

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

Ручківський Віталій Валентинович

УДК 624.1



**ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАХИСНИХ
КОНСТРУКЦІЙ З ҐРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ ПРИ ВЛАШТУВАННІ
ПІДЗЕМНИХ ПРИМІЩЕНЬ В ЩІЛЬНО ЗАБУДОВАНІЙ ТЕРИТОРІЇ**

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2024

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Робота виконана на кафедрі геотехніки Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Бойко Ігор Петрович,

Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри геотехніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Винников Юрій Леонідович,

Національний університет «Полтавська політехніка»
імені Юрія Кондратюка Міністерства освіти і науки
України
завідувач кафедри буріння та геології

доктор технічних наук, доцент

Кочкаръов Дмитро Вікторович,

Національний університет водного господарства
та природокористування Міністерства освіти і науки
України
професор кафедри міського будівництва та господарства

Захист відбудеться «19» квітня 2024р. о 13:00 годині в ауд. 204 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.04 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

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

Автореферат розісланий «18» березня 2024 року.

Виконуючий обов'язки вченого

секретаря спеціалізованої вченої

ради Д 26.056.04

доктор технічних наук, професор



І.І. Солодей

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У зв'язку з швидким розвитком великих міст, для будівництва обирають ділянки, які знаходяться в щільній забудові. Зведення в таких умовах висотних будівель з підземними приміщеннями викликає суттєву зміну напружено-деформованого стану ґрунтового масиву та конструкцій навколишніх будівель. У багатьох випадках існуючі будинки зазнають значних ушкоджень, спричинених нерівномірними осіданнями, що розвиваються при початку будівельних робіт нульового циклу і тривають на етапі експлуатації. Головним завданням постає захист сусідніх будівель від додаткових переміщень, спричинених будівельними роботами. Виникає необхідність розробки ефективних заходів, які б обмежували вплив нового будівництва, зокрема влаштування котловану та його огороження, на поряд розташовані існуючі будівлі. Одним із таких заходів є влаштування інженерних захисних конструкцій у вигляді відсічних екранів із залізобетонних паль малого діаметру, що розташовуються між огороженням котловану та існуючою будівлею.

У відповідності до діючих нормативних документів, при розрахунку інженерних захисних конструкцій рекомендується враховувати їх сумісну роботу з ґрунтом основи, беручи до уваги найбільш істотні чинники, що визначають напружено-деформований стан системи «ґрунтовий масив – інженерні захисні конструкції – існуючі фундаменти»: міцнісні і деформаційні характеристики ґрунту та огорожуючої конструкції, послідовність і характер навантаження, умови на контакті ґрунту і споруди, вплив сусідніх будівель. На сьогодні, в українській практиці проектування інженерних захисних конструкцій часто використовуються методи визначення навантаження від ґрунту, які базуються на класичній теорії тиску з використанням аналітичних методів Кулона, Якобі, Блюма-Ломейра та інші. Однак дані методи не дають точної картини напружено-деформованого стану елементів системи «ґрунтовий масив – інженерні захисні конструкції – існуючі фундаменти» при розрахунку об'єктів будівництва в складних інженерно-геологічних умовах та впливу їх зведення на існуючі споруди. Отримувані при цьому коефіцієнти стійкості є наближеними, а конструктивні рішення не завжди ефективними. Тому, на сьогодні, у практику досліджень та проектування широко увійшло числове моделювання роботи захисних конструкцій із використанням програмних комплексів. В даний час розроблені і використовуються розрахункові комплекси українського (АСНД «VESNA», Ліра-САПР, SCAD Office, Мономах, PRIZ-Pile) і закордонного (Plaxis, Z-Soil, Midas GTS, ANSYS, WALL-3, ABAQUS, GEO5 і т.п.) виробництва.

В даних програмних комплексах використовуються математичні моделі різного ступеню деталізованості врахування особливостей ґрунтів. При розв'язанні геотехнічних задач однією з головних проблем залишається використання реальних фізико-механічних характеристик ґрунтів, а також прийняття відповідної для даних

умов феноменологічної моделі, що коректно описувала б процеси нелінійного деформування ґрунтового середовища на різних етапах навантаження.

Розробка методів розрахунку взаємодії інженерних захисних конструкцій і ґрунтового масиву відображена в працях Сахарова О.С., Немчинова Ю.І., Бойка І.П., Білеуша А.І., Бугрова А.К., Яковлева П.І.

Значний внесок у дослідження проблеми взаємодії ґрунтового масиву і захисних конструкцій здійснили: Винников Ю.Л., Дубровський М.П., Шаповал А.В., Katzenbach R., Burland J.B..

Питаннями експериментального дослідження напружено-деформованого стану системи «ґрунтовий масив – інженерні захисні конструкції» займалися: Сахаров В.О., Бондарєва Л.О., Кірічек Ю.О., Харченко М.О., Лазебнік Г.Є., Turcek P., Boscardin M.D.

Числове моделювання взаємодії інженерних захисних конструкцій із ґрунтовим масивом відображене в працях: Носенка В.С., Маєвської І.В., Блащук Н.В., Sulovska M., Colleselli F., Sanzeni A..

На даний час не існує єдиної методики моделювання взаємодії захисних інженерних конструкцій з ґрунтовою основою в щільно забудованій території. Декларований в будівельних нормах принцип проектування за граничними допустимими деформаціями може бути реалізований в повній мірі лише при використанні пружно-пластичних моделей ґрунту, в основі яких лежить теорія пластичної течії. Дані моделі дозволяють описувати напружено-деформований стан системи на всьому діапазоні зміни навантажень, аж до граничних значень. При використанні більш простих моделей для розв'язання комплексних геотехнічних задач можуть бути отримані наближені результати.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана у відповідності до наступних робіт, в яких здобувач брав участь на рівні виконавця:

- держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України 5-ДБ-2017 «Розвиток дилатансійної теорії ґрунтового середовища для заглиблених споруд з урахуванням жорсткості, технології зведення, характеру навантажень» (наказ МОНУ №199 від 10.02.2017р., наказ КНУБА №16/4 від 15 лютого 2017 року, номер державної реєстрації 0117U004845).

- НДДКР «Вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій і основ» №0121U113033 (наказ №243 від 03.06.2021р.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у розробці методики розрахунку інженерних захисних конструкцій, що дозволяють зменшити вплив нового будівництва на існуючі споруди в умовах щільної забудови.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати існуючі конструктивні рішення і методи розрахунку інженерних захисних конструкцій котлованів в щільно забудованій території.
- встановити основні закономірності формування напружено-деформованого стану системи «грунтова основа – інженерні захисні конструкції - оточуюча забудова».
- оцінити вплив фундаментів будинків на напружено-деформований стан інженерних захисних конструкцій.
- дослідити вплив параметрів інженерних захисних конструкцій на ефективність їх застосування в умовах щільної забудови.
- розробити рекомендації по вибору конструктивних рішень інженерних захисних конструкцій для захисту існуючих будівель від додаткових переміщень, спричинених розробкою глибоких котлованів.

Об'єкт дослідження – інженерні захисні конструкції, у вигляді залізобетонних паль, що розташовуються між котлованом та сусідніми будівлями з метою мінімізації впливу нового будівництва на існуючу забудову.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан елементів системи «грунтова основа – інженерні захисні конструкції – оточуюча забудова» при різних параметрах інженерних захисних конструкцій.

Методи дослідження:

При проведенні досліджень були використані наступні методи дослідження:

- аналітичні розрахунки захисних конструкцій з використанням наближених інженерних методик;
- числове моделювання напружено-деформованого стану системи «грунтовий масив – захисні інженерні конструкції – оточуюча забудова»;
- експериментальні дослідження фрагментів інженерних захисних конструкцій;
- інструментальні спостереження за деформаціями конструкцій будівель;

Наукова новизна одержаних результатів. Проведені дослідження дозволяють отримати нові наукові результати:

- вперше виявлено роль захисного екрану, що полягає в стабілізації напружено-деформованого стану ґрунтового масиву при проведенні робіт підземного простору та захисті основи сусідніх будівель при спорудженні надземної частини в умовах щільної забудови.
- розроблено методику розрахунку інженерних захисних конструкцій, що дозволяє керувати напружено-деформованим станом основи фундаментів існуючої будівлі шляхом зміни параметрів захисного екрану таких, як: глибина закладання, жорсткість конструкції екрану, положення між будівлею та огороженням котловану.

- запропонована методика дозволяє виявляти вплив влаштування конструкцій підпірних стін та котловану на основу сусідніх будівель і завчасно, ще на стадії проектування, передбачити інженерні заходи для збереження їх напружено-деформованого стану.

- виявлено ефект впливу влаштування огородження котловану, який полягає в залежності додаткових переміщень фундаментів сусідніх будівель від послідовності виконання паль огородження в межах захватки.

Практичне значення отриманих результатів:

- запропоновано методику вибору параметрів конструкцій захисного екрану при влаштуванні підземних приміщень в залежності від допустимих переміщень фундаментів сусідніх будівель;

- застосування запропонованої у роботі методики дозволяє виявити раціональні параметри огорожуючих конструкцій котловану із урахуванням захисного екрану;

- розроблено алгоритм проектування огорожуючих конструкцій котловану, при якому досягається ефект зменшення впливу нового будівництва на додаткові переміщення фундаментів існуючих будівель.

- результати досліджень використано при проектуванні огорожуючих конструкцій котловану в лабораторії числових методів в геотехніці КНУБА.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі та узагальненні літературних матеріалів за темою дисертації, формулюванні мети і задач дослідження, розробці методики підбору параметрів захисних екранів, обробці і аналізу одержаних результатів моделювання, підготовці і редакції висновків та впровадження розроблених рекомендацій у практику проектування інженерних захисних конструкцій при влаштуванні підземних приміщень в щільно забудованій території.

Особистий внесок здобувача в наукових працях:

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи представлені та обговорені на наступних конференціях:

- Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів Київського національного університету будівництва і архітектури. Київ, 2015р.

- Дев'ята всеукраїнська науково-технічна конференція «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування: проблеми, інновації та імплементація Єврокодів в Україні» ПДАБА, Дніпро, 2016.

- International scientific-practical conferences of young scientists «Build-master-class», Kyiv National university of construction and architecture, Kyiv, 2015-2018.

- XI Konferencja naukowa «Konstrukcje zespolone», Uniwersytet Zielonogorski, Zielona Gora, Poland, 2017.

- Second international conference “Challenges in geotechnical engineering”, KNUCA, Kyiv, 2017.

- Third international conference “Challenges in geotechnical engineering”, Zielona Gora, 2019.

- Десята Всеукраїнська науково-технічна конференція з іноземною участю «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування», ПНТУ, Полтава, 2019.

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані у 13 наукових працях, з них: у фахових наукових журналах і збірниках – 8; у публікаціях матеріалів міжнародних і вітчизняних конференцій – 5.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, висновку, списку використаних джерел і додатку. Загальний обсяг дисертації становить 131 сторінка, в тому числі 84 рисунки, 8 таблиць, список використаних джерел із 208 найменувань на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, визначені мета і задачі досліджень, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Приведено дані про публікації та апробацію роботи.

В першому розділі дисертації проаналізовано основні конструктивні рішення інженерних захисних конструкцій в щільно забудованій території, методи їх розрахунку та заходи зменшення впливу нового будівництва на оточуючу забудову.

Виділена роль українських та зарубіжних вчених, що займались розробкою теоретичних основ і методів оцінки впливу влаштування котлованів на оточуючу забудову. Серед найбільш відомих варто відзначити праці Винникова Ю.Л., Сахарова В.О., Бойка І.П., Ю.Л., Дубровського М.П., Бондарєвої Л.О., Katzenbach R., Tursek P.

Зведення будівель із підземними приміщеннями в щільно забудованій території в більшості випадків супроводжується ризиками завдання шкоди існуючим будинкам. Розробка глибоких котлованів призводить до істотної зміни існуючого напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтового масиву, що може призвести до появи додаткових переміщень (тріщини, нахил, перекоси) в сусідніх будівлях. Виникає взаємовплив нового та існуючого фундаменту. Характер деформування при взаємовпливу фундаментів залежить від умов завантаження цих фундаментів. Також, крім зміни НДС ґрунту основи, стає помітною передача вібраційних впливів на існуючі будинки.

Розробка котлованів в умовах щільної забудови виконується із вертикальними укосами, які в свою чергу потребують утримуючої конструкції, що буде забезпечувати їх стійкість. В якості цих конструкцій можуть виступати різного роду підпірні стіни, стіни підземних приміщень тощо. Для зменшення впливу нового будівництва найбільш раціонально використовувати інженерні захисні конструкції у вигляді відсічного екрану із залізобетонних паль малого діаметру. Зважаючи на велику кількість технологій та конструктивних рішень, що використовуються при

спорудженні будівель із підземними приміщеннями у межах щільної забудови, важливим є вибір того чи іншого методу розрахунку.

Розглянуто традиційні та сучасні методи розрахунку інженерних захисних конструкцій. Аналітичні методи розрахунку, засновані на емпіричних формулах та пружній роботі ґрунту призводять до неналежного відображення взаємодії інженерної захисної конструкції і ґрунтової основи. За їх допомогою важко описати складні процеси, що відбуваються в ґрунтовому масиві при влаштуванні захисних конструкцій і подальшому відкопуванні котловану. Застосування спеціалізованих програмних комплексів на базі методу скінченних елементів дозволяє враховувати різні параметри захисних конструкцій та фактори впливу на оточуючу забудову, що дає змогу підбрати раціональні та економічно доцільні конструктивні рішення.

В другому розділі розглянуто питання числового моделювання взаємодії ґрунтової основи з інженерними захисними конструкціями при влаштуванні підземних приміщень в щільній забудові. Проаналізовано поширені моделі ґрунтового середовища та виконано порівняння результатів моделювання і натурних випробувань палі.

Ґрунт є складним матеріалом, який поводить себе нелінійно та часто демонструє анізотропну та залежну від часу поведінку під час навантаження. Ґрунт зазнає пластичних деформацій і нестійкий при розтягу. Розрізняють моделі дискретного середовища та моделі суцільного (континуального) середовища. Моделі дискретного середовища мають ряд недоліків, що полягають в математичному описі фізичних зв'язків між частинками та їх поведінки під навантаженням. Внаслідок цього дані моделі не набули широкого розповсюдження. Альтернативою є моделі, що базуються на гіпотезі суцільного середовища, так звані континуальні моделі. Серед них можна виділити моделі: лінійно-деформованого середовища, нелінійно-пружні, теорії граничної рівноваги, пружно-пластичного середовища і теорії пластичної течії.

Для підбору розрахункової моделі (тестова задача), що використовуватиметься при подальшому моделюванні було обрано для порівняння наступні найбільш поширені моделі ґрунтового середовища: ідеальна пружно-пластична модель із граничною поверхнею, що описується критерієм Кулона-Мора, модель Друкера-Прагера та Hardening Soil Model. Дані числового моделювання порівнювались із даними отриманими шляхом натурального випробування палі на горизонтальне навантаження. Палі, що випробовувались, влаштовані за буронабивною технологією. Діаметр палі 820мм, крок 1500мм. Глибина відкопки в зоні випробовуваної палі 6300мм. Довжина палі 22,5м. Випробування на горизонтальне навантаження відбувалось за допомогою гідравлічного домкрату, що впирався через металеві пластини на протилежну упорну палю. Навантаження прикладались ступенями по 10кН. За критерій умовної стабілізації деформації приймалась швидкість горизонтального переміщення палі на кожній ступені прикладання горизонтального

навантаження, що не перевищує 0.1 мм за останні 2 години спостережень за приладами, розташованими на рівні прикладання горизонтального навантаження.

За результатами числового моделювання виявлено, що найменша розбіжність результатів між моделюванням і експериментом склала 7% і зафіксована при використанні моделі Hardening Soil Model, що дає змогу впевнитись у достовірності результатів при подальших розрахунках. При використанні моделей з критеріями міцності Кулона-Мора та Друкера-Прагера відхилення між натурними значеннями деформацій склали від 53 до 28% відповідно.

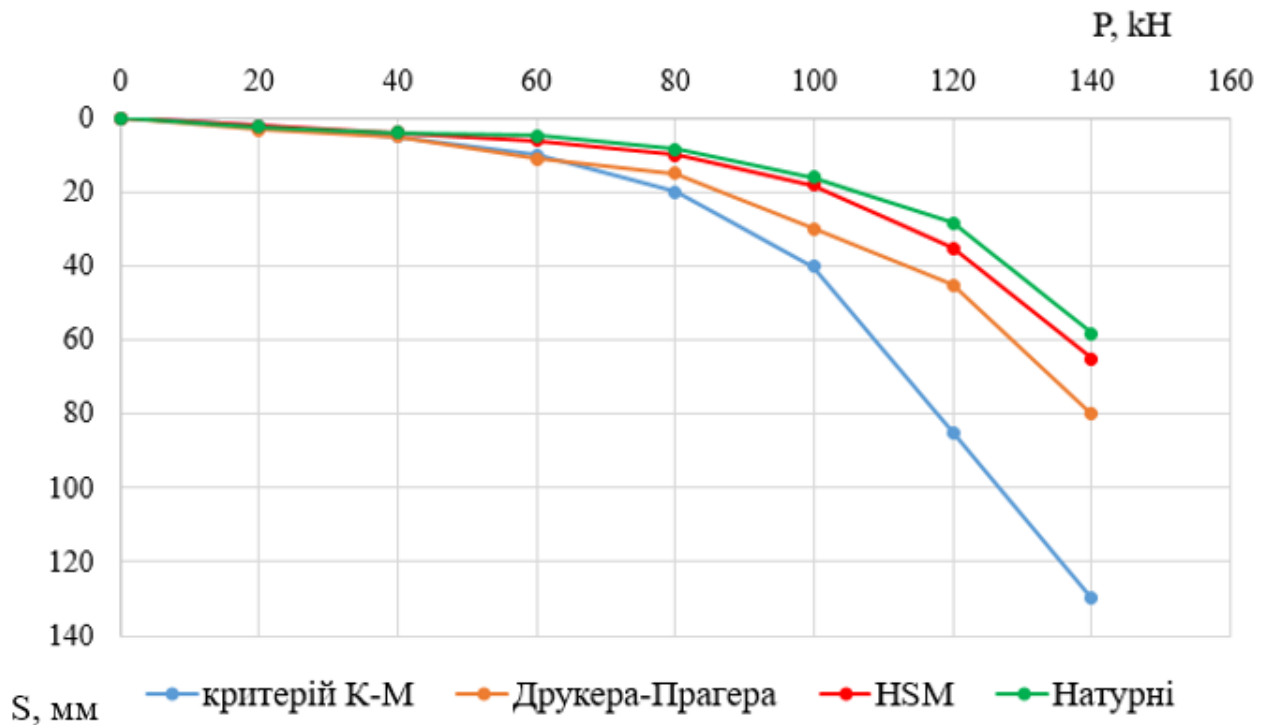


Рис. 1. Графік залежності між навантаженням (кН) та переміщенням (мм) при застосуванні різних числових моделей та натурних випробувань

Отже, на основі порівняння даних моделювання та натурних випробувань, в якості основної, було обрано модель деформування ґрунтового середовища Hardening Soil Model (HSM). Особливістю даної моделі є можливість відтворення нелінійної залежності деформацій від напружень при об'ємному та зсувному деформуванні, а також процесів дилатасії та контракції, що є характерними для дискретних середовищ. Це дозволяє враховувати як зміцнення ґрунту, так і відмінність характеристик ґрунту при навантаженні та розвантаженні.

Застосування моделі HSM є ефективним в задачах із глибокими котлованами і великою кількістю етапів розрахунку, де напружений стан постійно змінюється. Модель дозволяє враховувати зміну жорсткості при зміні рівня напружень, що особливо важливо в дослідженні впливу нового будівництва на оточуючу забудову.

У якості контрольної задачі було проведено моделювання впливу розробки котловану на оточуючу забудову з прийнятою моделлю ґрунтового середовища Hardening Soil Model. Розв'язувались дві задачі: влаштування котловану із захисним

екраном між підпірною стінкою та існуючим будинком і без захисного екрану. Котлован розроблявся на глибину 6м. Палі огороження котловану діаметром 620мм, кроком 1.5м, довжиною 12м. Відстань між котлованом та існуючою триповерховою будівлею 2м. Захисний екран влаштовувався на відстані 1м між будівлею та котлованом. Залізобетонні палі захисного екрану діаметром 159мм, кроком 0.3м. При вирішенні подібних задач інтерес викликають не тільки зусилля, які виникають в огороженні котловану, але і кількісна зміна НДС ґрунтового масиву.

Розрахунок виконувався поетапно. На першому етапі було створено початковий природний напружено-деформований стан ґрунтового масиву. На наступному етапі передавалось експлуатаційне навантаження на фундаментні конструкції будинку, після чого обнулялись отримані деформації. Далі виконувались влаштування палей та поетапна розробка котловану (частинами глибиною по 2м), шляхом видалення із розрахункової моделі частини об'ємних елементів котловану.

При моделюванні розрахункової схеми були призначені обмеження переміщень в горизонтальному напрямку (по осях X і Y) на бічних вертикальних гранях області, а також накладалось обмеження по всіх напрямках на нижній горизонтальній грані.

Поведінка ґрунтового масиву моделювалась за допомогою моделі Hardening Soil Model. Для моделювання роботи матеріалів палей та фундаментних конструкцій будинку використовувалась лінійно-пружна модель із характеристиками: $E=30\text{МПа}$; $\gamma=25\text{кН/м}^3$; $\nu=0.167$. Фундамент будинку стрічковий шириною 1м, із середнім тиском під подошвою $\sigma=200\text{кПа}$.

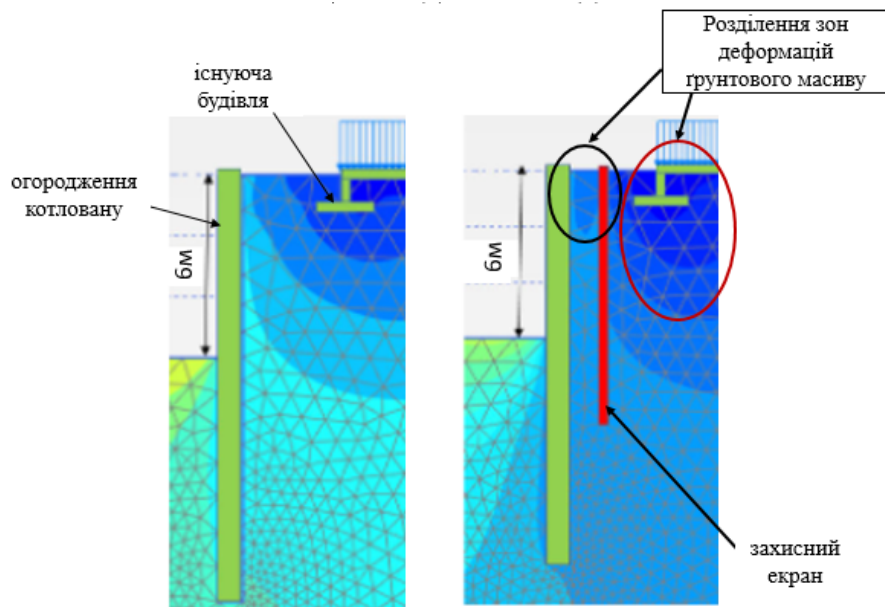


Рис. 2. Ізополя деформацій:

а) без захисного екрану; б) із захисним екраном

Результати числового моделювання показують, що відкопка глибокого котловану у безпосередній близькості до існуючої будівлі значно змінює її попередньо сформований напружено-деформований стан (НДС). Спостерігається виникнення

додаткових деформацій ґрунтового масиву. Крім вертикальних переміщень фундаментних конструкцій з'являються також горизонтальні, що в свою чергу призводить до появи тріщин в надземних конструкціях будинку. За таких умов виникає необхідність обмежити область ґрунтового масиву, в якому виникають зміни НДС внаслідок будівництва підземних приміщень, від основи, де зосереджені фундаменти оточуючої забудови, що можна виконати за рахунок влаштування інженерного захисного екрану із залізобетонних паль малого діаметру.

При порівнянні результатів зміни НДС із захисним екраном та без нього виявлено, що змінюється область розповсюдження впливу відкопування котловану. Екран виступає в ролі відсічної конструкції, що дає змогу відділити зони деформації котловану та існуючий НДС будинку (рис.2). У відсотковому відношенні переміщення фундаментів існуючої будівлі при наявності відсічного екрану зменшуються на 32%.

В третьому розділі приведено дослідження НДС інженерних захисних конструкцій у вигляді підпірних стін в залежності від їх параметрів. Показано особливості впливу відстані між огородженням котловану та сусіднім будинком. Досліджено вплив фундаментів нового будівництва на НДС інженерних захисних конструкцій.

Числове моделювання напружено-деформованого стану захисних конструкцій котловану спільно з ґрунтовим масивом проводилось за допомогою методу скінченних елементів із використанням моделі ґрунтового середовища Hardening Soil Model, що дало змогу визначити напруження і переміщення в елементах системи на всіх етапах розробки ґрунту. При цьому ґрунтовий масив розглядався, як суцільне нелінійне середовище. Задача розв'язувалась в плоскій постановці, для чотирьох варіантів: В1 - підпірні стіни без впливу сусіднього будинку, В2 – з будинком на відстані 20м, В3 – 10м, В4 – 5м (рис.3).

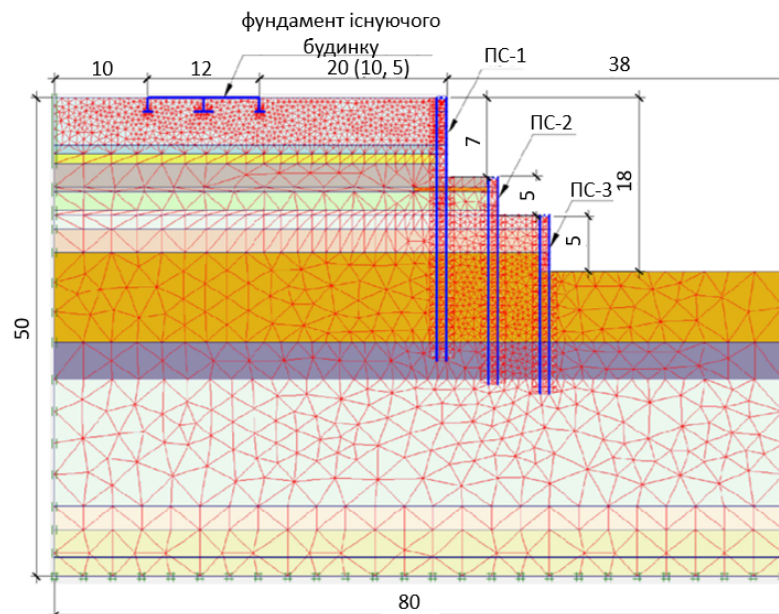


Рис. 3. Скінченно-елементна модель

Розрахунок проводився із врахуванням формування напружено-деформованого стану ґрунтового масиву в процесі влаштування підпірної стіни.

При цьому порівнювались горизонтальні переміщення верху паль підірних стін, згинальні моменти, а також вертикальні переміщення фундаменту існуючого будинку.

Збільшення переміщень коливається в межах від 12 до 70% (рис.4). Максимальне значення спостерігається у варіанті В4 при відстані 5м.

Аналіз зміни згинальних моментів вказує на те, що зменшення відстані призводить, як до кількісної так і до якісної зміни епюри моментів. Така ж ситуація спостерігається в палях інших двох ярусів підірних стін. Так при варіантах В3 і В4 згинальні моменти зростають на 26% і 60% у порівнянні із В1 і В2. Незначна зміна моментів у варіантах В1 і В2 вказує на те, що існуюча будівля на відстані 20м від котловану не потрапила в зону формування поверхні ковзання схилу. Зі зменшенням відстані до 10 і 5м спостерігається інша картина: характер епюри змінюється разом із кількісними значеннями моментів, а також їх максимальні значення формуються на інших позначках. Це пояснюється тим, що близьке розташування будівлі біля котловану спричиняє її входження в зону формування поверхні ковзання.

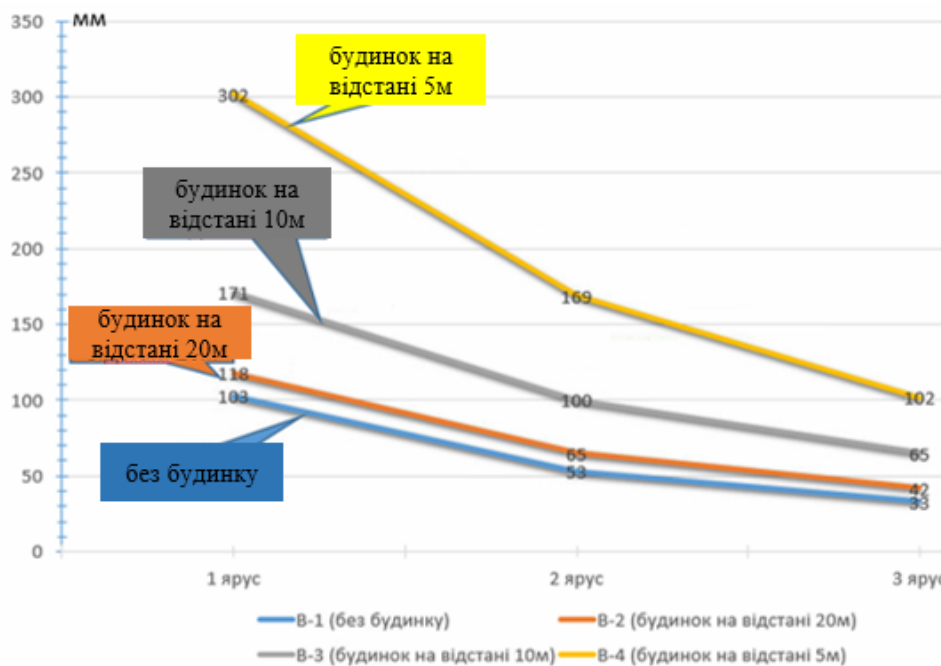


Рис. 4. Графік залежності переміщень ярусів підпірної стіни від відстані до будинку

Аналіз напружено-деформованого стану існуючого будинку показав, що в фундаментних конструкціях, при зменшенні відстані до котловану, фіксується зростання додаткових осідань. Спостерігається збільшення вертикальних переміщень

на 30-40%. Така ситуація вимагає додаткових заходів зменшення впливу влаштування котловану. У даному випадку найбільш раціональним розташуванням існуючої будівлі буде, коли глибина котловану дорівнюватиме відстані між будинком і гранню конструкції огороження котловану, так як будівля не потраплятиме в зону впливу нового будівництва.

При формуванні НДС огороження котловану в умовах щільної забудови важливим фактором є тип фундаментних конструкцій, що зводяться в котловані. Різні типи фундаментів будівлі по-різному впливають на внутрішні зусилля та переміщення в утримуючих конструкціях котловану. Моделювання таких складних геотехнічних процесів може бути досягнуто лише за допомогою використання методу скінченних елементів.

В рамках дослідження проведено моделювання багатопверхового житлового комплексу з підземним паркінгом. Ділянка майбутнього будівництва являє собою майданчик із абсолютними відмітками поверхні землі, що коливаються від 162.30 до 163.50 м.

Будинок розташовано в щільній міській забудові. За конструктивною схемою будинок каркасно-монолітний з несучими вертикальними елементами. Просторова жорсткість та стійкість будівлі забезпечується сумісною роботою вертикальних елементів каркасу (діафрагм жорсткості, колон), горизонтальних дисків перекриттів і фундаментної плити.

Під надземною частиною запроектовано чотирьохрівневу підземну автостоянку. Як наслідок, виникає необхідність розробки котловану. Максимальна відмітка розробки котловану передбачена проектом після влаштування паль та ростверків – 147,8. максимальна глибина відкопування якого складає 14,5м. Для забезпечення стійкості стінок котловану проектом передбачено влаштування утримуючих конструкцій із розкріпленням їх по висоті двома рівнями тимчасових горизонтальних розпірок. Розпірки, в свою чергу, демонтуються по мірі влаштування перекриттів підземної частини споруди.

Палі підпірної стінки виконуються із буронабивних паль діаметром 820мм, кроком 1.2м, довжиною 23м з армуванням круглими просторовими арматурними каркасами.

У якості фундаменту будівлі порівнювались: фундаментна плита товщиною 1.5м, пальова основа із палями довжиною 5м та пальовий фундамент із палями довжиною 16м.

Числове моделювання напружено-деформованого стану системи «грунтовий масив – утримуючі конструкції» проводилось за допомогою методу скінченних елементів, що дало змогу врахувати поетапне зведення будівлі в котловані, визначити напруження і переміщення в усіх елементах системи, а також врахувати ефект

підняття котловану. Задача розв'язувалась в плоскій постановці. Розрахунок проводився в 21 етап.

Скінченно-елементна модель включає ґрунтовий масив розміром 50x80м, підземне приміщення, а також захисні конструкції огороження котловану. Характеристики жорсткості паль підпірної стіни та конструктивних елементів будівлі були приведені з розрахунку на 1м.п. Нижня частина розрахункової схеми, на відстані 20м від підшови палі підпірної стіни обмежена площиною, яка закріплена від вертикальних переміщень. По бічних площинах на основу накладені в'язі, що перешкоджають нормальним до площин переміщенням. Розрахунок проводився із врахуванням поетапності відкопування котловану та підземного приміщення.

Розв'язувались 3 варіанти задачі: В1 – будинок на фундаментній плиті; В2 – будинок на пальної основі; В3 – будинок на пальному фундаменті. При цьому порівнювались горизонтальні переміщення та згинальні моменти в палях підпірної стіни в залежності від виду фундаменту будівлі, що зводиться.

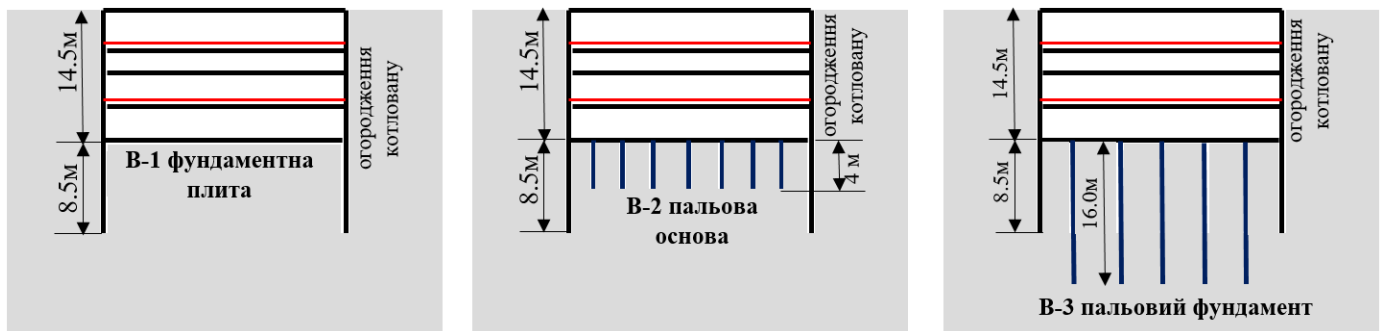


Рис.5. Схеми варіантів фундаментних конструкцій

При аналізі результатів розрахунку виявлено зміну горизонтальних переміщень огороження котловану. У випадку застосування фундаментної плити горизонтальні переміщення верху палі U_x зростають на 20% в порівнянні із іншими двома варіантами. При використанні пальної основи та пального фундаменту переміщення виявились практично незмінними. Це пояснюється тим, що у варіантах В2 і В3 навантаження передається палями на більш глибокі шари ґрунту, на відміну від варіанту В1, де навантаження від будівлі передаються через фундаментну плиту.

Даний ефект є дуже важливим при влаштуванні глибокого котловану в умовах щільної забудови, так, як шляхом вибору фундаментів нової будівлі, можна знизити переміщення палі огороження котловану і відповідно вплив на сусідні будівлі.

Аналіз характеру епюр моментів (рис. 6), що виникають в палях огороження при розробці котловану, показує суттєву залежність значень від конструктивного рішення фундаменту. При зміні фундаментних конструкцій, значення моментів зменшуються на 23% у випадку варіанту пальної основи В-2, на 38% при пальному фундаменті В-3 у порівнянні з варіантом В-1, коли навантаження від будівлі передаються безпосередньо через фундаментну плиту.

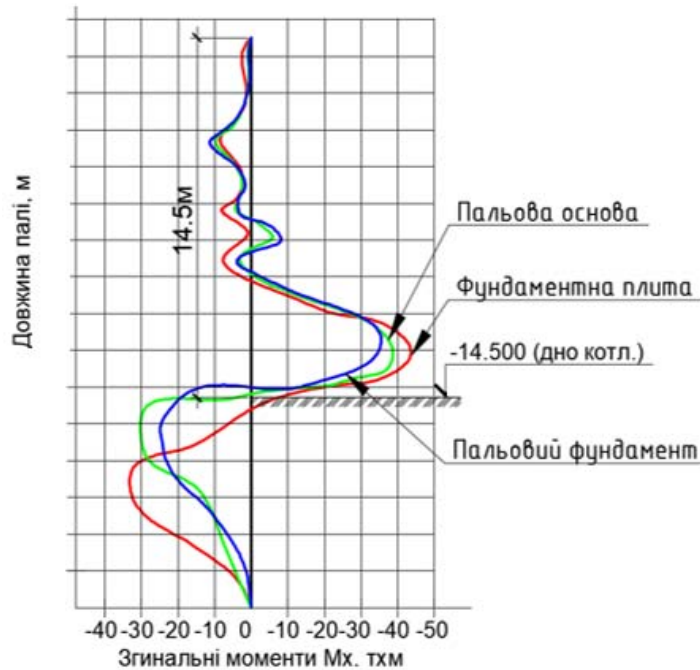


Рис.6. Зміна згинальних моментів в палі огороження котловану

Четвертий розділ присвячено дослідженню закономірностей впливу параметрів інженерних захисних конструкцій – захисних екранів із залізобетонних паль малого діаметру на зниження осідання будівель, що знаходяться в зоні впливу влаштування огороження та подальшої розробки котловану нового будівництва. З'ясувалось, в яких випадках слід застосовувати захисні екрани та які параметри будуть найбільш ефективними та економічно доцільними, при наявності різних вихідних умов.

Для вирішення цих питань було виділено наступні параметри, що можуть впливати на зменшення додаткових деформацій існуючої будівлі в зоні впливу нового будівництва, а саме (рис. 7):

1) глибина закладання захисного екрану L по відношенню до глибини стисливої зони ґрунту (Нст.): $L_{кр.}/Нст.=0.5; 1; 1,25; 1.5; 2$.

2) положення захисного екрану між утримуючими конструкціями котловану та існуючою будівлею: $V_0/V=0.25; 0.5; 0.75$.

3) жорсткість екрану – відношення кроку до діаметру паль інженерного захисного екрану: $a/d=1; 2; 3; 4$.

4) відстань між існуючим будинком та котлованом по відношенню до глибини влаштування утримуючих конструкцій котловану нового будівництва: $V/L_{утр.}=0.25; 0.5; 1; 2; 3$.

Дослідження виконувалось методом скінченних елементів в просторовій постановці із використанням моделі *Hardening Soil Model*. Ефективність використання захисних екранів встановлювалась шляхом порівняння результатів розрахунку осідання оточуючої забудови без влаштування паль екрану та з ними.

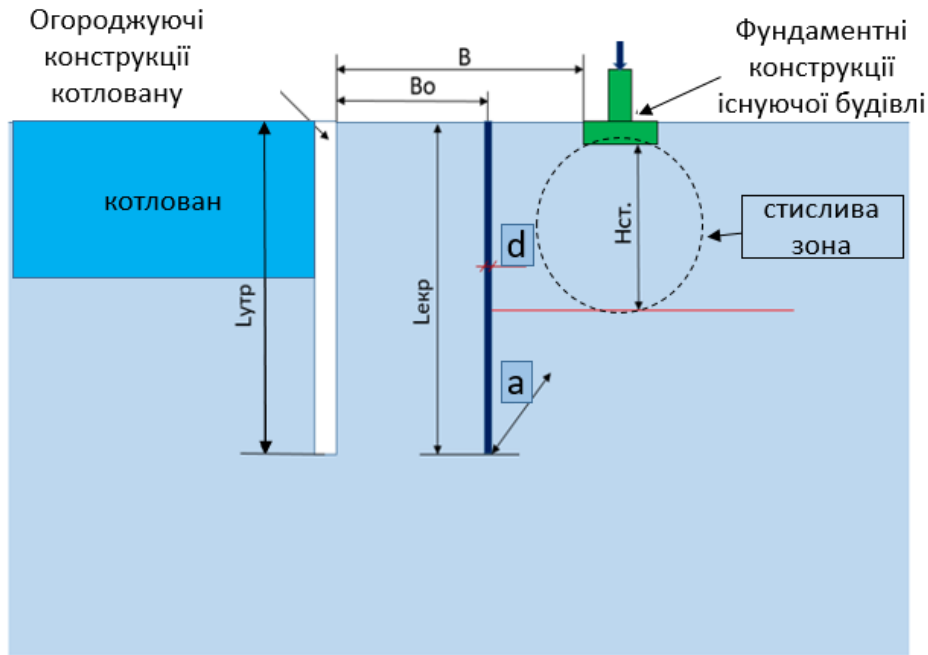


Рис. 7. Розрахункова схема при дослідженні впливу влаштування інженерних захисних конструкцій на додаткові осідання будівлі в зоні впливу нового будівництва

Скінченно елементна модель включала в себе ґрунтовий масив габаритами 20x30x35м, стрічковий фундамент довжиною 9м та свердловини бурових паль утримуючих конструкцій котловану, заповненим бетонною сумішшю на початковій стадії твердіння. Параметри фундаментів приймалися на основі типового рішення будівель історичної забудови із жорсткою стіною системою та стрічковими фундаментами з глибиною закладання від 1.2 до 3.0м, шириною подошви від 1 до 2м. Середній тиск під подошвою фундаменту в інтервалі від 150 до 250кПа.

Розрахунок додаткового переміщення фундаменту існуючої будівлі проводився в декілька стадій, в наступній послідовності:

- 1) початкова фаза (формування НДС ґрунтової основи)
- 2) зведення існуючої будівлі на стрічкових фундаментах при діючому на нього навантаженні
- 3) влаштування інженерного захисного екрану
- 4) влаштування огороження котловану у вигляді бурових паль на початковій стадії твердіння бетону із набором міцності 20%.

В якості аналізу розглядались різні комбінації основних параметрів захисних екранів при технологічному впливі влаштування котловану, додаткове осідання порівнювалось із початковим осіданням існуючої будівлі без сторонніх впливів на НДС.

Першим параметром, який визначався та застосовувався при подальших розрахунках була глибина закладання захисного екрану $L_{екр}$ по відношенню до

глибини стисливої зони ґрунту (Нст.). Додаткові переміщення існуючої будівлі розраховувались для наступних відношень $L_{кр.}/H_{ст.}=0.5; 1; 1.25; 1.5$ при відстані 4м між котлованом та існуючою будівлею.

Аналіз впливу глибини закладання інженерного захисного екрану показав, що додаткове осідання існуючої будівлі знижується зі збільшенням довжини екрану. При цьому практично не зафіксовано зміни деформацій при відношенні $L_{кр.}/H_{ст.}=0.5$ у порівнянні із випадком без застосування екрану. На 6% спостерігається зниження осідань при відношенні $L_{кр.}/H_{ст.}=1.0$. Найістотніше зниження додаткових переміщень будівлі в порівнянні з варіантом без екрану виявлено при $L_{кр.}/H_{ст.}=1.25$ і склало 28%. Далі збільшення довжини екрану не здійснює відчутного впливу на значення додаткового осідання, так при $L_{кр.}/H_{ст.}=1.5$ деформації практично не змінилися. При розрахунку задач зі зміною інших параметрів застосовувалась відносна довжина захисного екрану $L_{кр.}/H_{ст.}=1.25$.

Наступним параметром вплив, якого досліджувався є положення захисного екрану між котлованом та існуючою будівлею. При розрахунку відносна довжина екрану задавалась у відповідності до попереднього дослідження, а саме $L_{кр.}/H_{ст.}=1.25$. Розглядались три положення екрану: $0.25B$, $0.5B$ та $0.75B$, де B - це відстань між котлованом та будинком. Аналіз розрахунку показав, що положення екрану не здійснює суттєвого впливу на додаткове осідання. Виявлено зменшення осідань по мірі віддалення екрану від існуючої будівлі. Найбільш ефективно застосування екрану спостерігається при його розташуванні біля огорожувальних конструкцій котловану на відстані $0.25B$. В даному випадку вдалось на 31% зменшити додаткові деформації в порівнянні із варіантом без екрану. При інших положеннях екрану деформації істотно не змінилися: $0.5B - 28\%$ та $0.75B - 23\%$

Для визначення впливу відстані між існуючим будинком та огорожуючими конструкціями котловану нового будівництва використовувався параметр, що дорівнює відношенню відстані між існуючим будинком та котлованом до глибини влаштування утримуючих конструкцій котловану нового будівництва. Розглядались наступні значення цього параметру: $V/L_{утр.}=0.25; 0.5; 1; 2; 3$.

Найбільша інтенсивність зміни осідання спостерігається при наближенні котловану до фундаментів існуючої будівлі. При мінімальній розглянутій відносній відстані $V/L_{утр.}=0.25$ спостерігається виникнення значних осідань фундаментів існуючої будівлі. У випадку без застосування захисного екрану додаткові осідання склали близько 105% у порівнянні з початковими осіданнями будівлі. При віддаленні більше $V/L_{утр.}=1$ вплив влаштування огороження котловану суттєво знижується: на 55% та на 33% без та з використанням екрану відповідно. На основі результатів розрахунку виявлено, що застосування інженерного захисного екрану є найбільш ефективним в діапазоні від $0.25L_{утр.}-1.25L_{утр.}$. В даному випадку екран дає змогу знизити додаткові осідання будівлі до 33% при $0.25L_{утр.}$ та 11% при $1.25L_{утр.}$

(рис.8.), що є суттєвим значенням для будівель історичної забудови, для яких згідно будівельних норм декларуються жорсткі граничні значення додаткових осідань основ і фундаментів при наявності впливу нового будівництва.

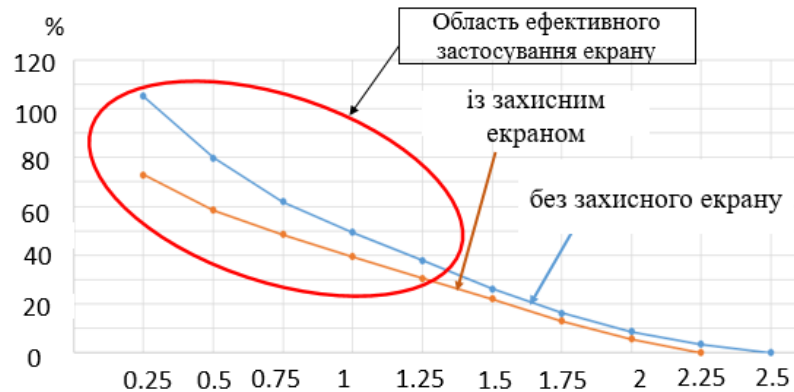


Рис.8. Графік приросту додаткових переміщень існуючої будівлі в залежності відстані між існуючою будівлею та котлованом

При використанні захисних екранів із паль маленького діаметру, крім підбору ефективної довжини, також важливим є питання, яким має бути співвідношення між кроком та діаметром паль, тобто жорсткість екрану. Для того щоб визначити вплив жорсткості екрану на додаткові осідання фундаментів існуючої будівлі було виконано порівняння результатів розрахунку при різних кроці (a) та діаметру (d) паль захисного екрану. Аналізувались наступні співвідношення $a/d=1; 1.5; 2; 3; 4$ (рис.9).

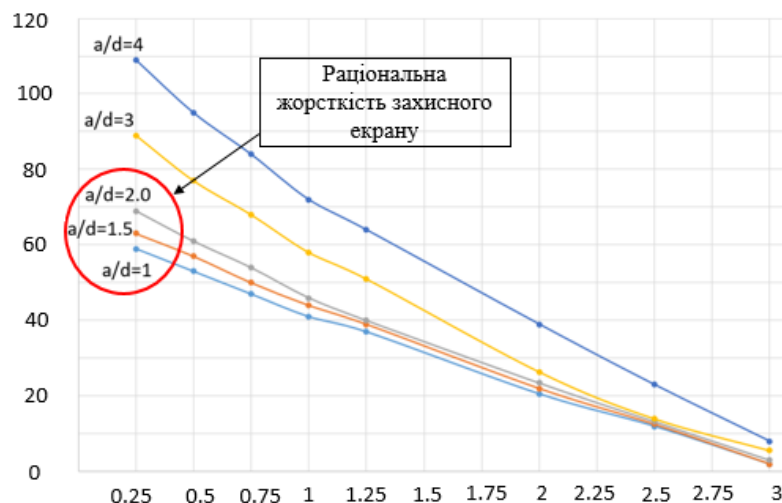


Рис.9. Графік зміни додаткових осідань фундаментів існуючої будівлі в залежності від жорсткості захисного екрану

Виявлено збільшення додаткового осідання будівлі зі зростанням відносної відстані між палями. Відчутне збільшення додаткових осідань проявляється при відношенні $a/d=3$, що на 20% більше ніж при використанні захисного екрану із відносною відстанню між палями $a/d=2$. При співвідношеннях $a/d=1; 1.5; 2$ виявлено

поступове зростання додаткових осідань в межах 10%. Розуміння значень додаткових осідань при різній жорсткості екрану дає змогу ефективно застосовувати параметри екрану та підбирати їх в залежності від технічного стану існуючої будівлі.

Виконані числовим методом дослідження показали, що влаштування інженерного захисного екрану із паль малого діаметру дозволяє знизити осідання будівель оточуючої забудови, що викликані влаштуванням огорожувальних конструкцій та відкопуванням котловану. Захисні властивості екрану залежать від багатьох факторів, які в тій чи іншій мірі впливають на ефективність застосування.

В п'ятому розділі наведено результати моделювання НДС основи і фундаменту існуючого будинку при впливу на нього влаштування огорожуючих конструкцій і розробки котловану. Приведено порівняння результатів числового моделювання та натурних спостережень за переміщеннями несучих конструкції сусіднього будинку.

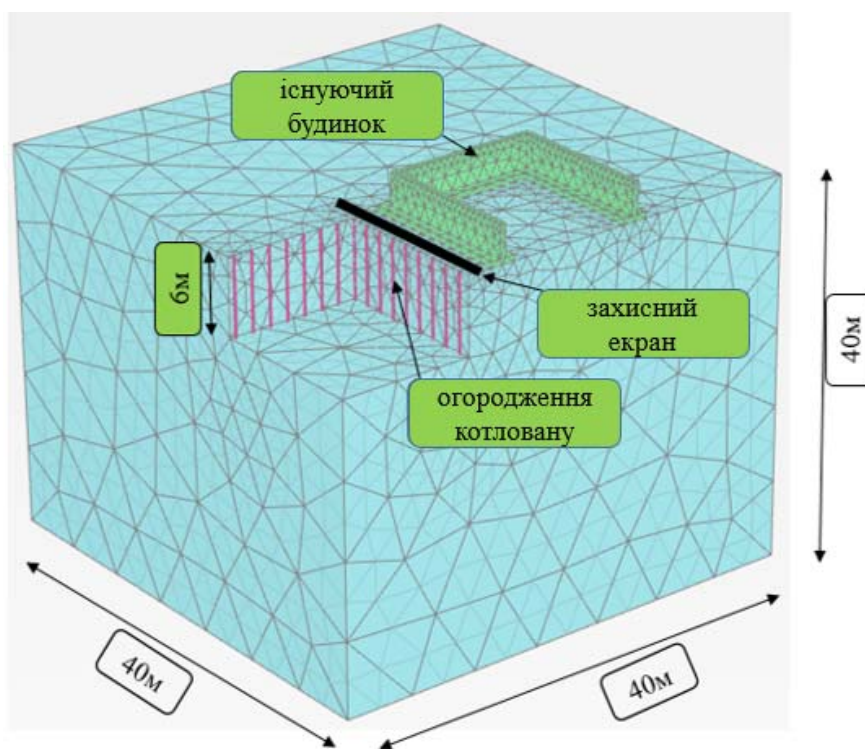


Рис.10. Скінченно-елементна модель системи «грунтова основа-інженерні захисні конструкції-оточуюча забудова» на етапі влаштування котловану

В якості експериментального майданчику для порівняння числового моделювання і реальних деформацій ґрунтової основи та конструкцій існуючого будинку обрано будівництво багатофункціонального житлового комплексу із підземним паркінгом. Спорудження комплексу проводиться в умовах щільної забудови історичного центру м. Києва. В безпосередній близькості до влаштовуваного паркінгу будівлі знаходиться трьохповерхова адміністративна будівля (рис. 10). Будівля прямокутна в плані із розмірами 26х14м, безкаркасної схеми, із поздовжніми та поперечними несучими стінами, просторова жорсткість

забезпечується сходовою клітиною та перекриттями із круглопустотних плит. Фундаменти влаштовані із збірних фундаментних плит та блоків. Ширина фундаменту 1м, глибина закладання складає 2м. Житловий комплекс, що планується споруджуватись 22-поверховим із підземним паркінгом. Будівля проектується, як монолітний залізобетонний каркас, жорсткість якого буде забезпечена спільною роботою складових каркасу: колон, ядер жорсткості та перекриттів.

Числове моделювання НДС виконувалось при врахуванні наступних етапів: формування природних напружень у ґрунті, влаштування огорожуючих конструкцій котловану, розробки котловану, поетапного влаштування підземних та надземних конструкцій нового багатоповерхового будинку.

При аналізі числового моделювання вже на етапі влаштування влаштування паль огороження котловану, до розробки котловану, було виявлено негативний вплив на існуючу забудову. Прогнозовані додаткові переміщення фундаментів існуючого будинку склали 43мм, що призвело б до переходу будівлі в аварійний технічний стан. В даному випадку аби зменшити додаткові переміщення було запропоновано влаштування захисного екрану із залізобетонних паль діаметром 159мм, кроком 300мм. Окрім застосування захисного екрану додатково було використано ефективну послідовність влаштування паль огороження котловану. Порядок, за яким виконуються палі значно впливає на осідання сусідніх будинків. В рамках дослідження розглядалися три варіанти послідовності влаштування паль: В1 - палі виконуються одна за одною із кроком $1.2d$; В2 - через одну із кроком $2.5d$; В3 – через дві із кроком $3.6d$.

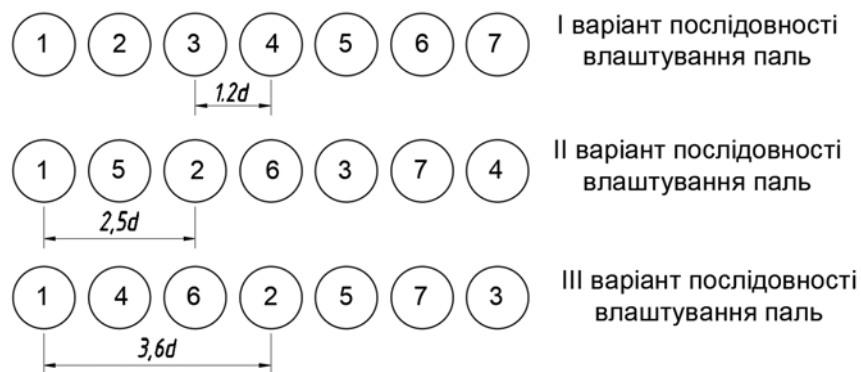


Рис. 11. Варіанти послідовності влаштування паль

Аналіз результатів додаткових переміщень показав, що при варіанту почергового влаштування паль із кроком $1.2d$ (I варіант, рис. 11) спостерігається виникнення максимального значення осідання у порівнянні із іншими варіантами. При зміні послідовності виконання паль огороження вдалось значно знизити додаткові переміщення фундаменту. У випадку II варіанту, коли палі влаштовуються через одну, із кроком $2.5d$, осідання скоротились приблизно в 2 рази у порівнянні із I варіантом почергового виконання паль. III варіант послідовності (через дві палі) із

кроком 3.6d дав можливість понизити осідання в 3 рази у порівнянні із I варіантом, що є найменшим серед досліджуваних послідовностей влаштування конструкцій огороження котловану.

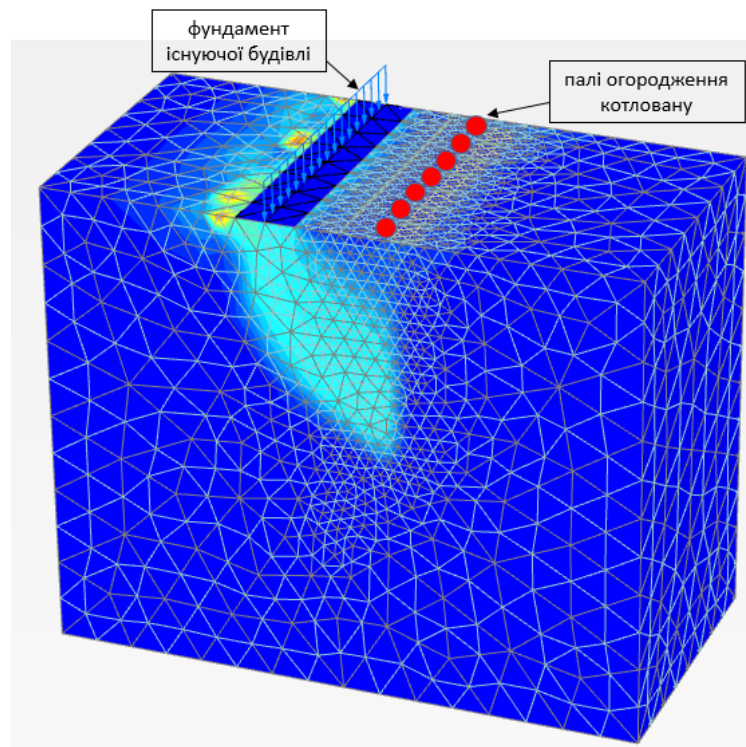


Рис. 12. Загальна картина повних осідань фундаментів існуючої будівлі при влаштуванні огороження котловану нового будівництва

Отримані результати дослідження були впроваджені на експериментальному майданчику у м. Києві. На об'єкті впровадження виконувався глибокий котлован для підземного паркінгу. Перед влаштуванням огороження котловану та екскавацією ґрунту було виконано захист існуючої історичної будівлі із використанням екрану з палей малого діаметру у відповідності до рекомендацій підбору параметрів викладених у дослідженні. Дана методика дозволила уникнути додаткових деформацій будинку та залишити незмінним його технічний стан. Підбір параметрів захисного екрану та огороження котловану дозволяє керувати напружено-деформованим станом основи фундаментів існуючої будівлі в залежності від її технічного стану та граничних деформацій.

Загальний характер осідання, визначений при числовому моделюванні співмірний із даними натурних спостережень. Завдяки проведенню геотехнічного моніторингу вдалось оцінити взаємовплив нового будівництва та сусідніх будинків (табл.1).

У роботі запропоновано алгоритм проектування інженерних захисних конструкцій в умовах щільної забудови, який рекомендується дотримуватись при проектуванні:

Таблиця 1

Порівняння розрахункових та експериментальних переміщень фундаментів

Етап	Переміщення, мм			Відхилення з екраном, %
	Числове моделювання із екраном	Експериментальні, із екраном	Числове моделювання без екрану	
Влаштування паль огороження котловану	15,1	11,5	43	24%
Відкопка котловану	21,3 (+29%)	17,4 (+34%)	61,3 (+40%)	19%

Основні етапи алгоритму: 1. Аналіз вихідних даних. 2. Підбір першого варіанту типу огороження котловану. 3. Ідентифікація розрахункових параметрів моделі на основі випробувань. 4. Числове моделювання НДС системи «грунтова основа – нове будівництво – існуюча забудова». 5. Аналіз результатів моделювання на всіх етапах розрахунку. 6. Порівняння отриманих додаткових переміщень фундаментів із гранично допустимими додатковими деформаціями основ і фундаментів споруд в залежності від їх поточного технічного стану. 7. Прийняття рішення про можливість застосування варіанту огорожуючих конструкцій. 8. При перевищенні граничних деформацій існуючої забудови уточнити конструктивні рішення із додаванням інженерного захисного екрану та коригуванням послідовності виконання паль огороження котловану. Повторити розрахунок. 9. Остаточне конструювання інженерних захисних конструкцій існуючої забудови. 10. Геотехнічний моніторинг за будівництвом та існуючими будівлями, що знаходяться в зоні впливу.

ВИСНОВКИ

1. Вперше розроблено методику розрахунку інженерних захисних конструкцій, яка дозволяє розкрити напружено-деформований стан системи «грунтова основа – інженерні захисні конструкції – існуюча будівля» та виявити взаємовплив кожного елементу системи на різних етапах будівництва.

2. Встановлено, що при виборі моделі ґрунтового середовища необхідно ідентифікувати розрахункові параметри ґрунтів шляхом виконання натурних випробувань інженерних захисних конструкцій, що дозволяє мінімізувати розбіжність між результатами числового моделювання та експериментальними даними до 10%.

3. Виявлено вплив параметрів захисного екрану на напружено-деформований стан основи фундаментів сусідніх будівель, серед яких: довжина, жорсткість, положення екрану між будівлею та огороженням котловану. Використання раціональних параметрів екрану дозволяє зменшити додаткові переміщення фундаментів сусідніх будівель до 40%.

4. Показано, що на етапі виконання паль огороження котловану спостерігається суттєвий вплив на оточуючу забудову, що залежить від послідовності захваток та порядку влаштування паль в межах самої захватки. Використання раціональної послідовності виконання паль дозволяє до 30% зменшити додаткові переміщення фундаментів існуючих будівель.

5. Розроблена методика впроваджена в лабораторії числових методів в геотехніці КНУБА. Використання даної методики дозволяє запобігати аварійним ситуаціям існуючих споруд при зведенні висотних будинків із підземними приміщеннями в умовах щільної забудови м. Києва.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

Список публікацій здобувача

1. Бойко І.П. Вплив фундаментів будинку на напружено-деформований стан утримуючих конструкцій / В.В. Ручківський, І.П. Бойко // Основи і фундаменти. К.: КНУБА, 2019 – Вип. 38. С. 9-15.

2. Ruchkivskiy V.V. Influence of distance between a retaining wall and existing building on stress-strain state of the system retaining structures-soil massif / V. V. Ruchkivskiy / Academic Journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: National Technical Yuri Kondratyuk University, 2017. - №2 (49). – P.159-170 (Google Scholar, Index Copernicus).

3. Ручківський В.В. Напружено-деформований стан підпірних стін в залежності від їх конструкції / В.В. Ручківський // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2020. – Вип. 40. С. 76-82.

4. Ручківський В.В. Взаємодія ґрунтової основи та групи паль, об'єднаних ростверком / В.В. Ручківський // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2021. – Вип. 43. С. 79-86.

5. Ручківський В.В. Формування напружено-деформованого стану основи при зведенні фундаментів на різних відмітках в щільно забудованій території / В.В. Ручківський // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2021. – Вип. 42. С. 64-71.

6. Ручківський В.В. Вплив захисного екрану на напружено-деформований стан оточуючої забудови в зоні розробки котловану / В.В. Ручківський // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 46. С. 153-160.

7. Ручківський В.В. Взаємодія інженерних захисних конструкцій з ґрунтовою основою в умовах щільної міської забудови / В.В. Ручківський // Опір матеріалів і теорія споруд – К.:КНУБА, 2023 – Вип. 110. С. 507-519. (Web of science, Index Copernicus).

8. Ручківський В.В. Вплив параметрів інженерних захисних конструкцій на ефективність їх застосування в умов / В.В. Ручківський // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 47. С. 99-106.

АНОТАЦІЯ

Ручківський В.В. Особливості взаємодії інженерних захисних конструкцій з ґрунтовою основою при влаштуванні підземних приміщень в щільно забудованій території. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі і споруди. – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2024.

В дисертації досліджується взаємодія інженерних захисних конструкцій із ґрунтовою основою, вплив влаштування котловану на сусідні будівлі.

Приведено результати досліджень напружено-деформованого стану інженерних захисних конструкцій у вигляді підпірних стін котловану в комбінації та без захисного екрану із залізобетонних паль малого діаметру. Показано вплив параметрів захисних екранів на зниження додаткових деформацій основи сусідніх будинків.

Досліджено вплив послідовності влаштування паль огороження котловану в межах захватки на додаткові переміщення фундаментних конструкцій оточуючої забудови.

Приведено результати числового моделювання «ґрунтовий масив – інженерні захисні конструкції – фундаменти будівель» з використанням захисного екрану та без нього в умовах щільної забудови на експериментальному майданчику. Виконано порівняння даних числового моделювання із значеннями переміщень фундаментів, отриманих за допомогою натурних спостережень.

Ключові слова: інженерні захисні конструкції, огороження котловану, щільна забудова, взаємовплив, числове моделювання, напружено-деформований стан.

ANNOTATION

Ruchkivsky V.V. Features of the interaction of engineering protective structures with the soil base when arranging underground premises in a densely built-up area. - On the rights of the manuscript.

Dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.23.01 - construction structures, buildings and structures. - Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The thesis examines the interaction of engineering protective structures with the soil base, the impact of pit construction on neighboring buildings.

The results of studies of the stress-strain state of engineering protective structures in the form of pit retaining walls in combination with and without a protective screen made of small-diameter reinforced concrete piles are presented. The influence of the parameters of protective screens on the reduction of additional deformations of the foundation of neighboring buildings is shown.

The effect of the sequence of piling of the pit fence within the excavation on additional movements of the foundation structures of the surrounding buildings was investigated.

The results of the numerical simulation of "soil massif - engineering protective structures - foundations of buildings" with and without the use of a protective screen in the conditions of dense construction on the experimental site are given. Comparison of the numerical modeling data with the values of foundation displacements obtained by field observations was carried out.

Key words: engineering protective structures, pit retaining structures, densely built-up territory, interaction, numerical simulation, stress-strain state.

Ручківський Віталій Валентинович

**ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАХИСНИХ
КОНСТРУКЦІЙ З ҐРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ ПРИ ВЛАШТУВАННІ
ПІДЗЕМНИХ ПРИМІЩЕНЬ В ЩІЛЬНО ЗАБУДОВАНІЙ ТЕРИТОРІЇ**

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 21.02.2024.
Формат 60x90 1/16. Папір офсетний.
Друк цифровий.
Тираж 100 прим.