

Пошук ефективних рішень огороження котловану під будівництво дворівневого паркінгу багатоповерхового будинку

Людмила Бондарева¹, Костянтин Мехеда²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹skochko.lo@knuba.edu.ua, orcid.org/
²konstantin.mekheda@gmail.com

DOI: 10.32347/0475-1132.46.2023.49-62

Анотація. Проведено дослідження та порівняння внутрішніх зусиль та горизонтальних переміщень паль підпірної стіни котловану за трьома схемами їх розміщення у підпірній стіні. Досліджений вплив етапів моделювання розробки котловану на результати розрахунку за допомогою ПК «Plaxis 2D». Виконано дослідження та проаналізовано напружено-деформований стан (НДС) паль підпірної стінки котловану при просторовій постановці задачі, виконано порівняння із результатами, отриманими при пласкій постановці.

На основі отриманих результатів представлено інформацію щодо ефективності різних схем розміщення паль у підпірній стіні котловану, збіжність результатів розрахунку при різній деталізації моделювання процесу відкопування котловану, а також представлено порівняння значень внутрішніх зусиль, горизонтальних переміщень та величини підняття дна котловану при постановці задачі у пласкій та просторовій постановці. Представлено розподіл зусиль між палями підпірної стінки у просторовій задачі.

Скінченно-елементна модель складається з ґрунту основи та конструкцій підпірної стіни. Моделювання основи виконане з використанням моделі ґрунтового середовища Hardening soil з врахуванням наступних характеристик ґрунтів: γ – питома вага ґрунту у природному стані; γ_{sat} – питома вага ґрунту у водонасиченому стані; c – питома зчеплення; φ – кут внутрішнього тертя; ψ – кут дилатансії; E_{50} – модуль жорсткості при завантаженні на 50%; E_{oed} – модуль жорсткості на завантаження/розвантаження; E_{ur} – одометричний модуль жорсткості. Розрахунок виконаний за допомогою програмного комплексу «Plaxis».



Людмила Бондарева
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н.



Костянтин Мехеда
Магістр кафедри геотехніки

На сьогоднішній день є актуальним питання ефективного та найбільш раціонального способу огороження котловану при будівництві будівель та споруд із підземною їх частиною. Вдалий вибір конструкції огороження котловану дозволяє не тільки забезпечити надійність роботи споруди, а і у найефективніший спосіб використовувати будівельні матеріали. Також вибір способу постановки задачі та її деталізація є важливими факторами при підході до моделювання подібних задач, оскільки впливають на точність отриманих результатів, ступінь трудомісткості та витрати часу для проведення розрахунку.

Ключові слова. підпірна стінка, котлован, чисельні методи, розташування паль, відкопування котловану, пласка постановка, просторова постановка, Plaxis 2D, Plaxis 3D.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В межах міської забудови на сьогоднішній день є актуальною проблема недостатньої кількості місць паркування автомобілів. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є влаштування підземного паркінгу у будівлях громадського та житлового призначення, що призводить до необхідності спорудження підпірних стін котлованів та пошуку їх ефективної конструкції та способу моделювання.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботах багатьох науковців висвітлюються різні рішення огороження котловану при будівництві підземних паркінгів в складі комплексів будівництва багатоповерхових та висотних будинків [1-5]. Наприклад, в роботі [1] автор розглядає сумісну роботу утримуючих конструкцій та фундаментів будинку як єдиної системи, зроблені висновки щодо впливу фундаментів будинку на напружено-деформований стан утримуючих конструкцій.

Окремо вибілені роботи [5], в яких розглянуто перерозподіл зусиль в елементах підпірних стін в залежності від їх конструктивних особливостей. Автор наводить результати дослідження, в яких говорить про те, що габарити паль, їх розташування між собою, рядність паль мають вплив на напружено-деформований стан підпірних стін і необхідно підходити до розв'язання цієї задачі комплексно з пошуком найбільш раціонального та оптимального рішення.

МЕТА РОБОТИ

Пошук ефективного розташування паль у підпірній стінці котловану та способу постановки задачі, визначення оптимальної кількості етапів проектування.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проектування підпірних стін з паль для огороження котлованів на сьогоднішній день є досить розповсюдженою інженерною

задачею. Оскільки будівництво у містах із великою щільністю забудови та будівель з підземними рівнями все частіше є необхідністю, важливо підходити до проектування огорожень котловану раціонально з метою досягнення найбільшої ефективності роботи конструкцій.

Об'єктом дослідження є огороження котловану під будівництво багатоповерхової будівлі у м. Києві, що має 26 надземних та 2 підземних поверхи. Перший поверх відведений для комерційних приміщень, два підземних – під паркінг. Форма підпірної стіни в плані наближений до прямокутної. Зображення котловану у плані наведено на Рис. 1.

Конструкція підпірної стіни включає буронабивні палі діаметром 620 мм довжиною 14 м, що об'єднані між собою монолітним ростверком товщиною 650 мм.

Ґрунтами основи є суглинок, піски дрібні та пилуваті, супісок твердий.

В даній роботі розглянуто три наступні задачі:

1. Пошук ефективного розташування паль шляхом порівняння наступних схем розміщення паль у підпірній стінці:

- Схема 1: палі в 1 ряд;
- Схема 2: палі шаховому порядку;
- Схема 3: палі розміщені в 1 ряд з паями-контрфорсами, що розміщені у другий ряд.

2. Дослідження впливу етапів моделювання розробки котловану на результати розрахунку за допомогою ПК «Plaxis 2D».

3. Порівняння НДС паль підпірної стінки при постановці задачі в пласкій та просторовій формах.

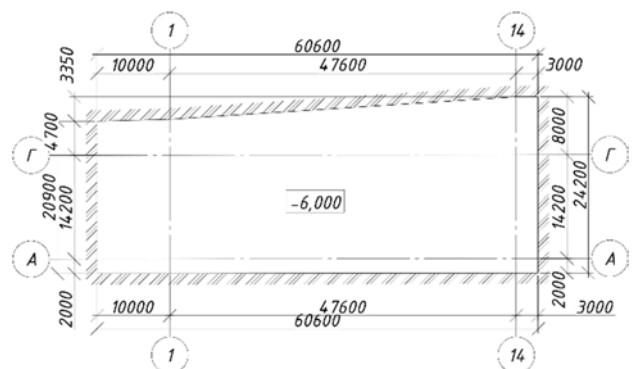


Рис. 1. Зображення котловану у плані.

Fig. 1. Plan view of the pit.

Задача 1. Пошук ефективного розташування паль підпірної стіни котловану.

Розрахункова схема включає всі елементи споруди як системи «основа – підпірна стіна». Розрахунки напружено-деформованого стану конструкцій підпірної стіни спільно з ґрунтовою основою виконуються методом скінчених елементів (МСЕ) у двовимірній постановці за допомогою ПК «Plaxis 2D». Порівнюються три схеми розміщення паль (Рис. 2) підпірної стіни поруч з віссю «А» котловану.

Як зображено на Рис. 2, розміщення паль у підпірній стіні наступне:

Схема 1: палі розміщені в 1 ряд з кроком 650 мм;

Схема 2: палі розміщені у шаховому порядку з кроком 1300 мм та відстанню між рядами 1500 мм;

Схема 3: палі розміщені у 2 ряди з кроком 4000 мм та відстанню між рядами 1500 мм.

Для всіх схем прийнято палі діаметром 620 мм та довжиною 14 м. Загальна кількість паль у кожній схемі однакова – 33 шт.

Згідно результатів розрахунку (рис. 3) максимальні горизонтальні переміщення складають:

- для схеми 1 – 4,002 см;

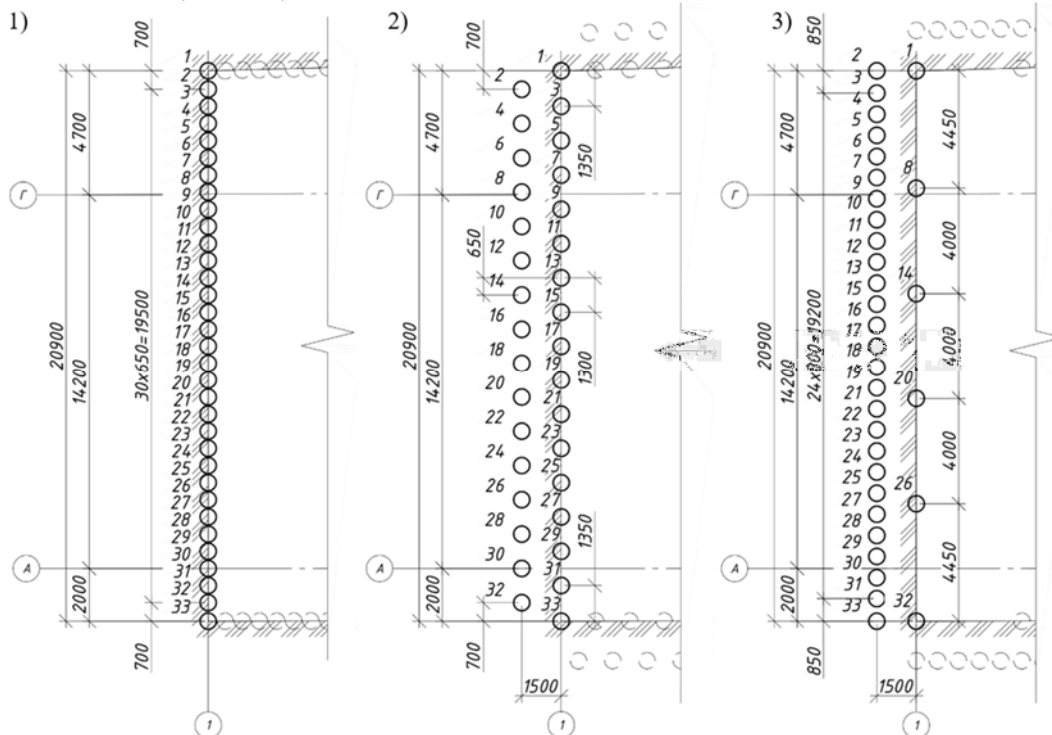


Рис.2. Схеми розміщення паль у підпірній стінці: 1) 1 ряд, 2) шаховий порядок; 3) 2 ряди.
Fig.2. Placement variant of the retaining wall piles: 1) 1 row, 2) checkerboard order; 3) 2 rows.

- для схеми 2 – 1,816 см;
- для схеми 3 – 1,954 см.

Максимальні горизонтальні переміщення паль другої та третьої схеми у порівнянні з першою схемою менші на 55% та 51% відповідно.

Максимальні абсолютні значення згинальних моментів складають:

- для схеми 1 (крок 650 мм) – 236,9 кНм (153,99 кНм для однієї палі);
- для схеми 2 (у ряді далі від виїмки, крок 1300 мм) – 119,2 кНм (154,96 кНм для однієї палі);
- для схеми 2 (у ряді ближче до виїмки, крок 1300 мм) – 101,3 кНм (131,69 кНм для однієї палі);
- для схеми 3 (у ряді далі від виїмки, крок 800 мм) – 53,05 кНм (42,44 кНм для однієї палі);
- для схеми 3 (у ряді ближче до виїмки, крок 4000 мм) – 124,4 кНм (497,6 кНм для однієї палі);

Максимальні абсолютні значення згинальних моментів (рис. 4) у палях другої та третьої схем по відношенню до першої схеми зменшились на 50% та 47% відповідно.

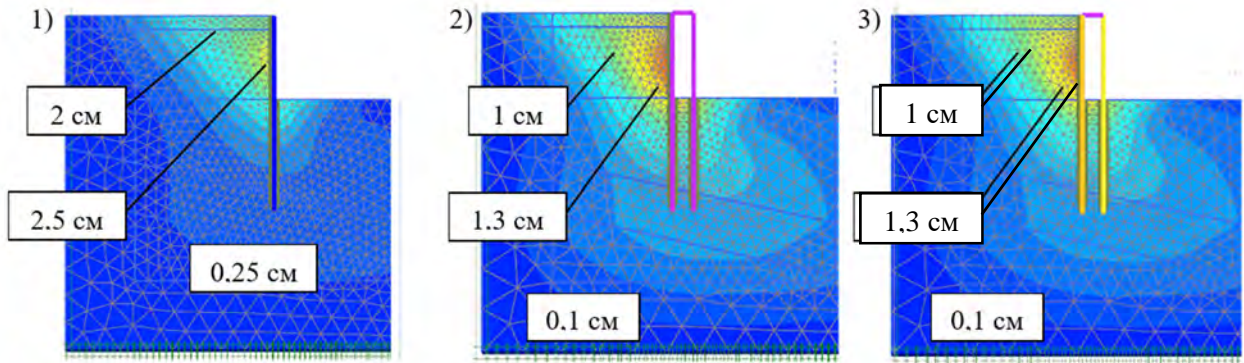


Рис.3. Горизонтальні переміщення ряду палей: 1) у схемі 1; 2) у схемі 2; 3) у схемі 3.
 Fig.3. Horizontal displacements in the pile rows: 1) placement variant 1; 2) placement variant 2; 3) placement variant 3.

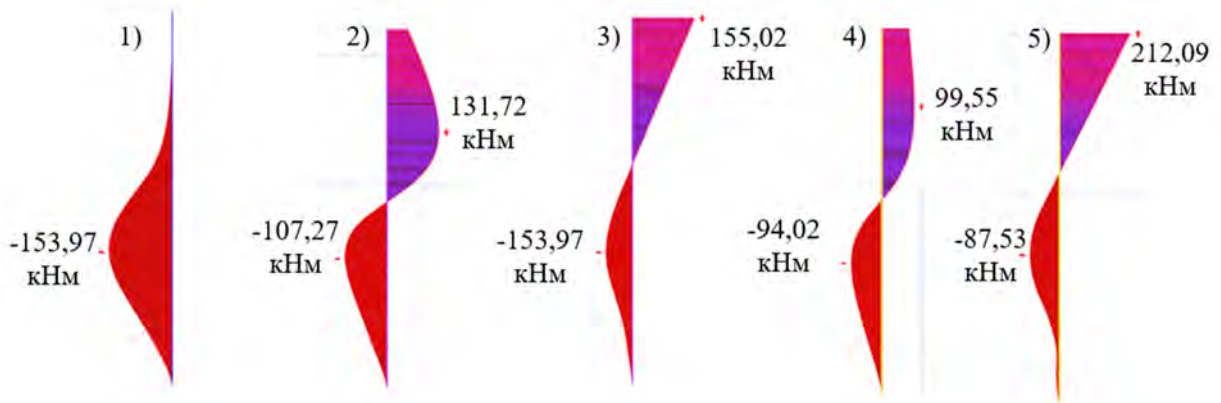


Рис.4. Епюри згинальних моментів у ряді палей: 1) схеми 1; 2) у схемі 2 (далі від виїмки); 3) у схемі 2 (ближче до виїмки); 4) у схемі 3 (далі від виїмки); 5) у схемі 3 (ближче до виїмки).
 Fig.4. Pile bending moments diagrams: 1) placement variant 1; 2) placement variant 2 (further from the pit); 3) placement variant 2 (closer to the pit); 4) placement variant 3 (further from the pit); 5) in scheme 3 (closer to the pit).

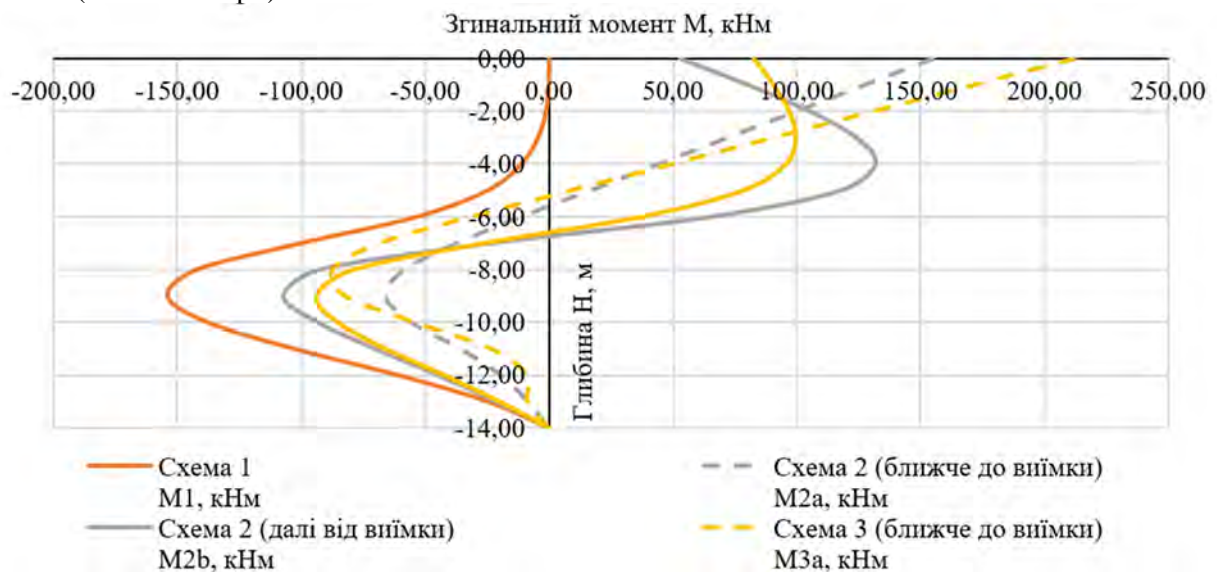


Рис.5. Графік величини згинаючих моментів в залежності від глибини.
 Fig.5. Graph of the dependence of the bending moments on the depth.

Табл. 1. Згинальні моменти в палях (задача 1).
Table 1. Bending moments in piles (problem 1).

Глибина Н, м	Згинальний момент				
	Схема 1 М1, кНм	Схема 2		Схема 3	
		ближче до виїмки	далі від виїмки	ближче до виїмки	далі від виїмки
		М2а, кНм	М2б, кНм	М3а, кНм	М3б, кНм
0	0	119,24	40,74	53,02	103,39
-1	-0,23	97,94	61,86	42,85	113,31
-2	-1,96	76,64	81,07	32,68	121,18
-3	-6,96	55,41	95,41	22,54	124,44
-4	-17,44	34,03	101,32	12,34	119,4
-5	-38,35	12,73	90,43	2,17	97,81
-6	-82,45	-8,57	50,07	-8	46,27
-7	-154,39	-28,56	-18,09	-17,17	-33,34
-8	-218,89	-44,76	-71,4	-21,88	-98,92
-9	-236,88	-50,59	-82,52	-20,58	-117,52
-10	-211,66	-42,52	-71,66	-13,48	-106,69
-11	-158,04	-27,31	-53,88	-5,83	-82,58
-12	-93,5	-14,78	-34,39	-2,19	-52,9
-13	-37,87	-6,39	-16,44	-2,17	-24,93
-14	0	0	0	0	0

Задача 2. Дослідження впливу етапів моделювання розробки котловану на результати розрахунку за допомогою ПК «Plaxis 2D».

Дослідження впливу кількості етапів відкопки котловану на результати розрахунку виконується на основі першої схеми розміщення паль (рис. 2, 1). До розрахунку приймається 4 варіанти деталізації моделювання відкопки до проектної відмітки (до глибини 6 м): за 1 раз, за 3 рази, за 5 разів та за 10 разів (Рис. 6). Захватки для відкопки приймаються рівними у кожному з варіантів.

Результати наведені на Рис. 7-9. Абсолютні максимальні значення згинальних моментів в палях складають при відкопці котловану за:

- 1 раз – 150,48 кНм (для ряду паль 231,5 кНм);
- 3 рази – 153,99 кНм (для ряду паль 236,9 кНм);
- 5 разів – 155,16 кНм (для ряду паль 238,7 кНм);
- 10 разів – 152,88 кНм (для ряду паль 235,2 кНм).

Горизонтальні переміщення паль складають при відкопці котловану за:

- 1 раз – 3,96 см;
- 3 рази – 4 см;
- 5 разів – 4,02 см;
- 10 разів – 3,93 см.

Підняття дна котловану складає при відкопці котловану за:

- 1 раз – 2,66 см;
- 3 рази – 2,73 см;
- 5 разів – 2,74 см;
- 10 разів – 2,8 см.

Мінімальна збіжність отриманих результатів складає:

- для згинальних моментів – 97%;
- для поперечних сил – 99%;
- для повздовжніх сил – 94%;
- для горизонтальних переміщень – 99%;
- для підняття дна котловану – 95%.

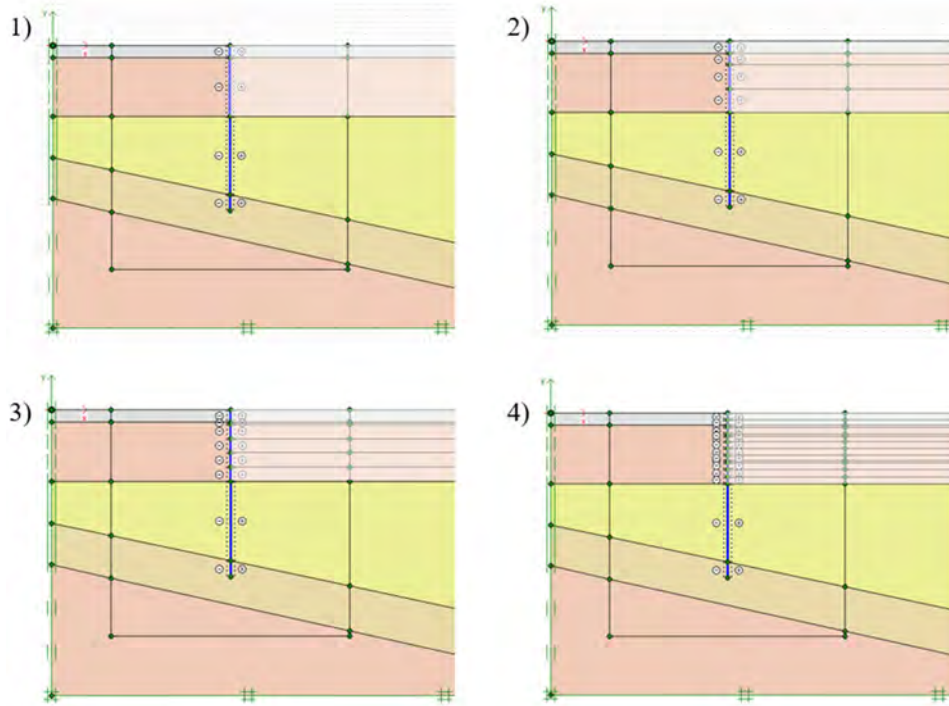


Рис.6. Розрахункові схеми до задачі 2: 1) відкопка за 1 раз; 2) відкопка за 3 рази; 3) відкопка за 5 разів; 4) відкопка за 10 разів.

Fig.6. Design schemes to the problem 2: 1) excavation at once; 2) excavation in 3 times; 3) at excavation in 5 times; 4) excavation in 10 times.

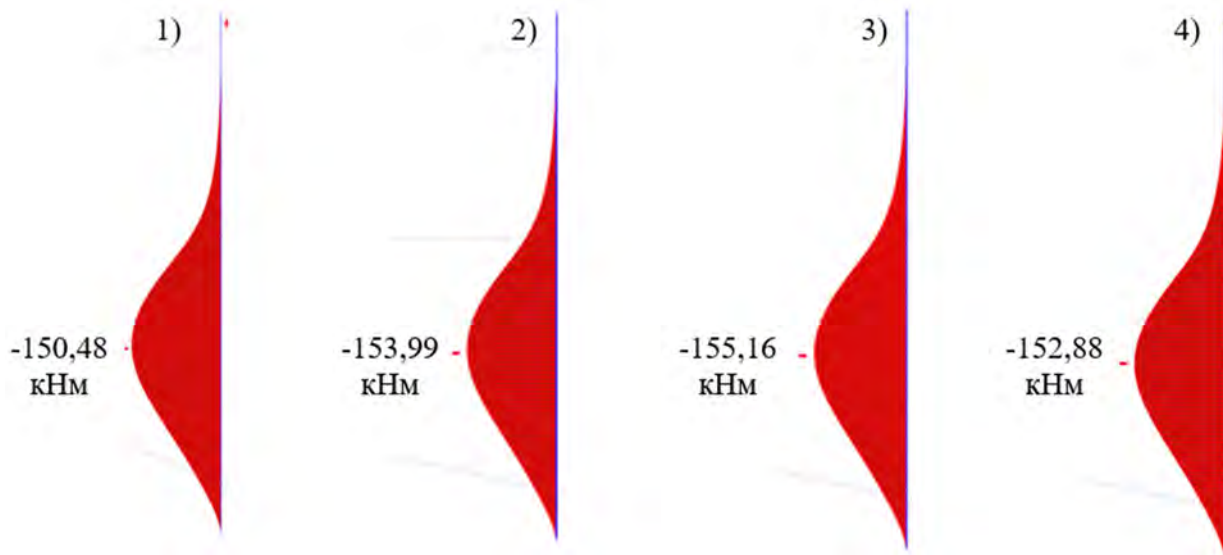


Рис.7. Епюри згинальних моментів у ряді палей: 1) при відкопці за 1 раз; 2) при відкопці за 3 рази; 3) – при відкопці за 5 разів; 4) – при відкопці за 10 разів.

Fig.7. Pile bending moments diagrams: 1) excavation at once; 2) excavation in 3 times; 3) excavation in 5 times; 4) excavation in 10 times.

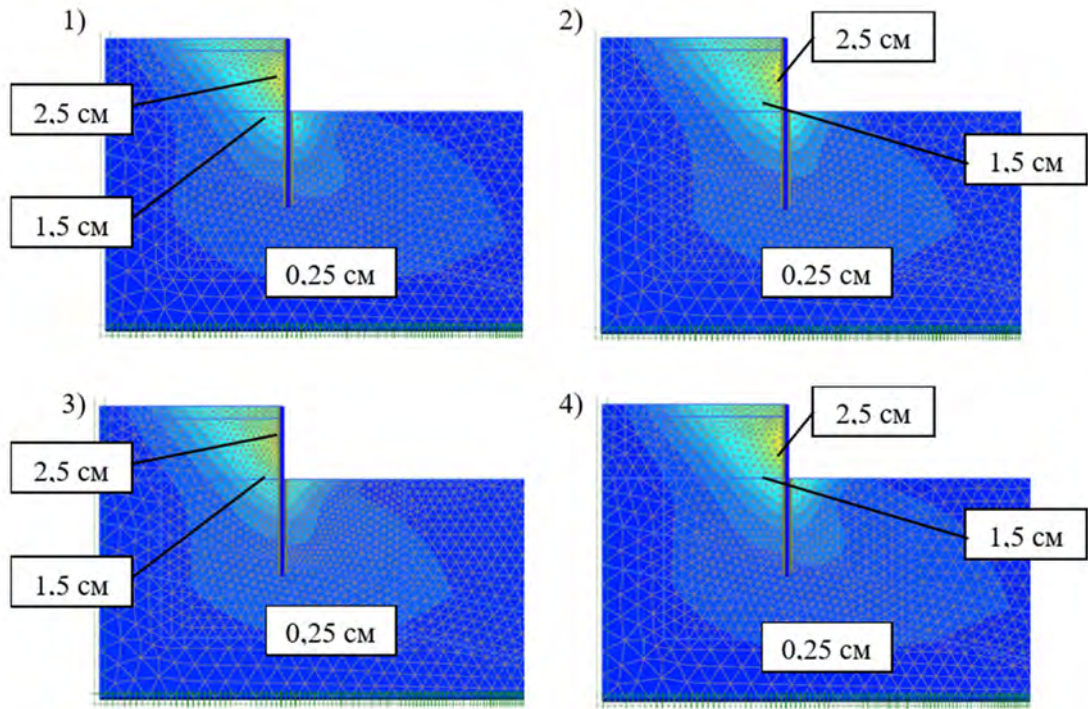


Рис.8. Горизонтальні переміщення: 1) при відкопці за 1 раз; 2) при відкопці за 3 рази; 3) при відкопці за 5 разів; 4) при відкопці за 10 разів.

Fig.8. Horizontal displacements: 1) excavation at once; 2) excavation in 3 times; 3) excavation in 5 times; 4) excavation in 10 times.

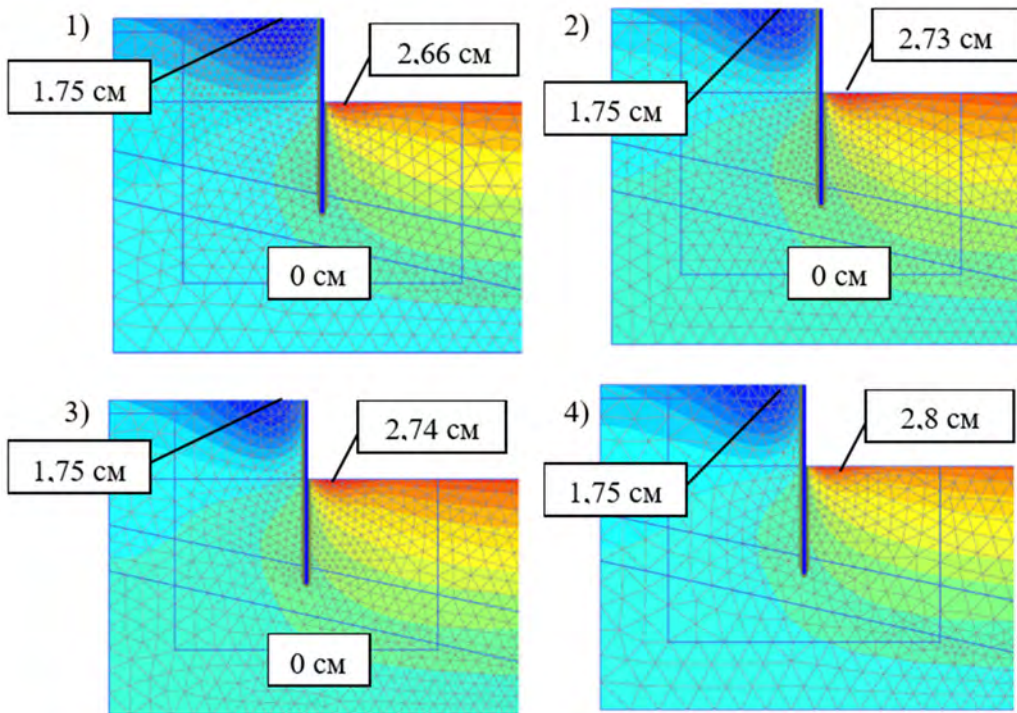


Рис.9. Підняття дна котловану: 1) при відкопці за 1 раз; 2) при відкопці за 3 рази; 3) при відкопці за 5 разів; 4) при відкопці за 10 разів.

Fig.9. Pit bottom raise: 1) excavation at once; 2) excavation in 3 times; 3) excavation in 5 times; 4) excavation in 10 times.

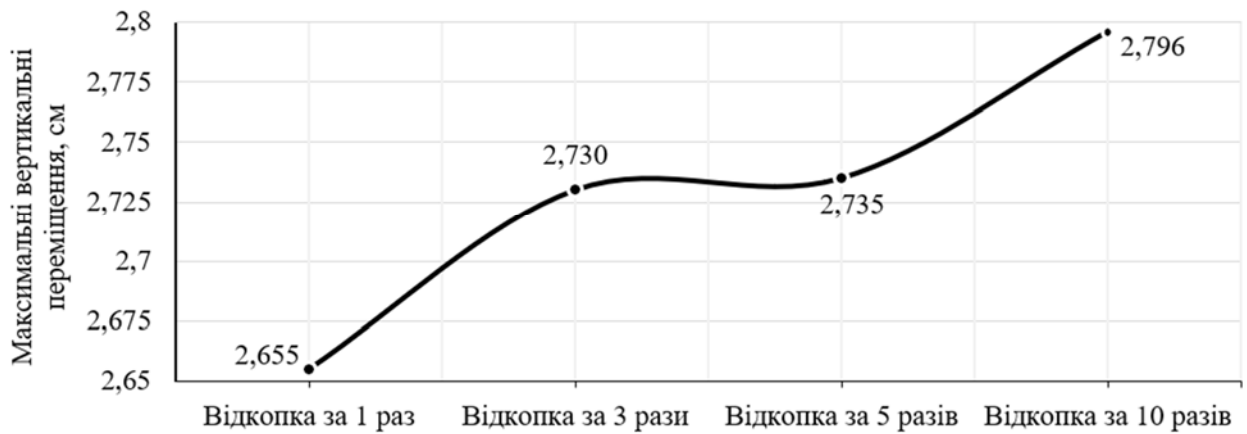


Рис.10.Графік максимальних вертикальних переміщень ґрунту в залежності від кількості стадій відкопки.

Fig.10. Graph of the maximum excavation bottom raise depending on the number of excavation process stages.

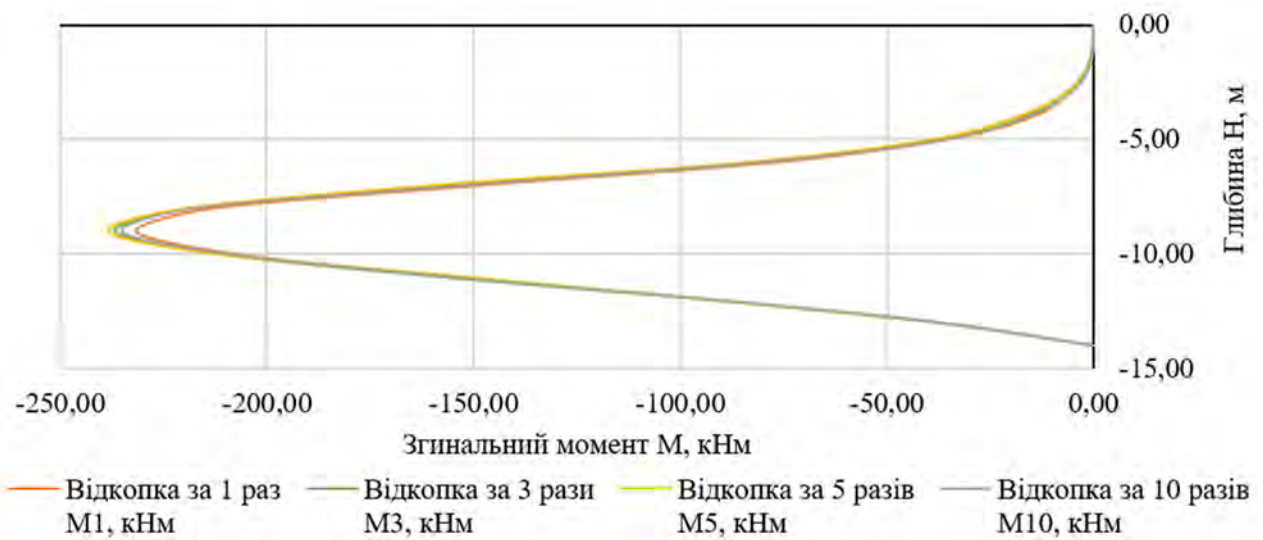


Рис.11.Графік зміни згинальних моментів з глибиною.

Fig.11. Graph of the dependence of the bending moments on the depth.

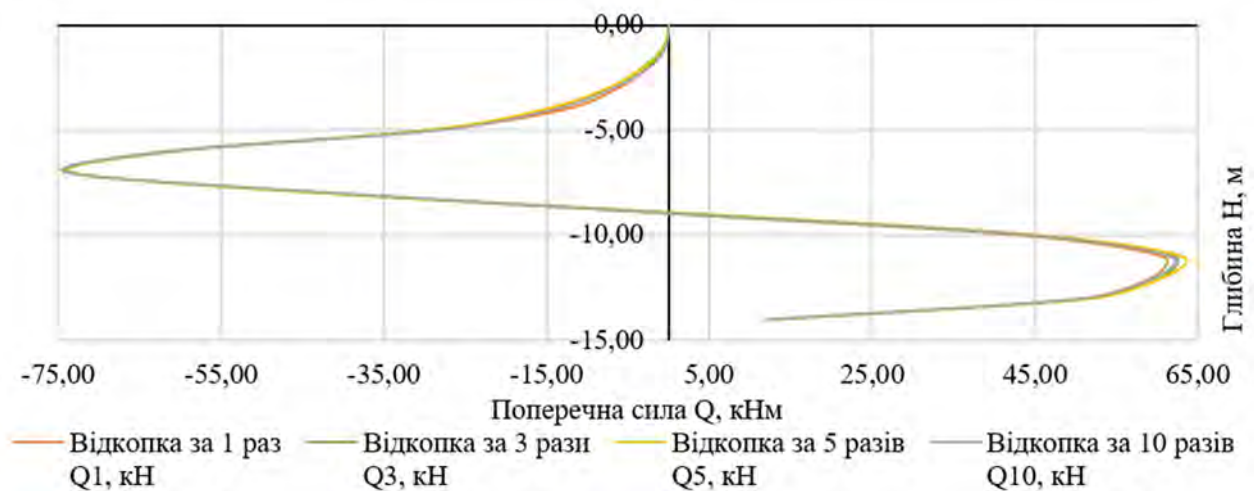


Рис.12.Графік зміни поперечних сил з глибиною.

Fig.12. Graph of the dependence of the shear forces on the depth.

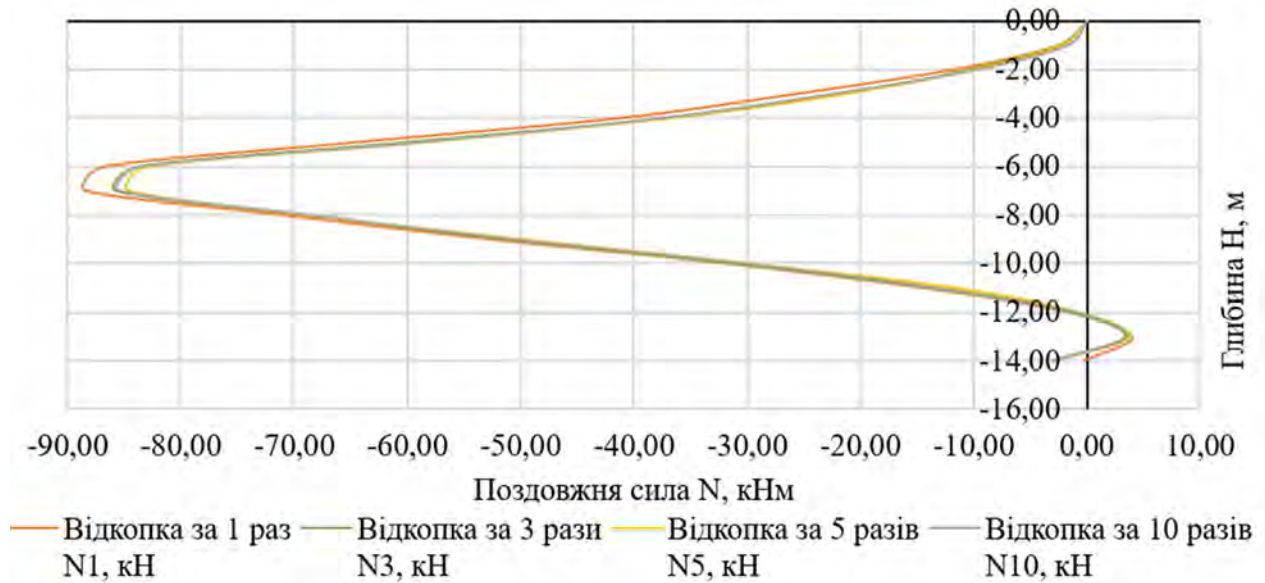


Рис.13.Графік зміни поздовжніх сил з глибиною.

Fig.13. Graph of the dependence of the axial forces on the depth.

Задача 3. Порівняння НДС паль підірної стінки при постановці задачі в плоскій та просторовій формах.

Розрахункова схема включає всі елементи споруди як системи «основа – підпірна стіна». Розрахунки напружено-деформованого стану конструкцій підпірної стіни спільно з ґрунтовою основою виконуються методом скінчених елементів (МСЕ) у тривимірній постановці за допомогою ПК «Piaxis 3D».

Приймається схема розміщення паль з контрфорсами з попередньої задачі (рис. 2, 3).

Згідно отриманих результатів максимальні переміщення ґрунту стінок котловану складають:

- по осі «А» – 0,7 см;
- по осі «Б» – 0,7 см;
- по осі «1» – 0,8 см;
- по осі «2» – 0,9 см.

Максимальне підняття дна котловану складає 1,4 см.

Максимальне підняття дна котловану при двовимірній постановці складає 2,73 см. Для порівняння, у точці, що їй відповідає при тривимірній постановці (біля ряду паль вздовж коротшої осі «1») – 1 см.

Абсолютні максимальні значення згинальних моментів, що виникають в палях складають:

- по осі «1»:
 - на відстані 1/2 прольоту:
 - рядова паля – 41,58 кНм;
 - рядова паля на відстані 1/3 прольоту:
 - рядова паля – 37,65 кНм;
 - паля-контрфорс – 56,09 кНм;
 - на відстані 1/6 прольоту:
 - рядова паля – 37,53 кНм;
 - паля-контрфорс – 51,86 кНм;
 - кутова паля-контрфорс на перетині осей «1» та «А» – 25,14 кНм;
 - по осі «А»:
 - на відстані 1/2 прольоту:
 - рядова паля – 30,23 кНм;
 - на відстані 7/15 прольоту:
 - рядова паля – 34,63 кНм;
 - паля-контрфорс – 39,47 кНм;
 - на відстані 4/15 прольоту:
 - рядова паля – 30,35 кНм;
 - паля-контрфорс – 37,14 кНм;
 - на відстані 2/15 прольоту:
 - рядова паля – 27,1 кНм;
 - паля-контрфорс – 41,47 кНм.

Для порівняння, при двовимірній постановці задачі, ці значення для однієї палі вздовж осі «1» складають (див. задача 1):

- рядова паля – 97,06 кНм (для ряду палей – 121,32 кНм);
- паля-контрфорс – 172,71 кНм (для ряду палей – 43,18 кНм).

Абсолютні максимальні горизонтальні переміщення палей складають:

- по осі «1»:
 - на відстані 1/2 прольоту:
 - рядова паля – 0,43 см;
 - рядова паля на відстані 1/3 прольоту:
 - рядова паля – 0,41 см;
 - паля-контрфорс – 0,47 см;
 - на відстані 1/6 прольоту:
 - рядова паля – 0,33 см;
 - паля-контрфорс – 0,38 см;
- кутова паля-контрфорс на перетині осей «1» та «А» – 0,2 см;
- по осі «А»:
 - на відстані 1/2 прольоту:
 - рядова паля – 0,5 см;
 - на відстані 7/15 прольоту:
 - рядова паля – 0,5 см;
 - паля-контрфорс – 0,51 см;
 - на відстані 4/15 прольоту:
 - рядова паля – 0,4 см;
 - паля-контрфорс – 0,42 см;
 - на відстані 2/15 прольоту:
 - рядова паля – 0,2 см;
 - паля-контрфорс – 0,24 см.

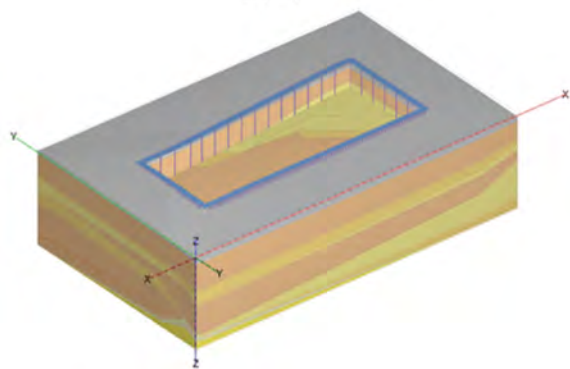


Рис.14.Просторова схема.
Fig.14. Spatial setting.

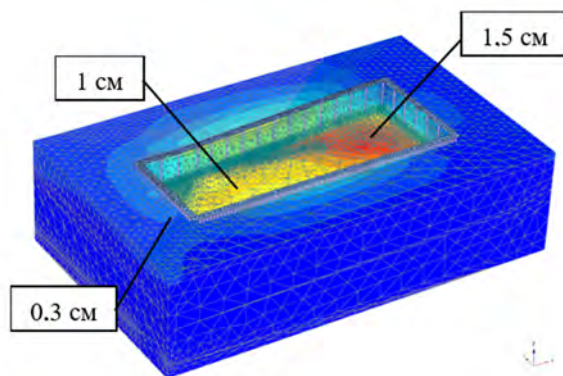


Рис.15.Загальні переміщення ґрунту.
Fig.15. Total displacements of the soil.

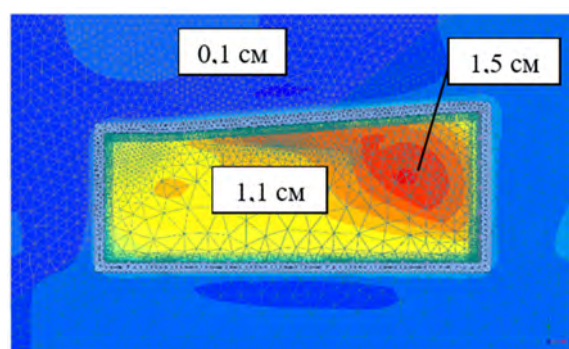


Рис.16.Вертикальні переміщення ґрунту (підняття) дна котловану (вид зверху).
Fig.16. Vertical displacements of the soil (plan view).

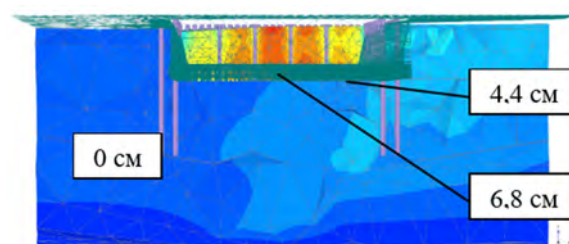


Рис.17.Горизонтальні переміщення ґрунту, розріз в осях «А»-«Б» (вид на стінку по осі «1»)
Fig.17. Horizontal displacements of the soil between axes “A”-“B” (axis “1” wall view).

Для порівняння, при двовимірній постановці задачі, ці значення для однієї палі вздовж осі «1» складають (див. задача 1):

- рядова паля – 2 см;
- паля-контрфорс – 2 см.

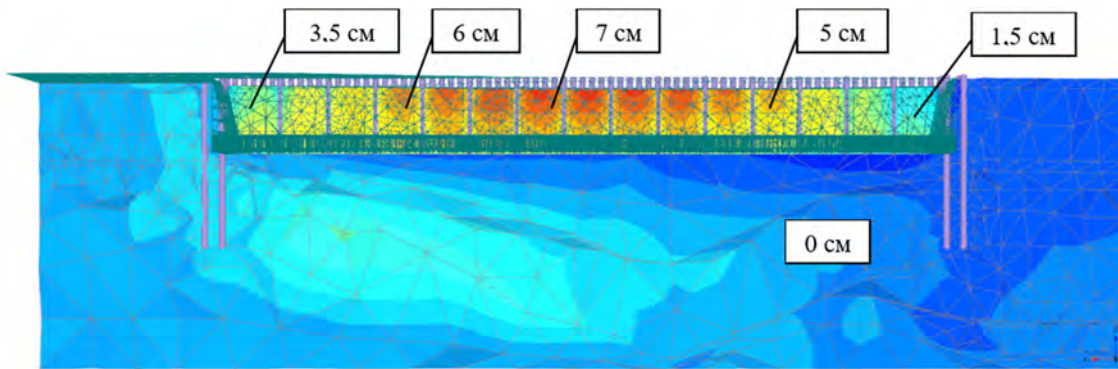


Рис.18. Горизонтальні переміщення ґрунту, розріз в осях «1»-«2» (вид на стінку по осі «А»).
 Fig.18. Horizontal displacements of the soil between axes "1"- "2" (axis "A" wall view).

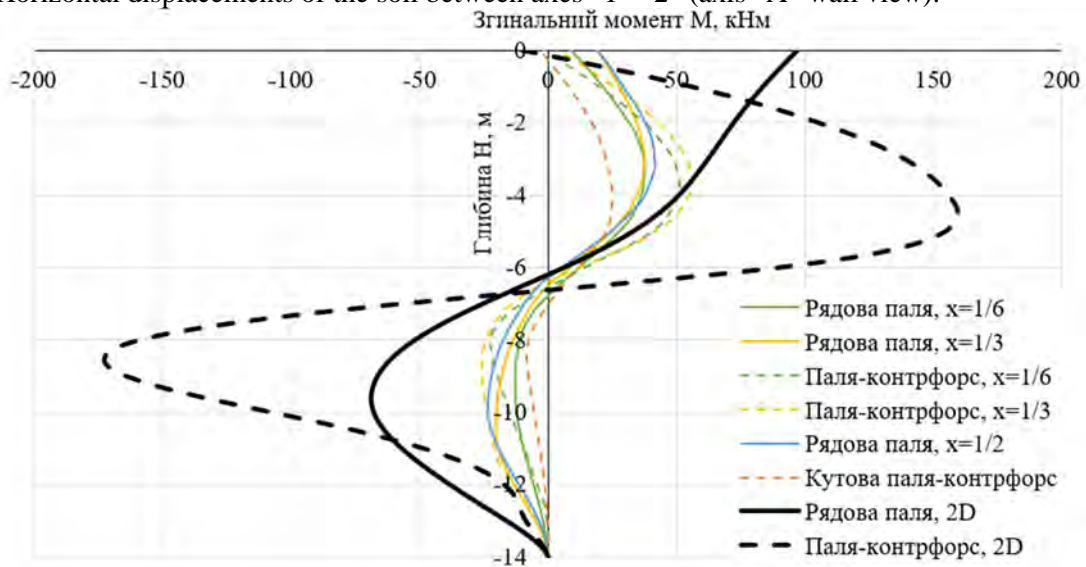


Рис.19. Графік зміни значення згинального моменту в палі по довжині, порівняння значень просторової та плоскої задач (вісь «1»).

Fig.19. Graph of the dependence of the bending moments on the depth, comparison of the values in piles of spatial and flat problem settings (axis "1").

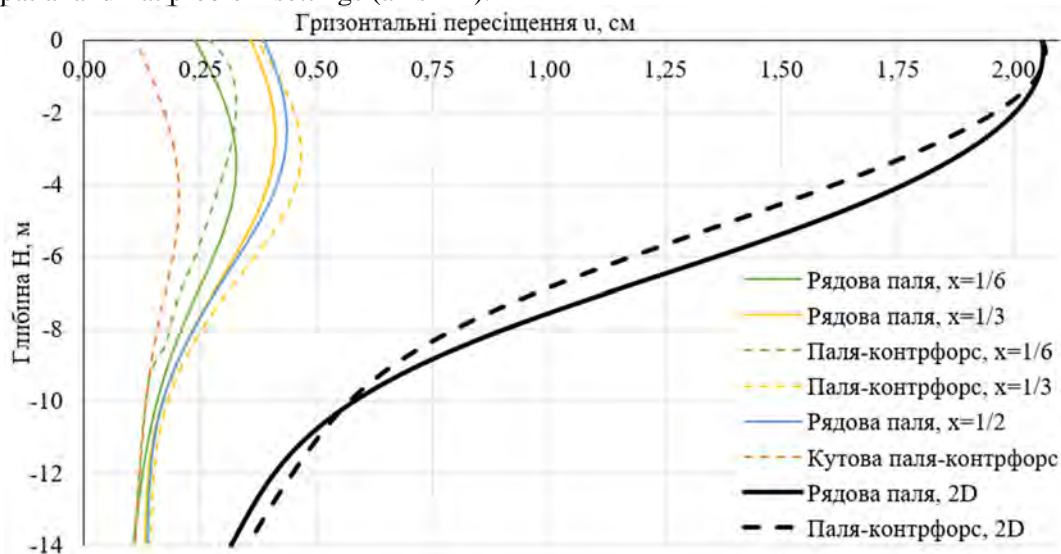


Рис.20. Графік зміни величини горизонтального переміщення палі по довжині, порівняння значень просторової та плоскої задач (вісь «1»).

Fig.20. Graph of the dependence of the horizontal displacements on the depth, comparison of the values in piles of spatial and flat problem settings (axis "1").

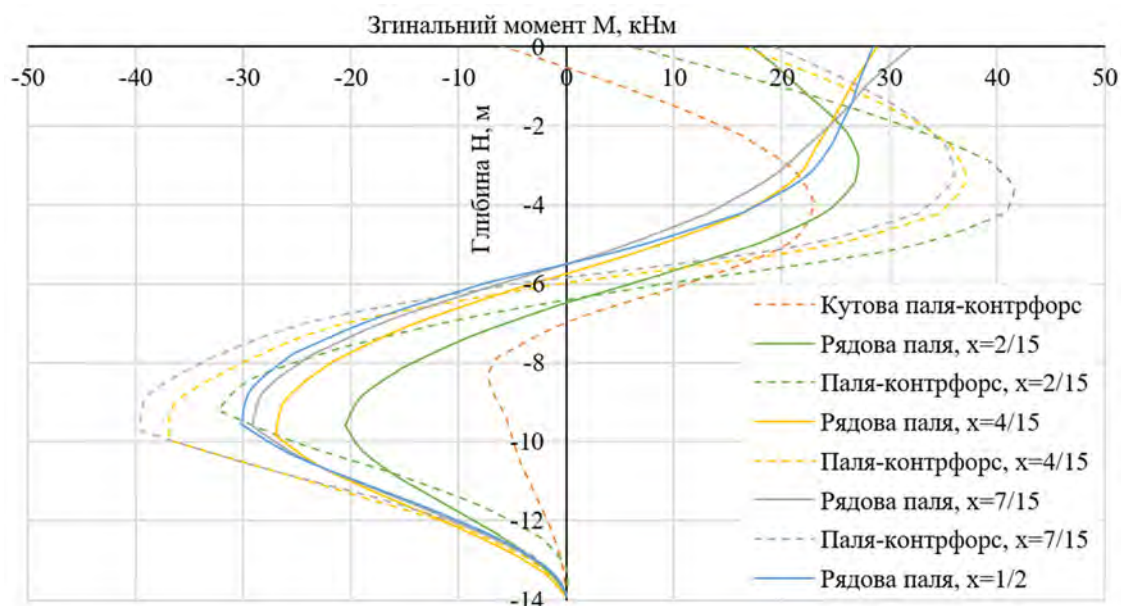


Рис.21.Графік зміни значення згинального моменту в палях по довжині, вісь «А».

Fig.21. Graph of the dependence of the bending moments on the depth, axis "A" piles comparison.

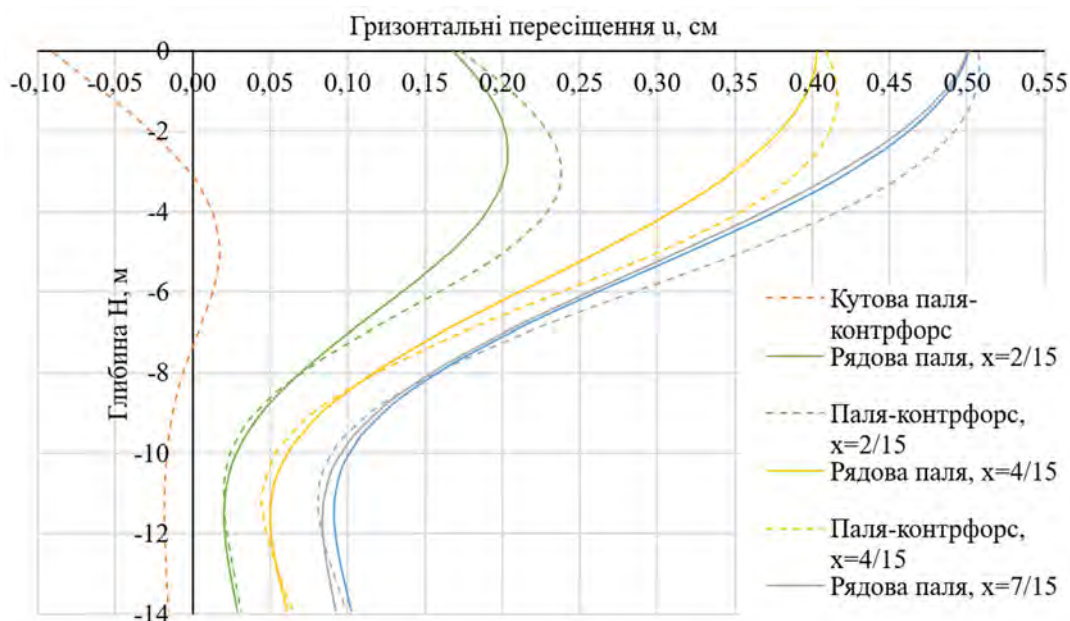


Рис.22.Графік зміни величини горизонтального переміщення палях по довжині, вісь «А».

Fig.22. Graph of the dependence of the horizontal displacements on the depth, axis "A" piles comparison.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Отримано, що розміщення паль підпірної стіни у два ряди дозволяє знизити зусилля у палях за рахунок рамного ефекту, що призводить до зменшення витрат сталі при армуванні. Максимальні горизонтальні переміщення при дворядному розміщенні паль у порівнянні з розміщенням в 1 ряд

зменшуються на 51...55%, а максимальні згинальні моменти менші на 47...50% в залежності від способу розташування паль.

Виявлено, що при моделюванні поетапної відкопки ґрунту при розрахунках підпірної стіни за допомогою ПК «Plaxis 2D», задана кількість етапів відкопки котловану майже не впливає на результати розрахунку. Отримано, що мінімальна збіжність для

згинальних моментів – 97%, для поперечних сил – 99%, для поздовжніх сил – 94%, для горизонтальних переміщень – 99%. Величина підняття дна котловану варіюється в межах 5%. Отримані значення є в межах похибки ітераційного розрахунку.

Виявлено, що просторова постановка задачі моделювання підпірної стінки котловану дає можливість значно точніше визначити внутрішні зусилля в палях та їх переміщення у порівнянні із пласкою постановкою, оскільки враховується розташування кожної палі, їх умови роботи та взаємна робота паль у кутовій частині, а також є можливість більш точного моделювання нашарування ґрунтів основи. Врахування всіх цих факторів у розрахунку дозволяє значно зменшити витрати сталі при армуванні. Значення моментів у просторовій задачі у порівнянні із пласкою в рядових палях зменшились приблизно на 76%, в палях-контрфорсах – на 84%, горизонтальні переміщення рядових паль зменшились на 78%, паль-контрфорсів – на 77%. Підняття дна котловану зменшилось на 63% (на 1,73 см). Додатковою перевагою просторової задачі є можливість аналізу внутрішніх зусиль та переміщень кожної окремої палі, на відміну від пласкої задачі, де результати можуть бути отримані виключно для цілого ряду паль.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко І.П. Вплив фундаментів будинку на напружено-деформований стан утримуючих конструкцій / І.П. Бойко, В.В. Ручківський // *Основи та фундаменти. Науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА – 2019 – Вип.38.– С. 9-15.
2. Купрій В.П. Моделювання сумісної роботи конструкції кріплення котловану та ґрунту з застосуванням методу скінчених елементів (МСЕ) / В.П. Купрій, Є.Ю. Кулаженко, А.С.Гудкова // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. – К.: НТУ, 2015. – №7 – 8-20 с.
3. Ручківський В.В. Напружено-деформований стан підпірних стін в залежності від їх конструкції / В.В. Ручківський // *Основи та фундаменти. Науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА – 2020 – Вип.40.– С. 76-82.
4. Dr. Ir. Gouw Tjie Liong. Common mistakes on the application of Plaxis 2D in analyzing excavation problems // *International Journal of Applied Engineering Research*, Volume 9, Number 21 (2014) – Reaserch India Publications, 2014 – С. 8291-8311.
5. J. Pruška. Comparison of geotechnic softwares - Geo FEM, Plaxis, Z-Soil. // *XIIIth European Conference on soil mechanics and geotechnical engineering. Geotechnical problems with man-made and influenced grounds*. 25-28th August 2003. Prague. Czech Republic – Prague, 2003 – с. 819-824.

REFERENCES

1. Boyko I.P., Ruchkivskiy V.V. (2019). Vplyv fundamentiv budynku na napruzhenodeformovanyi stan utrymuiuchykh konstruksii [The influence of house foundations on the stressed-deformed state of retaining structures]. *Osnovu ta fundamenty: naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 38, 9-15 (in Ukrainian).
2. Kuprii V.P., Kulazhenko Ye.Iu., Hudkova A.S. (2015). Modeliuvannia sumisnoi roboty konstruksii kriplennia kotlovanu ta ґruntu z zastosuvanniam metodu skinchenykh elementiv (MSE) [Modeling the joint operation of the pit and soil fastening structure using the finite element method (FEM)]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*. Kyiv: NTU, 7, 8-20 (in Ukrainian).
3. Ruchkivskiy V.V. (2020). Napruzhenodeformovanyi stan pidpirnykh stin v zalezhnosti vid yikh konstruksii [Stress-deformed state of retaining walls depending on their design]. *Osnovu ta fundamenty: naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 40, 76-82 (in Ukrainian).
4. Dr. Ir. Gouw Tjie Liong. (2014). Common mistakes on the application of Plaxis 2D in analyzing excavation problems. *International Journal of Applied Engineering Research*, Volume 9, Number 21 (2014). Reaserch India Publications, C. 8291-8311.
5. J. Pruška. (2003). Comparison of geotechnic softwares - Geo FEM, Plaxis, Z-Soil. *XIIIth European Conference on soil mechanics and geotechnical engineering. Geotechnical problems with man-made and influenced grounds*. 25-28th August 2003. Prague. Czech Republic, Prague, 819-824.

**Research on effective pit fencing solutions
for the construction of a two-level parking lot
of a multi-story building**

*Liudmyla Bondareva,
Kostiantyn Mekheda*

Summary. A study on the effective placement of the piles in the retaining wall of the pit was carried out. A comparison of internal forces and horizontal displacements of the retaining wall piles was drawn among three variants of their placements in the wall. The influence on the calculation results of the detailing of the soil excavation process during modeling using the Plaxis 2D was examined. Based on the research on the stress-strain state (STS) of the retaining wall piles using the spatial setting of the problem, a comparison to the problem with the flat setting was drawn. Additionally, an analysis of the bending moments and horizontal displacements in the retaining wall piles with a spatial setting of the problem was made.

Based on the obtained results, information on the effectiveness of different variants of the pile placement in the retaining wall of the pit, as well as the convergence of the calculation results with different detailing of the excavation process modeling is presented. Also, a comparison of the values of internal forces, horizontal displacements, and the elevation of the pit bottom between flat and spatial problem settings was made. The distribution of forces between piles of the retaining wall using a spatial problem setting is presented.

The finite element model consists of the soil base and retaining wall structure. Modeling of the base was executed using the Hardening soil model, in which the following soil characteristics are used during the calculation: γ – the specific weight of the soil in its natural state; γ_{sat} – the specific weight of the soil in the water-saturated state; c – cohesion; φ – the effective stress friction angle; ψ – dilatancy angle; E_{50} – stiffness for primary loading; E_{oed} – oedometer loading stiffness; E_{ur} – stiffness for un/reloading. The calculation was made using the Plaxis program complex.

Today, the effective and the most rational way of retaining wall design during the construction of buildings and structures with underground parts is significant. A successful choice of the construction of the excavation fencing not only ensures the reliability of the construction but also allows using building materials in the most efficient way. In addition, the choice of the method of the problem definition and its detailing are important factors when approaching the modeling process of similar

problems, as they affect the accuracy of the obtained results, the degree of labor-intensiveness, and the time spent on the calculation.

Keywords. retaining wall, pit, numerical methods, location of piles, excavation of the pit, flat setting, spatial setting, Plaxis 2D, Plaxis 3D.