, що розкриваються, розпушує ґрунт у межах стовбура палі, одночасно перемішуючи його з цементним розчином, який подається під тиском через порожнисту штангу. У вихідному документі докладно описано процес формування таких паль, включаючи розкриття ножів при зворотному ході штанги, нагнітання цементної пасти та створення каменеподібного стовбура після тверднення [19].

Ця технологія є надзвичайно перспективною для лесових ґрунтів Запорізького району, оскільки дозволяє не лише створювати палі, а й закріплювати навколишній ґрунтовий масив, формуючи своєрідні «колони жорсткості» у тілі просадочного горизонту. У разі підсилення фундаментів ґрунтоцементні палі можуть розташовуватися в один або декілька рядів під кутом чи вертикально, утворюючи підошву підсиленого фундаменту або завісу закріпленого ґрунту під плямою забудови.

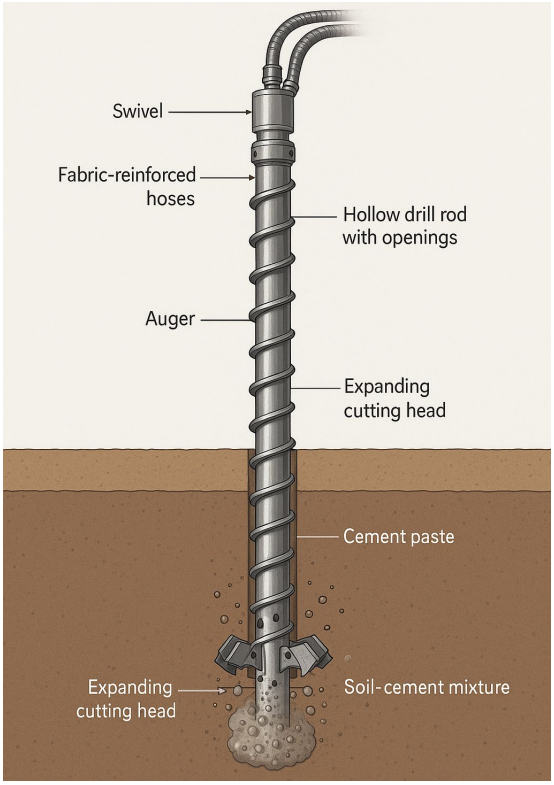


Рисунок 2.4 – Формування ґрунтоцементної палі бурозмішувальним методом (DSM)

2.2.3 Набивні палі з використанням електричних розрядів

Одним із способів підвищення несучої здатності набивних паль є використання електророзрядної дії для додаткового ущільнення бетонної суміші та навколишнього ґрунту. Суть методу полягає в тому, що в заповнену бетонною сумішшю свердловину занурюють розрядник, під'єднаний до джерела імпульсного струму. Електричний розряд у водонасиченому середовищі викликає гідравлічний удар, який спричиняє інтенсивне локальне руйнування структури ґрунту, розширення стовбура палі та ущільнення прилеглого ґрунтового масиву. У вихідному файлі описано відмінності між тепловим і лідерним режимами розряду та наведено дані про збільшення діаметра палі при оптимальному виборі напруги й енергії імпульсів.

Електророзрядна обробка сприяє значному підвищенню адгезійної взаємодії між бетоном і ґрунтом, що особливо важливо для паль, які працюють переважно за рахунок бокового тертя. Крім того, імпульсні навантаження дозволяють формувати стовбур палі більшої жорсткості та знижувати ймовірність розвитку вертикальних деформацій у процесі експлуатації. Метод забезпечує можливість регулювання форми та радіуса розширення палі залежно від технологічних параметрів, що робить його достатньо гнучким у застосуванні для різних інженерно-геологічних умов. За даними експериментальних досліджень, використання електророзряду може збільшувати розрахункову несучу здатність палі на 20–40 % залежно від характеристик ґрунту [27].

Для Запорізького району цей метод є радше спеціальним, але може бути корисним при підсиленні фундаментів високо навантажених колон у випадку обмеженого діаметра свердловин і необхідності збільшити несучу здатність без зміни геометрії фундаменту [14]. Його застосування особливо доцільне в умовах реконструкції, коли традиційні способи збільшення

перерізу фундаментних елементів є технічно неможливими або пов'язані з надмірними ризиками. Однак використання електророзрядних технологій потребує ретельного технічного та економічного обґрунтування, проведення попередніх лабораторних і натурних випробувань, а також оцінки впливу на навколишні споруди й інженерні мережі. Наявність струмоведучих елементів і імпульсних джерел енергії вимагає підвищених заходів безпеки та чіткої організації технологічного процесу.

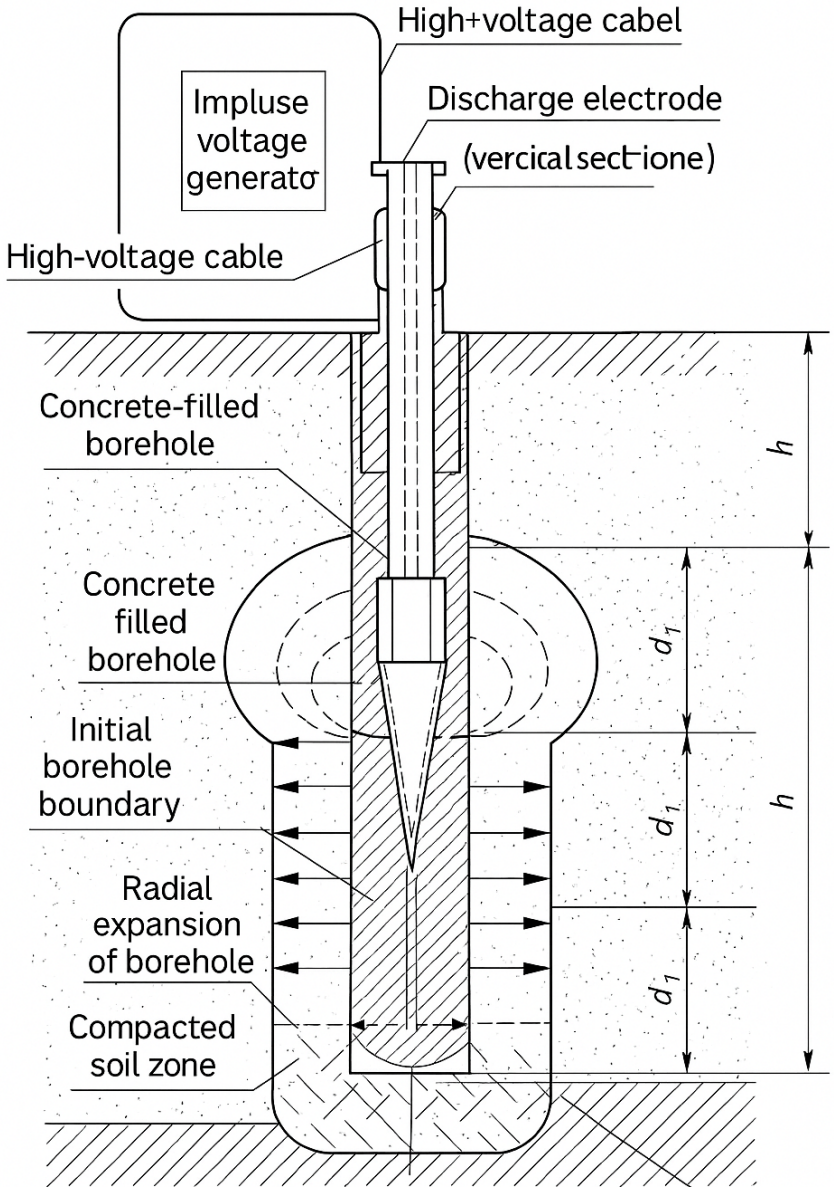


Рисунок 2.5 – Схема дії електричного розряду в стовбурі набивної палі

2.2.4 Буроін’єкційні палі

Буроін’єкційні палі поєднують буріння та нагнітання бетонної суміші під тиском через порожнисту бурову штангу в процесі її витягування. Така технологія дозволяє формувати палі в нестійких і водонасичених ґрунтах без відкриття свердловини та ризику її обвалення, що значно підвищує надійність і керованість процесу. У вихідному документі подано послідовність технологічного процесу: розробку свердловини, початок зворотного ходу штанги, нагнітання бетонної суміші й формування тіла палі, а також подальше занурення арматурного каркаса у свіжоукладений бетон за допомогою віброзбудника [22]. Така послідовність забезпечує утворення безперервного тіла палі з мінімальними ризиками розшарування бетону та утворення пустот.

У просадочних ґрунтах Запорізького району буроін’єкційні палі мають кілька важливих переваг. По-перше, тиск бетонної суміші створює ефект розпору, який ущільнює ґрунт навколо палі та зменшує деформативність основи. Це особливо актуально в лесових ґрунтах, де порушення природної структури призводить до швидкої втрати міцності під дією зволоження або навантаження. По-друге, відсутність ударної дії дає змогу застосовувати технологію в безпосередній близькості до існуючих будівель без ризику вібраційних пошкоджень, що є ключовою вимогою при реконструкції об’єктів у щільній міській забудові.

По-третє, завдяки гнучкості розташування та можливості виконання паль із невеликим кроком формується ефективне пальово-плитне поле під підсилюваними фундаментами, що забезпечує рівномірний перерозподіл навантаження та зменшення нерівномірних осідань. Крім того, буроін’єкційні палі можуть виконуватися різного діаметра та глибини, що робить їх універсальними для широкого спектра інженерно-геологічних умов. Їх застосування дозволяє підвищувати несучу здатність фундаментів не

лише за рахунок роботи на кінцевий опір, але й через збільшення сили бокового тертя на контакті «паля–ґрунт».

Досвід експлуатації методів буроін’єкційного паліювання показує, що сформовані таким способом палі характеризуються високою однорідністю матеріалу та стабільними прогнозованими параметрами міцності. Це робить технологію особливо цінною при складних ґрунтових умовах, де традиційні забивні або буронабивні палі можуть втрачати ефективність через ослаблений або структурно нестійкий ґрунт. У сукупності ці фактори дозволяють розглядати буроін’єкційні палі як один із найефективніших способів підсилення фундаментів у Запорізькому районі.

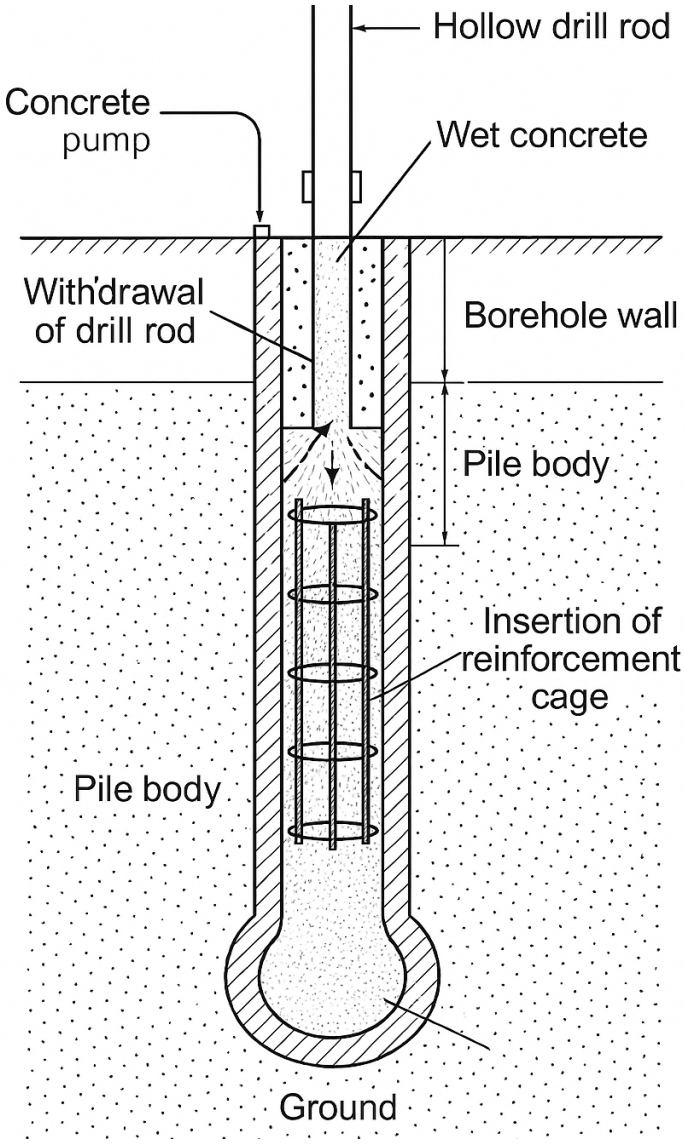


Рисунок 2.6 – Технологічна схема улаштування буроін’єкційної палі

2.2.5 Струменеві та струменево-змішувальні технології (Jet Grouting)

Струменеве закріплення ґрунтів належить до групи високоефективних методів формування набивних паль і цементоґрунтових елементів без попередньої виїмки ґрунту з масиву. Сутність технології полягає в тому, що через форсунки у буровій штанзі під дуже високим тиском подається водоцементний розчин (або вода разом із стисненим повітрям та цементним розчином), який, виходячи у вигляді тонкого струменя з великою швидкістю, руйнує структуру природного ґрунту, розпушує його та одночасно змішує з в'яжучим [29]. У результаті в тілі ґрунту формується майже циліндричний стовбур цементоґрунту з підвищеними міцнісними характеристиками, що може працювати як палі, колона або елемент жорсткої плити під фундаментами.

Технології Jet Grouting, які вважаються еталонними для цього класу методів, реалізуються у декількох варіантах (JET1, JET2, JET3), що відрізняються схемою подачі робочих середовищ, параметрами тиску та витрати, а також досяжними діаметрами колон. Для варіанта JET1 використовується водоцементний струмінь під тиском орієнтовно 20–60 МПа з витратою 40–120 л/хв; у варіанті JET2 до водоцементного струменя додається повітряний струмінь під тиском 0,6–1,2 МПа з витратою 2–6 м³/хв, що підвищує енергію руйнування ґрунту; у варіанті JET3 застосовується окремий водяний струмінь високого тиску (20–50 МПа) у поєднанні з повітрям і цементним розчином, що дозволяє формувати колони більшого діаметра. Діаметри сопел водоцементного та водяного струменя становлять, як правило, від 1,5 до 8 мм, а швидкість обертання та підйому бурової штанги (10–25 об/хв при 5–50 см/хв) підбирається таким чином, щоб забезпечити необхідну однорідність і перетин колон.

Комплекс обладнання для реалізації струменевих технологій включає насос високого тиску для подачі цементного розчину, за потреби – насос для води й пересувну компресорну станцію, а також растворозмішувальну установку з дозаторами й силосними ємностями для цементу. Усе технологічне обладнання – від насосів та компресорів до бурової штанги – з'єднується системою трубопроводів і шлангів високого тиску, оснащених керуючою й контрольною апаратурою.

Завдяки цьому оператор має можливість точно регулювати тиск, витрату та склад робочої суміші, змінюючи параметри колони в залежності від інженерно-геологічних умов. Схеми організації робочого місця, розміщення обладнання та послідовності виконання операцій, наведені в базовому документі, показують, що навіть у стіснених умовах міської забудови можливо розгорнути повноцінний технологічний цикл без масштабних земляних робіт [6].

Для ґрунтових умов Запорізького району, де поширені лесові просадочні суглинки зі значною варіацією міцнісних властивостей по площі, Jet Grouting має низку суттєвих переваг. По-перше, процес руйнування та змішування ґрунту відбувається локально у межах кожної колони, без розробки відкритих траншей і котлованів, що практично виключає ризик випирання ґрунту та раптового розкриття просадочних структур. По-друге, високий тиск струменів дозволяє «перерізати» слабкі прошарки й включення, створюючи в їх межах однорідний цементогрунтовий камінь, міцність якого контролюється складом розчину та режимами обробки. По-третє, геометрія колон (діаметр, глибина, крок) може варіюватися у широкому діапазоні, що дає змогу формувати як поодинокі палі під окремі колони, так і суцільні поля та завіси під фундаментами будівель.

У задачах підсилення фундаментів у Запорізькому районі струменево-змішувальні технології доцільно застосовувати для створення системи колон під плямою забудови, які об'єднуються залізобетонною плитою або

ростверком і формують своєрідний «жорсткий короб» у товщі просадочного горизонту. Такий короб працює як просторовий елемент, що передає навантаження від будівлі на глибші та більш стабільні ґрунтові шари, одночасно перерозподіляючи напруження в межах закріпленого масиву. Важливою перевагою є можливість виконання робіт зсередини будівлі або з обмеженої площадки поряд із нею, що критично при реконструкції об’єктів у щільній забудові.

Разом з тим, застосування Jet Grouting потребує ретельного інженерного обґрунтування. Необхідно враховувати вплив високого тиску на сусідні споруди та підземні комунікації, можливість утворення порожнин або незакріплених зон у разі порушення режимів подачі розчину, а також вимоги до контролю якості цементогрунту (відбір зразків, випробування на міцність і деформативність). Для лесових ґрунтів, схильних до розущільнення, важливо коректно підібрати параметри технології, щоб руйнування природного каркасу повністю компенсувалося формуванням штучного, більш міцного та тріщиностійкого.

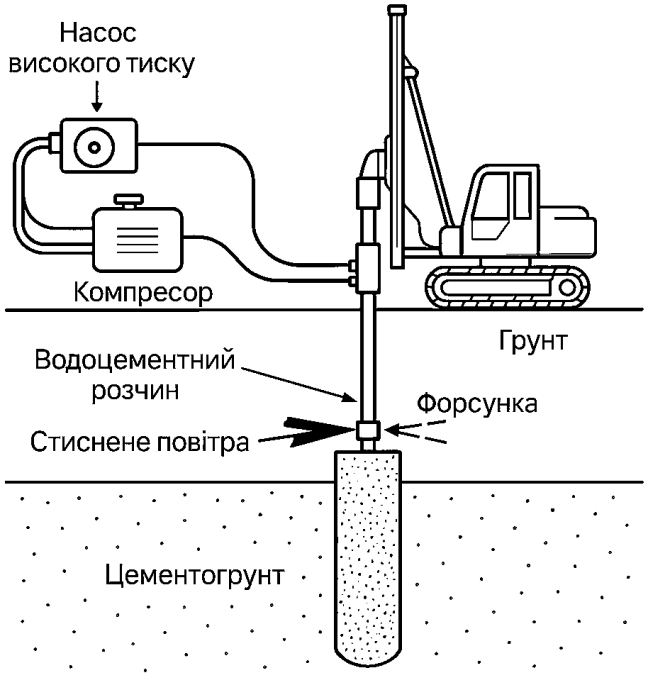


Рисунок 2.7 – Схема струменевого закріплення ґрунтів під існуючим фундаментом

2.6 Фундаменти на армованих основах

Фундаменти на армованих основах є одним із напрямів розвитку фундаментобудування, який ґрунтується на ідеї сумісної роботи ґрунтового масиву та додаткових армувальних елементів, розташованих у його товщі. На відміну від класичних рішень, де основну несучу функцію виконують жорсткі залізобетонні елементи (фундаменти, палі, плити), у системі «армована основа – фундамент» значна частина зусиль перерозподіляється через розтягувані армувальні прошарки, що працюють подібно до арматури у залізобетоні, але в ґрунтовому середовищі. У базовому документі розглянуто декілька технологічних варіантів таких основ, зокрема використання склосіток у поєднанні з баластними матеріалами та рамними елементами.

Один із варіантів передбачає укладання кількох шарів склосітки розрахункової довжини на підготовлену поверхню ґрунту з подальшим кріпленням країв фіксаторами в напруженому стані [9]. Такий попередній натяг дозволяє уникнути утворення складок та забезпечує щільний контакт армуючого шару з ґрунтом. На поверхню склосітки з певним відступом від осі фундаменту встановлюють елементи рами, які виготовляються заздалегідь у полігонних або заводських умовах із залізобетону, фібробетону чи інших жорстких матеріалів. Рама формує замкнутий контур, що служить опалубкою й обмежуючим контуром для баластного матеріалу – піску, щебеню, шлаку або бетону з заданими характеристиками. Кути елементів рами виконуються закругленими, щоб запобігти пошкодженню склосітки на межі контакту з жорстким баластом.

Після засипання й ущільнення баластного матеріалу на його поверхні улаштовують опорний фундамент – збірний або монолітний, який може мати як підошву, так і стаканну частину для спирання колон. Таким чином, утворюється багатошарова система: лесовий або інший ґрунт основи, армувальні шари склосітки, баластний прошарок, жорстка рама та власне

фундамент. У такій системі вертикальні навантаження від будівлі частково передаються безпосередньо на ґрунт, а частково – через розтягувані шари склосітки, які «розтягують» діаграму напружень у плані й зменшують концентрацію зусиль під окремими ділянками фундаменту. Це особливо важливо в умовах неоднорідних і просадочних ґрунтів Запорізького району, де ризик локальних деформацій значно зростає.

Механіка роботи армованої основи полягає в тому, що при збільшенні навантаження ґрунт прагне до горизонтальних деформацій розширення, але ці деформації стримуються армувальними шарами. У відповідь у склосітках виникають розтягувальні зусилля, які перерозподіляють напруження у більшій площі основи. В результаті зменшуються вертикальні деформації під окремими зонами фундаменту, а також знижується чутливість системи до локальних ослаблень ґрунту або його нерівномірного зволоження. Для лесових ґрунтів, схильних до просадочності, це означає додатковий резерв стійкості до раптових деформацій при замочуванні.

З практичної точки зору фундаменти на армованих основах доцільно розглядати як альтернативу або доповнення до жорстких плитних рішень. У випадках, коли товщина просадочного шару незначна, але його властивості неоднорідні, застосування армувальних шарів у поєднанні з відносно тонкою плитою може виявитися економічно вигіднішим, ніж улаштування масивних плит великої жорсткості. В умовах Запорізького району такі системи можуть бути особливо корисними для малоповерхової житлової та громадської забудови, складів, легких промислових будівель, де навантаження є помірними, але вимоги до тріщиностійкості та обмеження деформацій досить високі.

Ще одним важливим аспектом є поєднання армованих основ із іншими технологіями підсилення. Наприклад, під сильно навантаженими колоннами можуть улаштовуватися буронабивні або струменеві палі, тоді як між ними працює армована основа, яка вирівнює напружений стан у плані будівлі. У

такій комбінованій системі палі сприймають основну частину навантаження, а армовані прошарки запобігають розвитку диференційних осідань між зонами з різними типами основ. Це відкриває можливості для гнучкого проектування підсилення фундаментів з урахуванням реальних ґрунтових умов та конструктивних обмежень.

При проектуванні фундаментів на армованих основах необхідно приділяти увагу довговічності склосіток і геосинтетичних матеріалів у ґрунтовому середовищі [12]. Враховується агресивність підземних вод, можливість механічного пошкодження при ущільненні баластного шару, а також повзучість матеріалу при тривалих навантаженнях. Обов'язковими є перевірки по міцності армувальних прошарків, розрахунок сумісності деформацій ґрунту та армувальних елементів, а також аналіз граничних станів за несучою здатністю й придатністю до нормальної експлуатації.

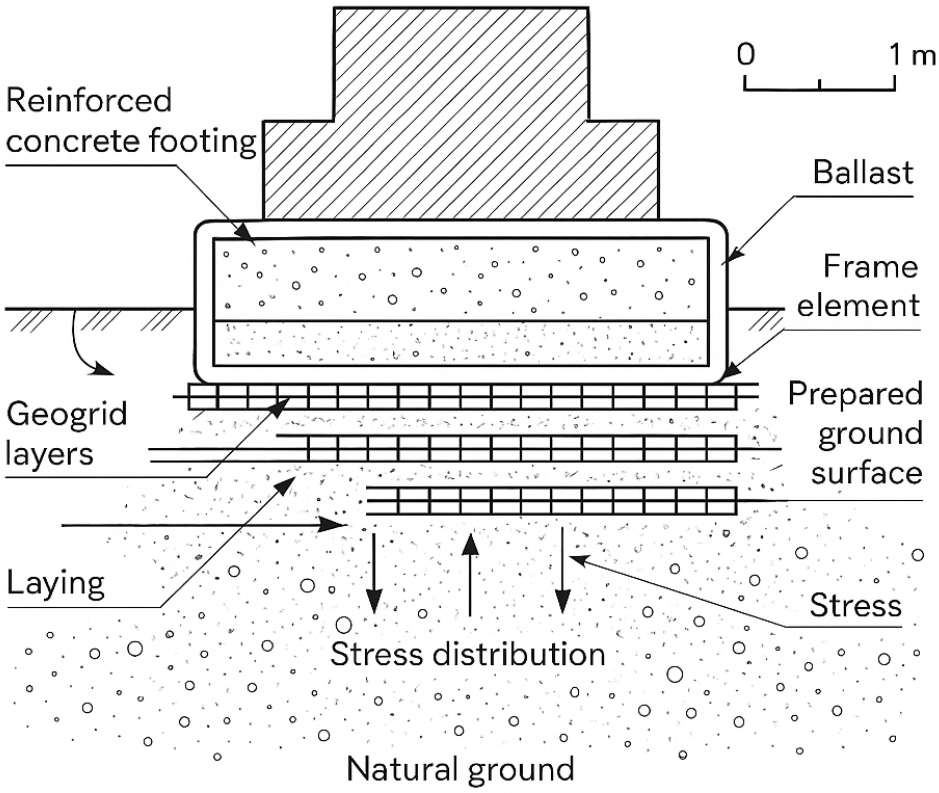


Рисунок 2.8 – Схема фундаменту на армованій основі зі склосітками

3 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ В УМОВАХ ПРОСАДОЧНИХ ҐРУНТІВ

3.1 Технології підсилення фундаментів улаштуванням додаткової опори з залізобетонної плити

Підсилення фундаментів у процесі реконструкції або технічного переоснащення будівель передбачає застосування методів, здатних забезпечити підвищену несучу здатність основи та мінімізувати деформативність конструкції за умов зміненого напружено-деформованого стану ґрунту. До числа таких заходів належить технологія улаштування додаткової опори у вигляді залізобетонної плити, яка розміщується під існуючою підошвою фундаменту або в безпосередній близькості до нього з метою перерозподілу навантажень на більш глибокі або більш міцні ґрунтові горизонти.

У практиці реконструкції будівель різного призначення застосування залізобетонних плит як допоміжних елементів фундаментної системи набуло поширення внаслідок своєї універсальності, порівняно невеликого обсягу земляних робіт та здатності забезпечувати прогнозовану жорсткість. Улаштування плити дозволяє ефективно збільшити площу спирання фундаменту та знизити питомі напруження на ґрунтову основу. Це особливо важливо в умовах просадочних, неоднорідних або водонасичених ґрунтів, де локальні деформації можуть призвести до розвитку аварійного стану споруди.

Технологічні принципи та конструктивна сутність рішення.

Основна ідея методу полягає у введенні в роботу додаткового просторового елемента – жорсткої залізобетонної плити, яка працює як самостійна опора та забезпечує часткове або повне перерозподілення навантаження від надземних конструкцій [19]. Плита може встановлюватися

під існуючий фундамент поетапним підкопуванням або як окремий елемент, що з’єднується зі старим фундаментом в єдину конструкційну систему. На рис. 3.1 наведено загальну концептуальну схему такого рішення.

Улаштування плити передбачає виконання таких основних етапів:

1. Розчищення та підготовка зони робіт, включаючи локальне розкриття фундаментної підошви.

2. Створення технологічних захваток, що дозволяє поетапно розширювати контур фундаменту без порушення стійкості всієї конструкції.

3. Підготовка основи під плиту, яка може включати ущільнення, заміну слабких ґрунтів, улаштування піщано-щебеневої підготовки або ін’єкційне зміцнення.

4. Установлення арматурного каркаса плити відповідно до розрахункової схеми передачі зусиль.

5. Бетонування плити з дотриманням вимог щодо безперервності та контролю якості.

6. Об’єднання плити з існуючим фундаментом за допомогою анкерування, ін’єкційних шпонок, бетонної сорочки або інших конструктивних елементів.

Механізм роботи залізобетонної плити в системі підсилення

Після введення плити в роботу напружено-деформований стан системи «фундамент – плита – ґрунт» зазнає суттєвих змін. Плита, маючи значно більшу жорсткість порівняно зі старою підошвою, бере на себе частину навантаження та розподіляє його на ширшу площу ґрунту. Це приводить до:

- зниження вертикальних деформацій під найбільш навантаженими зонами;
- вирівнювання осідань фундаменту у плані;
- зменшення чутливості системи до локальних ослаблень ґрунту;
- підвищення загальної жорсткості та стабільності споруди.

Для умов Запорізького району, де значну частину ґрунтового розрізу складають лесові просадочні породи з високою неоднорідністю фізико-механічних властивостей, така технологія може бути одним із найбільш ефективних та економічно доцільних рішень. Плита не тільки збільшує площу контакту, але й знижує інтенсивність локальних напружень, що сприятливо впливає на поведінку просадочних ґрунтів при зволоженні.

Переваги методу

- можливість виконання робіт без повного розкриття фундаменту;
- мінімальні вібраційні та ударні впливи на існуючі конструкції;
- анізотропність та неоднорідність ґрунтів компенсується жорсткістю плити;
- придатність для обмежених майданчиків та щільної міської забудови;
- можливість поєднання з іншими методами підсилення (мікропалі, ін’єкції, армовані основи).

Обмеження та вимоги до проектування

Використання залізобетонної плити як додаткової опори потребує точного розрахунку жорсткості елемента, вибору його геометрії та перевірки роботи системи за граничними станами. Необхідно враховувати:

- несучу здатність ґрунтів після ущільнення або зміцнення;
- додаткові осідання, які можуть виникати у процесі роботи конструкції;
- сумісність деформацій фундаменту та плити;
- можливість появи ексцентриситетів та перекосів при неповній передачі зусиль.

У ряді випадків доцільним є виконання сумісної роботи плити з пальовими елементами, що забезпечує як вертикальну, так і горизонтальну стабільність системи.

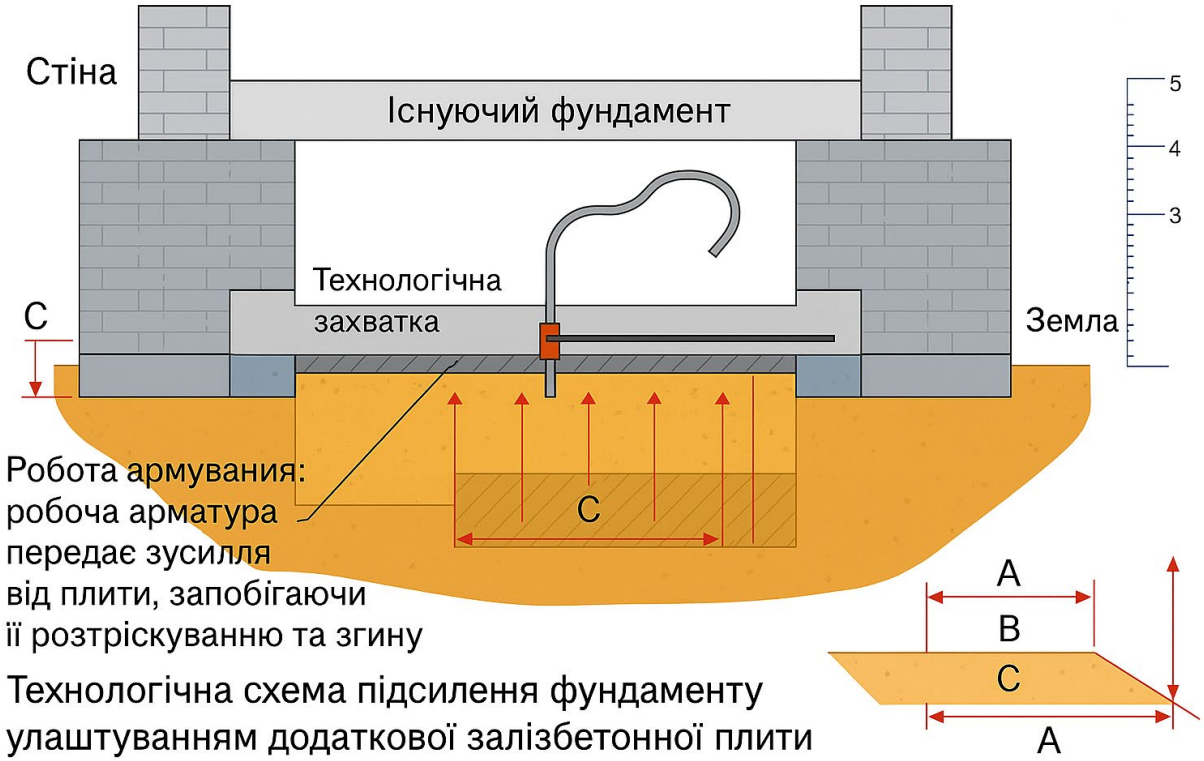


Рисунок 3.1 – Збільшення опорної площі за допомогою монолітної залізобетонної плити

Підсилення фундаментів методом улаштування додаткових опорних елементів із залізобетонних плит є одним із найбільш поширених технологічних рішень у реконструкції будівель та споруд. Згідно зі схемою, представленою на рисунку 3.2, на рівні підвалу встановлюють залізобетонну плиту, яку надійно з’єднують з існуючим фундаментом. Метою цього конструктивного заходу є збільшення площі передачі навантаження та зниження напружень у ґрунтовій основі. Для забезпечення щільного контакту плити з ґрунтом під неї під тиском ін’єктують цементний або цементно-піщаний розчин, який ущільнює верхні горизонти ґрунту, усуває можливі порожнини та створює жорстку опорну подушку. У результаті навантаження від будівлі рівномірніше розподіляється по основі, що запобігає нерівномірним осіданням і знижує ризик деформацій.

Проте в ситуаціях, коли прогнозована несуча здатність додаткової залізобетонної плити є недостатньою, застосовують комбіновані технології із залученням пальових елементів. Для цього у плиті передбачають отвори, через які здійснюють занурення паль методом вдавлювання за допомогою гідравлічного домкрата. Опорою для домкрата служить П-подібне коромисло, що фіксується до плити анкерними болтами. Використовуються багатосекційні палі, що нарощуються в процесі вдавлювання, що дозволяє досягти необхідної глибини та дістатися міцніших ґрунтових горизонтів. Такі палі сприймають частину навантаження та значною мірою підвищують загальну несучу здатність фундаментної системи.

Найбільш трудомістким етапом у наведених технологічних схемах є улаштування опорної плити безпосередньо в масиві існуючого фундаменту та виконання земляних робіт у підпірних умовах [23]. Це потребує високої точності, належної організації робочих захваток і забезпечення стійкості конструкції протягом усього процесу. Саме тому в практиці реконструкції набула поширення технологія застосування збірних плит, що монтуються у підвалах будівель (рис. 3.2, а). У цьому випадку навантаження від фундаменту передається на плиту не безпосередньо, а через нажимні рамні конструкції, які встановлюються між перекриттям підвалу та опорною плитою. Така схема дозволяє уникнути глибокого підкопування фундаментів, підвищує безпеку робіт і дає змогу виконувати підсилення в стіснених умовах міської забудови.

Альтернативними засобами виносного підсилення можуть бути консолі або виносні плити, які кріпляться до стіни чи фундаменту та передають частину навантаження на зовнішні опорні елементи (рис. 3.2, б). Такі рішення застосовують у випадках, коли необхідно локально зменшити напруження під окремими ділянками фундаменту або коли доступ до внутрішнього простору будівлі обмежений.

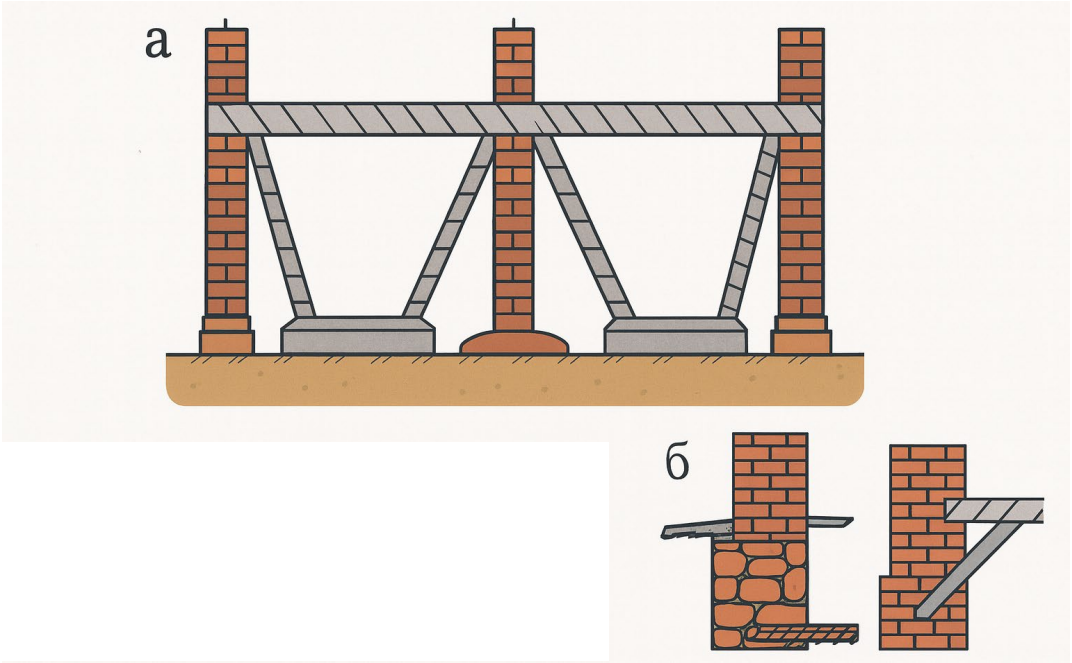


Рисунок 3.2 – Вдосконалені методи підсилення фундаментів на основі традиційних: а – пристрій збірних або монолітних рам в підвалі; б – виносні консолі і плити

Загалом технології виносного підсилення фундаментів, незважаючи на свою трудомісткість і значну частку ручних операцій, залишаються ефективними у випадках, де використання машинізованих способів є обмеженим або неможливим. Вони забезпечують високу точність виконання, адаптивність до різних конструктивних умов та дають можливість виконувати роботи без повного виведення будівлі з експлуатації. Їх застосування особливо доцільне у старих будівлях з підвальними приміщеннями, історичних спорудах, щільній міській забудові та у випадках складних інженерно-геологічних умов, коли традиційні методи недостатньо ефективні.

3.2 Технології підсилення фундаментів формуванням плями закріпленого ґрунту під підошвою

Підсилення фундаментів шляхом формування локальної плями закріпленого ґрунту під їх підошвою є одним із найбільш універсальних, керованих та ефективних методів підвищення несучої здатності основ. Технологія належить до групи ін'єкційних або ін'єкційно-механічних методів, у яких зміцнення ґрунтового масиву здійснюється безпосередньо in situ, без розробки котловану та без демонтажу існуючих конструкцій. Основним завданням є створення в зоні найбільших напружень під фундаментом просторового об'єму ґрунту підвищеної щільності та міцності – так званої «закріпленої плями», що працює як штучно створений фундамент або проміжний елемент між природним ґрунтом та конструкцією.

На рисунку 3.3 наведено типовий варіант технологічної схеми формування закріпленої плями за допомогою похилих ін'єкційних свердловин.

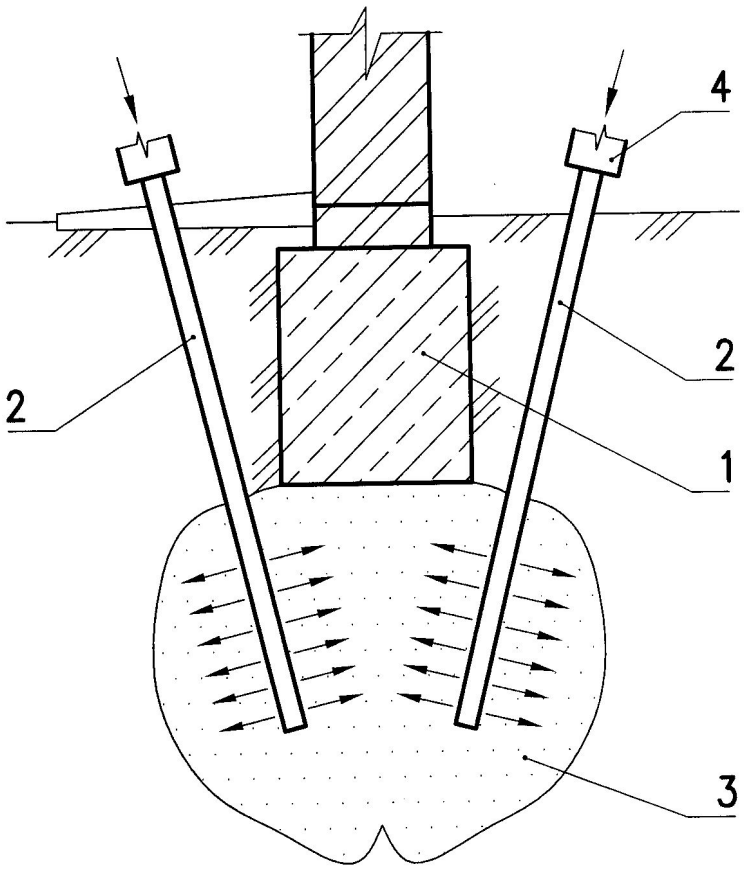


Рисунок 3.3 – Нагнітання розчину в ґрунт основи.

1 – існуючий фундамент; 2 – ін’єктори; 3 – ґрунт, який закріплюється;

4 – шланг для подачі розчину

Загальні принципи методу.

Сутність технології полягає у введенні в ґрунтовий масив під тиском певних закріплювальних або ущільнювальних матеріалів (розчинів, суспензій, смол), здатних:

- заповнювати пори, тріщини й капіляри;
- витісняти воду чи повітря;
- створювати структурний каркас після тверднення;
- змінювати гранулометрію та ущільнювати природний масив;
- формувати просторову зону підвищеної деформативної жорсткості.

Процес передбачає буріння однієї або декількох свердловин

(вертикальних чи похилих), монтаж ін’єкційних пакерів і подачу закріплювального матеріалу під тиском 0,5…2,0 МПа залежно від типу ґрунту й глибини. Заповнення порової структури та витіснення частини ґрунту забезпечує перерозподіл напружень та зростання модуля деформації, що безпосередньо підвищує несучу здатність основи.

Метод є придатним для ґрунтів різної природи: пилуватих пісків, супісків, лесовидних суглинків, тріщинуватих глинистих порід, насипних ґрунтів, техногенно порушених зон.

Особливості застосування в умовах Запорізького району

Лесові просадочні ґрунти, характерні для більшої частини Запорізького району, мають:

- високу пористість (до 45–55%);
- каркасну структуру;
- різке зниження міцності при замочуванні;
- нерівномірну деформативність;
- локальні лінзи пилуватих пісків і суглинків.

У таких ґрунтах ін’єкційні технології дають особливо високий ефект, оскільки:

1. Цементаційні розчини заповнюють крупні пори та порожнини, що зменшує ризик раптового просідання.
2. Хімічні смоли забезпечують підвищення водотривкості, що критично для районів із підвищеним рівнем ґрунтових вод.
3. Комбіновані ін’єкції дозволяють стабілізувати ґрунт без втрати природного структурного каркасу, що важливо для збереження сумісності з існуючим фундаментом.
4. Метод є маловібраційним, що дозволяє використовувати його у щільній міській забудові.

Таким чином, формування закріпленої плями є ефективним і безпечним способом підсилення фундаментів у геотехнічних умовах Запоріжжя.

Технологічна схема виконання робіт.

Нижче наведено типову технологічну послідовність формування закріпленої плями під фундаментом:

1. Виконання інженерно-геологічних вишукувань

– визначення глибини зони просадочності;

– встановлення рівня ґрунтових вод;

– аналіз модуля деформації та структурних слабких зон.

2. Буріння ін’єкційних свердловин

– діаметр зазвичай 50–90 мм;

– похилі свердловини застосовують для введення розчину під підошву без підкопування;

– свердловини розміщують симетрично відносно фундаменту.

3. Монтаж ін’єкційних пакерів

– нижні герметизуючі пакери для сегментного (ступеневого) ін’єктування;

– верхні пакери – для контролю витрат і тиску.

4. Подача ін’єкційного матеріалу

– цементні суспензії: тиск 0,5–1,5 МПа;

– силікатні розчини: 0,2–0,8 МПа;

– поліуретанові смоли: 0,1–0,5 МПа.

Ін’єкція проводиться порційно до стабілізації тиску.

5. Формування закріпленої плями

– у просторі під фундаментом формується трикутно-ядерна або лінзоподібна зона закріплення;

– відбувається зростання модуля деформації у 3–10 разів;

– зменшуються вертикальні та горизонтальні деформації.

6. Контроль якості й повторне ін’єктування (за потреби).

Різновиди технологій формування закріпленої плями.

Нижче наведено основні групи технологій, які можуть застосовуватися залежно від типу ґрунтів, глибини та вимог до деформативності.

1) Цементаційне ін’єктування (Pressure Grouting)

Найпоширеніша технологія для пилувато-глинистих лесових ґрунтів. Застосовується цементний розчин із водоцементним відношенням W/C = 1,0…1,5.

Переваги:

- доступність матеріалів;
- значне підвищення міцності фундаментної основи;
- формування монолітного цементогрунтового ядра.

Недоліки:

- потреба у вищому тиску ін’єкції;
- менша ефективність у щільних глинах.

2) Хімічне ін’єктування (Silicate Grouting, Chemical Grouting)

Застосовуються розчини:

- рідке скло + затверджувачі ($CaCl_2$, $MgCl_2$);
- полімерні смоли (поліуретанові, акрилатні);
- комбіновані системи.

Переваги:

- висока проникність;
- можливість роботи в дуже слабких і водонасичених ґрунтах;
- швидке тверднення.

Недоліки:

- дорожчі матеріали;
- потреба суворого контролю.

3) Комбіноване ін’єктування (Multi-Stage Grouting)

Етапи:

1. первинна ін’єкція низько-в’язким розчином → заповнення пор;
2. повторна ін’єкція густішою суспензією → підвищення міцності;
3. завершальна ін’єкція полімером → водотривкість.

Метод дозволяє адаптуватися до неоднорідного ґрунтового середовища Запорізького району.

4) Ін’єкційно-механічне перемішування ґрунту (Primitive DSM)

Цей метод є аналогом технології глибокого змішування ґрунту (Deep Soil Mixing), але виконується без великих бурових колон.

Застосовується:

- механічне руйнування структури ґрунту буровим інструментом;
- одночасна подача цементної суспензії;
- формування стовбура діаметром 0,3–0,6 м.

Переваги:

- утворення жорсткого стрижня або ядра;
- висока однорідність;
- можливість задавати геометрію.

Матеріали для ін’єкцій.

Нижче наведено матеріали, найчастіше використовувані в Україні:

Цементні суспензії:

- ПЦ II/Б–Ш 400–500;
- модифікатори рухомості;
- пластифікатори.

Застосування: слабкі льоси, насипні ґрунти.

Силікатні системи:

- рідке скло SiO_2;
- затверджувач $CaCl_2$;
- тверднення: 30 с – 5 хв.

Застосування: просадочні льоси, водонасичені піски.

Полімерні смоли:

- поліуретанові одно- та двокомпонентні;
- акрилатні гелі.

Застосування: локальне відновлення несучої здатності, високоточне піднімання плити.

Приклад застосування технології в Україні.

У 2019 році в м. Запоріжжі виконано підсилення фундаментів промислової будівлі (район Павло-Кічкас), де виявлена нерівномірність осідань до 46 мм унаслідок замочування лесовидних суглинків. Було застосовано комбіновану схему: похилі ін’єкційні свердловини + цементаційне та силікатне ін’єктування.

Результати:

- модуль деформації ґрунту збільшився з 8 до 32 МПа;
- вологість зони основи стабілізована;
- подальше осідання за 2 роки – < 2 мм;
- відхилення стін припинилося.

Аналогічні роботи виконані у Дніпрі (район Ломівка) – підсилення стрічкового фундаменту житлового будинку ін’єкціями поліуретанових смол із підняттям конструкції на 12 мм.

3.3 Технологій підсилення фундаментів ґрунтозмішувальними способами

Ґрунтозмішувальні технології підсилення фундаментів належать до прогресивних методів формування штучно зміцненої основи шляхом створення у товщі ґрунту елементів підвищеної міцності та жорсткості. На відміну від традиційних рішень, де підсилення здійснюється шляхом влаштування нових фундаментів або пальових систем, ґрунтозмішувальні методи забезпечують зміцнення ґрунтової основи без значного втручання у конструкцію існуючої будівлі. Цэ особливо важливо при реконструкції, у щільній міській забудові або на майданчиках зі складною інженерно-геологічною будовою.

Однією з найбільш технологічно адаптованих до умов України є система горизонтального та похилого цементогрунтового армування, яка розроблена та експериментально підтверджена Запорізьким відділенням НДІБВ. Метод передбачає формування горизонтальних або нахилених армуючих елементів у зоні підошви фундаменту, що працюють за аналогією з палями, але мають іншу просторову конфігурацію та принцип включення в роботу.

Загальні принципи ґрунтозмішувальних технологій.

Суть ґрунтозмішувальної технології полягає у механічному руйнуванні ґрунту робочим органом бурозмішувача з одночасним введенням цементної пасти або цементного молока, змішуванні пасти з розпушеним ґрунтом та утворенні цементогрунтової суміші, що після тверднення набуває властивостей, близьких до малих класів бетону (від В7,5 до В35).

Формування зміцнених елементів у товщі ґрунту дозволяє:

- значно підвищити несучу здатність ґрунту під підошвою фундаменту;
- створити другу штучну підошву з великою площею контакту;
- зменшити нерівномірність осідань;
- мінімізувати ризики додаткових деформацій при замочуванні лесових ґрунтів;
- виконувати роботи у стиснених умовах без необхідності масштабного розкриття фундаменту.

Обладнання та технічне оснащення.

Комплекс обладнання включає:

1. Пересувний компактний горизонтальний буровий верстат, придатний для роботи у вузьких котлованах.
2. Порожнисту бурову штангу спеціальної конструкції, обладнану:
    - шнеком на зовнішній поверхні;
    - буровою коронкою з висувними ножами для розпушення ґрунту при зворотному ході;

- радіальними форсунками для виходу цементної пасти.

3. Вертлюг, що забезпечує подачу пасти до штанги при обертанні.
4. Розчинозмішувач та розчинонасос, розраховані на роботу з цементними суспензіями різної густини.
5. Комплект високонапірних гнучких рукавів із запобіжною та контрольною арматурою.

Компактність обладнання дає змогу виконувати роботи навіть у підвальних приміщеннях, у траншеях шириною 1–1,2 м або під перекриттями з малою висотою.

Послідовність виконання робіт.

Технологічний процес включає такі основні етапи.

1. Підготовчі роботи

- Розробляється ПВР або ПОБ з урахуванням обмежень діючої будівлі.
- Проводиться підготовка майданчика, облаштування укосів або кріплень котловану.
- Організовується водопониження (за необхідності).
- Виконується монтаж розчинопроводу, перевірка герметичності та працездатності насосів.
- Готують цементну пасту з обраною рецептурою.

2. Розробка котловану

Глибина котловану залежить від кількості рядів армуючих елементів:

- при роботі «знизу догори» – котлован відкривають до рівня нижнього ряду;
- при роботі «згори донизу» – заглиблення виконується поетапно.

Для нестійких ґрунтів передбачається тимчасове кріплення стінок.

3. Розробка горизонтальної свердловини

- Бурова штанга рухається у прямому ході, частково видаляючи ґрунт шнеком.

– Після досягнення проєктної довжини включається режим зворотного ходу.

– Ножі бурової коронки розкриваються і починають руйнувати стінки свердловини, розширюючи її та розпушуючи ґрунт.

4. Формування цементогрунтового елемента

У момент зворотного ходу:

– до порожнини штанги подається цементна паста;
– паста виходить через нижні форсунки;
– ножі, що обертаються, інтенсивно змішують ґрунт із пастою;
– утворюється цементогрунтова суміш, що заповнює весь простір свердловини.

Після тверднення утворюється міцний горизонтальний або похилий армуючий елемент, який працює як жорстка підошва.

5. Армування

Поки суміш залишається рухливою, у свердловину вводиться армокаркас, який:

– забезпечує додаткову жорсткість,
– зменшує ризик крихкого руйнування,
– підвищує несучу здатність елементу на згин і розтяг.

Армування виконується секційними каркасами із стиком 200 мм для зварювання.

6. Влаштування наступних рядів

Після завершення першого ряду:

– верстат піднімають,
– котлован заглиблюють (або засипають),
– операції повторюють для наступних горизонтів армування.

Технічні характеристики цементоґрунту.

Міцність цементогрунтових елементів визначається:

– типом ґрунту;

- кількістю цементу в суміші (не менше 20–25 % від маси ґрунту);
- інтенсивністю перемішування;
- тиском подачі пасти;
- тривалістю тверднення.

За даними ЗО НДІБВ:

- при вмісті цементу 25–30 % міцність може досягати 15–25 МПа;
- при збільшенні вмісту цементу до 35–40 % – до 30–35 МПа, що відповідає бетону класу В30–В35.

Похилі цементогрунтові палі.

Крім горизонтальних елементів можуть застосовуватися похилі цементогрунтові палі, що вводяться у тіло ґрунту під кутом 20–60°.

Такі палі:

- збільшують площу стиснутої зони основи;
- підвищують стійкість фундаменту до горизонтальних навантажень;
- дозволяють працювати з глибокими слабкими шарами ґрунту;
- знижують нерівномірні осідання у випадку асиметричних навантажень.

Довжина таких елементів може становити до 30 м, а діаметр – до 0,5 м.

Практичний досвід застосування технології в Україні

Запорізький район

У Запорізькому районі технологія була використана при підсиленні фундаментів:

- старих цегляних житлових будинків (перед замочуванням лесових ґрунтів);
- виробничих корпусів із перевантаженими колонними вузлами;
- будівель, що зазнали нерівномірних деформацій після порушення дренажу.

У результаті застосування технології:

- деформації підошви знизилися в 2–3 рази;
- несуча здатність основи збільшилася на 30–60 %;
- нерівномірності осідання зменшилися до нормативних меж.

Інші регіони України

Метод широко застосовувався у:

- Дніпрі – підсилення фундаментів гуртожитків радянської забудови;
- Харкові – реконструкція будівель у зоні впливу підземних комунікацій;
- Києві – стабілізація основи пам’яток архітектури у Подільському районі.

Переваги та обмеження технології.

Переваги:

- мінімальне втручання у конструкцію будівлі;
- можливість роботи у вузьких підвалах і траншеях;
- придатність до лесових, піщаних та супіскових ґрунтів;
- висока міцність сформованих елементів;
- можливість створення складних просторових схем армування.

Обмеження:

- чутливість до рівня ґрунтових вод;
- необхідність суворого контролю складу розчину;
- неможливість використання у ґрунтах з великими кам’янистими включеннями;
- потреба у високій кваліфікації персоналу.

3.4 Технології підсилення фундаментів з використанням виносних паль

3.4.1 Підсилення фундаментів палями вдавлювання

Технології підсилення фундаментів палями вдавлювання посідають особливе місце серед сучасних методів реконструкції та стабілізації основ. На відміну від забивних або бурових технологій, у яких формування палі супроводжується значними динамічними впливами на ґрунт і конструкції, спосіб вдавлювання забезпечує занурення елемента за рахунок контрольованого статичного навантаження. Це дозволяє виконувати роботи в

безпосередній близькості до експлуатованих будівель, не порушуючи їхнього нормального функціонування. Принципову схему підсилення наведено на рисунку 3.4.

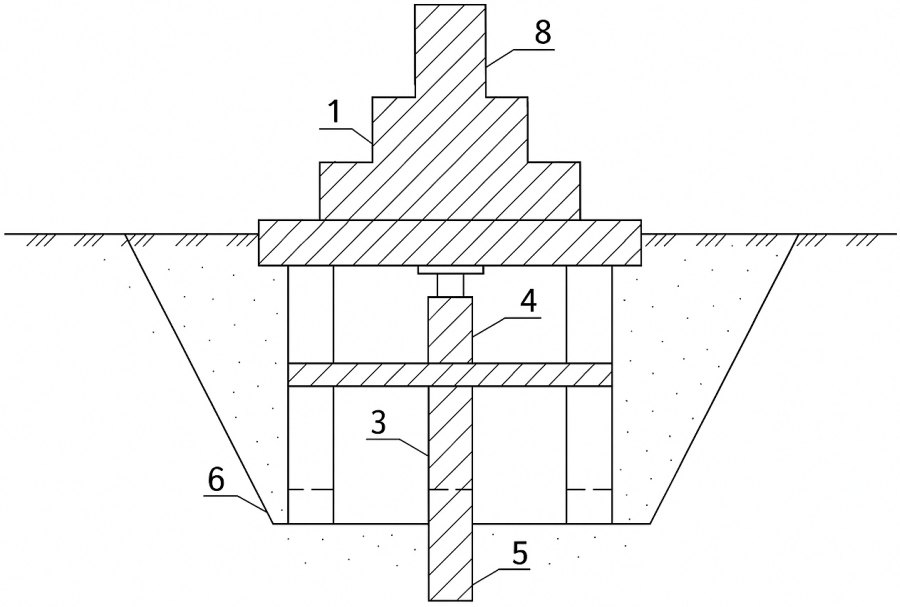


Рисунок 3.4 – Передача навантаження від фундаменту на багатосекційні залізобетонні палі, заглиблені вдавлюванням:

1 – підсилюваний стовпчастий фундамент; 2 – секції залізобетонних паль; 3 – стики паль; 4 – гідравлічний домкрат; 5 – металева підкладка; 6 – шурф; 7 – монолітна залізобетонна плита (встановлюється ділянками після вдавлювання палі); 8 – колона

Основна ідея методу полягає у формуванні додаткової вертикальної опори у вигляді багатосекційної палі, яка передає частину навантаження від фундаменту на глибші прошарки ґрунту з вищим модулем деформації або на міцний нерозущільнений геологічний горизонт. Зменшення навантаження на природну основу призводить до зниження деформацій та стабілізації осідань, а в окремих випадках – до компенсаційного вирівнювання будівлі.

Загальні положення та сфери застосування технології.

Палі вдавлювання застосовують у таких випадках:

– при нерівномірних осіданнях, спричинених замочуванням, зміною гідрогеологічних умов, порушенням дренажу або тріщиноутворенням у фундаментних конструкціях;

– при підсиленні фундаментів із недостатнім запасом несучої здатності під час реконструкції будівлі, збільшення навантажень або добудови додаткових поверхів;

– при необхідності забезпечити високий рівень технологічного контролю над процесом занурення палі;

– у випадках, коли вібраційні технології неприпустимі через ризик пошкодження існуючих конструкцій або розміщення будівлі у щільній міській забудові.

Метод особливо ефективний у районах з лесовими ґрунтами, де природна основа характеризується високою просадочністю, а нижче залягають щільні суглинки або піски, здатні сприймати значні навантаження.

Конструктивні вимоги до елементів системи.

Пристрій палі вдавлювання включає низку взаємопов’язаних конструктивних компонентів, від яких залежить ефективність і несуча здатність системи:

1. Паля. Використовують металеві або залізобетонні елементи, що складаються із секцій довжиною 0,8–2,0 м. Секції нарощуються у процесі занурення. Металеві палі з’єднують електрозварюванням, залізобетонні – через розтрубні стики. Конструкція повинна забезпечувати передачу як центрального стискання, так і розрахункового згину в межах допустимих норм.

2. Опорно-розподільча плита. Вона є ключовим елементом технологічної системи. Її функція – забезпечити передачу реактивного зусилля від гідродомкрата на фундамент. Плита фіксується у штрабах фундаменту, додатково анкерується та може привантажуватися для підвищення стійкості.

3. Гідродомкрати. Домкрати дозволяють забезпечити зусилля 2000–5000 кН, що є достатнім для занурення паль у щільні горизонти. Використання розподільника дозволяє синхронізувати роботу кількох домкратів одночасно, що критично важливо для уникнення перекосів фундаменту.

4. Лідерні шурфи. Виконуються вручну або механізовано. Їхнє призначення – задати точний напрям палі та зменшити опір верхніх шарів ґрунту.

5. Бетонування порожнин паль. Після занурення внутрішню порожнину палі заповнюють дрібнозернистим бетоном, що забезпечує її роботу як монолітної конструкції.

Технологічний процес виконання робіт.

1. Підготовчий етап

На цьому етапі здійснюється комплекс заходів:

– визначення стану фундаменту, характеристик ґрунтів, глибини залягання несучого шару;

– розроблення проектно-технологічної документації (ПВР, технологічних карт);

– створення безпечного робочого простору.

Після цього розробляють котлован уздовж фундаменту. Глибина котловану визначається довжиною першої секції палі та висотою встановлення домкрата. Обов’язково передбачають можливість доступу для роботи персоналу і монтажу обладнання.

2. Монтаж опорно-розподільчої плити.

У верхній частині фундаменту виконують штраби. Плита встановлюється з мінімальним зазором і фіксується за допомогою анкерів та контрвантажів. Таким чином створюється єдина жорстка система «фундамент – плита», здатна сприймати реактивне зусилля від домкрата.

3. Формування лідерних свердловин.

Шурфи діаметром 200–300 мм виконуються строго за проектною координатною сіткою. Вони забезпечують:

- правильне положення палі,
- зниження опору верхніх шарів ґрунту,
- уникнення відхилень під час занурення.

4. Занурення першої секції палі.

На встановлену секцію палі монтують гідродомкрат. При подачі тиску шток домкрата спрямовується вниз, занурюючи палю на глибину ходу штока (зазвичай 150–300 мм). Після завершення циклу домкрат піднімають, на палю встановлюють наступну секцію, і процес повторюється.

Контроль вдавлювання здійснюється за:

- величиною прикладеного зусилля,
- швидкістю занурення палі (характеристикою ґрунту),
- досягненням проектної глибини або відмови.

5. Нарощування секцій палі.

Секції повинні бути встановлені строго вертикально. Для металевих паль критичним є якість стикового зварювання, для залізобетонних — герметичність та точність замкового розтруба. Роботи виконують циклічно до досягнення проектної позначки.

6. Контроль несучої здатності.

Паля вважається досягла проектної несучої здатності у разі:

- досягнення проектної глибини, або
- відмови палі при зусиллі 1,5–1,8 від розрахункового.

7. Завершення роботи та об’єднання палі з фундаментом

Після досягнення потрібної глибини домкрати демонтують, порожнину палі бетонують крізь отвори в опорній плиті, а оголовки паль омонолічують з фундаментом або залізобетонною плитою. У результаті створюється спільна робоча система, у якій вертикальні навантаження перерозподіляються через палю на більш міцні ґрунти.

Інженерно-геологічні умови та особливості застосування у Запорізькому районі

Для Запорізької області характерні лесові просадочні ґрунти, що реагують на зволоження значним зменшенням міцності та модуля деформації. У таких умовах палі вдавлювання показують особливо високу ефективність, оскільки:

- долають слабкий просадочний горизонт і передають навантаження на нижчі щільні шари;
- мінімізують ризик подальших нерівномірних деформацій;
- забезпечують можливість підсилення без зупинки експлуатації будівлі.

У практиці НДІБВ (Запоріжжя) відзначено низку успішних проєктів, у яких застосування паль вдавлювання дозволило стабілізувати конструкції старих цегляних будинків, промислових споруд, а також об’єктів, які зазнали деформацій через техногенні чинники та локальні перезволоження основи.

Переваги та обмеження технології.

Переваги:

- висока керованість процесу вдавлювання;
- можливість роботи у стіснених умовах;
- відсутність динамічних навантажень на ґрунт та будівлю;
- універсальність щодо типів фундаментів;
- прогнозована несуча здатність палі.

Обмеження:

- необхідність забезпечення достатнього простору для монтажу котловану та плити;
- обмеження за міцністю існуючого фундаменту, який сприймає реактивне зусилля;
- недоцільність у пухких ґрунтах з низьким опором стисканню (тоді застосовують буронабивні або буроін’єкційні палі).

3.4.2 Технології підсилення фундаментів виносними палями

Застосування виносних паль є одним із найбільш ефективних методів передавання вертикальних навантажень від існуючих фундаментів на нижчі, більш міцні або менш стискувані шари ґрунтової основи. На відміну від технологій безпосереднього підсилення зони підошви, концепція виносних паль передбачає перенесення навантаження за межі проєкції фундаменту, що дозволяє значно збільшити площу роботи системи «фундамент – основа» і мінімізувати концентрацію напружень у слабких зонах. Принципову конструктивну схему улаштування виносних паль наведено на рисунку 3.15.

Загальна концепція та призначення виносних паль

Виносні палі працюють як додаткові опори, розташовані поза межами існуючого фундаменту. Передача навантаження відбувається через монолітні балки, обойми або плитні конструкції, які розподіляють зусилля на палі. Таким чином, створюється нова система несучих елементів, що функціонує паралельно з основним фундаментом, частково знімаючи з нього навантаження.

У залежності від конструктивного рішення палі можуть працювати:

- на стискання – передаючи вертикальні зусилля на щільні ґрунти, що залягають нижче слабкого шару;
- на висмикування (розтягування) – забезпечуючи стійкість системи проти горизонтальних зсувів або моментних впливів;
- у комбінованому режимі, що є найбільш характерним при нерівномірності навантаження або складних інженерно-геологічних умовах.

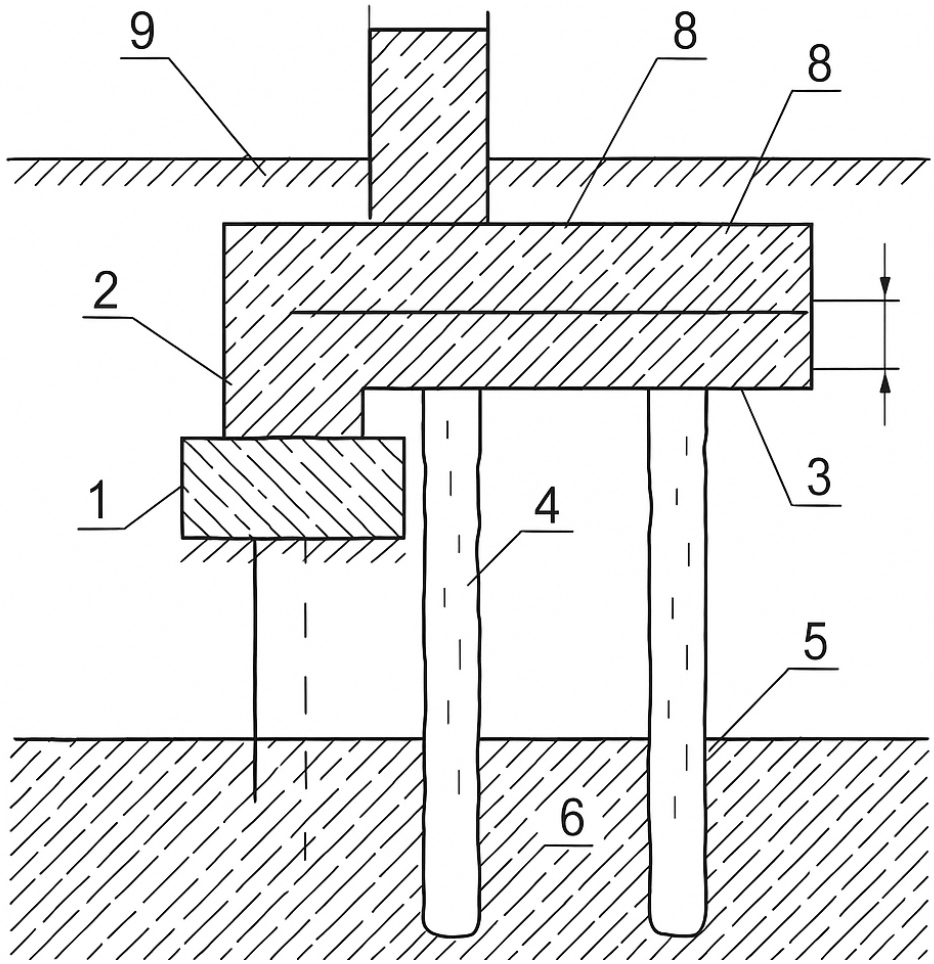


Рисунок 3.5 – Улаштування виносних буронабивних паль: 1 – існуючий фундамент; 2 – монолітна залізобетонна балка; 3, 4 – відповідно палі, що працюють на висмикування і стиснення; 5, 6 – відмітки низу паль; 7 – цегляна стіна; 8 – засипка; 9 – гідроізоляція; 10 – анкер

У випадках стрічкових фундаментів палі можуть розташовуватися з однієї сторони, з двох протилежних сторін або по всьому периметру фундаменту залежно від необхідного ступеня підсилення та геометрії будівлі. Для стовпчастих фундаментів палі найчастіше розміщуються по периметру або симетрично відносно центра фундаменту з модельованим розподілом навантажень.

Конструктивні елементи системи підсилення виносними палями.

Систему підсилення утворюють кілька взаємопов’язаних елементів:

1. Виносні палі

Палі можуть бути:

- буронабивними – улаштовуються бурінням і бетонуванням свердловин;
- буроін’єкційними – бетон подається під тиском у процесі витягування бурової штанги;
- забивними короткими – використовуються у випадках, коли глибина міцного шару незначна;
- комбінованими, що працюють на стискання з одного боку та висмикування з іншого.

Довжина та діаметр паль визначаються розрахунком за допустимими осіданнями та несучою здатністю ґрунтової основи.

2. Залізобетонні балки або плити (розподільчі елементи)

Балка виконує критично важливу функцію передачі зусиль від фундаменту до палі. Вона повинна задовольняти вимогам:

- достатньої жорсткості на вигин;
- надійної роботи на локальний продавлювальний тиск;
- рівномірного розподілу навантаження між кількома палями.

Балки можуть бути монолітними або збірно-монолітними.

3. Обойми та анкеровка.

Металева або залізобетонна обойма дає можливість перенести зусилля від стовпчастого фундаменту до балочної системи. У разі роботи на висмикування необхідне домонтажне армування балок поперечними та діагональними елементами.

4. Зона засипки та гідроізоляції.

При влаштуванні виносних паль уздовж існуючих фундаментів важливим є збереження гідроізоляції, а також забезпечення дренажних умов, аби уникнути додаткового замочування ґрунтів.

Технологічний процес улаштування виносних паль

Процес виконується у кілька основних етапів.

Етап 1. Підготовка робочої зони.

Створюють шурфи з двох або більше сторін фундаменту. Глибина шурфу визначається необхідністю доступу до рівня влаштування балки та можливістю розміщення бурового устаткування.

Етап 2. Улаштування паль.

Залежно від технології палі формуються:

- бурінням свердловини;
- установленням арматурного каркаса;
- бетонуванням (за буронабивною технологією або з використанням ін'єкційних систем).

Для паль, що працюють на висмикування, обов'язково застосовується анкерування арматури.

Етап 3. Формування розподільчої конструкції.

Біля фундаменту виконують виїмку для монтажу опорної балки. Поверхні фундаменту очищують, насікають і обробляють для підвищення адгезії. Балка встановлюється на оголовки паль та опирається на існуючий фундамент.

Етап 4. Омонолічування та поєднання системи.

Після встановлення балки проводять бетонування технологічних швів, улаштовують стики, забезпечують монолітність системи «фундамент – виносні палі». Після досягнення бетоном проєктної міцності система вводиться в роботу.

Інженерні ефекти та результати застосування.

Улаштування виносних паль дає такі результати:

- суттєве зниження напруження під підошвою фундаменту (на 20–60 % залежно від розрахункових параметрів);
- зменшення нерівномірних осідань, особливо при наявності слабких ділянок ґрунту;
- збільшення несучої здатності основи без руйнування існуючої

конструкції фундаменту;

– можливість коригування роботи фундаменту у складних умовах реконструкції та технічного переоснащення будівель.

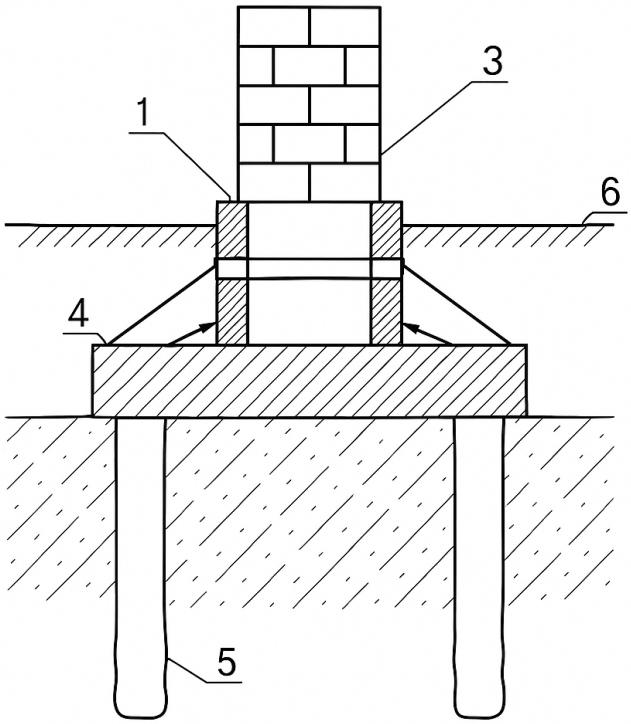


Рисунок 3.6 - Передача навантаження від стіни на короткі забивні палі. 1 – існуючий стрічковий фундамент; 2 – забивні залізобетонні короткі палі (завдовжки до 3 – 4,5 метра); 3 – цегляна стіна; 4 – основна робоча арматура; 5 – виносна паля; 6 – підвалина

Особливості застосування в умовах Запорізького району.

Для Запорізького регіону характерні лесові просадочні ґрунти, що мають тенденцію до зниження міцності та жорсткості при замочуванні. Виносні палі дозволяють передати навантаження на щільні горизонти, що залягають на глибинах 3–7 м і мають стабільні деформаційні характеристики.

Практичні результати застосування технології показали:

– зниження деформацій фундаментів у 1,5–2 рази;

– стабілізацію існуючих тріщин у стінах та відсутність прогресуючого крену;

– можливість подальшого підсилення або реконструкції будівель без відселення мешканців.

Переваги методу виносних паль

– висока універсальність і можливість адаптації до різних типів фундаментів;

– можливість роботи у стіснених умовах (підвалах, підпірних стінах, технічних коридорах);

– відсутність необхідності переробки підошви існуючого фундаменту;

– можливість поєднання з іншими методами підсилення (з горизонтальними елементами, із струменевим закріпленням ґрунтів, з палями вдавлювання).

Обмеження

– складні умови буріння у водонасичених ґрунтах;

– потреба у точному розрахунку роботи системи «фундамент – балка – палі»;

– необхідність контролю за осіданнями під час бетонування оголовків паль.

3.4.3 Технології підсилення стовпчастих фундаментів шляхом перенесення частини навантаження від колони на додаткові опори

Підсилення стовпчастих фундаментів через систему передачі частини навантаження на додаткові опори є одним із найбільш технологічно обґрунтованих і надійних способів реконструкції фундаментів в умовах обмеженого будівельного простору. Метод дозволяє знизити напружений стан у підошві існуючих фундаментів та забезпечити їхню подальшу безпечну експлуатацію, перерозподіляючи навантаження від колони на нову систему пальових опор, розташованих навколо фундаменту. Такий підхід

особливо ефективний для будівель, що зазнали нерівномірних осідань, мають деградовану бетонну підошву або знаходяться у слабких ґрунтових умовах.

Сутність технології.

Принцип підсилення полягає у створенні замкненої просторової системи, яка об’єднує:

1. існуючу колону,
2. стовпчастий фундамент,
3. додаткові палі (буронабивні, буроін’єкційні, струменево-змішувальні, вдавлювані, цементогрунтові),
4. металеву обойму (комір),
5. металеві балки та систему розкосів.

У результаті формується альтернативний шлях передачі зовнішніх навантажень від колони на палі, що беруть на себе частину або більшу частину вертикальних і горизонтальних зусиль, зменшуючи напруження в зоні підошви фундаменту.

Схему конструктивного рішення показано на рисунку 3.7.

Необхідне технологічне оснащення

Для реалізації процесу застосовують:

- металеву обойму з листового або кутикового прокату, що забезпечує охоплення колони та передачу зусиль;
- розкоси (діагональні підкоси) зі швелерного, кутникового або трубного прокату, які передають зусилля на балкову раму;
- балки-перемички (сталеві швелери, двотаври), що створюють просторову жорстку раму;
- пальове поле, зазвичай 2–4 палі, розміщені симетрично;
- відбійний молоток для оголення арматури колони;
- зварювальний апарат для складання металевої конструкції;
- монтажний рівень, рейку, мірну стрічку для контролю відміток і горизонтальності.

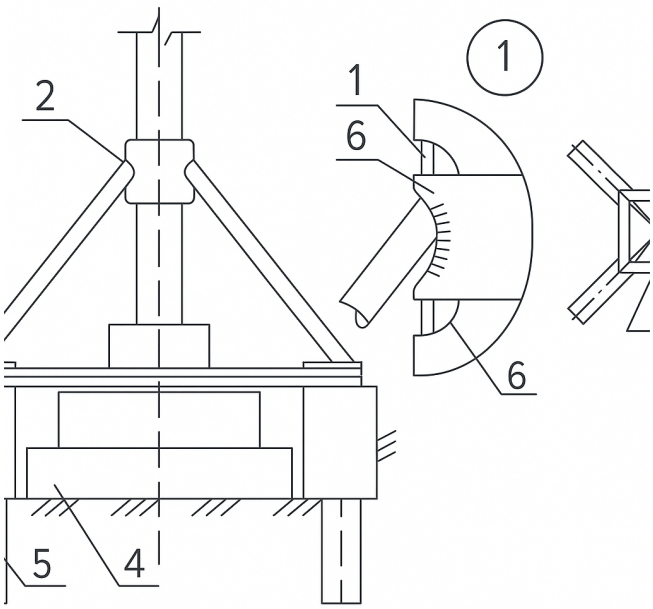


Рисунок 3.7 - Передача частини навантаження від колони на основу:
1 – підсилюваний фундамент; 2 – залізобетонна колона;
3 – палі підсилення фундаменту; 4 – металеві розкіси; 5 – металеві балки;
6 – металева обойма, приварена до арматури колони

Технологічний процес.

1. Підготовка колони та фундаменту.

Спочатку з поверхні залізобетонної колони видаляють захисний шар бетону по периметру на висоту, яка перевищує ширину обойми на 50–60 мм. Це дозволяє забезпечити повноцінний контакт металевої обойми з робочою арматурою колони. Оголені стрижні очищають від корозії та готують до зварювальних робіт.

2. Підготовка пальових опор.

Перед улаштуванням металевої рами проводять перевірку оголовків паль:

• відсутність нерівностей;

• відповідність проектним відміткам рівня;

• однакова висота всіх паль, що забезпечує рівномірний розподіл навантажень.

При виявленні різниці у висотах здійснюють коригування шляхом шліфування або підкладання сталевих пластин.

3. Монтаж балкової рами.

На оголовки паль установлюють сталеві балки, які зварюють між собою за допомогою накладок. Утворюється жорстка опорна рама, що виконує роль нової «опорної плити». Рама повинна забезпечувати рівномірний розподіл навантажень та стабільність геометричних параметрів при роботі конструкції.

4. Улаштування металевої обойми.

До оголеної арматури колони приварюють чотири сталеві пластини або кути, формуючи просторову обойму. Вона забезпечує передачу вертикальних та горизонтальних зусиль на металеву раму і далі – на палі. Обойма має бути герметично та рівномірно з’єднана з арматурою по всьому периметру.

5. Монтаж діагональних розкосів

Після встановлення рами та обойми до їхніх кутів приварюють розкоси у строгій черговості:

1. верхні розкоси протилежних кутів,
2. нижні розкоси,
3. зварювання стиків та доведення жорсткості.

Діагональні елементи забезпечують просторову стійкість, зменшують згинальні моменти та оптимізують силову роботу системи.

6. Контроль та доведення конструкції

Після завершення монтажу перевіряють:

- горизонтальність рами;
- щільність прилягання елементів;
- відсутність щілин між рамою та оголовками паль;
- якість зварювальних швів.

У разі виявлення зазорів їх ліквідовують за допомогою додаткових металевих прокладок.

7. Антикорозійний та захисний захист

- оголену арматуру покривають антикорозійним складом, після висихання – шаром цементополімерного розчину;

- металеві елементи (балки, розкоси, обойма) фарбують антикорозійним покриттям класу не нижче II (за ДСТУ).

Результати та ефективність технології

Застосування підсилення за системою «колона – обойма – балкова рама – палі»:

- зменшує тиск на підошву фундаменту на 30–70 %;

- забезпечує стійкість фундаменту при нерівномірних осіданнях;

- дозволяє працювати без зупинки експлуатації будівлі;

- підвищує просторову жорсткість фундаментного вузла;

- придатне для аварійного та планового підсилення стовпчастих фундаментів.

Метод широко застосовується при реконструкції промислових будівель, складів, колонних каркасів, житлових секцій старої забудови.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження комплексно проаналізовано сучасні технології підсилення фундаментів будівель і споруд, що експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах, характерних для Запорізького району. В роботі розглянуто теоретичні засади, конструктивні рішення, технологічні особливості та практичну ефективність різних методів посилення основ та фундаментів, які ґрунтуються на зміні напружено-деформованого стану основи, збільшенні площі спирання, передаванні навантажень на глибші шари та локальному зміцненні ґрунтів.

Проведений аналіз дає змогу сформулювати такі узагальнені висновки:

1. Визначено ключові фактори, що зумовлюють необхідність підсилення фундаментів: нерівномірна просадочність лесових ґрунтів, порушення дренажу й водно-теплового режиму, збільшення експлуатаційних навантажень, реконструкція будівель, сусіднє будівництво або техногенні впливи. Установлено, що традиційні методи вже не забезпечують прогнозовану надійність у цих умовах, що зумовлює актуальність впровадження сучасних технологій.

2. Технологія підсилення фундаментів додатковими залізобетонними плитами (розділ 3.1) довела свою високу ефективність у випадках, коли необхідно збільшити площу сприймання навантаження без значного втручання в конструкцію будівлі. Ін’єктування під плиту забезпечує ущільнення ґрунтової основи, зменшуючи деформації й підвищуючи несучу здатність до 30–50 %. Метод є технологічно доступним для умов щільної міської забудови.

3. Підсилення виносними опорами, рамами, плитами та консолями (розділ 3.2) дозволяє значно розширити геометрію роботи фундаменту та вивести частину навантаження за межі деформованої основи. Ефективність рішень доведена практикою при реконструкції цегляних та каркасних

будівель, де необхідно уникнути додаткових деформацій при мінімальній глибині розробки ґрунту.

4. Грунтозмішувальні технології (горизонтальні та похилі армуючі елементи) (розділ 3.3) є одними з найбільш перспективних завдяки можливості формувати цементогрунтові елементи безпосередньо в масиві ґрунту зі створенням другого штучного фундаментного контуру. Установлено, що при цементогрунтових міцностях до рівня класу бетону В25–В35 технологія забезпечує суттєве зменшення осідань та перерозподіл напружень під існуючим фундаментом. Унікальною перевагою є можливість виконання робіт у стіснених умовах підвалів та котлованів обмеженої ширини.

5. Палі вдавлювання (розділ 3.4.1) продемонстрували високу ефективність як у малих, так і у масивних стовпчастих та стрічкових фундаментах. Особливо цінною є відсутність ударного та вібраційного впливу, що дає змогу виконувати роботи поблизу аварійно небезпечних та пам’яткоохоронних об’єктів. Гідродомкратне вдавлювання забезпечує контроль зусиль та прогнозованість несучої здатності паль.

6. Виносні палі та системи перерозподілу навантаження з фундаменту на нові палі (розділ 3.4.2) дозволяють ефективно знімати частину навантаження з проблемних зон фундаменту. Поєднання нової ростверкової балки з існуючим фундаментом забезпечує роботу конструкції як єдиного елемента та зменшує нерівномірність осідань.

7. Технології розвантаження стовпчастих фундаментів через систему металевих обойм і розкосів (розділ 3.4.3) забезпечують можливість цілеспрямовано передати частину навантаження від колони на палі, розташовані за межами зони деформацій. Метод дозволяє підсилювати окремі колони без припинення експлуатації будівлі та без розкриття значних котлованів.

8. Практичний досвід застосування технологій у Запорізькому

районі показав:

– зменшення деформацій основ до 2–3 разів;

– збільшення несучої здатності на 30–60 %;

– відновлення просторової роботи фундаментів і приведення осідань до нормативних величин (≤8–12 мм).

Встановлено, що найкращий ефект досягається при комбінуванні методів: ін’єкційне ущільнення + горизонтальні елементи, палі вдавлювання + балкова рама, виносні палі + цементогрунтові елементи.

9. Порівняльний аналіз свідчить, що вибір оптимальної технології повинен враховувати:

– характер деформацій;

– будівельні обмеження;

– тип ґрунтів;

– рівень ґрунтових вод;

– технічний стан фундаменту;

– наявність суміжної забудови.

У жодному випадку підсилення не може бути універсальним – воно повинне бути адаптивним і проєктуватися під конкретний об’єкт.

10. Загальна оцінка показала, що комплекс сучасних технологій підсилення фундаментів забезпечує високу надійність, прогнозовану роботу конструкцій та можливість продовження терміну служби будівель на 30–50 років і більше. Найбільш перспективними в умовах Запорізького району є методи, що забезпечують ущільнення лесових ґрунтів і вилучення навантаження за межі деформованої основи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бакай В. І., Дмитренко В. О. Реконструкція та підсилення будівель і споруд : підручник. Київ : КНУБА, 2020. 368 с.

2. Баланюк І. В., Городецький А. С., Кравець В. В. Глибокі фундаменти та підсилення основ : навч. посіб. Львів : Видавництво ЛНУ, 2019. 212 с.

3. Баулін Є. В., Тугай О. А. Енергоефективні огороджувальні конструкції будівель : підручник. Київ : КНУБА, 2020. 312 с.

4. Бойко І. М., Тесля Ю. М. Палі та пальові фундаменти в сучасному будівництві : монографія. Полтава : ПолтНТУ, 2021. 184 с.

5. Бондаренко В. І., Чиж О. М. Конструкції будівель і споруд. Огороджувальні конструкції : навч. посіб. Харків : ХНУБА, 2019. 280 с.

6. Герасименко Т. О., Зінченко М. С. Навісні вентильовані фасади: конструкції, матеріали, технології : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2021. 164 с.

7. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 95 с.

8. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України. [Чинний від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 112 с.

9. ДБН В.3.1-1:2016 Ремонт і підсилення несучих і огороджувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 74 с.

10. ДСТУ-Н Б В.2.1-27:2010 Основи та фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 56 с.

11. ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014 Настанова з проектування підпірних стін. [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 74 с.

12. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Технічний комітет стандартизації «Будтехнології», 2024. 66 с.

13. ДСТУ-Н Б В.1.1-44:2016 Настанова щодо проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : НДІБК, 2017. 45 с.

14. ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016 Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : НДІБК, 2017. 37 с.

15. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 52 с.

16. Елефант І. М., Зоценко М. Л., Вінніков Ю. Л. Геотехнічні системи підсилення основ та фундаментів : монографія. Харків : ХНУБА, 2019. 304 с.

17. Коваль П. П., Слюсаренко В. П. Основи та фундаменти : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2021. 275 с.

18. Кутовий С. С., Савченко Є. О. Технології струменевого змішування ґрунтів у підсиленні фундаментів : монографія. Дніпро : ДВНЗ ПДАБА, 2020. 146 с.

19. Лещинський О. Л., Кравченко Д. Г. Технологія буріння та облаштування буронабивних паль у міській забудові : навч.-метод. посіб. Київ : Ліра-К, 2018. 120 с.

20. Melentiev, A., Dudnik A., Khomenko O. Soil–cement reinforcement for foundations rehabilitation in Eastern European loess soils. Engineering Geology. 2021. Vol. 296. P. 106–112. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106112.

21. Munro, R., Clarke, B. Deep Soil Mixing Design and Control. London

: ICE Publishing, 2018. 210 p.

22. Panchenko I., Bilous O. Restoration technologies for damaged foundations in loess collapsible soils of Southern Ukraine. Journal of Civil Engineering and Management. 2022. Vol. 28, No 5. P. 421–433.

23. Рекомендації з улаштування буроін'єкційних паль у щільній міській забудові. НДІБК. Київ : Мінрегіон України, 2020. 62 с.

24. Savchenko, E., Kutovyi S. Performance of jet-grouted columns for underpinning historical masonry buildings in Ukraine. Procedia Structural Integrity. 2020. Vol. 28. P. 229–236.

25. Shevchenko M., Zhukov A. Rehabilitation of foundations in existing industrial buildings using micro-piles. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 290. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123122.

26. Технологія виконання підсилення фундаментів буроін'єкційними палями : навч. посіб. Харків : ХНУБА, 2022. 134 с.

27. Urbanski M., Kozlowski T. Structural Rehabilitation of Existing Buildings Using Pile Underpinning Systems. Warsaw : PWN, 2019. 188 p.

28. Zotsenko M. L., Vynnykov Yu. L. Improvement of bearing capacity of loess soils using deep mixing technology. E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 168. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016801030.

29. Zyn V., Gavrilenko I. Geotechnical solutions for foundation strengthening in urban conditions of Ukraine. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1165. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/1165/1/012078.