

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи Б-23мз
за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

В. М. Грисюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц.
(науковий ступінь, вчене звання)

І. В. Маєвська
(підпис) (ініціали та прізвище)

«10» 06 2025 р.
(підпис)

Опонент к.т.н., доц.
(науковий ступінь, вчене звання)

Снівак О.Ю.
(підпис) (ініціали та прізвище)

10 « » 06 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри БМГА
к.т.н., доц. В. В. Швець
(підпис) (ініціали та прізвище)
« 10 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії

Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури

Ступінь вищої освіти магістр

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво

(шифр і назва)

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

Освітня програма Промислове та цивільне будівництво

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМГА

Швець В.В.

" 14 " 02 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТА

Грисюку Віталію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання роботи стовпчастих

пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів

керівник роботи Маєвська І.В., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 20 " 03 2025 року № 96

2. Строк подання студентом роботи 24.05.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту проєктування, результати інженерно-геологічних вишукувань. Передбачається проєктування центру надання послуг населенню каркасної конструкції. Основні вертикальні несучі конструкції будівлі: колони перерізом 400×400 мм та несучі стіни сходової клітин з цегли. Фундаменти стовпчаті та стрічкові мілкового закладання. Перекриттями будівлі служать монолітні залізобетонні плити товщиною 200 мм. Зовнішні самонесучі стіни будівлі виконані з газобетонних блоків товщиною 375 мм. Покрівля - металочерепиця. Передбачене автономне опалення.

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація, публікації)

1. Науково-дослідна частина (Огляд літературних джерел. Аналіз програмних комплексів Plaxis 3D, SOFiSTiK, Ліра, які найбільш часто використовуються для моделювання пальових фундаментів. Різниця в побудові розрахункової схеми роботи паль та фундаментних плит у ґрунті у різних програмних комплексах. Планування чисельного експерименту з визначення впливу геометричних чинників та характеристик ґрунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту для різних програмних комплексів. Аналіз результатів чисельного моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик ґрунту основи, виконаного у різних програмних комплексах. Виявлення різниці у результатах розрахунків за допомогою різних програмних комплексів щодо перерозподілу зусиль між ростверком та палями у складі стовпчастого пальового фундаменту.

2. Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту (розрахунок планувальні відміток генплану, специфікації на віконні та дверні заповнення, експлікація підлогу теплотехнічний розрахунок).

3. Основи та фундаменти (розробка конструктивного рішення фундаментів традиційним рішенням та у варіанті з використанням результатів досліджень)

4. Економічна частина (визначення економічного ефекту від впровадження результатів наукової розробки на прикладі технічного об'єкту)

Висновки

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

1. Науково-дослідні розділи – 5-8 арк. (плакати, що ілюструють результати наукової дослідної роботи)

2. Архітектурно-будівельні рішення – 2-3 арк. (фасад, генеральний план, плани, план покрівлі, розріз, вузли)

3. Основи та фундаменти – 1-2 арк. (план фундаментів, робочі креслення варіантів фундаментів, геологічний розріз з розміщенням варіантів фундаментів специфікації)

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|------------------|---|----------------|-------------------|
| | | завдання видав | виконано прийнято |
| 1-3, 4 | Маєвська І. В. - доцент каф. БМГА, к.т.н. | <i>МВ</i> | <i>МВ</i> |
| 5 (Економіка) | Лялюк О. Г. - доцент каф. БМГА, к.т.н. | <i>ОГ</i> | <i>ОГ</i> |

7. Дата видачі завдання 14.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Приміт |
|-------|--|-------------------------------|--------|
| 1 | Складання вступу до МКР | | |
| 2 | Науково-дослідна частина (три розділи) | 02.01-15.01.25 | |
| 3 | Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту | 02.01-14.02.25 | |
| 4 | Основи та фундаменти | 17.02-15.03.25 | |
| 5 | Подання роботи на перевірку на плагіат | 17.03-12.04.25 | |
| 7 | Економічна частина | 14.04-19.04.25 | |
| 8 | Оформлення МКР | 14.04-30.04.25 | |
| 9 | Подання МКР на кафедру для перевірки | 01.05-12.05.25 | |
| 10 | Попередній захист | 12.05-16.05.25 | |
| 11 | Опонування | 19.05-22.05.25 | |
| | | 26.05-29.05.25 | |

Здобувач

(підпис)

Грисюк В. М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Маєвська І.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 624.15

Грисюк В. М. Моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма – «Промислове та цивільне будівництво». Вінниця: ВНТУ, 2025. 129 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 45 назв; рис.: 54; табл. 24, 23 аркуші граф. частини.

У даній магістерській кваліфікаційній роботі виконане співставлення результатів фізичного та математичного моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів та аналіз їх відмінностей.

Виконана систематизація і збір результатів досліджень за допомогою маломасштабних моделей у лотку, систематизація і збір результатів досліджень за допомогою програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK для порівняння з результатами, одержаними у програмному комплексі ЛПА-САПР 2024 автором роботи.

Характер розподілу напружень і переміщень по підшві ростверка при використанні різних програмних комплексів виявився аналогічним. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану якісно відповідають відомим результатам попередніх дослідників.

Якісні результати оцінки таких параметрів, як частка ростверку у навантаженні на фундамент, ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверків однакові при розрахунках в різних програмних комплексах. Але кількісні діапазони зміни означених параметрів відрізняються. При наявності результатів розрахунків у кількох програмних комплексах слід дотримуватись обережних оцінок на мінімальній межі.

В технічній частині роботи розроблена конструкторська документація для каркасно-монолітного центру надання послуг населенню. Розглянуті питання архітектурно-планувальних рішень, виконано проєктування фундаментів у типовому варіанті та за результатами наукових досліджень.

В розділі економіки визначено, що використання результатів досліджень дозволяє оптимізувати проєктне рішення пальового фундаменту з одержанням економічного ефекту.

Ключові слова: стовпчастий паловий фундамент, програмні комплекси для моделювання фундаментів, ростверк, забивна паля, перерозподіл зусиль, несуча здатність.

ANNOTATION

UDC 624.15

Hrysyuk V. M. Modeling the operation of columnar pile foundations using various software packages. Master's qualification work in specialty 192 - "Construction and civil engineering, educational program - "Industrial and civil construction". Vinnytsia: VNTU, 2025. 129 p.

Ukraine language Bibliography: 45 titles; Fig.: 54; table 24, 23 sheets of graph. parts.

In this master's qualification work, a comparison of the results of physical and mathematical modeling of the operation of columnar pile foundations using various software packages and an analysis of their differences were performed.

The results of research using small-scale models in a tray were systematized and collected, the results of research using the Plaxis and SOFiSTiK software packages were systematized and collected for comparison with the results obtained in the LIRA-SAPR 2024 software package by the author of the work.

The nature of the distribution of stresses and displacements along the base of the grillage when using different software packages turned out to be similar. The forces in the piles are distributed unevenly: the greatest forces are perceived by the corner piles, the smallest by the central ones. The obtained results for determining the stress-strain state qualitatively correspond to the known results of previous researchers.

The qualitative results of the assessment of such parameters as the share of the grillage in the load on the foundation, the degree of realization of the bearing capacity of piles and grillages are the same when calculating in different software packages. But the quantitative ranges of changes in the specified parameters differ. If there are calculation results in several software complexes, one should adhere to cautious estimates at the minimum limit.

In the technical part of the work, design documentation for a frame-monolithic center for providing services to the population has been developed. Issues of architectural and planning solutions have been considered, foundations have been designed in a typical version and according to the results of scientific research.

In the economics section, it is determined that the use of research results allows optimizing the design solution of a pile foundation with obtaining an economic effect.

Key words: columnar pile foundation, software complexes for modeling foundations, grillage, driven pile, redistribution of forces, bearing capacity.

Зміст

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 4 |
| 1 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 8 |
| 1.1 Засоби, що використовуються для дослідження роботи пальових фундаментів шляхом математичного моделювання..... | 8 |
| 1.2 Принципи моделювання у програмному комплексі Plaxis | 10 |
| 1.3 Принципи моделювання у програмному комплексі Ліра–САПР | 20 |
| 1.4 Моделювання у програмному комплексі SOFiSTiK | 25 |
| 1.5 Порівняння програмних комплексів для моделювання пальових фундаментів..... | 26 |
| 1.6 Постановка задач досліджень і методи їх реалізації | 30 |
| 2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІРА-САПР 2024..... | 33 |
| 2.1 Вибір параметрів для варіювання та планування дослідження | 33 |
| 2.2 Результати моделювання пальових фундаментів | 41 |
| Висновки за розділом 2 | 51 |
| 3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРУП ПАЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ РІЗНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ | 54 |
| 3.1 Аналіз розвитку осідань при зростанні навантаження за результатами розрахунків за допомогою різних програмних комплексів | 54 |
| 3.2 Аналіз розподілу зусиль між елементами пальового фундаменту за результатами розрахунків за допомогою різних програмних комплексів | 63 |
| Висновки за розділом 3 | 71 |
| 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА | 73 |
| 4.1 Архітектурно-будівельні рішення | 73 |
| 4.1.1 Рішення генерального плану | 73 |
| 4.1.2 Архітектурно-планувальні рішення | 74 |
| 4.1.3 Архітектурно-конструктивні рішення | 75 |
| 4.1.4 Зовнішнє та внутрішнє оздоблення..... | 76 |
| 4.1.5 Визначення термічного опору теплопередачі зовнішньої стіни | 78 |
| 4.1.6 Інженерне обладнання будинку..... | 79 |
| 4.1.7 Санітарні умови та вимоги | 80 |
| 4.1.8 Пожежна безпека | 81 |
| 4.2 Основи та фундаменти | 82 |
| 4.2.1 Підготовка даних для проєктування | 82 |
| 4.2.2 Аналіз інженерно-геологічних умов будівельного майданчика | 82 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2.3 | Визначення навантажень на фундамент | 86 |
| 4.2.4 | Проектування фундаменту у варіанті з забивних призматичних паль | 88 |
| 4.2.5 | Розрахунок міцності тіла ростверку пальового фундаменту, розрахованого за традиційною методикою | 98 |
| | Висновки за розділом 4 | 104 |
| 5 | ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА..... | 105 |
| 5.1 | Розрахунок варіанту фундаменту з врахуванням результатів дослідження..... | 105 |
| 5.2 | Техніко-економічне порівняння варіантів фундаментів | 113 |
| | Висновки за розділом 5 | 130 |
| | ВИСНОВКИ..... | 131 |
| | Список використаних джерел | 133 |
| | Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень..... | 138 |
| | Додаток Б Відомість графічної частини..... | 139 |

ВСТУП

Актуальність.

Дослідженнями багатьох авторів встановлений той факт, що низький ростверк включається у роботу групи, але ступінь реалізації роботи паль може бути знижений за рахунок переміщення ґрунту під ростверком по поверхні верхньої частини палі, що знижує або зовсім ліквідує сили тертя в цій зоні. Це негативно відбивається на значенні опору ґрунту зануренню палі.

Проводились як фізичні дослідження на маломасштабних моделях, так і математичне моделювання за допомогою різних програмних комплексів, але спільні висновки за результатами цих досліджень можна спостерігати лише в якісній картині розподілу зусиль між палями і ростверком. Достовірно відомо, що:

- несуча здатність пального фундаменту як правило перевищує суму несучих здатностей одиночних паль;

- палі краще включаються у роботу при більшому кроці і меншій довжині;

- ростверк також краще включається у роботу при більшому кроці паль;

- вид ґрунту впливає на перерозподіл зусиль між елементами групи несуттєво;

- при збільшенні кількості паль зменшується частка роботи ростверка у загальній несучій здатності групи;

- зменшення кількості паль у групі при збереженні розмірів ростверка призводить до більш ефективного використання роботи паль.

Але кількісні показники, такі, як частка ростверка у загальній несучій здатності групи паль, ступінь реалізації несучої здатності паль, ступінь реалізації несучої здатності ростверка, характер перерозподілу зусиль між окремими палями в групі відрізняються за результатами досліджень при фізичному моделюванні і математичному моделюванні різними методами, причому іноді доволі суттєво.

Отже виникла потреба порівняти результати досліджень, що були проведені різними методами, між собою і з'ясувати межі, в яких цими результатами можна користуватись для практичних розрахунків.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у складі науково-дослідної теми кафедри БМГА №6ОК1 «Інноваційні технології визначення напружено-деформованого стану системи будівля-фундамент-основа та окремих її елементів». Матеріали дослідження надають подальшого розвитку удосконаленню розрахунків пальового фундаменту з несучим ростверком.

Мета і задачі дослідження. Співставлення результатів фізичного та математичного моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів та аналіз їх відмінностей.

У даній роботі поставлені **задачі:**

- проведення детальних досліджень за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 R2;

- систематизація і збір результатів досліджень за допомогою маломасштабних моделей у лотку;

- систематизація і збір результатів досліджень за допомогою програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK для порівняння з результатами, одержаними у програмному комплексі ЛІРА-САПР 2024;

- порівняльний аналіз результатів, одержаних різними методами.

Об'єкт дослідження – процедури розрахунків пальових фундаментів за різними програмними комплексами.

Предмет дослідження – результати досліджень, що були проведені різними методами, порівняння їх між собою і з'ясування меж, в яких цими результатами можна користуватись для практичних розрахунків.

Методи дослідження. Математичне моделювання просторової роботи пальового фундаменту в ґрунтовому середовищі з використанням програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024. Систематизація одержаних раніше результатів з використанням програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK. порівняльний аналіз результатів, одержаних різними методами.

Новизна одержаних результатів.

Всі програмні комплекси дозволили зробити висновок, що при сталих розмірах ростверка основними чинниками, що впливають на ступінь реалізації несучої здатності пального фундаменту, є кількість паль, їх крок і вид ґрунту. Збільшення кількості паль, яке призводить до збільшення компактності їх розміщення, спричинює неповне використання роботи ростверка і паль. При сталій кількості паль збільшення площі ростверка збільшує реалізацію його несучої здатності.

Якісні результати оцінки таких параметрів, як частка ростверку у навантаженні на фундамент, ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверків однакові при розрахунках в різних програмних комплексах. Але кількісні діапазони зміни означених параметрів відрізняються. При наявності результатів розрахунків у кількох програмних комплексах слід дотримуватись обережних оцінок на мінімальній межі.

Жоден з програмних комплексів не дозволяє достовірно визначити кількісні параметри розподілу зусиль між елементами пального фундаменту. Для підтвердження кількісних параметрів необхідний фізичний експеримент.

Практична цінність одержаних результатів.

Одержані результати підтвердили закономірності розподілу зусиль між елементами палових фундаментів. В результаті при практичних розрахунках можна враховувати роботу ґрунту під низьким ростверком, застосовувати палові фундаменти з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку, використовувати більшу кількість коротких паль замість меншої кількості довгих. Все це дозволяє одержувати більш економічні рішення, але при врахуванні частки окремих елементів в роботі фундаменту треба дотримуватись обережності оцінок.

Достовірність отриманих у магістерській роботі результатів забезпечується використанням апробованих програмних комплексів ЛІРА-САПР 2024, Plaxis та SOFiSTiK, порівнянням одержаних результатів з результатами, одержаними аналітичними методами, передбаченими нормами, а також результатами фізичних досліджень.

Особистий внесок здобувача полягає у систематизації раніше проведених досліджень, використанні програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 для порівняння з результатами, одержаними за допомогою інших програмних комплексів, порівняльному аналізі впливу різних факторів на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі пальового фундаменту.

Магістрантом самостійно одержані представлені в магістерській кваліфікаційній роботі результати.

Апробація результатів роботи. Результати роботи апробовано на «LIV науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2025)», Вінниця, 24.03.2025 – 27.03.2025. ВНТУ, 2025.

Публікації.

За результатами LIV Науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету ВНТУ. Вінниця, 2025, опубліковані тези: «ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ У РІЗНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСАХ». Збірник матеріалів LIII Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету ВНТУ. Вінниця, 2025. 10 с. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23967/20235> .

1 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Засоби, що використовуються для дослідження роботи пальових фундаментів шляхом математичного моделювання

Abdolrezayi A., Khayat N. (2021) [1] наводять класифікацію чисельних методів, що напрацьовані і використовуються для аналізу пальових фундаментів. На рисунку 1.1 наведений перелік різних методів аналізу пального фундаменту.



Рисунок 1.1 - Опис різних методів аналізу пальових фундаментів [1]

Пропонується така градація методів.

- Спрощені методи.
- Приблизні комп'ютерні методи.

- Більш строгі комп'ютерні методи.

Результати спрощених і приблизних комп'ютерних методів завжди мають деякі похибки. Вони рекомендуються для початкової оцінки при проектуванні, а потім результати мають уточнюватись за допомогою програмного забезпечення 3D-FEM для більш надійних результатів. Трьохмірні методи скінчених елементів дозволяють враховувати складну взаємодію між елементами в системах основа-паля-ростверк та основа-фундамент-споруда.

В статі [1] виділені такі більш строгі комп'ютерні методи:

- Спрощений аналіз методом скінчених елементів. Комерційна програма FLAC (Hewitt P, Gue [2]), де розглядається плоска або вісесиметрична задача.

- 3D-скінчено елементний і 3D-аналіз скінчених різниць в програмних продуктах PLAXIS 3D, FLAC 3D, MIDAS GTS, ABAQUS, ETABS і CSI SAFE, ANSYS, SOFISTIK з модулем WinTUBE.

- Методи граничних елементів (Butterfield and Banerji, Sinha J., Poulos H G).

- Комбіновані методи: методи, які поєднують методи граничних елементів для паль і методи скінчених елементів для ростверків (Hain and Lee (1978), Ta and Small (1996), Franke et al. (1994)).

При 3D-моделювання головним недоліком є потреба великого об'єму часу, особливо для складних систем.

На теперішній час запропоновані програмні комплекси вітчизняного походження, такі як ЛІРА, SCAD, VSEM, АСНД VESNA, PRIZ-Pile. Проектувальники України, які займаються геотехнічними розрахунками, віддають перевагу таким програмним комплексам: Plaxis; Midas GTS NX; Abaqus; Ліра-САПР, SOFiSTiK.

Дитюк О. Є. У своїй дисертації (2023) [3] відзначає, що вибір ефективних рішень палових фундаментів залежить від численної кількості факторів: ґрунтових умов, параметрів паль і кроку між ними, жорсткості плити та споруди, моделі ґрунтової основи і характеру взаємодії між палями, плитою і ґрунтом та ін. Тому моделювання та розрахунок системи «основа – палі – ростверк – споруда»

можливий тільки за умови використання чисельних методів, що реалізовані в потужних комп'ютерних комплексах типу SOFiSTiK, ABAQUS, та ін.

Одночасно відзначається, що при моделюванні пальових фундаментів обов'язково вводяться припущення, які зазвичай не мають обґрунтованої експериментальної бази щодо реального опору ґрунтової основи під плитою ростверку.

Дитюк О. Є. також звертає увагу на важливість коректного моделювання ґрунтового середовища. Сьогодні при чисельних розрахунках системи «основа-фундамент-споруда» у потужних розрахункових комплексах SOFiSTiK, ABAQUS, Plaxis, SCAD, Ліра тощо, як правило, у просторовій постановці задачі застосовується модель ґрунтової основи у вигляді суцільного шару скінченної розподільчої здатності (рис. 1.2), яка, крім обмеження вертикальних деформацій на деякій глибині H , також має обмеження горизонтальних деформацій на деякій відстані від навантаження у плані ($Lx \times Ly$). Обмеження розмірів моделі пояснюється реальним обмеженням просторової області деформування.

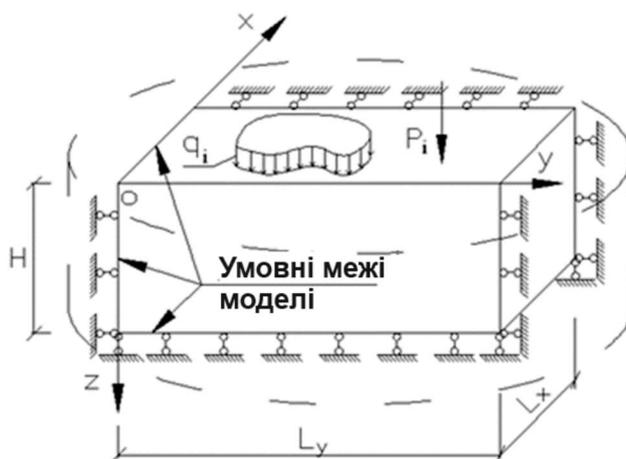


Рисунок 1.2 - Модель ґрунтової основи [3]

1.2 Принципи моделювання у програмному комплексі Plaxis

У магістерській дисертації Андре Рюльтеніуса (2011) [4] наведена характеристика програмного забезпечення Plaxis. Plaxis – це голландська компанія, що розробляє програмне забезпечення з однойменною назвою, яке використовує

метод скінченних елементів (МСЕ) для моделювання геотехнічних проблем. Портфоліо програмного забезпечення включає дво- та тривимірне моделювання ґрунту та взаємодії ґрунту з конструкцією. Plaxis у своєму МСЕ-коді керує трьома основними теоріями: деформацією, потоком ґрунтових вод та консолідацією. Крім того, існує програма-розширення для динамічних розрахунків.

У Plaxis 2D реалізовано два різні елементи для моделювання ґрунту. Це трикутні елементи, які мають 6 вузлів відповідно 15 вузлів та 3 відповідні 12 точок напруження.

Пластинчасті елементи фактично складаються з балкових елементів. Балковий елемент має три ступені свободи на вузол і має три відповідні п'ять вузлів при використанні з 6 вузловими об'ємними елементами та 15 вузловими об'ємними елементами.

Елементи інтерфейсу використовуються для моделювання взаємодії між двома матеріалами. У розрахунках за методом скінченних елементів (МСЕ) у певному вузлі допускається лише одне зміщення. Отже, у вузлі, спільному для двох елементів з різними властивостями матеріалу, має бути одне (або однакове) зміщення. Там, де ґрунт стикається з конструктивними елементами, це нереально, очікується, що ґрунт буде зміщуватися та також розриватися відносно конструктивного елемента, наприклад, паля зміщується відносно навколишнього ґрунту через зовнішні навантаження. У Plaxis це регулюється введенням елемента інтерфейсу, який має два вузли для кожної точки напруження.

Plaxis 3DFoundation – це тривимірне програмне забезпечення для аналізу деформацій фундаментних конструкцій, що використовує метод скінченних елементів. Загальний робочий процес у 3DFoundation нагадує робочий процес у Plaxis 2D. У [4] відзначаються основні відмінності між Plaxis3DFoundation та Plaxis 2D.

У 3DFoundation геометрія визначається вертикальними «свердловинами» та горизонтальними «робочими площинами». Свердловини використовуються для визначення поперечного перерізу ґрунту, рівня поверхні землі та розподілу порового тиску. А робочі площини використовуються для визначення

геометричних точок, геометричних ліній, кластерів, навантажень, граничних умов та конструкцій.

Коли в моделі присутні кілька свердловин, властивості ґрунту інтерполюються між свердловинами, створюючи таким чином негоризонтальні шари ґрунту.

Геометрія об'ємних паль визначається вертикально шляхом визначення двох робочих площин, між якими слід накреслити палі. Потім палі визначаються горизонтально шляхом вибору поперечного перерізу. Доступно п'ять різних типів поперечного перерізу: масивна кругла паля, кругла трубчаста паля, масивна квадратна паля, квадратна трубчаста паля та паля визначеної користувачем форми.

Трубчасті палі (тобто порожні палі) складаються з стінових елементів, а масивні палі — з об'ємних елементів. Властивості матеріалу згодом призначаються палям. Усі типи паль мають елементи інтерфейсу (необов'язково), які розміщуються на периферії паль. Вони реалізуються для моделювання взаємодії між палями та навколишнім ґрунтом, таким як опір тертя. Елемент інтерфейсу визначається коефіцієнтом зниження R_{inter} , як у Plaxis 2D.

Мета дослідження дисертації [4] є дослідження ефективності та точності двовимірного (2D) і тривимірного (3D) моделювання пально-плитних фундаментів (piled rafts), де навантаження передається як через палі, так і через плиту ростверку. Автор робить такі висновки.

- 3D-моделювання є необхідним при складній геометрії, важливості точного розрахунку різниці осідань і моментів.
- 2D-моделі можуть використовуватись для попередніх розрахунків, якщо палі густо розташовані, форма плити близька до прямокутної з високим відношенням сторін.
- Обмеження 2D-моделей: складність відображення поперечної жорсткості, неможливість точно моделювати краєві ефекти та об'ємні зсуви.

Автор рекомендує застосовувати 3D-моделі в проектах із складними ґрунтовими умовами, асиметричним навантаженням, потребою в оцінці поведінки по довгій осі плити. 2D можна використовувати як економічний інструмент для типових симетричних задач.

У статті «6 причин використовувати PLAXIS для геотехнічного аналізу», опублікованої компанією Bentley Systems [5].

1. Поєднання методів аналізу

PLAXIS підтримує як метод скінченних елементів (FEM), так і метод граничної рівноваги (LEM), що дозволяє інженерам обирати найбільш відповідний підхід для конкретного завдання. Програмне забезпечення включає широкий набір верифікованих конститутивних моделей, таких як Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Soft Soil Creep, що забезпечує точне моделювання поведінки ґрунтів та порід.

2. Цифрові робочі процеси

PLAXIS надає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та логічну послідовність дій:

- Геометрія: Швидке та ефективне створення моделей завдяки зручному графічному інтерфейсу.
- Розрахунок: Доступ до перевірених методів аналізу для реалістичної оцінки напружень, сил та переміщень у ґрунтах і конструкціях.
- Результати: Потужні інструменти постобробки для візуалізації результатів у вигляді контурних, векторних та ізоповерхневих графіків.

3. Розширені модулі

Окрім базових версій PLAXIS 2D та 3D, доступні додаткові модулі для вирішення специфічних задач:

- PLAXIS 3D Ultimate: Моделювання динамічних впливів (наприклад, сейсмічних навантажень) та тривимірного потоку підземних вод.
- PLAXIS 2D Ultimate: Аналіз динаміки, теплових процесів та потоку підземних вод у двовимірному просторі.
- PLAXIS Monopile Designer: Інструмент для проектування офшорних фундаментів типу монопаль.

4. Професійна підтримка та знання

Спільнота Bentley надає доступ до технічної підтримки, бази знань та обговорень, що допомагає інженерам ефективно використовувати PLAXIS у своїй практиці. Інтеграція з іншими продуктами, такими як STAAD.Pro через технологію ISM, дозволяє здійснювати комплексний аналіз конструкцій.

5. Багатовимірний аналіз

PLAXIS дозволяє виконувати аналіз у 2D та 3D форматах, а також конвертувати моделі між ними. Це забезпечує більш точне представлення геометрії та умов задачі, зменшуючи потребу у повторному моделюванні.

6. Висока точність та надійність

Завдяки використанню перевірених методів аналізу та широкого спектру матеріальних моделей, PLAXIS забезпечує високу точність розрахунків, що підтверджено численними верифікаційними дослідженнями.

PLAXIS є потужним інструментом для геотехнічного аналізу, який поєднує в собі гнучкість, точність та підтримку користувачів, що робить його вибором багатьох інженерів у всьому світі.

У статті [«How to Model Piles in PLAXIS»](#) (2021) [6] пояснені два основні підходи до моделювання паль у PLAXIS 3D: використання об'ємних елементів та вбудованих балок (embedded beams).

Пальові фундаменти широко застосовуються для передачі навантажень від надбудови до глибших, більш стійких шарів ґрунту, особливо на піддатливих ґрунтах. Точне прогнозування осідань паль і оцінка їх несучої здатності є ключовими аспектами проектування глибоких фундаментів. Це завдання ускладнюється складною взаємодією «ґрунт–палля» та можливими процесами консолідації.

Через тривимірну геометрію паль і можливу наявність бічних навантажень, більшість аналізів пальових фундаментів слід проводити в PLAXIS 3D. У цьому підході палі моделюються як об'ємні елементи, що дозволяє точно враховувати взаємодію між ґрунтом і конструкцією. Палі представляються об'ємними елементами з поверхневими інтерфейсами, що моделюють тертя за Кулоном.

Результати аналізу можуть бути представлені у вигляді напружень, які інтегруються в структурні зусилля за допомогою інструменту Structural Forces in Volume Piles.

Цей підхід вимагає дрібної сітки через високий відношення довжини до діаметра палі, що призводить до великої кількості елементів і може бути непридатним для моделей з великою кількістю палей.

Для ефективного моделювання великої кількості палей у PLAXIS 3D використовується елемент «вбудована балка» (embedded beam) (рис. 1.3)

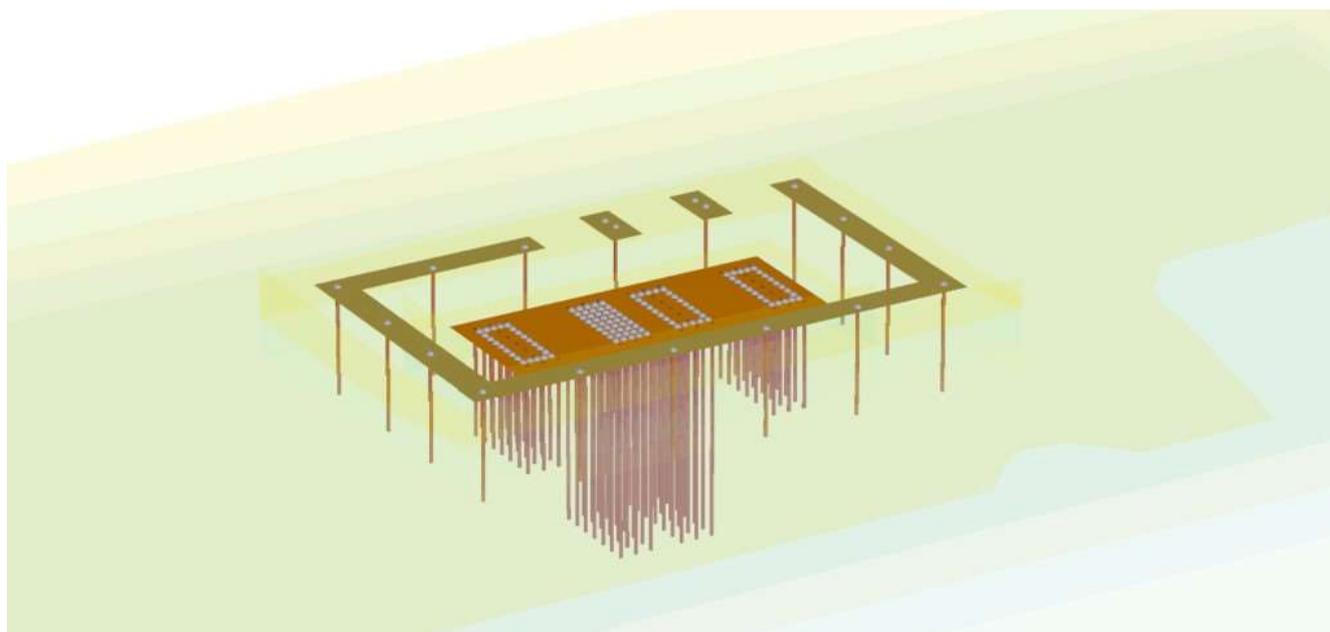


Рисунок 1.3 - Використання вбудованої 3D-балки для моделювання багатьох палей [6]

Паля моделюється як балковий елемент, що взаємодіє з ґрунтом через нелінійні пружні зв'язки. Цей підхід значно зменшує кількість елементів у моделі, що робить його придатним для проєктів з великою кількістю палей. Моделювання не враховує деталі геометрії палі, такі як розширення або конусність, і не дозволяє моделювати зсувні деформації між палями.

Порівняння PLAXIS 2D та 3D.

PLAXIS 2D може бути використаний для моделювання палевих фундаментів у випадках, коли навантаження та геометрія мають плоску симетрію. Однак для більш точного аналізу, особливо при наявності бічних навантажень або складної геометрії, рекомендується використовувати PLAXIS 3D.

Можна навести багато прикладів використання програмного комплексу PLAXIS 3D для геотехнічних задач з певною специфікою.

Gouw Tjie-Liong (2017) [7] досліджує вплив бічного зміщення паль, відстані між палями та кількості паль на бічну ефективність палювих груп, використовуючи 3D чисельне моделювання в програмному забезпеченні PLAXIS 3D. Аналіз базується на припущенні, що тertia основи пальної плити та пасивний тиск на неї ігноруються. В роботі представлено численні графіки, що показують залежність сили від зсуву для різних конфігурацій груп, ефективність груп при зміні кількості паль, відстаней, рівня зміщення.

Результати можуть застосовуватись для оптимізації проектування палювих фундаментів при бічному навантаженні, наприклад, від вітру або землетрусів.

Shahad Kh. Elias та Moataz A. Al-Obaydi (2024) [8] проводили дослідження за допомогою чисельного моделювання в програмі Plaxis 3D з урахуванням сейсмічних навантажень.

Область обраної моделі заснована на критеріях Райхани і Ель Наггара, щоб запобігти перекиривання напружень, якщо модель надто мала, або втрати часу, якщо модель надто велика. Як показано на рис. 1.4, розміри домена $110 \times 220 \times 30$ м. Грунт представлений 10-вузловим тетраедричним елементом, границя розділу — 12-вузловим елементом, ростверк — 6-вузловим пластинчастим елементом, а паля — 3-вузловим балочним елементом.

Було розглянуто чотири сценарії довжини паль у групі з 28 паль (4 × 7) з прямокутною плитою розміром 10×20 м та товщиною 1,5 м. Центральні палі (3 × 2) мали однакову довжину 12 м або 20 м, тоді як інші варіювалися до 10 м, 8 м та 6 м (рис. 1.5). На слабкий ґрунт було застосовано рівномірне статичне навантаження 300 кН/м^2 та сейсмічне навантаження El-Centro.

Дослідження показало, що довжина паль у системі фундаменту "паля-плита" значно впливає на її поведінку під час землетрусів. Симетричні палі забезпечують кращий розподіл навантаження та менше осідання, що робить їх більш ефективними в умовах сейсмічного навантаження. Асиметричні конфігурації можуть призводити до більших осідань та меншого коефіцієнта безпеки.

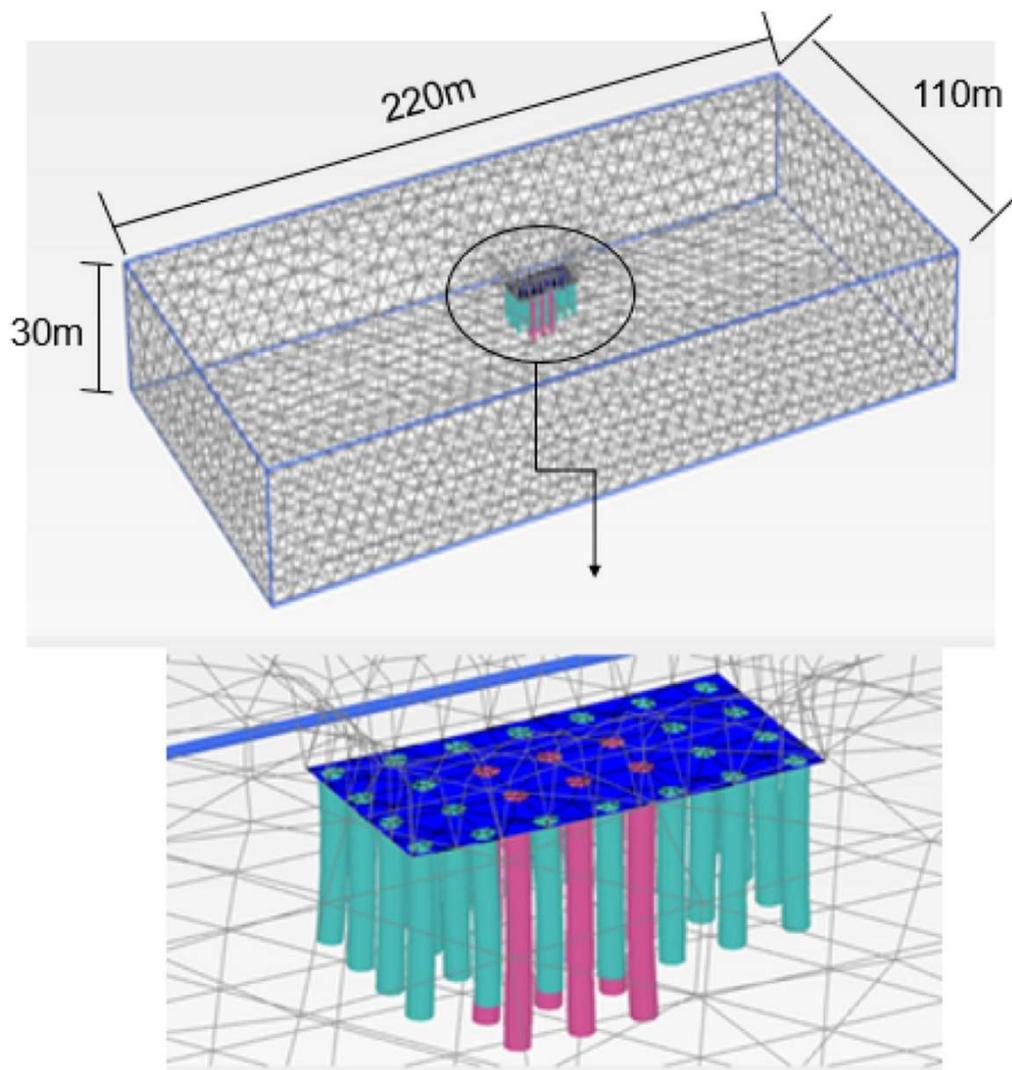


Рисунок 1.4 – Розрахункова модель [8]

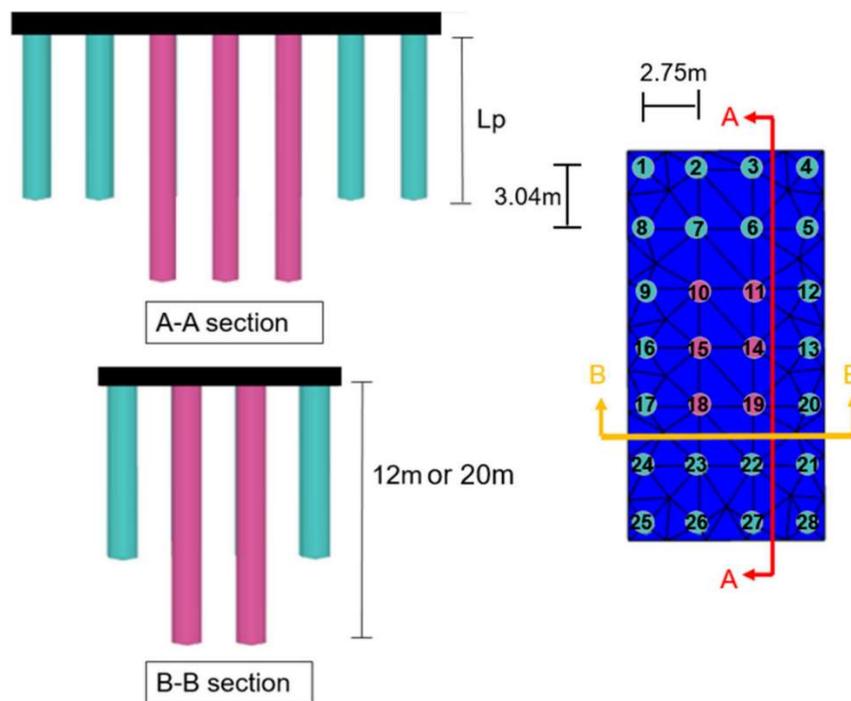


Рисунок 1.5 - Деталі довжини паль з видом знизу пального ростверку [8]

Garg et al. (2011) [9] використовували PLAXIS 3D для визначення найбільш оптимальних значень співвідношення довжини до діаметру палі (L_p/d_p).

Richard Witasse (2024) [10] використовував програмний комплекс PLAXIS для моделювання процесу покращення ґрунтів. PLAXIS дозволяє інженерам моделювати різні методи покращення ґрунтів і прогнозувати їх ефективність. Це важливо для розробки безпечних і економічно ефективних рішень. Можливе моделювання таких видів покращення властивостей ґрунтів:

1. Статичні та динамічні методи ущільнення:
2. Методи без зміщення ґрунту (*заморожування ґрунту, ін'єкції*):
3. Покращення шляхом додавання матеріальних елементів (армування):

Загоруйко Є. А. та Лозовий С. О. (2012) [11] виконали моделювання статичних випробувань палей та визначення впливу анкрних палей за допомогою PLAXIS 3D. Результатом даного моделювання є графіки залежності осідання палей від навантаження, ці результати порівнюються з результатами, отриманими при натурних статичних випробуваннях палей.

У якості вихідних даних для дослідження було взято результати чотирьох контрольних статичних випробувань палей. Буроін'єкційні палі №1 та №2 620 мм, довжиною — 23,5 м було влаштовано при будівництві багатоповерхових житлових будинків на території житлового масиву Осокорки Північні в Дарницькому районі м. Києва. Буроін'єкційну палю №3 620 мм, довжиною 9 м було влаштовано при будівництві паркінгу в ДП "Міжнародний аеропорт "Бориспіль". Забивну металеву палю 1000 мм, довжиною 25 м було влаштовано на будівництві нового об'єкта "Укриття" в м. Чорнобиль.

Результати порівняння натурних випробувань з моделюванням у PLAXIS 3D наведені на рис. 1.6 – 1.9.

На думку авторів отримані результати дозволяють рекомендувати Plaxis 3D Foundation при імітаційному моделюванні статичних випробувань палей у різних ґрунтових умовах будівельного майданчика з метою скорочення витрат на додаткові польові випробування, розрахунку несучої здатності палей, розрахунках

осідання паливних фундаментів та побудови графіків залежності осідання палі від навантаження.

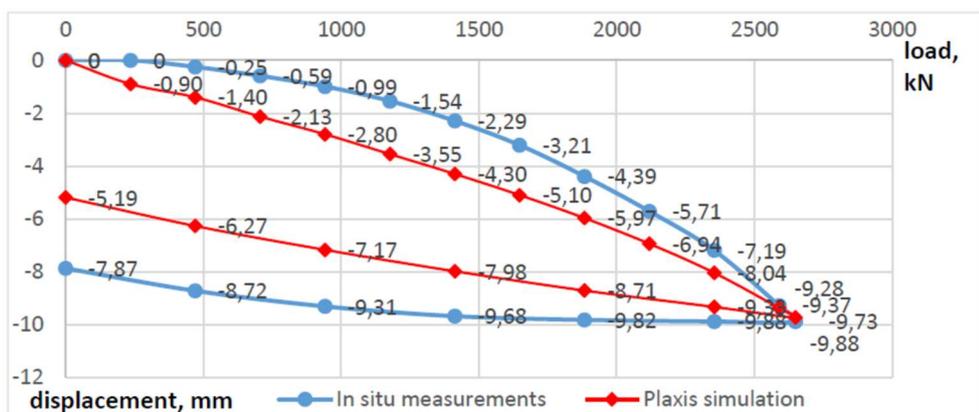


Рисунок 1.6 – Криві навантаження – осідання для палі №1 [11]

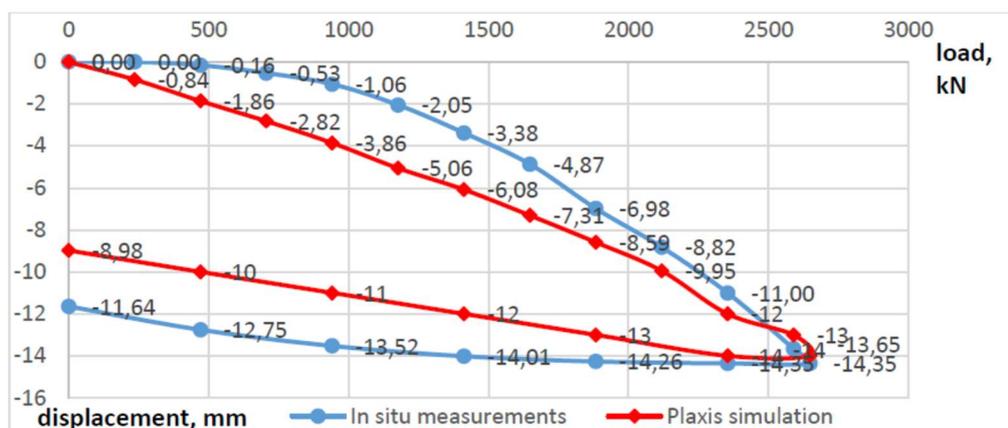


Рисунок 1.7 – Криві навантаження – осідання для палі №2 [11]

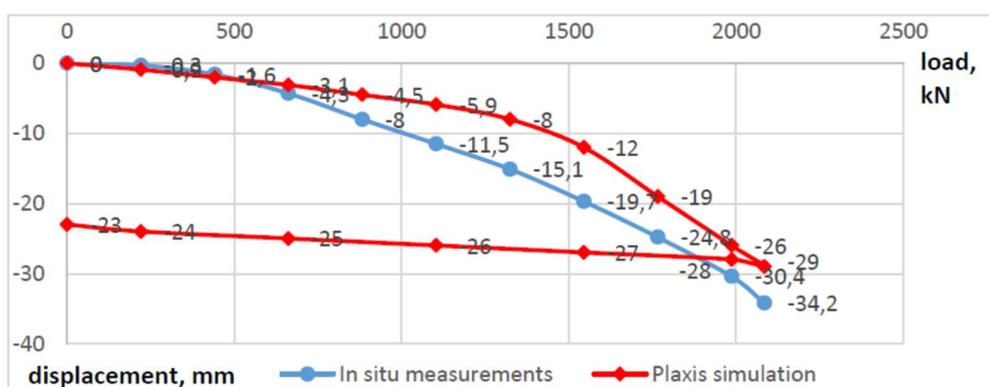


Рисунок 1.8 – Криві навантаження – осідання для палі №3 [11]

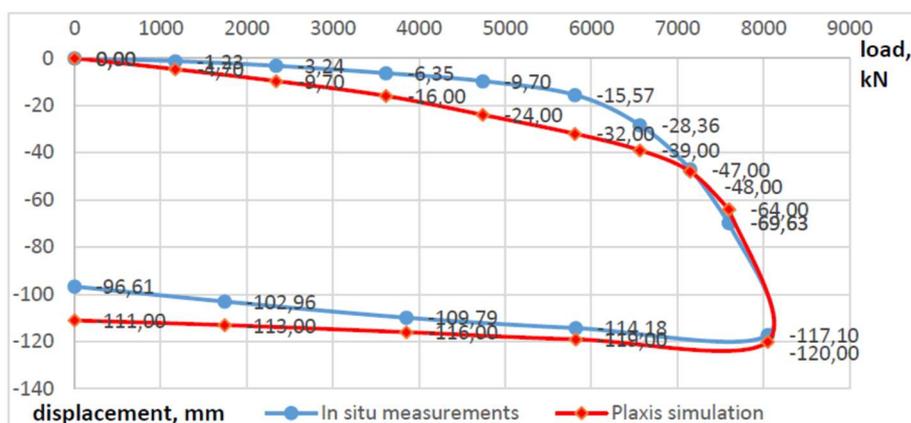


Рисунок 1.9 – Криві навантаження – осідання для палі №4 [11]

1.3 Принципи моделювання у програмному комплексі Ліра–САПР

Людмила Бондарева, Дмитро Нечипоренко (2022) [12] виконали дослідження розподілу зусиль в палях залежно від способу їх моделювання у **програмному комплексі Ліра–САПР** та від способу моделювання ґрунтового середовища. Визначення найбільш ефективної розрахункової схеми за такими параметрами, як швидкість розрахунку та якість отриманих результатів. Розглянуто декілька способів моделювання паль і ґрунтового середовища.

В середовищі Ліра створено три основні розрахункові схеми, в яких палі задаються різними методами.

1) Одновузловий скінченний елемент «паля» - SE57. Одновузловий скінченний елемент SE57 моделює роботу паль спільно з навколишнім ґрунтом, але без врахування взаємного впливу між палями.

2) Ланцюг стержневих елементів (SE57) (рис. 1.10). Цей метод вже дозволяє врахувати взаємний вплив паль і створити шарнірне чи жорсткеобпирання ростверку, а також визначити несучу здатність палі на основі польових випробувань або теоретично по моделі ґрунту.

3) Універсальний просторовий стержень SE10 використовується для розрахунку стержневих конструкцій. В якості його характеристик виступають осьова жорсткість (EA) та жорсткість на згин (EI).



Рисунок 1.10 - Ланцюг стержневих елементів [12]

Для ідентифікації параметрів було взято дві випробувальні палі. Згідно звіту статичного випробування маємо такі результати: при максимальному навантаженні 302,4 т осідання дослідної палі №1 складають 31,51 мм, для палі №2 – 29,57 мм.

В програмноу комплексі «ЛІРА-САПР2017» створено чотири розрахункові схеми, по дві для кожної із палей. В одних і тих самих ґрунтових умовах паля моделювалась різними способами – універсальний просторовий стержень SE10 або за допомогою просторового шестивузлового ізопараметричного SE34. В якості ґрунтового середовища використана ідеально пружно-пластична модель Кулона-Мора.

Аналізуючи графіки осідань (рис. 1.11, 1.12) можна помітити, що в моделях, де використані параметри ґрунту з інженерно-геологічного звіту, значно завищені переміщення в порівнянні з польовими випробуваннями. Тому прийнято рішення збільшити модуль деформації ґрунтів: для розрахункової схеми з випробування першої палі в чотири рази, другої палі – в шість разів.

Встановлено, що в розрахунковій схемі з використанням ланцюга стержневих елементів в якості палей, ґрунт – ідеально пружно-пластична модель Кулона-Мора, максимальні осідання складають 8,3 мм, це на 20% більше за значення осідань (6,7 мм) в схемі де палі змодельовані одновузловим SE57. Величина зусиль та характер їх перерозподілу для даних розрахункових моделей є подібними, в периферійних палях різниця в значеннях складає менше 1%, в центральних – 3%.

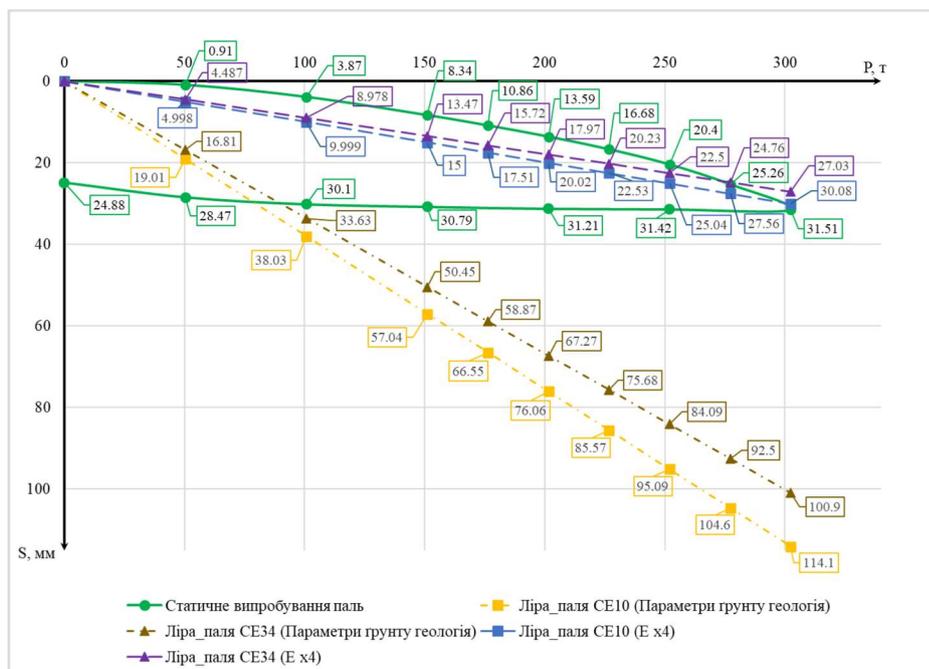


Рисунок 1.11 - Графік залежності осідання палі S від навантаження P (Паля №1) [12]

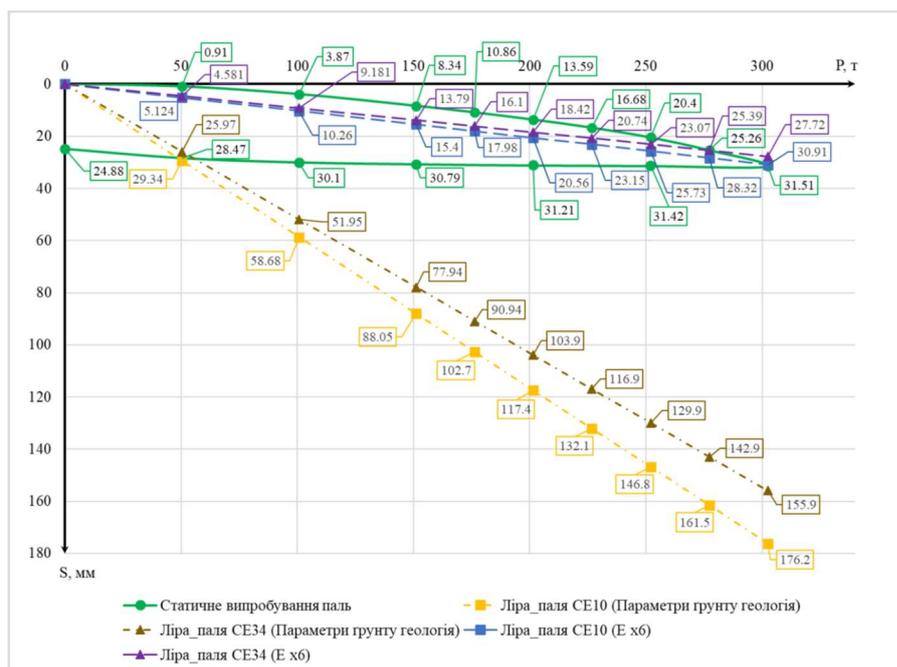


Рисунок 1.12 - Графік залежності осідання палі S від навантаження P (Паля №2) [12]

Аналогічні дані про способи моделювання палі у програмному комплексі Ліра наведені у дисертації Кашоїди О. О. (2023) [13]. В цій роботі наведені порівняльні результати моделювання палі за методами, переліченими у попередній роботі.

Дослідження показали, що вплив на жорсткість одновузлового скінченного елемента призводять до результатів, відмінних від польових випробувань паль (кількісна відмінність у поздовжньому зусиллі або осіданні палі). Тому одновузловий скінченний елемент постійної жорсткості можна використовувати тільки для перевірки достатньої кількості паль у фундаменті, нажалі інша інформація (отримані результати розрахунку) будуть некоректними.

Другим варіантом є числове моделювання взаємодії пальового фундаменту із ґрунтовим середовищем за допомогою групи одновузлових скінченних елементів, що володіють перемінною жорсткістю. Відмінність від попереднього методу полягає в тому, що влаштовується стержень із жорсткістними характеристиками палі, який розбитий по довжині, із певним кроком, одновузловими скінченними елементами перемінної жорсткості. Оскільки у даному методі використовуються стержневі елементи, то можливо виконати моделювання примикання стержня палі до пластини (оболонки) ростверку: шарнірно або жорстко. Нажалі на даному етапі розвитку цього скінченного елемента неможливо отримати коректні значення згинальних моментів, що виникають вздовж стовбура палі, який оточений ґрунтом. Результатом розрахунку є коректний напружено-деформований стан системи «основа – фундамент – надземні конструкції, єдине, що абсолютні значення осідання пальового фундаменту будуть дещо завищеними, але різниця осідань буде знаходитись в коректних значеннях. До особливостей можна віднести те, що такий підхід до числового моделювання потребує декількох ітерацій розрахунку, щоб отримати коректні жорсткості одновузлових перемінних коефіцієнтів жорсткості. Велика кількість ітерацій призводить до розвантаження центральних паль, і перевантаження кутових та периферійних паль. Оптимальною кількістю ітерацій є 3-4 рази. Також необхідно відзначити те, що даний метод моделювання не дозволяє виконати моделювання «низького» ростверку, хоча практично можна підключити «пружини» (по моделі Вінклера), але як показала практика таким чином коректних результатів досягнути неможливо.

Останнім способом, яким можна виконати числове моделювання взаємодії пальового фундаменту із ґрунтовою основою, є використання об'ємних скінченних

елементів у якості ґрунтового середовища, а стержнів – у якості паль. Моделювання паль також можливе за допомогою об'ємних скінченних елементів, але тоді в результаті розрахунку будуть отримані напруження, а не звичні нам зусилля (поздовжні та згинальні). Такий підхід до числового моделювання дає змогу отримати найбільш-повну та найбільш-коректну інформацію про напружено-деформований стан системи «Основа – Фундаменти – Надземні конструкції». Особливістю даного методу є те, що він дає змогу виконати моделювання «високого» або «низького» ростверку завдяки тому, що ґрунтове середовище інженер виконує самостійно, тому може контролювати контакт вузлів пластин ростверку та вузлів об'ємних скінченних елементів ґрунту. До недоліків даного методу моделювання можна віднести те, що необхідно контролювати сумісну роботу вузлів скінченних елементів палі та ґрунтового середовища.

Розрахункова модель, де палі змодельовані за допомогою об'ємних скінченних елементів та враховують зниження тертя по боковій поверхні палі наведена на рис. 1.13.

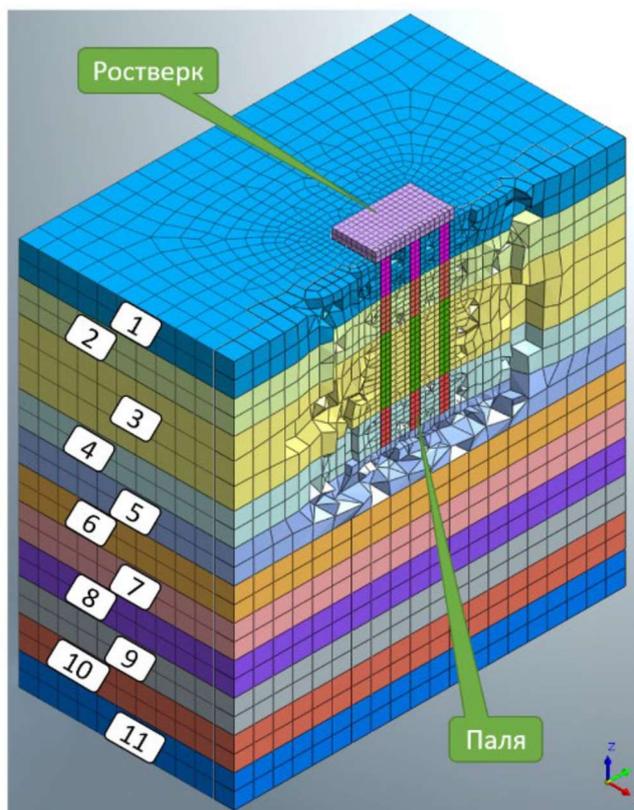


Рисунок 1.13 - Розрахункова модель із об'ємними скінченними елементами палі [13]

Можна сказати, що термін «ідентифікація параметрів» виник саме при використанні даного методу числового моделювання. Ідентифікація параметрів полягає в тому, щоб виконати моделювання одиночної палі, що оточена ґрунтовим середовищем ІґЕ якого мають потужності та фізико-механічні характеристики у відповідності до звіту по інженерно-геологічним вишукуванням (або по випробуванню палі). Метою ідентифікації параметрів є досягнути максимального співпадіння графіків «навантаження-осідання» палі за розрахунком та польовим випробуванням. Зазвичай інженерам приходиться збільшувати модуль деформації ґрунту. Величина збільшення модуля деформації у кожному випадку різна, тому вказувати якесь середнє значення, на мою думку, буде некоректно

1.4 Моделювання у програмному комплексі SOFiSTiK

Серед публікацій науковців і проєктувальників все більше наводяться результати роботи з ПК SOFiSTiK [14, 15]. У [16] пропонується використання ПК SOFiSTiK в магістерських роботах здобувачів-будівельників. Цей програмний комплекс належить до категорії CAD/CAE систем, він заснований на методі скінчених елементів (МСЕ) і має основне призначення для будівельній галузі при розрахунках конструкцій, в тому числі фундаментних,. Цей комплекс є розробкою німецької компанії SOFiSTiK AG (www.SOFiSTiK.com). Продукт з часом вдосконалюється і набуває все більше прихильників.

Самородов О.В., Дитюк О.Є. (2023) [17] пропонують розрахунок системи «основа –комбінований плитно-пальовий фундамент -споруда» будівельного об'єкту за допомогою програми SOFISTIK з використанням запропонованих моделі ґрунтової основи та методики визначення її параметрів (рис. 1.14).

Порівняння та аналіз результатів чисельних розрахунків та натурального експерименту осідання плитної частини (*spl*) та початкових осідань паль від дії довантажувальних сил тертя ґрунту (*Spile Pn*) КППФ обґрунтовує можливість застосування для такого типу фундаменту удосконаленої моделі ґрунтової основи у вигляді комбінації суцільного лінійно-деформованого шару скінченної

розподільчої здатності і Фусса-Вінклера та методики визначення її параметрів на підставі попередніх випробувань ґрунтів натурними палями.

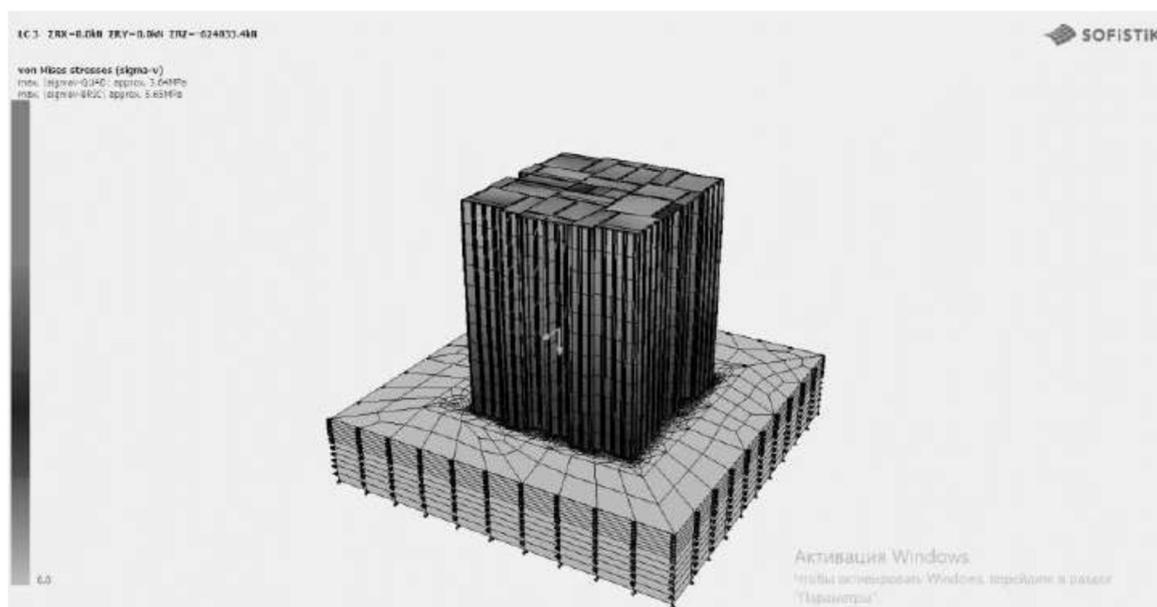


Рисунок 1.14 - Деформована схема моделі «основа – КППФ – споруда» (програма SOFiSTiK) [17]

1.5 Порівняння програмних комплексів для моделювання палювих фундаментів

У багатьох сучасних дослідженнях виконані порівняння розрахунків, виконаних за допомогою різних програмних комплексів. Такий підхід пропонується використовувати у нормах [18] з метою адекватної оцінки напружень і деформацій у різних геотехнічних системах. Аналіз таких публікацій показує недосконалість на теперішньому етапі комп'ютерного моделювання. Але в силу практичної відсутності експериментальних підтверджень багатьох положень методик розрахунків проєктувальники змушені обмежуватись дублюванням розрахунків за допомогою декількох програмних комплексів, щоб обрати зважене рішення.

У статті Носенко В., Кашоїда О. (2021) [19] відзначається, що проєктувальники застосовують багато різних програмних комплексів для геотехнічних розрахунків,

які засновані на методі скінченних елементів. Застосовуються такі програмні комплекси: Plaxis; Midas GTS NX, Abaqus; Ліра – САПР.

Кожний програмний комплекс володіє певними перевагами, так і недоліками.

Щоб визначити який із них краще підходить для моделювання взаємодії паль з ґрунтовою основою було виконано числове моделювання натурального експерименту з використанням ПК Ліра–САПР та ПК Midas GTS NX. В ПК Ліра-САПР використані два підходи (моделювання основи з використанням перемінного коефіцієнта жорсткості та моделювання основи об'ємними скінченними елементами з нелінійним законом деформування (Кулона-Мора)). В ПК Midas GTS NX також реалізовані дві моделі (моделювання основи об'ємними скінченними елементами з нелінійним законом деформування (Кулона-Мора) та палями з «віртуальними» зв'язками та моделювання основи об'ємними скінченними елементами з нелінійним законом деформування (Кулона-Мора) та палями із об'ємних скінченних елементів).

На рис. 1.15, 1.16 наведені результати розрахунків.

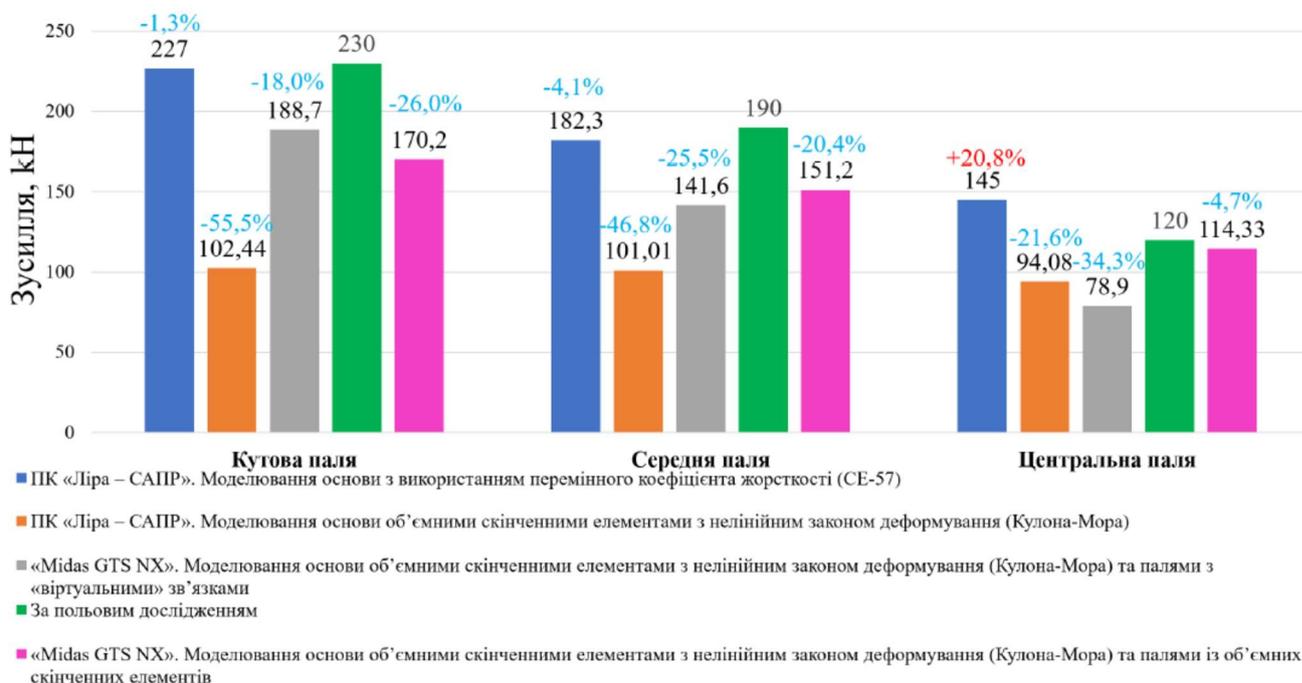


Рисунок 1.15 - Поздовжні зусилля в дослідних палях в залежності від методу моделювання основи та використаного програмного комплексу. Стадія монтажу

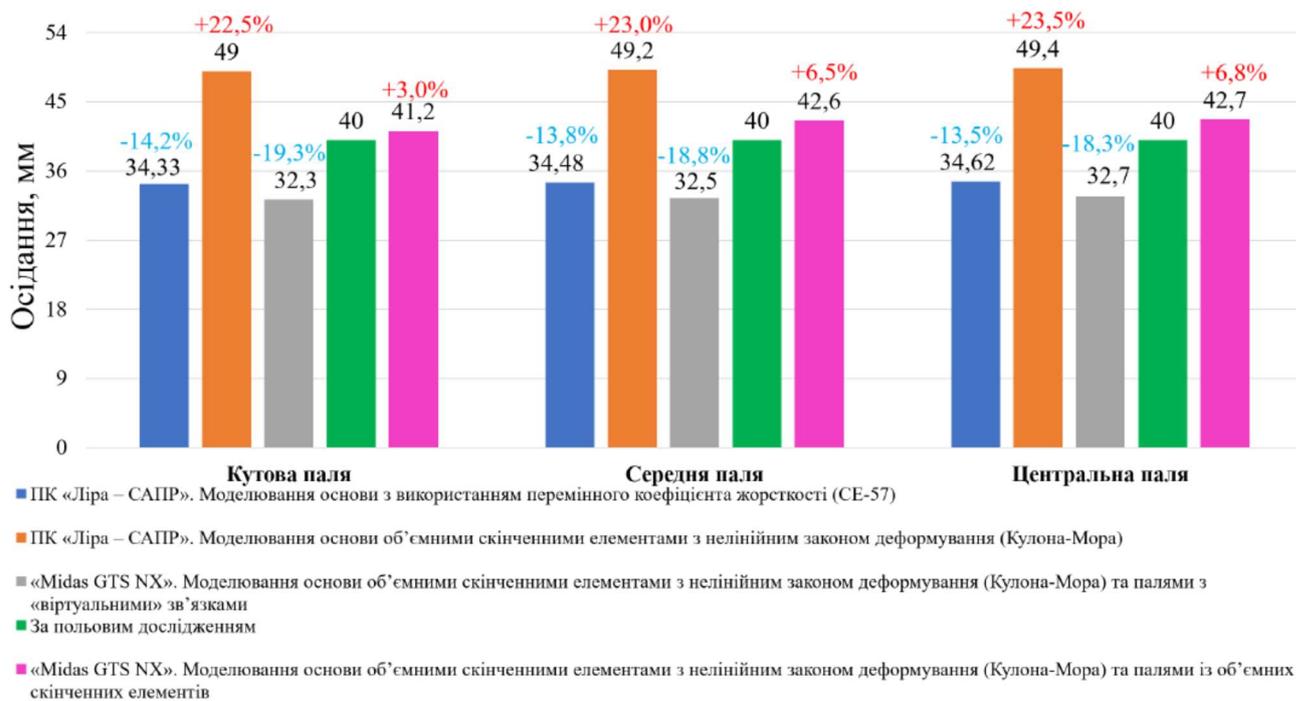


Рисунок 1.16 - Осідання дослідних паль в залежності від методу моделювання основи та використаного програмного комплексу. Стадія монтажу VIII [19]

Моделювання основи з використанням обох програмних комплексів призводить до кількісної відмінності отриманих результатів з польовим дослідженням. Моделюванню ПК Midas GTS NX є дещо складнішим ніж в ПК «Ліра – САПР». Перевагами даного програмного комплексу є: можливість створення інтерфейсів на межі контакту елементів із різних матеріалів (ростверк – ґрунт), гарна тріангуляція елементів моделі та контрастні картинки результатів.

У статі [20] (2021) виконаний аналіз пильових фундаментів мостових опор з високим ростверком за допомогою ЛІРА-САПР та SCAD, який довів різницю в підході до моделювання в цих комплексах.

Особливості моделювання в ПК SCAD і ПК ЛІРА-САПР доводять також те, що найбільш адекватним складній задачі обґрунтування НДС пильового фундаменту мостової конструкції з високим ростверком є комплексний чисельний аналіз одразу в двох ПК.

Підлущкий В., П'ятков О., Беган В. (2023) [21] виконали дослідження напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій при визначенні

вертикальної жорсткості паль за допомогою різних програмних комплексів. Представлено результати числового моделювання взаємодії багатоповерхової будівлі на пал'євому фундаменті з ґрунтовою основою в ПК «Ліра-САПР» та ПК «Plaxis 3D».

В результаті порівняння розрахунків було виявлено, що результати НДС фундаментних конструкцій 1-го варіанту відрізняються від 2-го варіанту (рис. 1.17 – 1.19).

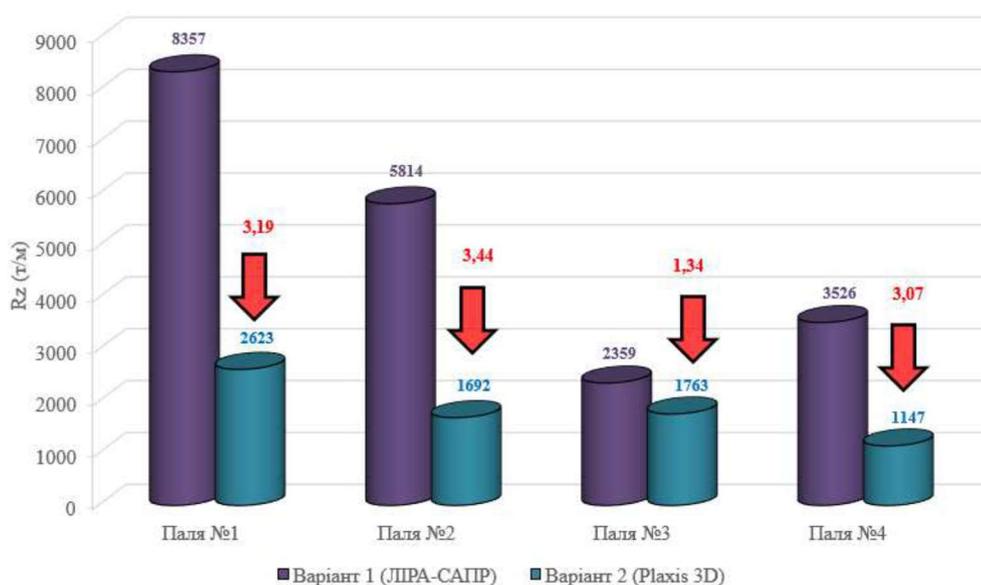


Рисунок 1.17 - Діаграма порівняння вертикальних жорсткостей в обраних пал'єях для двох варіантів розрахунку [21]

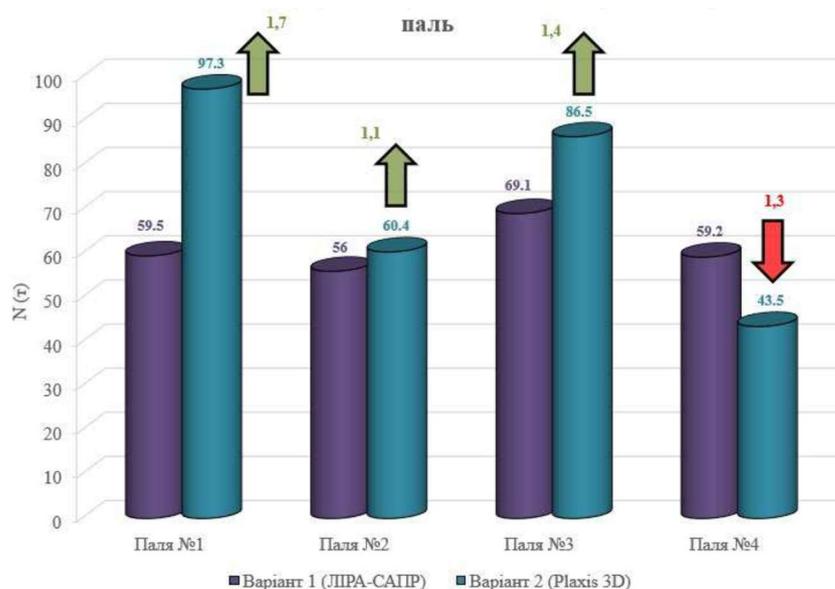


Рисунок 1.18 - Діаграма порівняння внутрішніх зусиль в обраних пал'єях для двох варіантів розрахунку [21]

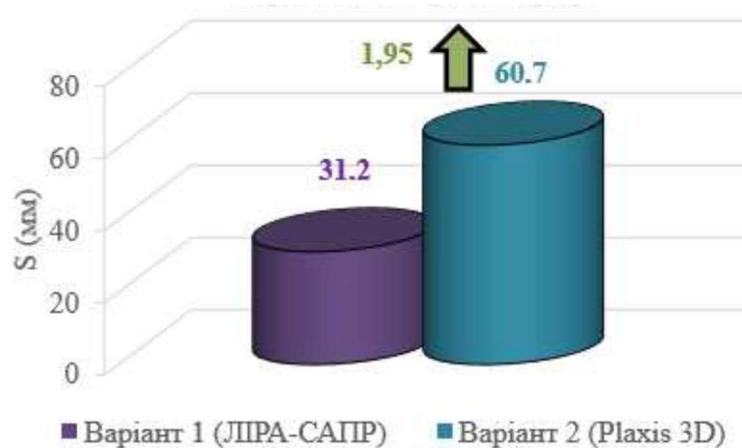


Рисунок 1.19 - Діаграма порівняння значень максимальних переміщень ростверку для двох варіантів розрахунку [21]

Показано, що розподіл жорсткостей має схожий характер в обох варіантах, але самі значення суттєво відрізняються – значення у 2 варіанті приблизно у 3 рази менші, ніж у першому. Показано, що така різниця значень вертикальних жорсткостей найбільше впливає на значення вертикальних переміщень ростверку. Переміщення ростверку для другого варіанту майже в 2 рази більші, ніж у першому. Також, це впливає і на напружено-деформований стан фундаментних конструкцій. Доведено, що значення внутрішніх зусиль (N) в палях для другого варіанту більші у 1,5 рази, ніж для першого.

1.6 Постановка задач досліджень і методи їх реалізації

Врахування реального вкладу елементів пальових фундаментів у їх загальну несучу здатність дозволило б використати резерви, що закладені у методіку розрахунку, передбачену нормами [18], коли у роботі групи паль враховується лише робота паль.

Дослідженнями багатьох авторів встановлений той факт, що низький ростверк включається у роботу групи, але ступінь реалізації роботи паль може бути знижений за рахунок переміщення ґрунту під ростверком по поверхні верхньої

частини палі, що знижує або зовсім ліквідує сили тертя в цій зоні. Це негативно відбивається на значенні опору ґрунту зануренню палі.

Проводились як фізичні дослідження на маломасштабних моделях, так і математичне моделювання за допомогою різних програмних комплексів, але спільні висновки за результатами цих досліджень можна спостерігати лише в якісній картині розподілу зусиль між палями і ростверком. Достовірно відомо, що:

- несуча здатність пальового фундаменту як правило перевищує суму несучих здатностей одиночних паль;

- палі краще включаються у роботу при більшому кроці і меншій довжині;

- ростверк також краще включається у роботу при більшому кроці паль;

- вид ґрунту впливає на перерозподіл зусиль між елементами групи несуттєво;

- при збільшенні кількості паль зменшується частка роботи ростверка у загальній несучій здатності групи;

- зменшення кількості паль у групі при збереженні розмірів ростверка призводить до більш ефективного використання роботи паль.

Але кількісні показники, такі, як частка ростверка у загальній несучій здатності групи паль, ступінь реалізації несучої здатності паль, ступінь реалізації несучої здатності ростверка, характер перерозподілу зусиль між окремими палями в групі відрізняються за результатами досліджень при фізичному моделюванні і математичному моделюванні різними методами, причому іноді доволі суттєво.

При кафедрі БМГА ВНТУ були проведені як фізичні експерименти на маломасштабних моделях пальових фундаментів, так і математичне моделювання за допомогою програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK, була також спроба використати для моделювання програмний комплекс ЛІРА-САПР 2024 R2.

При моделюванні варіювались кількість, довжина і крок паль, площа ростверків, вид ґрунту основи. Деякі вхідні параметри повторювались при моделювання різними шляхами, отже можна порівняти результати досліджень, проведених різними методами.

В даній роботі передбачається:

- проведення детальних досліджень за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 R2;

- систематизація і збір результатів досліджень за допомогою маломасштабних моделей у лотку;

- систематизація і збір результатів досліджень за допомогою програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK для порівняння з результатами, одержаними у програмному комплексі ЛІРА-САПР 2024;

- порівняльний аналіз результатів, одержаних різними методами.

2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІРА- САПР 2024

Досліджувалась робота стовпчастих пальових фундаментів під колону. Розглядалися забивні палі. Робота ґрунту вище подошви ростверка не враховувалась. Робота паль і фундаментів розглядалась в лінійній фазі.

Моделювання паль виконувалось багатовузловими стержнями, що володіють такими ж жорсткістними характеристиками як і палі.

Примикання стержня палі до пластини (оболонки) ростверку жорстке. Моделювання «низького» ростверку здійснювалось підключенням «пружин» (по моделі Вінклера-Пастернака). У ростверку задавався коефіцієнт C_1 та C_2 , кінцеві елементі КЕ-51 (пружинку) для передачі тиску у систему Ліри "ГРУНТ", звідти брались характеристики ґрунтів та уточнювався тиск під подошвою ростверку. Для визначення коефіцієнта постелі використовувався метод 3.

Коефіцієнт постелі C_1 обчислюється за усередненими значеннями модуля деформації $E_{гр}$ і коефіцієнта Пуассона $m_{гр}$ ґрунта

$$C_1 = \frac{E_{ГР}}{H_c (1 - 2m_{ГР}^2)} \quad (2.1)$$

Для визначення середнього модуля деформації вводиться поправочний коефіцієнт до величини модуля деформації для кожного i -го шару. Він змінюється від подошви фундаменту до межі стисливої товщі.

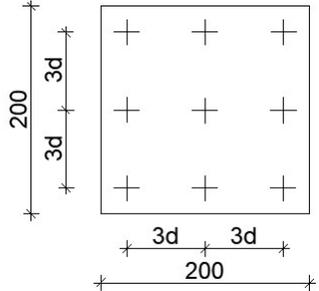
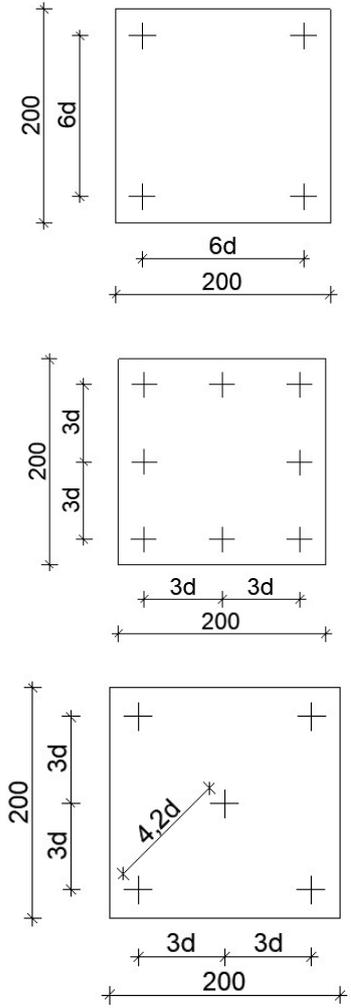
2.1 Вибір параметрів для варіювання та планування дослідження

Для можливості порівняння результатів досліджень різними методами вибір параметрів для варіювання здійснювався аналогічно раніше проведеним дослідженням.

Були використані результати фізичного моделювання магістранта Кременської Ю. О. [22]. У таблиці 2.1 наведена програма проведених досліджень. Варіювалась

кількість паль при сталій площі ростверку. Випробувались для кожного куша два варіанти довжини паль. Додатково випробувався ростверк без паль (як фундамент мілкого закладання) та палі двох типорозмірів як одиночні.

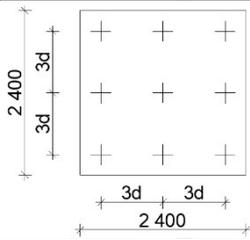
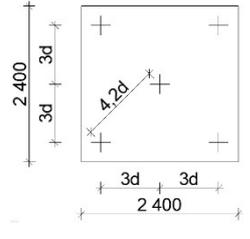
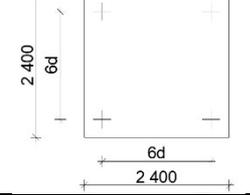
Таблиця 2.1 – Програма фізичного моделювання для порівняння роботи коротких та довгих паль [22]

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір паль | Крок і кількість паль |
|----------------|--|--|
| 1 | $L = 0,2 \text{ м}, L = 0,4 \text{ м},$ $d = 0,02 \text{ м}$ |  |
| 2 | $L = 0,2 \text{ м}, L = 0,4 \text{ м},$ $d = 0,02 \text{ м}$ |  |
| 3 | Плита ростверку без паль з розмірами у плані 200x200 мм, висотою 50 мм, глибина закладання 0 та 200 мм | - |

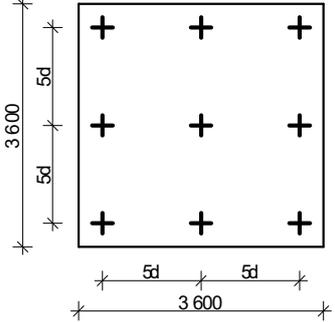
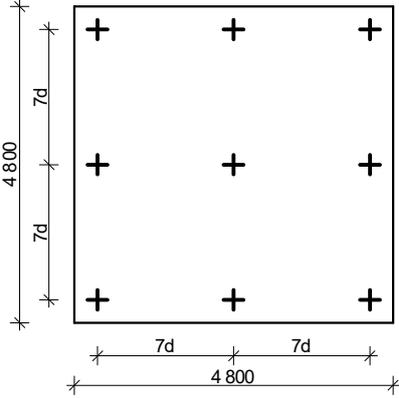
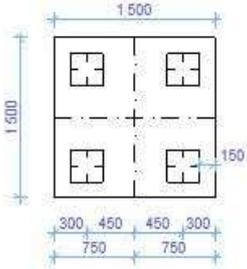
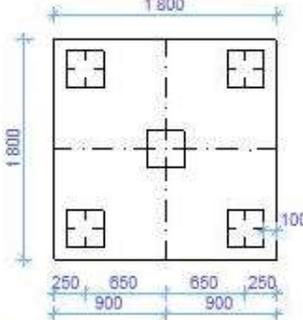
Були використані результати математичного моделювання за допомогою програмного комплексу Plaxis, виконані у магістерських роботах Малишева О. М. [23], Кримняка Я. М. [24], Кременської Ю. О. [25], Ткачук А. А. [26]. У всіх випадках варіювались крок паль, розміри ростверку, довжина паль, вид ґрунту. Для можливості порівняння результатів у всіх випадках розглядалися два види ґрунту: пісок дрібний з характеристиками $\gamma = 18,6$ кН/м³, $e = 0,67$, $c = 2$ кПа, $\varphi = 32^\circ$, $E = 28$ МПа; суглинок з характеристиками $\gamma = 18,5$ кН/м³, $e = 0,75$, $I_L = 0,25-0,5$, $c = 23$ кПа, $\varphi = 21^\circ$, $E = 14$ МПа.

Узагальнена систематизована програма математичного моделювання за допомогою програмного комплексу Plaxis наведена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Узагальнена систематизована програма математичного моделювання за допомогою програмного комплексу Plaxis за результатами різних авторів

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір паль | Крок і кількість паль |
|----------------|-----------------------------------|---|
| 1 | $L = 3$ м, $d = 0,3$ м |  |
| | $L = 10$ м, $d = 0,3$ м | |
| 2 | $L = 3$ м, $d = 0,3$ м |  |
| | $L = 10$ м, $d = 0,3$ м | |
| 3 | $L = 3$ м, $d = 0,3$ м |  |
| | $L = 10$ м, $d = 0,3$ м | |

Продовження таблиці 2.2

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір палів | Крок і кількість палів |
|----------------|--------------------------------------|---|
| 4 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 9 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 5 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 9 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 6 | $L = 9 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| 7 | $L = 9 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |

Продовження таблиці 2.2

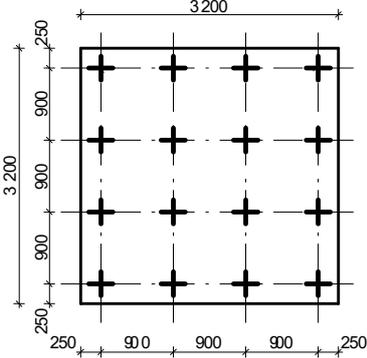
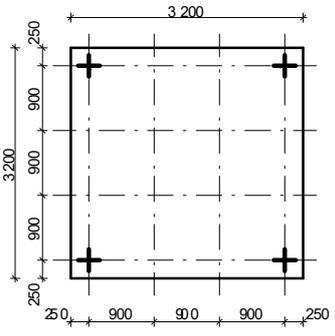
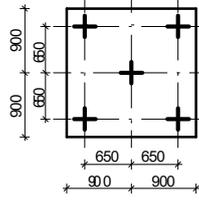
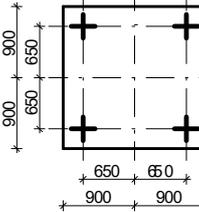
| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір паль | Крок і кількість паль |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 8 | $L = 9 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |

Моделювання стовпчастих пильових фундаментів за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK було виконане Ганущаком Ю. В. [27]. Досліджене розміщення паль в плані наведене у таблиці 2.3. В цих дослідженнях також розглядалися палі двох типорозмірів по довжині: 3 м і 10 м, а також два види ґрунту: дрібний пісок і суглинок з такими ж характеристиками, як і в випадку моделювання в Plaxis.

Таблиця 2.3 – Програма математичного моделювання роботи пильового фундаменту за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK [27]

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір паль | Крок і кількість паль |
|----------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 1 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |

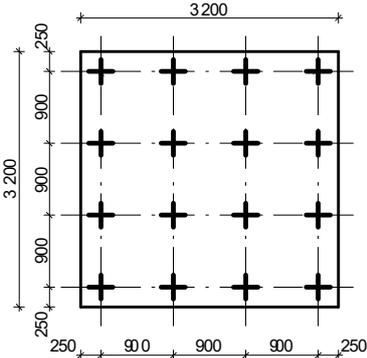
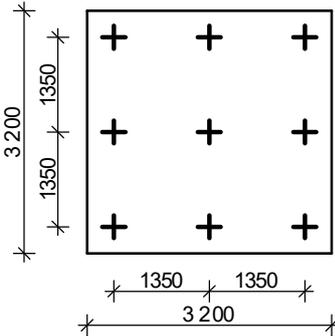
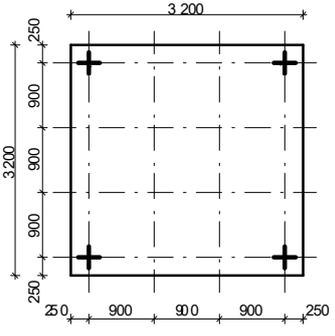
Продовження таблиці 2.3

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір паль | Крок і кількість паль |
|----------------|---------------------------------------|---|
| 2 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 3 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 4 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 5 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |

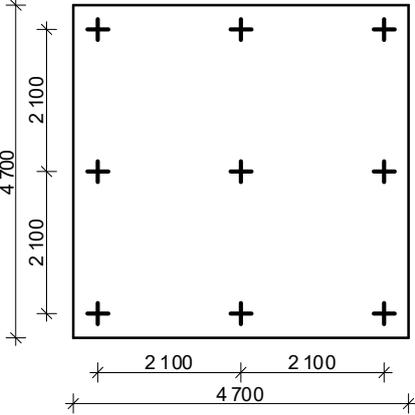
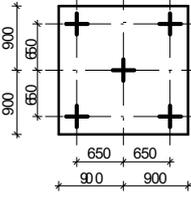
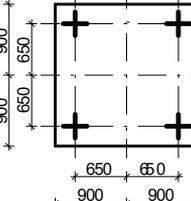
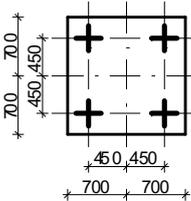
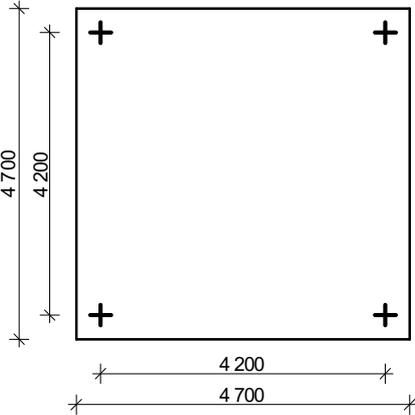
Для моделювання за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 прийняте варіювання параметрами, аналогічними тим, що були прийняті у попередніх дослідженнях за допомогою Plaxis та SOFiSTiK. Програма розширена за рахунок розгляду додаткового ростверка більшого розміру 4,7x4,7 м з меншою кількістю паль, оскільки раніше була доведена доцільність такого конструктивного рішення.

У таблиці 2.4 наведена програма досліджень. Варіювались два види ґрунту: дрібний пісок і суглинок з такими ж характеристиками, як і в попередніх випадках моделювання [28].

Таблиця 2.4 – Програма математичного моделювання роботи пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір паль | Крок і кількість паль |
|----------------|---------------------------------------|---|
| 1 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 2 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 3 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |

Продовження таблиці 2.4

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір палів | Крок і кількість палів |
|----------------|---------------------------------------|---|
| 4 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 5 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 6 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 7 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 8 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ |  |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |

2.2 Результати моделювання пальових фундаментів

При математичному моделюванні ґрунтового середовища пальового фундаменту прийняті такі параметри:

- модель ґрунту – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- моделюється пальовий фундамент під колону з ростверком товщиною 0,7 м, навантаження на ростверк передається через підколони розмірами в плані 0,5х0,5 м;
- для забивних паль прийнятий бетон С20/25 (В25), для ростверків бетон С20/25 (В25);
- забивні палі поперечного перерізу 0,3 х 0,3 м довжиною 3,0 м;
- забивні палі поперечного перерізу 0,3 х 0,3 м довжиною 10,0 м.

Кожна група дослідів повторюється двічі: для основи з піщаного ґрунту і для основи з глинистого ґрунту.

Для визначення ступеню реалізації несучої здатності ростверка і паль виконувалось моделювання:

- роботи одиночних паль довжиною 3 та 10 м у відповідних ґрунтах;
- роботи ростверків відповідних розмірів як фундаменту мілкого закладання у відповідних ґрунтах.

Для прикладу на рис. 2.1 наведена розрахункова модель пальового фундаменту для групи дослідів 1 при довжині паль 3,0 м та 10 м.

Результатами досліджень для всіх груп дослідів є залежності навантаження-осідання для пальових кущів, ростверків без паль та одиночних паль, величини зусиль у палях, розподіл напружень і осідань по підшві ростверка.

Для прикладу в таблиці 2.5 наведені залежності навантаження-осідання для пальових кущів групи дослідів 1 (16 паль). На рис. 2.2 показана нумерація паль в групі, на рис. 2.3 – розподіл зусиль між палями.

На рис. 2.4, 2.5 наведені кольорові діаграми тиску під підшвою ростверку та осідань ростверку.

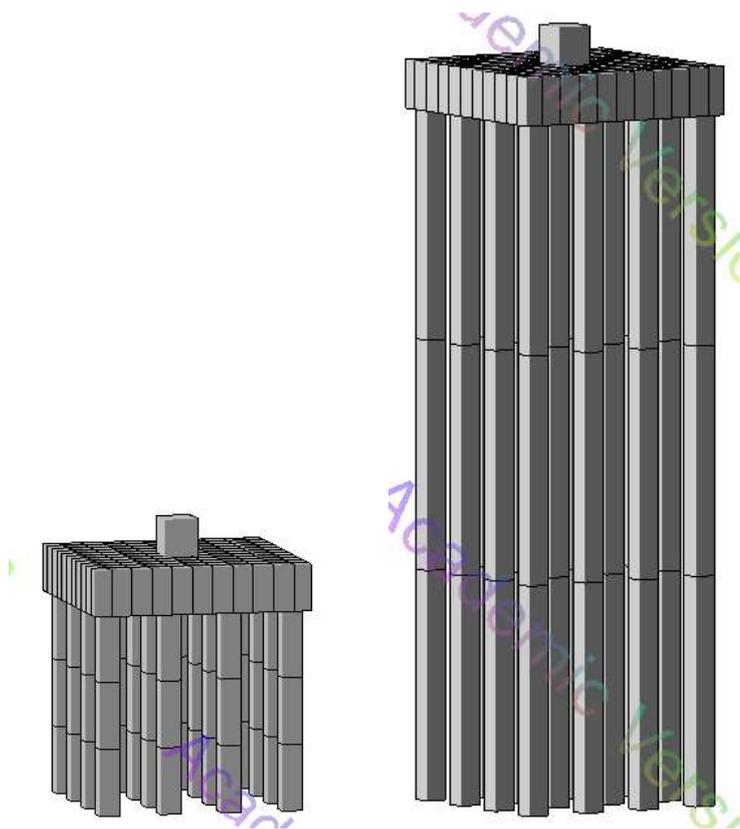


Рисунок 2.1 – Розрахункова модель пального фундаменту для групи дослідів 1 при довжині палів 3,0 м та 10 м

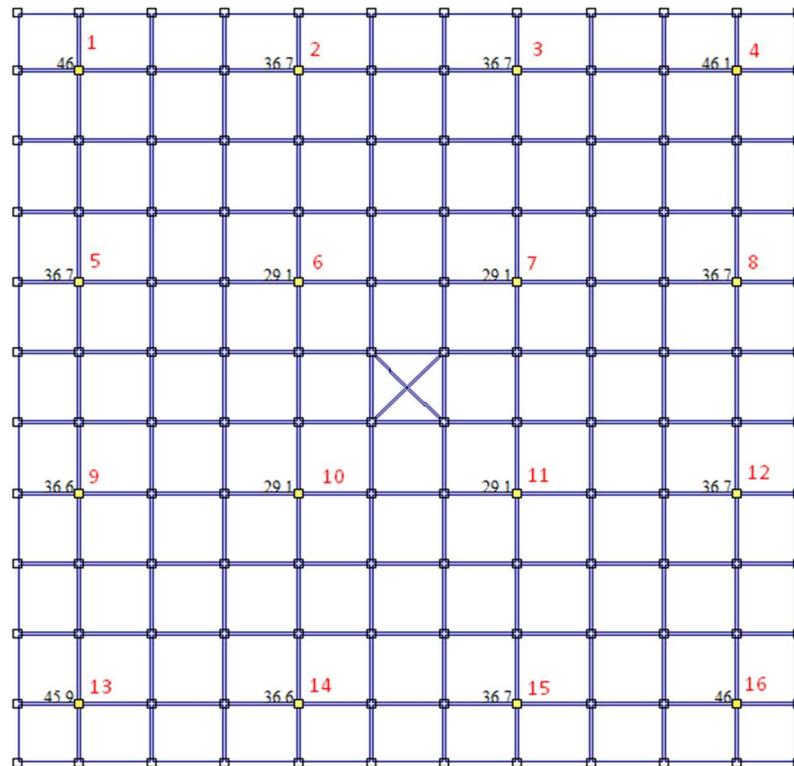


Рисунок 2.2 – Нумерація палів в групі дослідів 1

Таблиця 2.5 - Залежності навантаження-осідання для паливових кушів групи дослідів 1 (16 палів)

| Зусилля в палях | Навантаження, на куш кН | Варіант 1 Глина l=3,0 м | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| | | Осідання, мм | Середнє навантаження палі, кН | Сумарна реакція підшви ростверку, кН | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1000 | 4,2 | 41,525 | 335,6 | 73,6 | 39,1 | 39,1 | 73,6 | 39,1 | 14,3 | 14,3 | 39,1 | 39,1 | 14,3 | 14,3 | 39,1 | 73,6 | 39,1 | 39,1 | 73,6 | |
| 2000 | 6,18 | 60,1 | 1038,4 | 109 | 56,7 | 56,7 | 109 | 56,7 | 18 | 18 | 56,7 | 56,7 | 18 | 18 | 56,7 | 109 | 56,7 | 56,7 | 109 | |
| 3000 | 10,9 | 90,1 | 1558,4 | 164 | 85,4 | 85,4 | 164 | 85,4 | 25,6 | 25,6 | 85,4 | 85,4 | 25,6 | 25,6 | 85,4 | 164 | 85,4 | 85,4 | 164 | |
| 4000 | 14,6 | 142,95 | 1712,8 | 261 | 136 | 136 | 261 | 136 | 38,8 | 38,8 | 136 | 136 | 38,8 | 38,8 | 136 | 261 | 136 | 136 | 261 | |
| 6000 | 22,2 | 218,6 | 2502,4 | 400 | 209 | 209 | 400 | 209 | 56,4 | 56,4 | 209 | 209 | 56,4 | 56,4 | 209 | 400 | 209 | 209 | 400 | |
| 8000 | 32,4 | 321,1 | 2862,4 | 589 | 308 | 308 | 589 | 308 | 79,4 | 79,4 | 308 | 308 | 79,4 | 79,4 | 308 | 589 | 308 | 308 | 589 | |
| 10000 | 41,6 | 412,225 | 3404,4 | 757 | 397 | 397 | 757 | 397 | 97,9 | 97,9 | 397 | 397 | 97,9 | 97,9 | 397 | 757 | 397 | 397 | 757 | |

Продовження таблиці 2.5

| Навантаження на куш, кН | Варіант 1 Глина l=10,0 м | | | Зусилля в палях | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Осідання, мм | Середнє навантаження палі, кН | Сумарна реакція підшви ростверку, кН | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1000 | 3,03 | 39,125 | 374 | 60,7 | 40,4 | 40,4 | 60,7 | 40,4 | 15 | 15 | 40,4 | 40,4 | 15 | 15 | 40,4 | 60,7 | 40,4 | 40,4 | 60,7 |
| 2000 | 6,73 | 65,025 | 959,6 | 102 | 66,6 | 66,6 | 102 | 66,6 | 24,9 | 24,9 | 66,6 | 66,6 | 24,9 | 24,9 | 66,6 | 102 | 66,6 | 66,6 | 102 |
| 3000 | 10,7 | 103,7 | 1340,8 | 163 | 106 | 106 | 163 | 106 | 39,8 | 39,8 | 106 | 106 | 39,8 | 39,8 | 106 | 163 | 106 | 106 | 163 |
| 4000 | 14,8 | 143,8 | 1699,2 | 228 | 146 | 146 | 228 | 146 | 55,2 | 55,2 | 146 | 146 | 55,2 | 55,2 | 146 | 228 | 146 | 146 | 228 |
| 6000 | 23,6 | 229,5 | 2328 | 366 | 232 | 232 | 366 | 232 | 88 | 88 | 232 | 232 | 88 | 88 | 232 | 366 | 232 | 232 | 366 |
| 8000 | 32,3 | 315 | 2960 | 505 | 317 | 317 | 505 | 317 | 121 | 121 | 317 | 317 | 121 | 121 | 317 | 505 | 317 | 317 | 505 |
| 10000 | 41,5 | 404,5 | 3528 | 651 | 406 | 406 | 651 | 406 | 155 | 155 | 406 | 406 | 155 | 155 | 406 | 651 | 406 | 406 | 651 |

Продовження таблиці 2.5

| Навантаження, на куш кН | Варіант 1 Пісок l=3,0 м | | | Зусилля в палях | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|
| | Осідання, мм | Середнє навантаження палі, кН | Сумарна реакція підшви ростверку, кН | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1000 | 2,16 | 37,125 | 406 | 46 | 36,7 | 36,7 | 46 | 36,7 | 29,1 | 29,1 | 36,7 | 36,7 | 29,1 | 29,1 | 36,7 | 46 | 36,7 | 36,7 | 46 |
| 2000 | 4,24 | 74,25 | 812 | 92 | 73,4 | 73,4 | 92 | 73,4 | 58,2 | 58,2 | 73,4 | 73,4 | 58,2 | 58,2 | 73,4 | 92 | 73,4 | 73,4 | 92 |
| 3000 | 6,27 | 113,875 | 1178 | 175 | 109 | 109 | 175 | 109 | 62,5 | 62,5 | 109 | 109 | 62,5 | 62,5 | 109 | 175 | 109 | 109 | 175 |
| 4000 | 7,82 | 152,2 | 1564,8 | 247 | 144 | 144 | 247 | 144 | 73,8 | 73,8 | 144 | 144 | 73,8 | 73,8 | 144 | 247 | 144 | 144 | 247 |
| 6000 | 12,7 | 212,875 | 2594 | 356 | 201 | 201 | 356 | 201 | 93,5 | 93,5 | 201 | 201 | 93,5 | 93,5 | 201 | 356 | 201 | 201 | 356 |
| 8000 | 17 | 311,75 | 3012 | 533 | 294 | 294 | 533 | 294 | 126 | 126 | 294 | 294 | 126 | 126 | 294 | 533 | 294 | 294 | 533 |
| 10000 | 22,3 | 389,75 | 3764 | 676 | 368 | 368 | 676 | 368 | 147 | 147 | 368 | 368 | 147 | 147 | 368 | 676 | 368 | 368 | 676 |

Продовження таблиці 2.5

| Навантаження, кН | Варіант 1 Пісок l=10,0 м | | | Зусилля в палях | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Осідання, мм | Середнє навантаження палі, кН | Сумарна реакція підшви ростверку, кН | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1000 | 2,23 | 42,125 | 326 | 78,7 | 39,7 | 39,7 | 78,7 | 39,7 | 10,4 | 10,4 | 39,7 | 39,7 | 10,4 | 10,4 | 39,7 | 78,7 | 39,7 | 39,7 | 78,7 |
| 2000 | 3,57 | 63,15 | 989,6 | 110 | 62,6 | 62,6 | 110 | 62,6 | 17,4 | 17,4 | 62,6 | 62,6 | 17,4 | 17,4 | 62,6 | 110 | 62,6 | 62,6 | 110 |
| 3000 | 5,81 | 103,625 | 1342 | 176 | 104 | 104 | 176 | 104 | 30,5 | 30,5 | 104 | 104 | 30,5 | 30,5 | 104 | 176 | 104 | 104 | 176 |
| 4000 | 7,99 | 143,125 | 1710 | 238 | 145 | 145 | 238 | 145 | 44,5 | 44,5 | 145 | 145 | 44,5 | 44,5 | 145 | 238 | 145 | 145 | 238 |
| 6000 | 12,7 | 228,7 | 2340,8 | 374 | 233 | 233 | 374 | 233 | 74,8 | 74,8 | 233 | 233 | 74,8 | 74,8 | 233 | 374 | 233 | 233 | 374 |
| 8000 | 17,4 | 314,5 | 2968 | 507 | 322 | 322 | 507 | 322 | 107 | 107 | 322 | 322 | 107 | 107 | 322 | 507 | 322 | 322 | 507 |
| 10000 | 22,2 | 404 | 3536 | 642 | 415 | 415 | 642 | 415 | 144 | 144 | 415 | 415 | 144 | 144 | 415 | 642 | 415 | 415 | 642 |

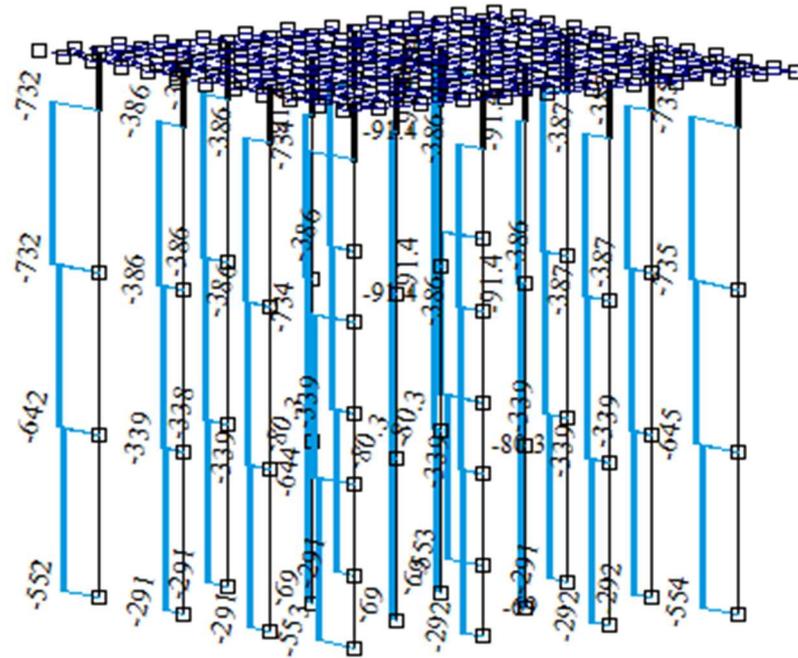


Рисунок 2.3 – Розподіл зусиль між палями групи в глинистому ґрунті при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1

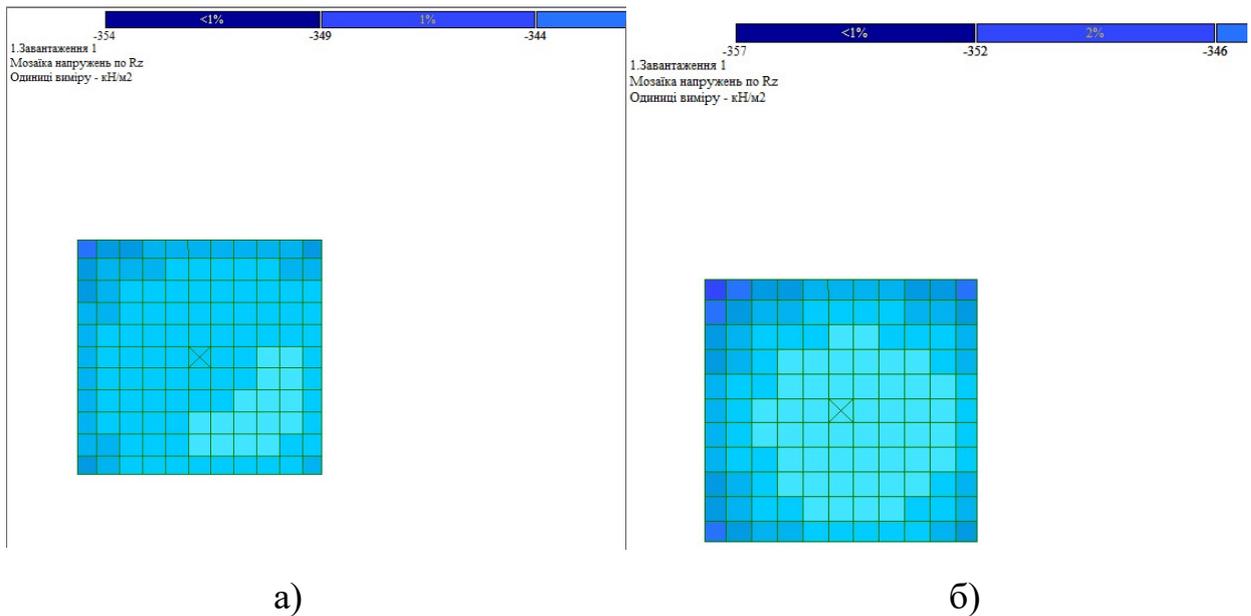


Рисунок 2.4 – Кольорові діаграми тиску під подошвою ростверка при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1: а – в піщаному ґрунті; б – в глинистому ґрунті

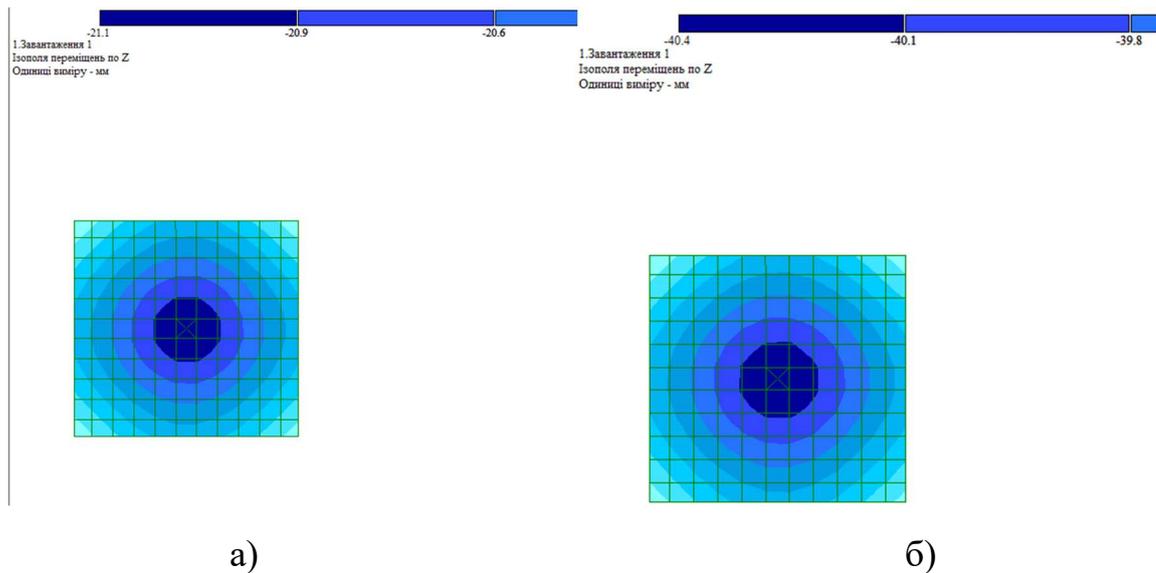


Рисунок 2.5 – Кольорові діаграми осідань під підшовою ростверка при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1: а – в піщаному ґрунті; б – в глинистому ґрунті

Програма визначення навантаження, яке сприймається окремими елементами у складі стовпчастого пальового фундаменту передбачала:

- створення розрахункової схеми пальового фундаменту під колону;
- прикладання навантаження до розрахункової схеми пальового фундаменту ступенями з фіксацією одержаних деформацій групи та плити ростверка, зусиль в палях та напружень по підшві ростверка на кожному ступені навантаження;
- побудову графіків осідання-навантаження для груп паль;
- побудову графіків осідання-навантаження для одиночних паль;
- побудову графіків для визначення навантаження, яке сприймає плита ростверку без паль.

На рис. 2.6, 2.7 наведені графіки залежності осідання від навантаження для пальових фундаментів за групами дослідів 1 – 3, 7.

Графіки залежності осідання від навантаження для пальових фундаментів за групами дослідів 4 – 6, 8 мають аналогічний характер.

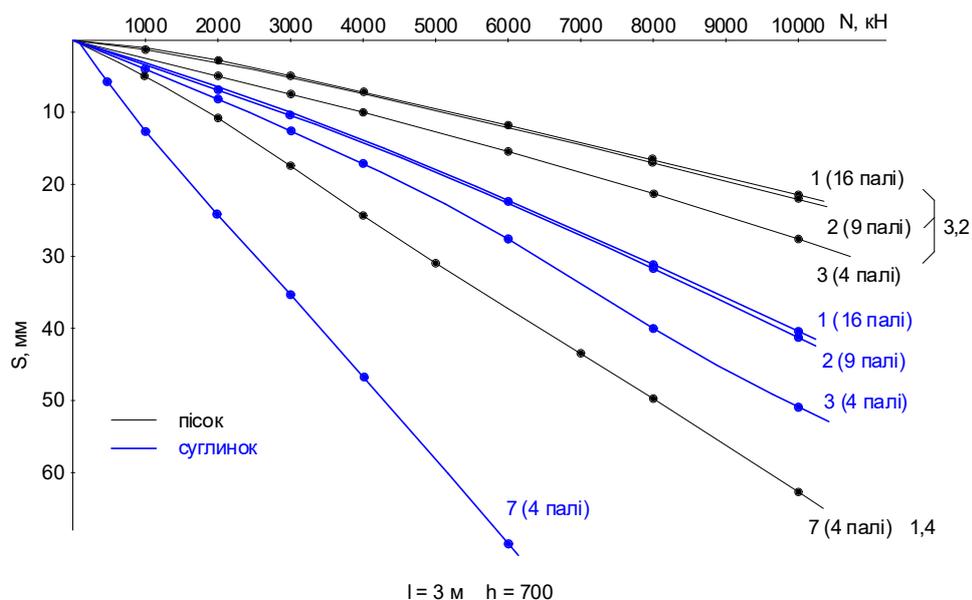


Рисунок 2.6 – Графіки залежності осідання від навантаження для пильових фундаментів за групами дослідів 1 – 3, 7 при довжині палів 3 м

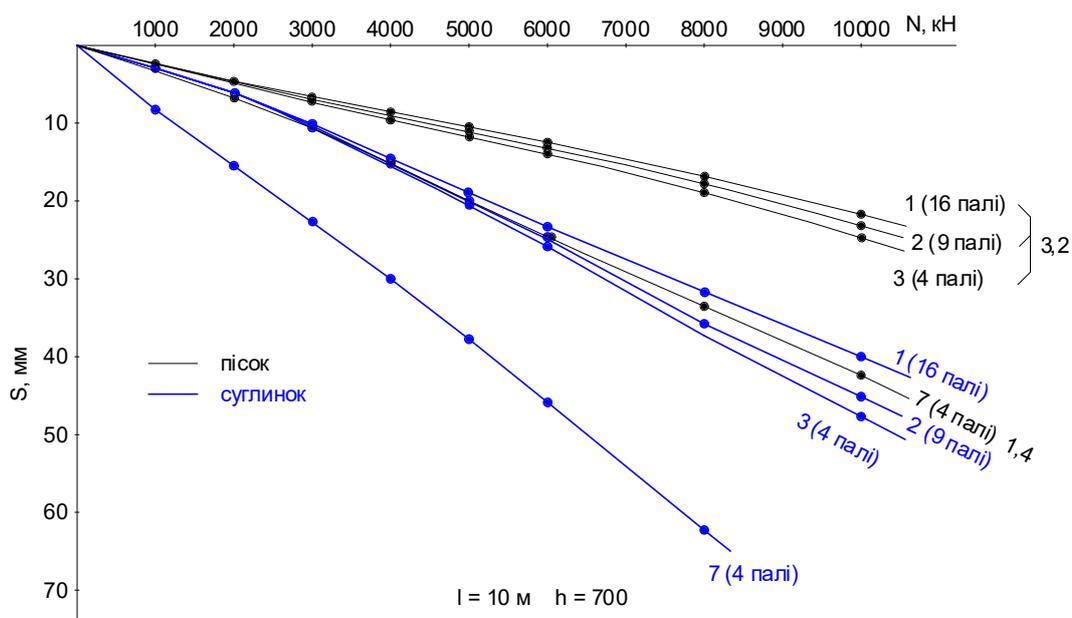


Рисунок 2.7 – Графіки залежності осідання від навантаження для пильових фундаментів за групами дослідів 1 – 3, 7 при довжині палів 10 м

Характер розподілу напружень і переміщень по підшві ростверка при використанні програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 виявився очікуваним. А саме (рис. 2.5), найбільше осідання спостерігається в місці прикладання зосередженого навантаження від колони посередині ростверка. Найбільші напруження під підшвою ростверка спостерігаються в зоні його периметру. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають

кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану якісно відповідають відомим результатам попередніх дослідників [22 – 27, 29].

Одержані графіки осідання-навантаження мають лінійний характер. В зв'язку з цим для визначення критерія несучої здатності груп палей були виконані ручні розрахунки несучої здатності і осідань палевих фундаментів, палей і ростверків у відповідних ґрунтах за вимогами норм [18]. Результати розрахунків показали, що критерієм визначення навантаження, яке сприймає група палей, може бути осідання 15 мм. За несучу здатність одиночної палі приймалися значення навантаження, що призвело до деформації 8 мм.

Слід відзначити, що при використанні програмного комплексу SOFiSTiK таким критерієм була деформація 40 мм, а при використанні програмного комплексу Plaxis – 100 мм.

Для детального аналізу напружено-деформованого стану палевого фундаменту з низьким ростверком, який можна назвати комбінованим (в роботі приймають участь не тільки палі, а і ростверк) в раніше проведених дослідженнях [29] визначались такі параметри:

- осереджене навантаження на палю у складі фундаменту;
- сума зусиль, які сприймають палі в групі;
- навантаження, що сприймається ростверком у складі палевого фундаменту;
- частка навантаження, яка сприймається ростверком;
- ступінь реалізації несучої здатності палей (відношення осередженого навантаження на палю фундаменту до несучої здатності одиночної палі);
- ступінь реалізації несучої здатності ростверка (відношення навантаження, яке сприймає ростверк у складі фундаменту, до навантаження, яке сприймає ростверк як фундамент мілкового закладання при такому ж значенні осідання);
- величина кушового ефекту (відношення навантаження на куш до суми несучих здатностей одиночних палей);

Для порівняння несучої здатності при комплексній роботі елементів пальового фундаменту з несучою здатністю суми його окремих елементів визначались параметри:

- значення сумарної несучої здатності паль як одиночних;
- навантаження на куш, як сума несучих здатностей його окремих елементів.

Аналогічна робота була проведена і для результатів розрахунків за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024. Результати наведені в таблицях 2.6, 2.7.

Висновки за розділом 2

1. Аналіз раніше проведених досліджень роботи стовпчастих пальових фундаментів у програмних комплексах Plaxis та SOFiSTiK дозволив встановити параметри для варіювання, що дозволяють порівняти результати математичного моделювання.

2. Для включення у порівняння програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 була складена програма і виконане математичне моделювання роботи пальових кушів у двох видах ґрунтової основи з різною деформативністю.

3. Обраний критерій для визначення несучої здатності окремої палі, групи паль та ростверків як фундаментів без паль.

4. Як результати досліджень для всіх груп дослідів одержані залежності навантаження-осідання для пальових кушів, ростверків без паль та одиночних паль, величини зусиль у палях, розподіл напружень і осідань по подошві ростверка, які дозволяють порівняти в подальшому найбільш впливові параметри для різних програмних комплексів.

Таблиця 2.6 – Порівняння роботи пальового фундаменту у піщаному ґрунті з роботою його окремих елементів при осіданні куща $s = 15,0$ мм

| Довжина палів, м | № групи дослідів за табл. 2.4 | Розміри ростверка, м | Кількість палів в кущі, шт | При роботі кожного з елементів як окремого | | | | При роботі у складі фундаменту | | | | | | | |
|------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------|--|-------------------------|--|---|---|------------------------------|--|-------------------------|---------------|---------------------|--|--|
| | | | | Несуча здатність одиначної палі, кН | Сума зусиль в палях, кН | Навантаження, що сприймається плитою ростверку без палів, кН | Навантаження на кущ, як сума окремих елементів кН | Осереднене навантаження палю фундаменту, кН | Сума зусиль в палях куща, кН | Навантаження, що сприймається ростверком, кН | Навантаження на кущ, кН | Купувий ефект | Частка ростверку, % | Ступінь реалізації несучої здатності палів | Ступінь реалізації несучої здатності ростверку |
| 3 м | 1 | 3,2×3,24 | 16 | 540 | 8640 | 5070 | 13710 | 265,8 | 4253 | 2817 | 7070 | 0,82 | 39,8 | 0,492 | 0,556 |
| | 2 | 3,2×3,2 | 9 | | 4860 | 5309 | 10170 | 451,6 | 4064 | 2836 | 6900 | 1,42 | 41,1 | 0,836 | 0,534 |
| | 3 | 3,2×3,2 | 4 | | 2160 | 5312 | 7472 | 748,0 | 2992 | 2842 | 5834 | 2,7 | 47,0 | 1,39 | 0,47 |
| | 4 | 4,7×4,7 | 9 | | 4860 | 11040 | 15900 | 545,0 | 4905 | 4694 | 9600 | 1,98 | 48,9 | 1,01 | 0,425 |
| | 5 | 1,8×1,8 | 5 | | 2700 | 1469 | 4169 | 422,0 | 2110 | 1303 | 3414 | 1,26 | 38,2 | 0,781 | 0,887 |
| | 6 | 1,8×1,8 | 4 | | 2160 | 1466 | 3626 | 527,0 | 2108 | 1300 | 3407 | 1,58 | 38,2 | 0,976 | 0,877 |
| | 7 | 1,4×1,4 | 4 | | 2160 | 866 | 3026 | 457,0 | 1828,0 | 966 | 2796 | 1,29 | 34,5 | 0,846 | 1,11 |
| | 8 | 4,7×4,7 | 4 | | 2160 | 11040 | 13200 | 696,0 | 2784 | 4906 | 7690 | 3,56 | 63,8 | 1,29 | 0,445 |
| 10 м | 1 | 3,2×3,24 | 16 | 970 | 15520 | 5180 | 20700 | 270,7 | 4331 | 2648 | 6980 | 0,45 | 37,9 | 0,279 | 0,511 |
| | 2 | 3,2×3,2 | 9 | | 8730 | 5307 | 14037 | 455,0 | 4095 | 2624 | 6720 | 0,77 | 39,0 | 0,469 | 0,494 |
| | 3 | 3,2×3,2 | 4 | | 3880 | 5312 | 9192 | 877,0 | 3508 | 2636 | 6145 | 1,58 | 42,9 | 0,904 | 0,496 |
| | 4 | 4,7×4,7 | 9 | | 8730 | 11029 | 19759 | 474,0 | 4266 | 4659 | 8923 | 1,02 | 52,2 | 0,489 | 0,422 |
| | 5 | 1,8×1,8 | 5 | | 4850 | 1468 | 6318 | 671,0 | 3355 | 1110 | 4466 | 0,92 | 24,9 | 0,692 | 0,756 |
| | 6 | 1,8×1,8 | 4 | | 3880 | 1468 | 5348 | 823,0 | 3292 | 1080 | 4373 | 1,13 | 24,7 | 0,848 | 0,736 |
| | 7 | 1,4×1,4 | 4 | | 3880 | 864 | 4744 | 770,0 | 3080,0 | 722 | 3800 | 0,98 | 19,0 | 0,794 | 0,836 |
| | 8 | 4,7×4,7 | 4 | | 3880 | 11030 | 14910 | 900,0 | 3600 | 4400 | 8000 | 2,06 | 55,0 | 0,926 | 0,399 |

Таблиця 2.7 – Порівняння роботи пальового фундаменту у глинистому ґрунті з роботою його окремих елементів при осіданні куща $s = 15,0$ мм

| Довжина палів, м | № групи дослідів за табл. 2.4 | Розміри ростверка, м | Кількість палів в кущі, шт | При роботі кожного з елементів як окремого | | | | При роботі у складі фундаменту | | | | | | | |
|------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------|--|-------------------------|--|---|---|------------------------------|--|-------------------------|---------------|---------------------|--|--|
| | | | | Несуча здатність одиначної палі, кН | Сума зусиль в палях, кН | Навантаження, що сприймається плитою ростверку без палів, кН | Навантаження на кущ, як сума окремих елементів кН | Осереднене навантаження палю фундаменту, кН | Сума зусиль в палях куща, кН | Навантаження, що сприймається ростверком, кН | Навантаження на кущ, кН | Купувий ефект | Частка ростверку, % | Ступінь реалізації несучої здатності палів | Ступінь реалізації несучої здатності ростверку |
| 3 м | 1 | 3,2×3,24 | 16 | 270 | 4320 | 1736 | 6056 | 147,0 | 2352 | 1754 | 4100 | 0,95 | 42,8 | 0,544 | 1,01 |
| | 2 | 3,2×3,2 | 9 | | 2430 | 1739 | 4169 | 248,0 | 2232 | 1739 | 3973 | 1,63 | 43,8 | 0,919 | 1,0 |
| | 3 | 3,2×3,2 | 4 | | 1080 | 1759 | 2839 | 405,0 | 1620 | 1835 | 3455 | 3,20 | 50,9 | 1,50 | 1,04 |
| | 4 | 4,7×4,7 | 9 | | 2430 | 4086 | 6516 | 328,0 | 2952 | 3293 | 6245 | 2,57 | 52,7 | 1,21 | 0,806 |
| | 5 | 1,8×1,8 | 5 | | 1350 | 654 | 2004 | 230,0 | 1150 | 781 | 1931 | 1,43 | 40,5 | 0,852 | 1,19 |
| | 6 | 1,8×1,8 | 4 | | 1080 | 654 | 1734 | 287,0 | 1148 | 781 | 1930 | 1,79 | 40,5 | 1,06 | 1,19 |
| | 7 | 1,4×1,4 | 4 | | 1080 | 414 | 1494 | 235,0 | 940,0 | 358 | 1298 | 1,20 | 27,6 | 0,87 | 0,865 |
| | 8 | 4,7×4,7 | 4 | | 1080 | 4089 | 5169 | 407,0 | 1628 | 3329 | 4957 | 4,59 | 67,2 | 1,51 | 0,814 |
| м | 1 | 3,2×3,24 | 16 | 520 | 8320 | 1743 | 10063 | 146,0 | 2336 | 1713 | 4045 | 0,48 | 42,3 | 0,319 | 0,983 |
| | 2 | 3,2×3,2 | 9 | | 4680 | 1735 | 6415 | 246,0 | 2214 | 1689 | 3907 | 0,83 | 43,2 | 0,473 | 0,973 |
| | 3 | 3,2×3,2 | 4 | | 2080 | 1739 | 3819 | 528,0 | 2112 | 1584 | 3696 | 1,78 | 42,9 | 1,01 | 0,911 |
| | 4 | 4,7×4,7 | 9 | | 4680 | 4086 | 8766 | 268,0 | 2417 | 3060 | 5477 | 1,17 | 55,9 | 0,515 | 0,749 |
| | 5 | 1,8×1,8 | 5 | | 2600 | 652 | 3252 | 366,0 | 1830 | 646 | 2477 | 0,95 | 26,1 | 0,704 | 0,991 |
| | 6 | 1,8×1,8 | 4 | | 2080 | 653 | 2732 | 445,0 | 1780 | 659 | 2439 | 1,17 | 27,0 | 0,856 | 1,01 |
| | 7 | 1,4×1,4 | 4 | | 2080 | 397 | 2477 | 413,0 | 1652,0 | 437 | 2090 | 1,00 | 20,9 | 0,794 | 1,1 |
| | 8 | 4,7×4,7 | 4 | | 2080 | 4090 | 6170 | 557,0 | 2228 | 2870 | 5099 | 2,45 | 56,3 | 1,07 | 0,702 |

3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРУП ПАЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ РІЗНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1 Аналіз розвитку осідань при зростанні навантаження за результатами розрахунків за допомогою різних програмних комплексів

Для порівняння результатів розрахунків використовувались дослідження за допомогою програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK (п. 2.1) а також проведені в даній роботі розрахунки, одержані у програмному комплексі ЛІРА-САПР 2024.

Оскільки розрахунки в програмному комплексі Plaxis виконувались кількома різними авторами, то була виконана систематизація результатів досліджень з метою акцентування на тих параметрах, які будуть використовуватись при порівнянні. В результаті складені таблиці 3.1 та 3.2, аналогічні таблицям 2.6 та 2.7. Номери груп дослідів відповідають табл. 2.2.

Для розрахунків за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK аналогічна таблиця наведена у [27].

Аналіз результатів розрахунків починаємо з верифікації стосовно залежності осідання-навантаження для одиночних паль і плит ростверків без паль, побудованої за методикою норм [18]. Відповідні залежності наведені на рис. 3.1 – 3.4.

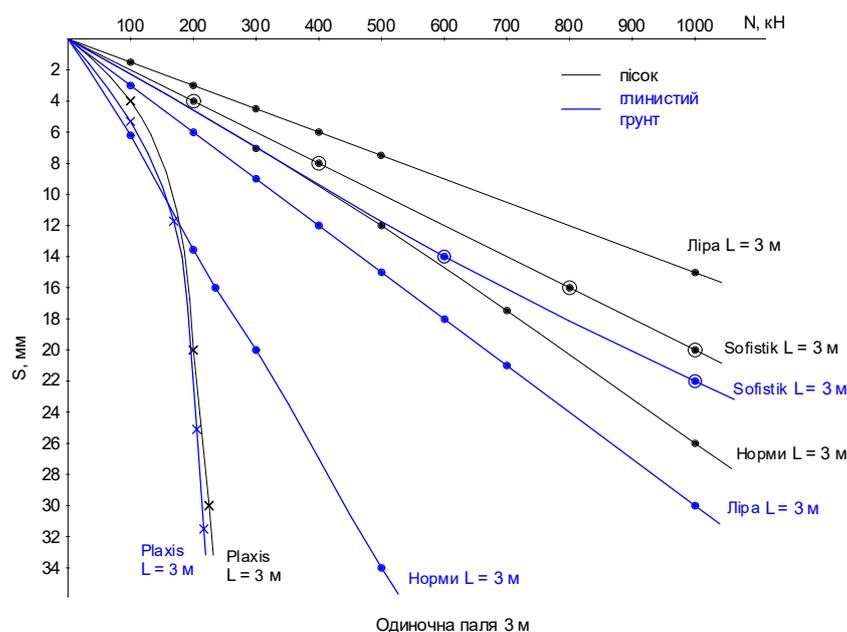


Рисунок 3.1 – Залежність осідання-навантаження для одиночних паль довжиною 3,0 м

Таблиця 3.1 - Порівняння роботи пального фундаменту у піщаному ґрунті з роботою його елементів при осіданні куща $s = 100,0$ мм за результатами розрахунку в Plaxis

| Довжина палів, мм | № групи дослідів за табл. 2.2 | Розміри ростверка, м | Кількість палів в кущі, шт | При роботі кожного з елементів як окремого | | | | При роботі у складі фундаменту | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------|--|-------------------------|--|---|--|------------------------------|--|-------------------------|---------------|---------------------|--|--|
| | | | | Несуча здатність одиночної палі, кН | Сума зусиль в палях, кН | Навантаження, що сприймається плитою ростверку без палів, кН | Навантаження на кущ, як сума окремих елементів кН | Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН | Сума зусиль в палях куща, кН | Навантаження, що сприймається ростверком, кН | Навантаження на кущ, кН | Кущовий ефект | Частка ростверку, % | Ступінь реалізації несучої здатності палів | Ступінь реалізації несучої здатності ростверку |
| 3 м | 1 | 2,4×2,4 | 9 | 415 | 3735 | 4000 | 7735 | 447,22 | 4025 | 669 | 4694 | 1,09 | 14 | 1,1 | 0,17 |
| | 2 | 2,4×2,4 | 5 | 415 | 2075 | 4000 | 6075 | 589,4 | 2947 | 1776 | 4723 | 0,73 | 38,0 | 1,4 | 0,44 |
| | 3 | 2,4×2,4 | 4 | 415 | 1660 | 4000 | 5660 | 744,75 | 2979 | 1744 | 4723 | 2,24 | 37 | 1,8 | 0,44 |
| | 4 | 3,6×3,6 | 9 | 415 | 3735 | 7000 | 10735 | 765,0 | 6885 | 1920 | 8813 | 2,47 | 22 | 1,84 | 0,27 |
| | 5 | 4,8×4,8 | 9 | 415 | 3735 | 10800 | 14535 | 853,4 | 7681 | 4178 | 11859 | 0,93 | 35 | 2,06 | 0,387 |
| 10 м | 1 | 2,4×2,4 | 9 | 1220 | 10980 | 4000 | 14980 | 683,33 | 6150 | 1914 | 8064 | 1,00 | 24,0 | 0,560 | 0,48 |
| 10 м | 2 | 2,4×2,4 | 5 | 1220 | 6100 | 4000 | 10100 | 875,8 | 4379 | 2763 | 7142 | 0,55 | 39,0 | 0,72 | 0,69 |
| 10 м | 3 | 2,4×2,4 | 4 | 1220 | 4880 | 4000 | 8880 | 978,0 | 3912 | 3000 | 6912 | 1,50 | 43,0 | 0,8 | 0,75 |
| 9 м | 4 | 3,6×3,6 | 9 | 1220 | 10980 | 7000 | 17980 | 1269,0 | 11420 | 1540 | 12960 | 1,66 | 12,0 | 1,04 | 0,22 |
| 9 м | 5 | 4,8×4,8 | 9 | 1220 | 10980 | 10800 | 21780 | 1324,0 | 11916 | 4566 | 16480 | 0,70 | 27,7 | 1,08 | 0,277 |
| 9 м | 6 | 1,5×1,5 | 4 | 1220 | 4880 | 2300 | 7180 | 982,0 | 3928 | 1204 | 5130 | 0,97 | 23,5 | 0,80 | 0,52 |
| 9 м | 7 | 1,8×1,8 | 5 | 1220 | 6100 | 3200 | 9300 | 975,0 | 4873,0 | 1413 | 6286 | 3,09 | 22,5 | 0,80 | 0,44 |
| 9 м | 8 | 3,3×3,3 | 16 | 1220 | 19520 | 6400 | 25920 | 715,0 | 11440 | 980 | 12415 | 1,15 | 7,9 | 0,590 | 0,15 |

Таблиці 3.2 - Порівняння роботи пального фундаменту у глинистому ґрунті з роботою його елементів при осіданні куша $s = 100,0$ мм за результатами розрахунку в Plaxis

| Довжина паль, мм | № групи дослідів за табл. 2.2 | Розміри ростверка, м | Кількість паль в куці, шт | При роботі кожного з елементів як окремого | | | | При роботі у складі фундаменту | | | | | | | |
|------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|--|-------------------------|---|---|--|------------------------------|--|--------------------------|---------------|---------------------|---|--|
| | | | | Несуча здатність одиночної палі, кН | Сума зусиль в палях, кН | Навантаження, що сприймається плитою ростверку без паль, кН | Навантаження на куцу, як сум окремих елементів кН | Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН | Сума зусиль в палях куца, кН | Навантаження, що сприймається ростверком, кН | Навантаження на куцу, кН | Кущовий ефект | Частка ростверку, % | Ступінь реалізації несучої здатності паль | Ступінь реалізації несучої здатності ростверку |
| 3 м | 1 | 2,4×2,4 | 9 | 310 | 2790 | 2000 | 4790 | 392,7 | 3534 | 325 | 3859 | 0,81 | 8 | 1,27 | 0,16 |
| | 2 | 2,4×2,4 | 5 | 310 | 1550 | 2000 | 3550 | 511,0 | 2555 | 1131 | 3686 | 0,45 | 31 | 1,65 | 0,57 |
| | 3 | 2,4×2,4 | 4 | 310 | 1240 | 2000 | 3240 | 665,5 | 2662 | 967 | 3629 | 1,36 | 27,0 | 2,15 | 0,48 |
| | 4 | 3,6×3,6 | 9 | 315 | 2835 | 5500 | 8335 | 654,0 | 5886 | 843,8 | 6730 | 1,50 | 12,5 | 2,08 | 0,153 |
| | 5 | 4,8×4,8 | 9 | 315 | 2835 | 7500 | 10335 | 658,5 | 5926 | 2774 | 8700 | 0,60 | 31,9 | 2,09 | 0,37 |
| 10 м | 1 | 2,4×2,4 | 9 | 600 | 5400 | 2000 | 7400 | 595,2 | 5357 | 1325 | 6682 | 1,02 | 20 | 0,99 | 0,663 |
| 10 м | 2 | 2,4×2,4 | 5 | 600 | 3000 | 2000 | 5000 | 791,6 | 3958 | 1687 | 5645 | 0,58 | 30 | 1,32 | 0,844 |
| 10 м | 3 | 2,4×2,4 | 4 | 600 | 2400 | 2000 | 4400 | 826,25 | 3305 | 1706 | 5011 | 1,40 | 34 | 1,38 | 0,853 |
| 9 м | 4 | 3,6×3,6 | 9 | 680 | 6120 | 5500 | 11620 | 1010,0 | 9090 | 1265 | 10360 | 1,12 | 12,2 | 1,49 | 0,23 |
| 9 м | 5 | 4,8×4,8 | 9 | 680 | 6120 | 7500 | 13620 | 1238,0 | 11142 | 1757 | 12900 | 0,72 | 13,6 | 1,82 | 0,234 |
| 9 м | 6 | 1,5×1,5 | 4 | 680 | 2720 | 1600 | 4320 | 765,0 | 3060 | 855 | 3915 | 0,97 | 21,8 | 1,12 | 0,53 |
| 9 м | 7 | 1,8×1,8 | 5 | 680 | 3400 | 1900 | 5300 | 768,0 | 3840,0 | 1053 | 4892 | 2,72 | 21,5 | 1,13 | 0,55 |
| 9 м | 8 | 3,3×3,3 | 16 | 680 | 10880 | 6300 | 17180 | 560,0 | 8960 | 609 | 9580 | 1,13 | 6,4 | 0,82 | 0,097 |

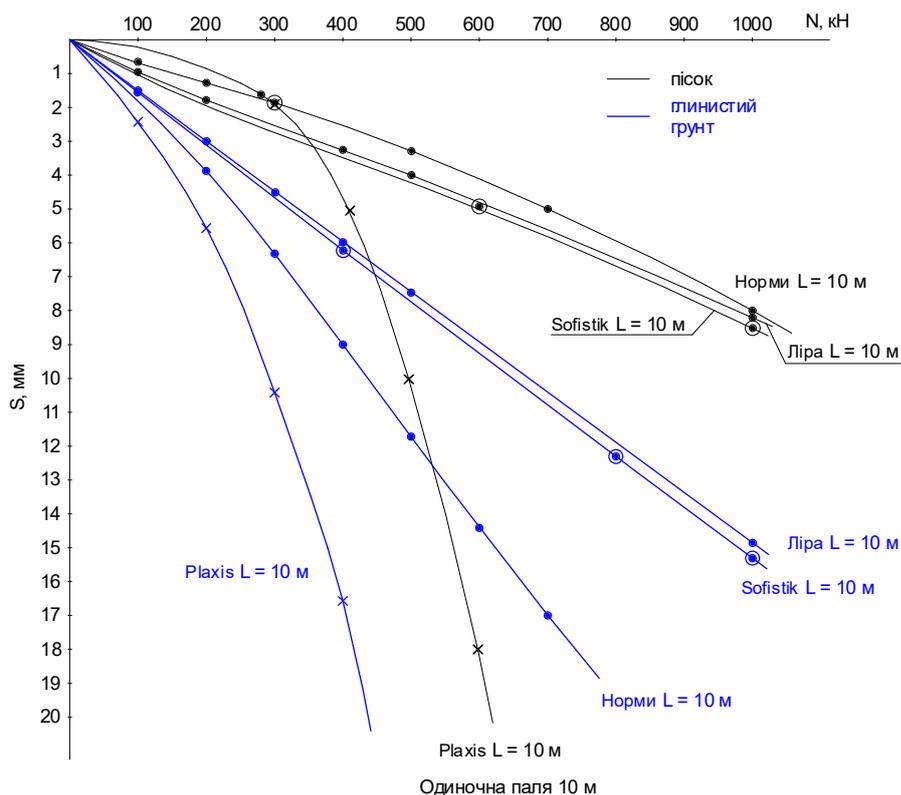


Рисунок 3.2 – Залежність осідання-навантаження для одиночних паль довжиною 10,0 м

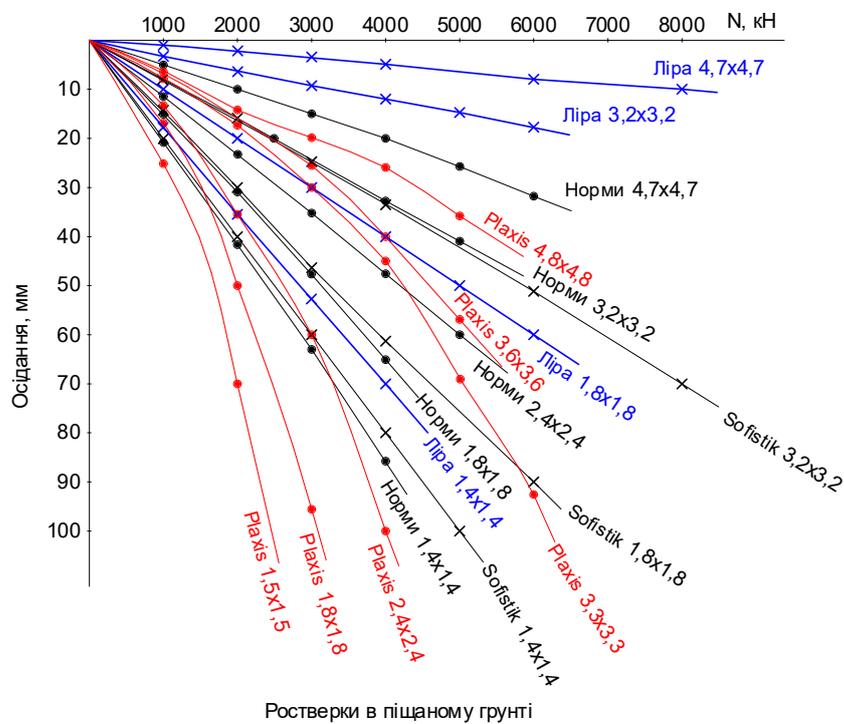


Рисунок 3.3 – Залежність осідання-навантаження для плит ростверків без паль у піщаному ґрунті

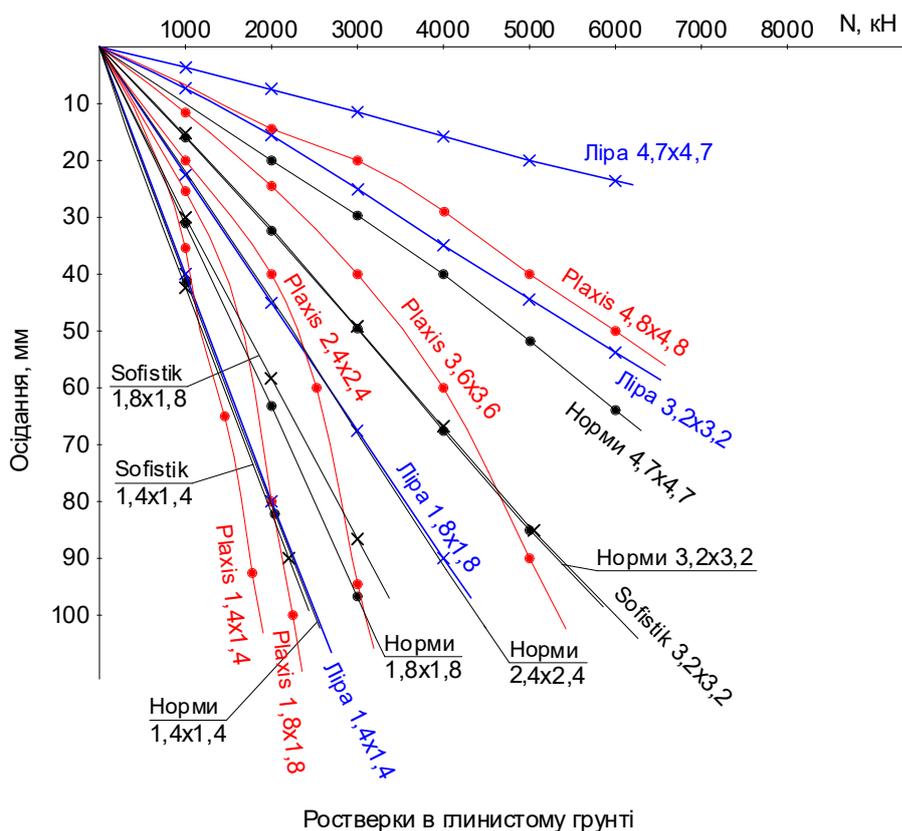


Рисунок 3.4 – Залежність осідання-навантаження для плит ростверків без паль у глинистому ґрунті

Порівняння розвитку деформацій при збільшенні навантаження показало, що у програмних комплексах SOFiSTiK та ЛІРА-САПР 2024 осідання паль менше за регламентовані нормативною методикою. Результати в програмному комплексі Plaxis враховують нелінійну роботу ґрунтового середовища і при малих значеннях деформацій наближаються до розрахунків за нормами, а при значних деформаціях показують меншу несучу здатність.

При розгляді розвитку деформацій при навантаженні ростверків без паль результати розрахунку у програмному комплексі SOFiSTiK наближаються до методики норм, деформації в ЛІРА отримуються меншими, а при використанні Plaxis при значних деформаціях стають більшими за нормативні.

Тут треба мати на увазі, що розрахунки за нормами рідко збігаються з дослідними даними випробування паль [30]. Осідання одиночних паль під дією навантаження, рівного несучій здатності ґрунту її основи F_d , визначені за рекомендаціями чинних норм, у більшості випадків перевищують дослідні на величину 20 -200%. Для довгих

паль на піщаних ґрунтах теоретичні значення осідань занижені. Метод умовного фундаменту переважно дає завищені значення осідань на початкових стадіях навантаження палі, але при наближенні до граничного значення навантаження дає прийнятні для практики прогнози величини осідання.

Таким чином порівняння результатів моделювання з методикою норм має лише орієнтовний характер.

На рис. 3.5, 3.6 наведено порівняння розвитку деформацій окремих палих фундаментів, визначених в різних програмних комплексах.

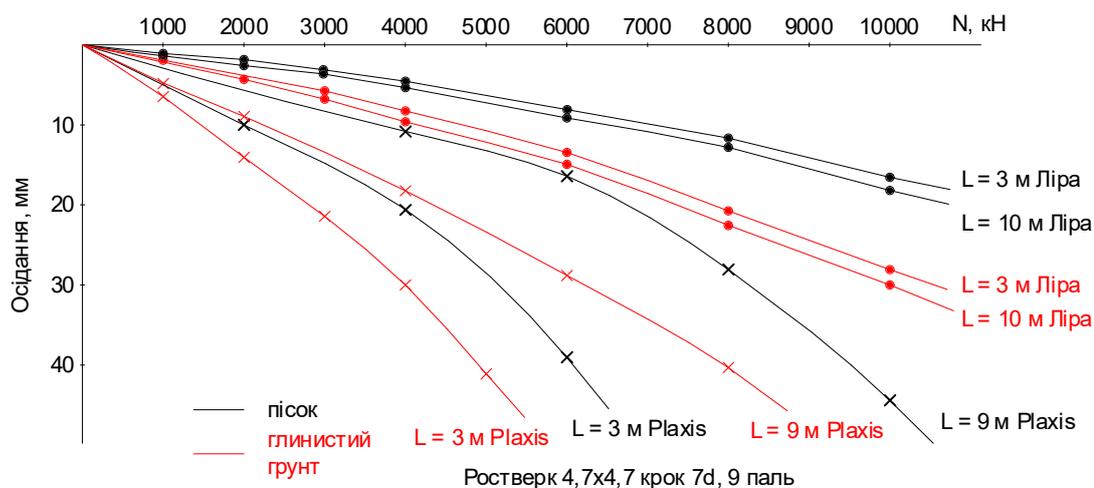


Рисунок 3.5 – Залежність осідання-навантаження для пального фундаменту з 9 палей, розміщених з кроком 3d (розміри ростверка 4,7x4,7 м)

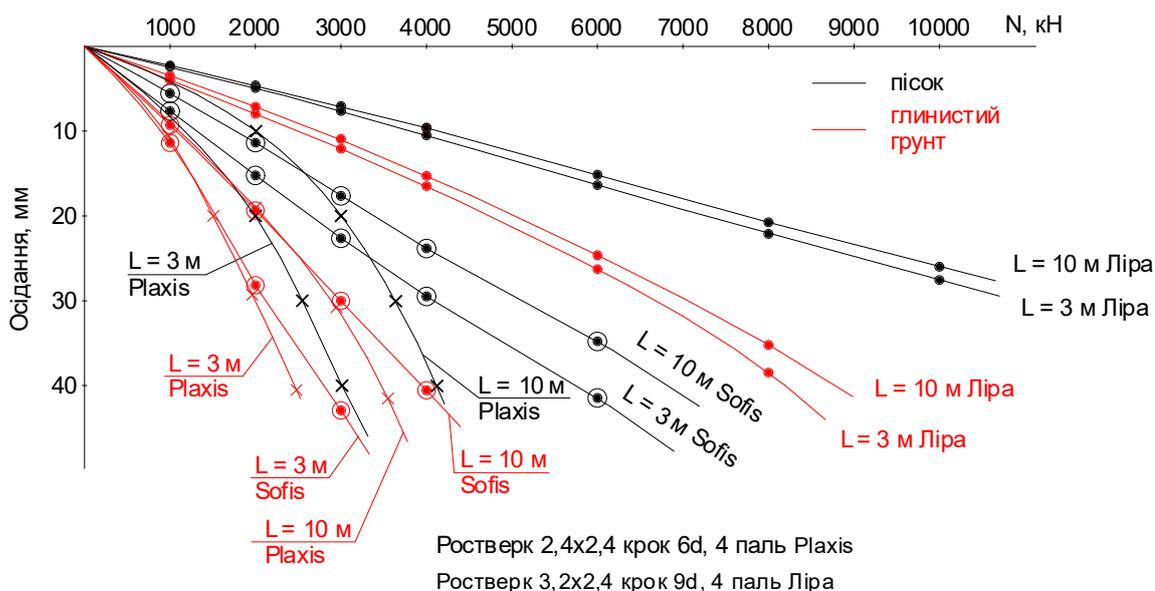


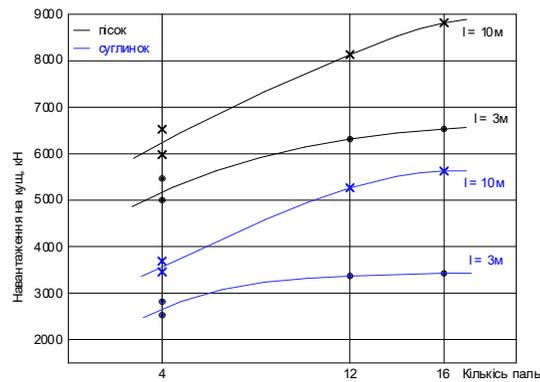
Рисунок 3.6 – Залежність осідання-навантаження для пального фундаменту з 4 палей, розміщених з кроком 6d (розміри ростверка 2,4x2,4 м) при моделюванні в Plaxis, з кроком 9d (розміри ростверка 3,2x3,2 м) при моделюванні в SOFiSTiK та Лірі

Бачимо, що і для пальових груп моделювання в Лірі дає менші значення деформацій, а моделювання в Plaxis – більші. Відповідно для визначення несучої здатності паль і пальових фундаментів (навантаження на куц при певному значенні деформацій) були обрані різні критерії, як вже було зазначено раніше.

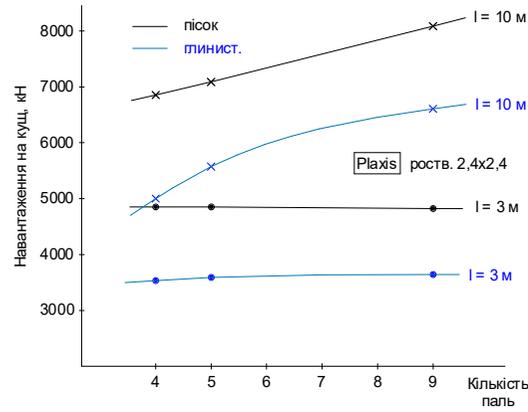
Для порівняння навантаження на куц, визначеного за різними методиками, на рис. 3.7 – 3.9 наведені графіки залежності цих навантажень від кількості паль в групі при сталих розмірах ростверка і від площі ростверка при сталій кількості паль в групі.

Як видно з графіків рис. 3.7 – 3.9 Навантаження на групу паль за різними програмними комплексами знаходиться в одному діапазоні.

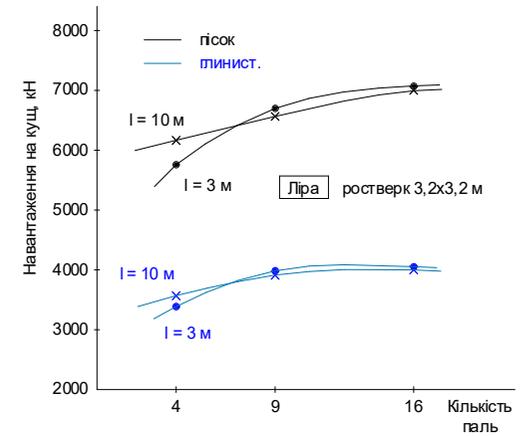
Аналіз результатів розрахунків показує, що збільшення кількості паль у 3-4 рази у межах постійної площі ростверка призводить до незначного збільшення навантаження, яке сприймає фундамент, а саме у 1,0 -1,3 разів для триметрових паль і у 1,3-1,7 разів для десятиметрових. Це свідчить про більш ефективне використання паль при застосуванні комбінованого варіанта пальового фундаменту, коли можна зменшити кількість паль в межах сталого розміру ростверка без значної втрати несучої здатності. Більший ефект виникає для коротких паль. З графіків також можна зробити висновок, що для глинистого, більш піддатливого ґрунту, ефективність зменшення кількості паль дещо менша. Вказані закономірності є однаковими при моделюванні в різних програмних комплексах.



SOFiSTiK, ростверк 3,2×3,2 м

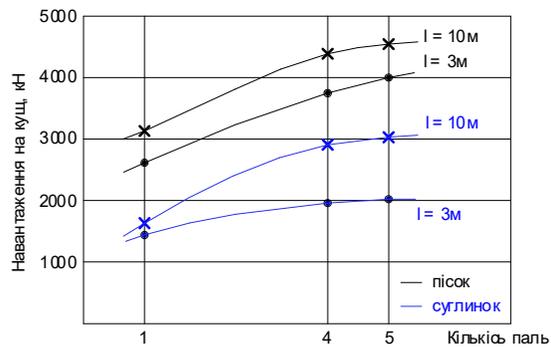


Plaxis, ростверк 2,4x2,4 м

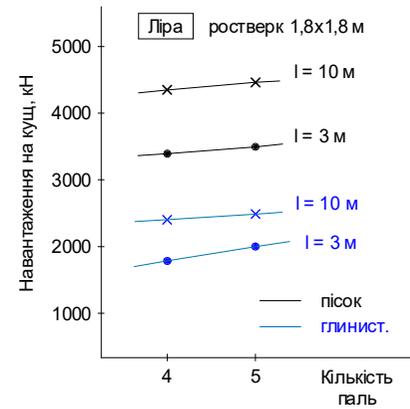


Ліра, ростверк 3,2×3,2 м

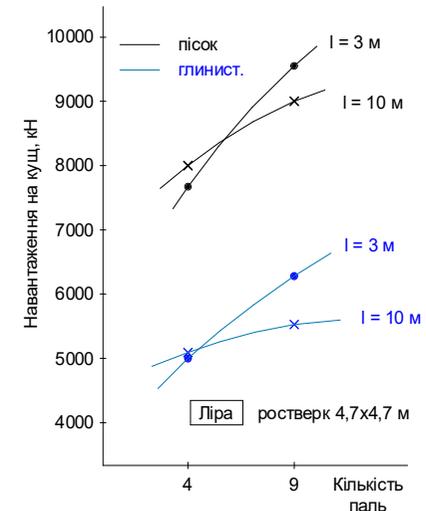
Рисунок 3.7 – Графіки залежності навантаження на куцц з від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів



SOFiSTiK, ростверк 1,8×1,8 м



Ліра, ростверк 1,8×1,8 м



Ліра, ростверк 4,7×4,7 м

Рисунок 3.8 – Графіки залежності навантаження на куцц з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів

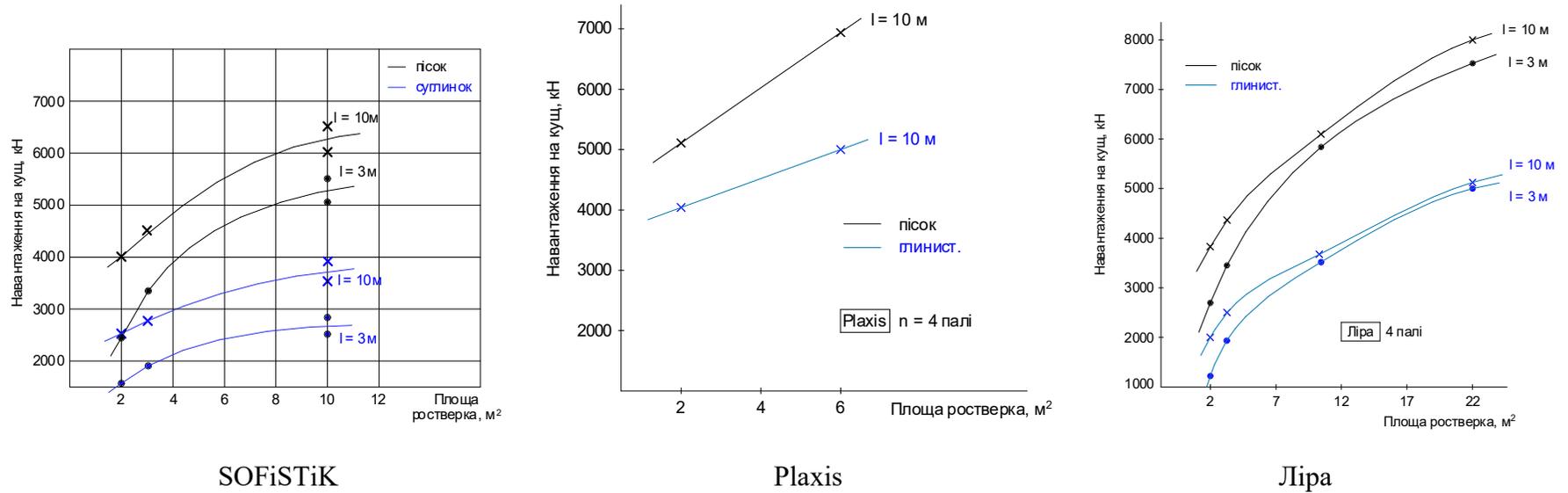


Рисунок 3.9 – Графіки залежності навантаження на куцц з 4 палі від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині

паль

3.2 Аналіз розподілу зусиль між елементами пального фундаменту за результатами розрахунків за допомогою різних програмних комплексів

У таблицях 2.6, 2.7, 3.1, 3.2 та аналогічних таблицях для програмного комплексу SOFiSTiK наведені порівняння суми несучих здатностей паль як одиночних з навантаженням, яке сприймає група паль з низьким ростверком. Кущовий ефект (відношення навантаження на групу до суми несучих здатностей одиночних паль) зростає при зменшенні кількості паль при сталому розмірі ростверка. Це закономірно, адже в роботу з ґрунтом втягується подошва ростверка. Цей ефект кращий у піщаних ґрунтах. Результати розрахунків за всіма програмними комплексами підтверджують раніше доведений [29] висновок, що несучу здатність пального фундаменту не можна оцінювати як суму несучих здатностей паль та плити ростверка, як фундаменту мілкого закладання. Така оцінка дає помилково завищений результат, оскільки і палі, і ростверк реалізують себе у складі пального фундаменту не в повній мірі.

Паля у складі групи поступово включається у роботу (зростає не тільки навантаження на палю, а і ступінь її реалізації) і при значних значеннях осідання може сприймати навантаження, що перевищує несучу здатність одиночної палі.

Зазвичай при аналізі роботи елементів пального фундаменту в групі розглядають такі показники:

- частка ростверку у навантаженні, яке сприймає фундамент;
- ступінь реалізації несучої здатності паль (у порівнянні з несучою здатністю одиночної палі);
- ступінь реалізації тиску під ростверком (у порівнянні з тиском, що виникає під ростверком без паль при такому ж значенні осідання).

В таблицях 2.6, 2.7, 3.1, 3.2 та аналогічних таблицях для програмного комплексу SOFiSTiK наведені означені показники при різних розмірах ростверка, довжини та кількості паль та виду ґрунту.

На рис. 3.10 - 3.12 наведені графіки залежності частки ростверку у несучій здатності фундаменту в залежності від кількості паль при сталих розмірах ростверка та від площі ростверка при сталій кількості паль. Як бачимо частка ростверку у несучій здатності фундаменту тим менше, чим більше кількість паль при постійному розмірі ростверка. Довжина паль впливає на частку ростверку несуттєво. Ці якісні результати однакові при розрахунках в різних програмних комплексах. Відмінність полягає у впливі виду ґрунту на частку ростверка. Для SOFiSTiK і Plaxis у піщаних ґрунтах частка ростверку дещо більша, ніж для глинистих, за результатами розрахунку у Лірі – навпаки.

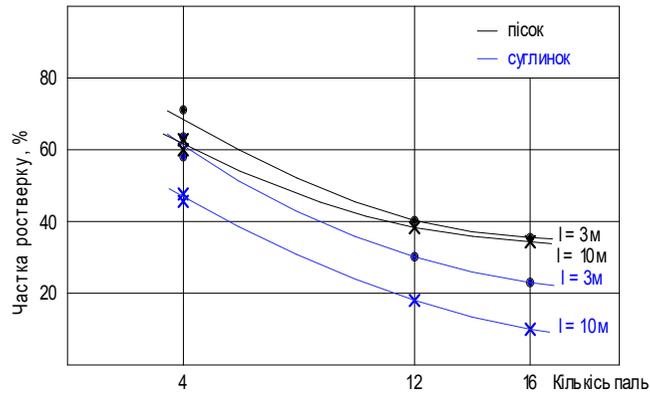
При фіксованій кількості паль збільшення площі ростверка призводить до суттєвого збільшення його частки у навантаженні на куш. Тут якісна картина залежностей також однакова для різних програмних комплексів.

На рис. 3.13 – 3.15 наведені графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у складі палювих фундаментів.

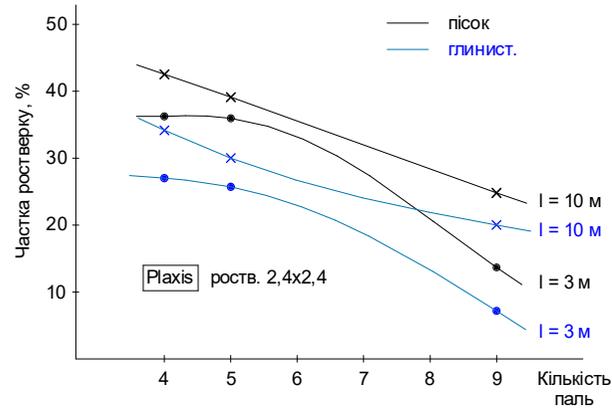
Як бачимо з таблиць і рисунків, із збільшенням кількості паль у групі при сталих розмірах ростверка палі реалізують себе гірше.

При великій кількості паль ступінь реалізації їх несучої здатності за результатами розрахунків у SOFiSTiK та Ліра коливається в діапазоні 0,3-0,6, при незначній кількості відповідно в діапазоні 0,5-1,1. При розрахунках у програмному комплексі Plaxis відповідні діапазони вищі: 0,6-1,3 при великій кількості паль та 0,9-2,1 при незначній кількості.

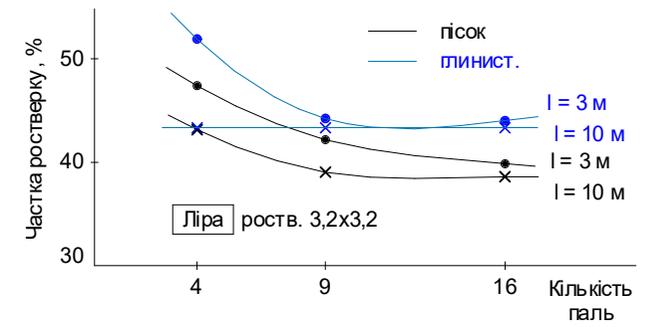
При сталій кількості паль збільшення площі ростверка призводить до незначного покращення ступеню реалізації довгих паль і мало впливає на реалізацію коротких паль. Є відмінності у кількісних показниках при переході від малої площі ростверка (2 м^2) до ростверків з більшою площею. Для результатів у Plaxis та Лірі ця відмінність має місце, а за результатами у SOFiSTiK ступінь реалізації паль при їх сталій кількості при збільшенні площі ростверка змінюється несуттєво.



SOFiSTiK (ростверк 3,2x3,2)

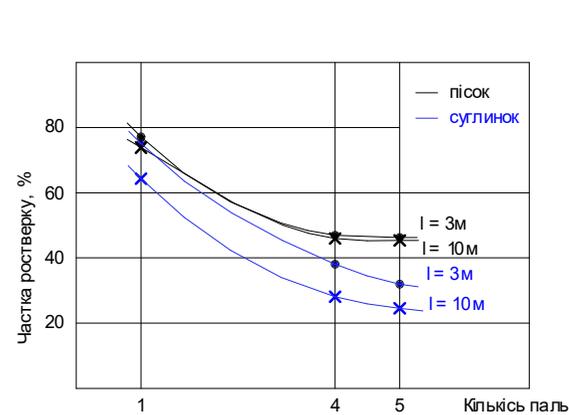


Plaxis

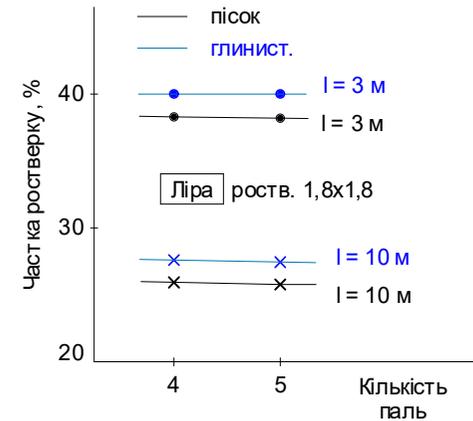


Ліра

Рисунок 3.10 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з ростверком 3,2×3,2 м (2,4×2,4 м для Plaxis) від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів

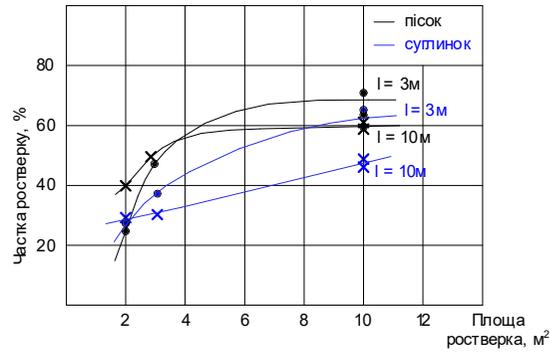


SOFiSTiK

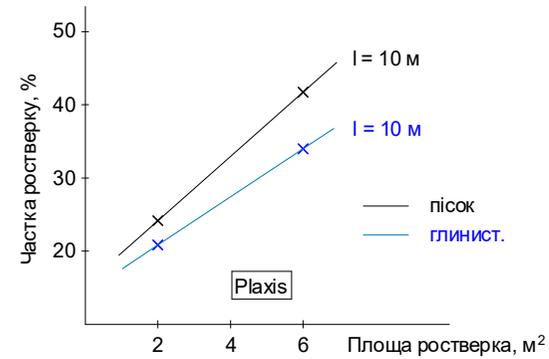


Ліра

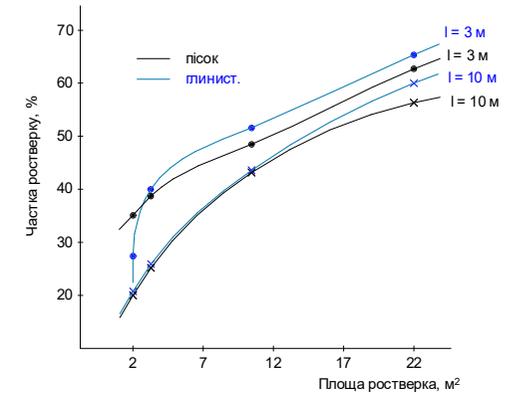
Рисунок 3.11 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м² від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів



SOFiSTiK

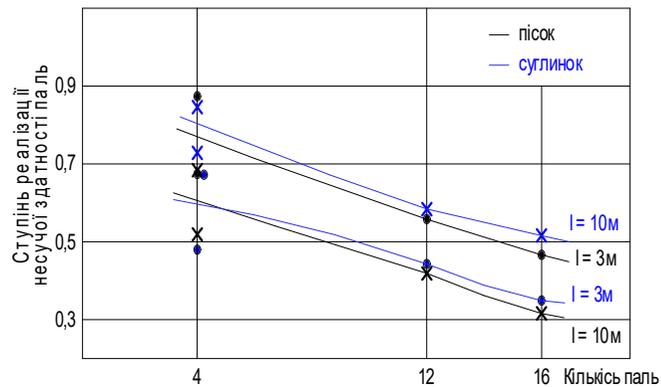


Plaxis

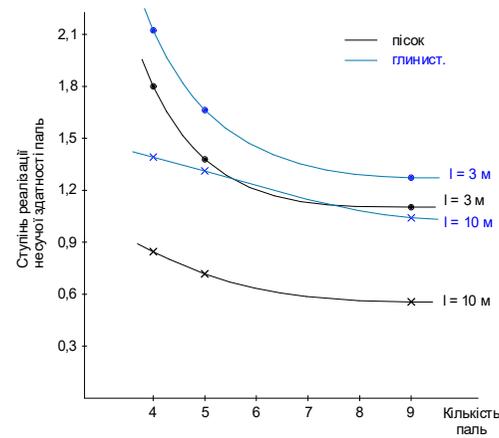


Ліра

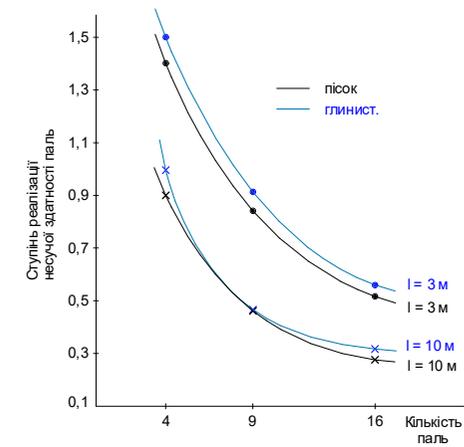
Рисунок 3.12 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куш з 4 палів від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині палів



SOFiSTiK

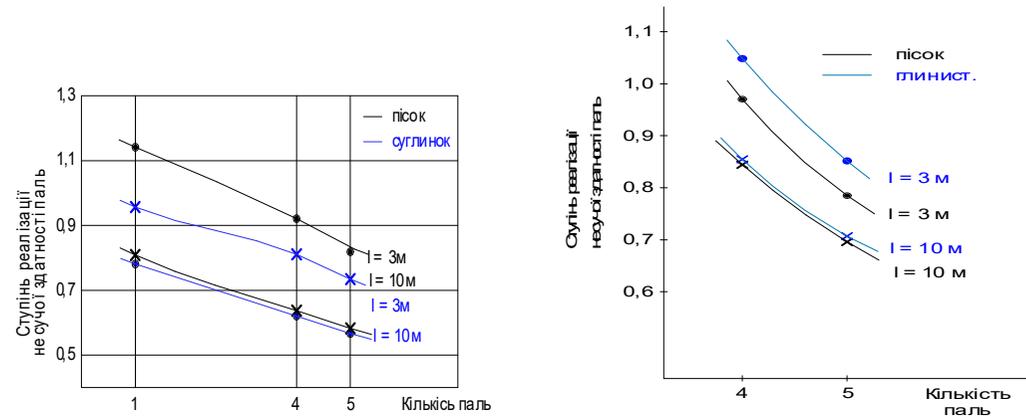


Plaxis (ростверк 2,4x2,4 м)



Ліра

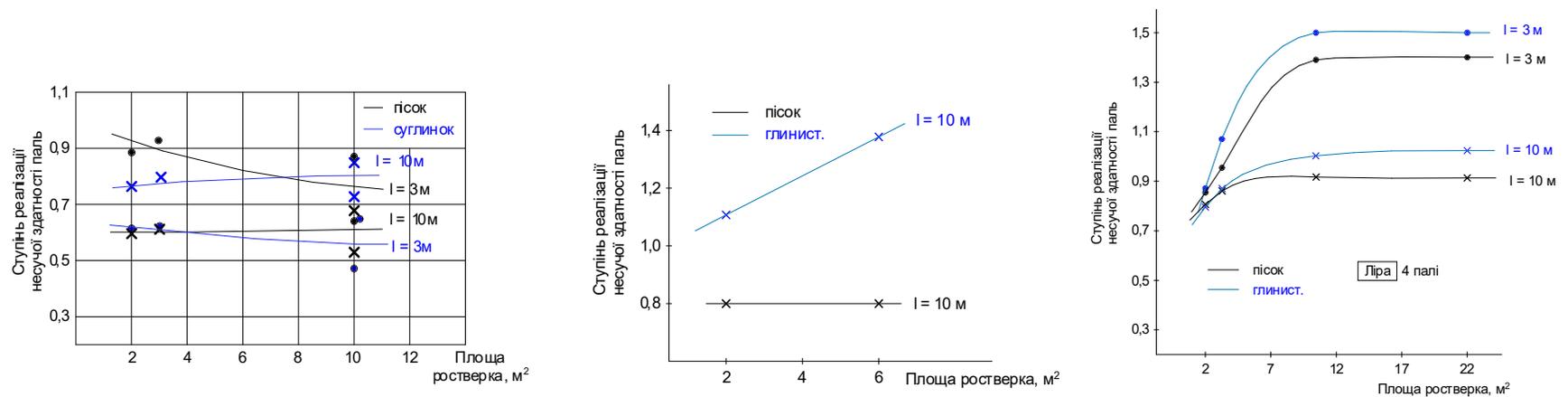
Рисунок 3.13 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності палів у кущі з ростверком $3,2 \times 3,2 = 10,24 \text{ м}^2$ від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів



SOFiSTiK

Ліра

Рисунок 3.14 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності палів у куці з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів



SOFiSTiK

Plaxis

Ліра

Рисунок 3.15 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності палів у куці з 4 палів від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині палів

Довжина паль також впливає на ступінь їх реалізації. Короткі палі показують кращу реалізацію при розрахунках у всіх програмних комплексах (виключення складають палі у глинистих ґрунтах за розрахунками у SOFiSTiK).

В глинистих ґрунтах палі реалізують себе краще за результатами розрахунків у всіх програмних комплексах.

Зміна ступеню реалізації тиску під ростверком наведена на рис. 3.16 – 3.18.

Як бачимо з таблиць і рисунків, із збільшенням кількості паль у групі при сталих розмірах ростверка тиск під ростверком реалізується менше.

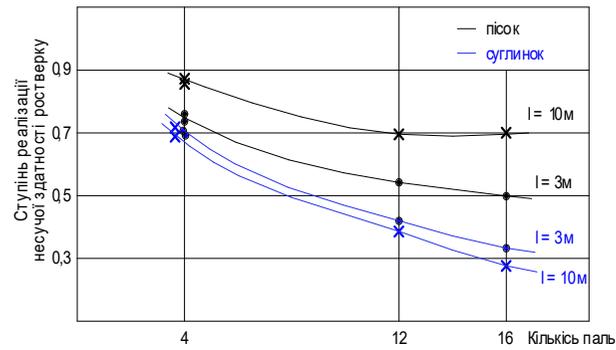
При великій кількості паль ступінь реалізації тиску під ростверком за коливається в діапазоні 0,3-1,1, при незначній кількості відповідно в діапазоні 0,5-1,0.

При сталій кількості паль збільшення площі ростверка призводить до покращення його ступеню реалізації за результатами розрахунків у SOFiSTiK та Plaxis. При розрахунках у Лірі збільшення площі ростверка погіршує його реалізацію.

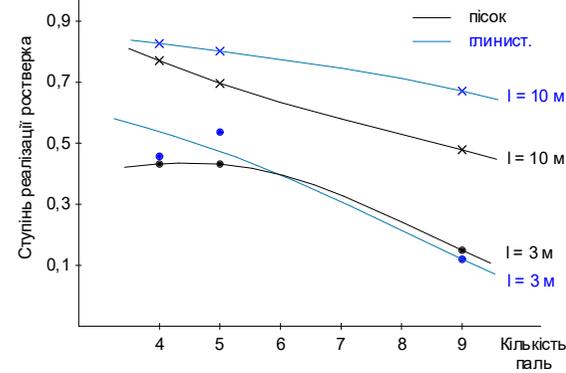
Довжина паль також впливає на ступінь реалізації ростверку. При використанні коротких паль ступінь реалізації ростверка зменшується за результатами розрахунків у SOFiSTiK та Plaxis. При розрахунках у Лірі – навпаки.

В глинистих ґрунтах ростверки реалізують себе краще за результатами розрахунків у Plaxis та Лірі. При розрахунках у SOFiSTiK ростверки краще реалізуються у піщаних ґрунтах.

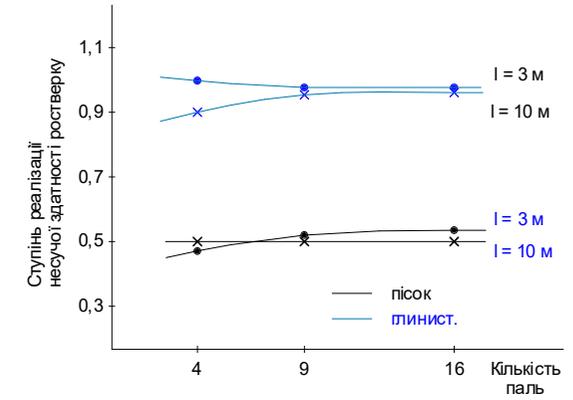
Для порівняння аналізованих показників з результатами фізичного експерименту на маломасштабних моделях на рис. 3.19 наведені відповідні залежності згідно з [22]. Фізичний експеримент на піщаному ґрунті показав дещо кращі результати щодо включення у роботу ростверку та паль, але якісний характер залежностей підтверджується математичним моделюванням незалежно від виду програмного комплексу.



SOFiSTiK

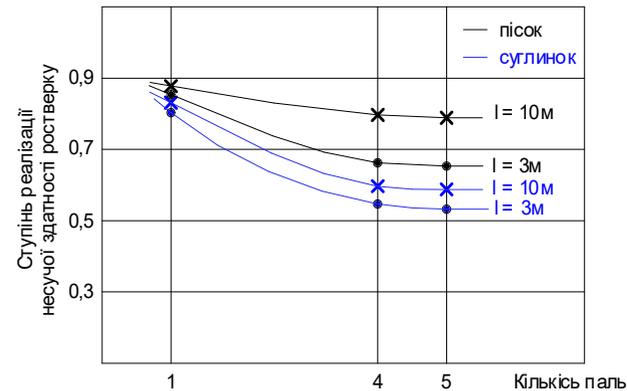


Plaxis (ростверк 2,4x2,4)

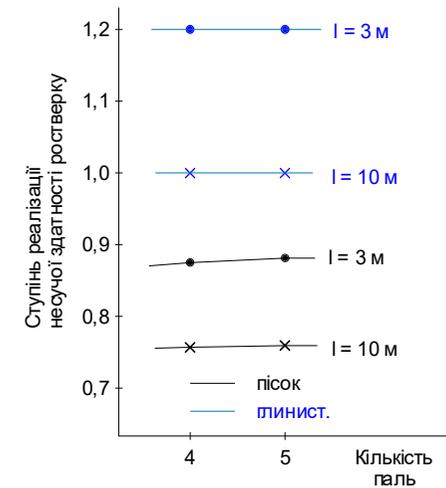


Ліра

Рисунок 3.16 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у куці з ростверком 3,2x3,2 м від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів



SOFiSTiK



Ліра

Рисунок 3.17 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у куці з ростверком 1,8x1,8 = 3,24 м² від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів

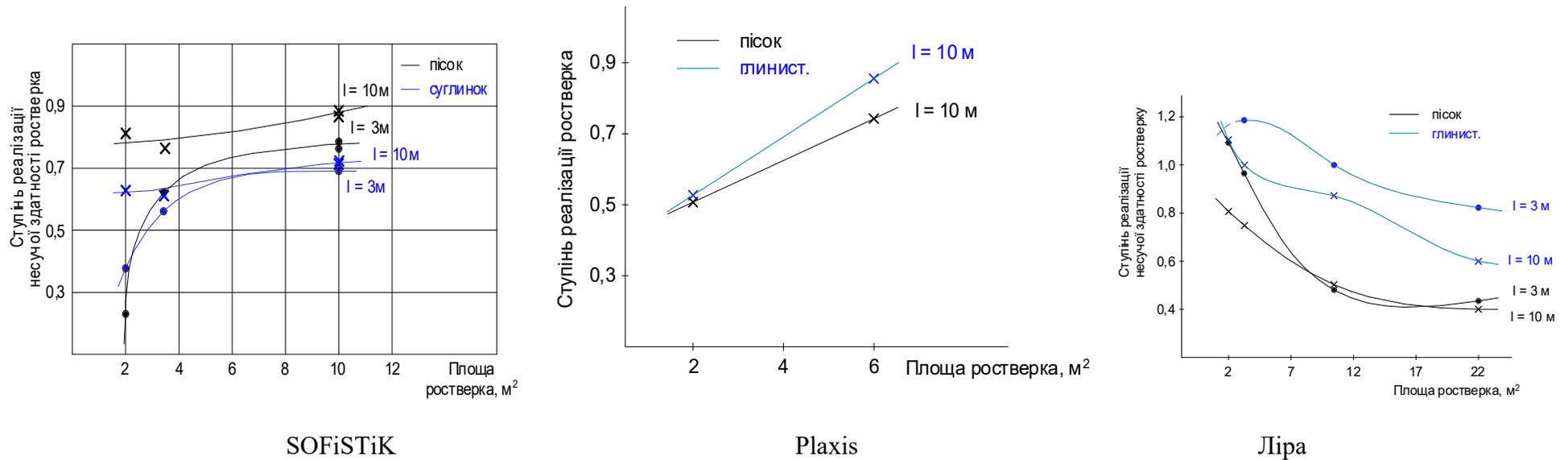


Рисунок 3.18 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у куці з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль

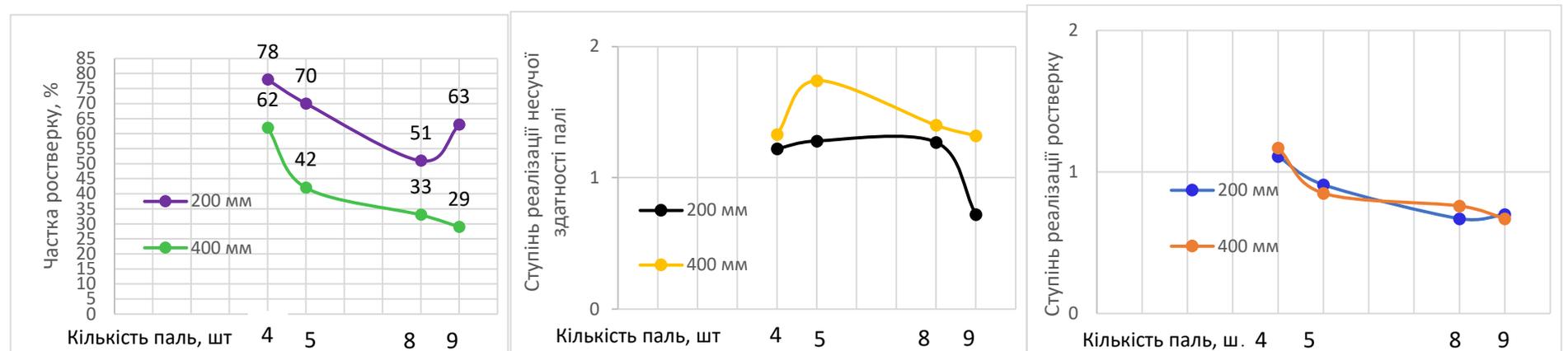


Рисунок 3.19 – Графік залежності частки ростверку, ступеня реалізації несучої здатності паль та ступеня реалізації ростверку у пал'овому фундаменті з різною довжиною та кількістю паль при сталому розмірі ростверку за результатами маломштабного фізичного експеримента [22]

Висновки за розділом 3

1. Математичне моделювання за допомогою різних програмних комплексів в цілому дозволяє зробити однакові висновки в якісній картині розподілу зусиль між палями і ростверком.

2. Характер розподілу напружень і переміщень по подошві ростверка при використанні різних програмних комплексів виявився аналогічним. А саме, найбільше осідання спостерігається в місці прикладання зосередженого навантаження від колони посередині ростверка. Найбільші напруження під подошвою ростверка спостерігаються в зоні його периметру. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану якісно відповідають відомим результатам попередніх дослідників.

3. Для визначення критерія несучої здатності груп пальь були виконані ручні розрахунки несучої здатності і осідань пальових фундаментів, пальь і ростверків у відповідних ґрунтах за вимогами норм. Результати розрахунків показали, що критерієм визначення навантаження, яке сприймає група пальь, для розрахунків в різних програмних комплексах слугують різні значення переміщень:

- для програмного комплексу Ліра - осідання 15 мм.
- при використанні програмного комплексу SOFiSTiK таким критерієм була деформація 40 мм,
- при використанні програмного комплексу Plaxis – 100 мм.

4. Всі програмні комплекси дозволили зробити висновок, що при сталих розмірах ростверка основними чинниками, що впливають на ступінь реалізації несучої здатності пальового фундаменту, є кількість пальь, їх крок і вид ґрунту. Збільшення кількості пальь, яке призводить до збільшення компактності їх розміщення, спричинює неповне використання роботи ростверка і пальь. При сталій кількості пальь збільшення площі ростверка збільшує реалізацію його несучої здатності.

5. Якісні результати оцінки таких параметрів, як частка ростверку у навантаженні на фундамент, ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверків однакові при розрахунках в різних програмних комплексах. Але кількісні діапазони зміни означених параметрів відрізняються. При наявності результатів розрахунків у кількох програмних комплексах слід дотримуватись обережних оцінок на мінімальній межі.

6. Жоден з програмних комплексів не дозволяє достовірно визначити кількісні параметри розподілу зусиль між елементами пальового фундаменту. Для підтвердження кількісних параметрів необхідний фізичний експеримент.

4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Архітектурно-будівельні рішення

В технічній частині МКР з метою впровадження результатів наукової розробки розглянута будівля центру надання послуг населенню по вул. Пирогова в м. Вінниця.

4.1.1 Рішення генерального плану

Ділянка, відведена під будівництво, прийнята відповідно до проєкту планування і забудови м. Вінниця. Ділянка розміщена в житловій зоні міста з існуючими будівлями, які підлягають знесенню.

Ділянка забудови має прямокутну форму і межує:

- з півдня – вул. Пирогова;
- з інших сторін - приватними ділянками з одно- та двоповерховими житловими спорудами,

Ділянка території в запроектованих межах складає 0,42 га. Будівельний майданчик характеризується спокійним рельєфом.

Генеральним планом передбачається будівництво центру надання послуг населенню, влаштування спортивного і літнього майданчиків, ділянок з твердим покриттям та озеленення території.

Запроектована будівля розміщуються на відстані 23,6 м від червоної лінії забудови.

Крім основної споруди на ділянці передбачена стоянка для машин.

Біля будівлі, що проєктується, передбачено влаштування урн для сміття, квітників. Також передбачається огорожа.

В'їзд на територію здійснюється з існуючої вулиці Пирогова. Відстань між спорудами, що проєктуються та оточуючими будівлями прийнята з дотриманням санітарних та протипожежних норм.

При проєктуванні передбачено озеленення благоустрій ділянки.

Проект вертикального планування будівельного майданчика виконаний на основі розробленого генерального плану та інженерно-геологічних вишукувань.

Рельєф ділянки спокійний, з схилом у південно-західному напрямку. Інженерні мережі в плані будівництва відсутні.

Відведення поверхневих вод передбачено відкритого типу. І здійснюється спланованими площинами, і лотками, утвореними проїжджою частиною та бортом. Дошові та талі води скидаються на проїзд і далі на вулицю Пирогова.

Для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог та полегшення розвантаження товарів, а також нормального руху транспортних засобів та пішоходів передбачається під'їзд транспорту до стоянки та до самої будівлі, підхід до входів, улаштування асфальтобетонного покриття на вїзді та стоянці та тротуарної плитки на пішохідних доріжках.

Для під'їзду пожежних машин передбачено під'їзд та використовується існуюча вулиця згідно із пожежними вимогами.

Таблиця 4.1 – Показники по генплану

| № зп | Найменування показників | Одиниці виміру | Кількість |
|------|-----------------------------------|----------------|-----------|
| 1 | Комерційна площа ділянки | м ² | 3500,0 |
| 2 | Площа ділянки благоустрою | м ² | 760,0 |
| 3 | Загальна площа ділянки | м ² | 4200,0 |
| 4 | Щільність забудови | % | 16,2 |
| 5 | Площа ділянок з твердим покриттям | м ² | 1247,3 |
| 6 | Площа озеленення | м ² | 1286,0 |

4.1.2 Архітектурно-планувальні рішення

Основні принципи об'ємно-планувальної структури.

Центр надання послуг населенню запроєктовано за індивідуальним проектом.

Перший поверх запроєктованої будівлі прямокутної форми в плані з розмірами в осях 21,0x24,0 м, висота поверху 3 м. Будівля 4-х поверхова з підвальним та мансардним поверхами.

На першому та другому поверхах розміщено магазин продовольчих товарів, кабінет завідуючого, приміщення охорони, кімната персоналу, вестибюль та

побутові приміщення. На третьому та четвертому поверхах розміщено нічний клуб та бар-ресторан. На мансардному поверсі розміщене кафе з відкритою терасою. В будівлі запроектовано 2 входи, 2 сходові клітини, 2 пасажирських ліфти.

Будівля має підвальний поверх, де розміщені приміщення магазину. Підвальний поверх може бути використаний для облаштування укриття [31].

Передбачені пандуси для людей з обмеженими фізичними можливостями [32].

4.1.3 Архітектурно-конструктивні рішення

Розрахункова схема складається з основної схеми, до якої входять елементи каркасу (монолітні колони, плити перекриття, сходові клітки та ліфтові шахти, які служать діафрагмами жорсткості). Просторова жорсткість забезпечується сумісною роботою цих вертикальних та горизонтальних елементів.

Фундаменти – пальові стовпчасті та стрічкові та фундаментні блоки шириною 400 мм, що також слугують стінами підвального поверху.

Колони – монолітні залізобетонні перерізом 400х400 мм.

Перекриття – монолітне залізобетонне товщиною 200 мм.

Покриття – дерев'яні кроквяні системи.

Покрівля - з бітумної черепиці зі суцільним приклеюванням по суцільним латам. Утеплення мінераловатними плитами. Товщина утеплювача 350 мм.

Зовнішні стіни – газобетонні блоки товщиною 375 мм.

Внутрішні стіни - з цегли керамічної КРПВ-1/75/1650/25 по ДСТУ Б.В. 2.7-61-97 на розчині М50 в місцях розташування вентиляційних каналів.

Перегородки – з цегли керамічної КРПВ-1/75/1650/25 по ДСТУ Б.В. 2.7-61-97 на розчині М50 товщиною 120 мм та з пазогребневих вологостійких гіпсових плит "Кнауф".

Сходові марші та площадки – монолітні залізобетонні.

Ліфтові шахти – монолітні залізобетонні товщиною 400 мм.

У таблиці 4.2 подана специфікація збірних залізобетонних елементів. У таблиці 4.3 – специфікація заповнення прорізів.

Таблиця 4.2 – Специфікація залізобетонних елементів

| Позиц. | Позначення | Найменування | Кількість | Маса один., кг | При- мітка |
|-----------|------------------------|--------------|-----------|-------------------|---------------|
| Перемички | | | | | |
| 1 | Серія 1.038.1-1 вип. 1 | 2ПБ 19-3п | 81 | 81 | |
| 2 | Серія 1.038.1-1 вип. 1 | 1ПБ 13-1 | 102 | 25 | |
| 3 | Серія 1.038.1-1 вип. 1 | 3ПБ 21-8п | 78 | 136 | |

Таблиця 4.3 - Специфікація елементів заповнення прорізів

| Марка поз. | Найменування | Розміри | Кількість | Примітки |
|------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Вікна | | | | |
| ВК1 | Індивідуальні металопластикові | 2500х1600 | 6 | |
| ВК2 | Індивідуальні металопластикові | 1500х1600 | 27 | |
| ВК3 | Індивідуальні металопластикові | 1500х600 | 11 | |
| ВК4 | Індивідуальні металопластикові | 1400х2900 | 32 | |
| ВК5 | Індивідуальні металопластикові | 900х3000 | 8 | |
| ВК6 | Індивідуальні металопластикові | 900х3300 | 117 | |
| Двері | | | | |
| Д1 | Індивідуальні металопластикові | 1800х2100 | 2 | |
| Д2 | Індивідуальні металопластикові | 1400х2100 | 4 | |
| Д3 | Індивідуальні металопластикові | 1200х2100 | 30 | |
| Д4 | Індивідуальні металопластикові | 900х2100 | 29 | |
| Д5 | Індивідуальні металопластикові | 700х2100 | 16 | |

Вікна, двері – металопластикові.

Підлога – керамічна плитка, паркет.

По периметру будівлі виконується асфальтобетонне вимощення.

4.1.4 Зовнішнє та внутрішнє оздоблення

У таблиці 4.4 наведені відомості про зовнішнє оздоблення будівлі.

Внутрішнє опорядження передбачає оштукатурення стін цементно-піщаним розчином. Оштукатурені поверхні шпаклюються, ґрунтуються і фарбуються водоемульсійними фарбами.

Стелі виконуємо із підвісних плит “ARMSTRONG”.

Таблиця 4.4 – Зовнішнє оздоблення будівлі

| № | Найменування | Вид оздоблення | Примітки |
|---|--------------------|------------------|----------|
| 1 | Цоколь | Керамічна плитка | |
| 2 | Стіни зовнішні | Штукатурка | |
| 3 | Вікна, двері | Металопластик | |
| 4 | Піддашок (козирок) | Металопластик | |
| 5 | Вхідні двері | Металопластик | |

Підлоги влаштовуємо на коридорах з керамічної плитки «Eurogres», та дерев'яного паркету в кабінетах та ресторані. У таблиці 4.5 подана експлікація підлог.

Таблиця 4.5 – Експлікація підлоги

| Номер приміщення | Тип підлоги | Схема підлоги за серією | Дані елементів підлоги | Площа, м ² |
|------------------|-------------|-------------------------|--|-----------------------|
| 2-12 | 1 | | 1. Плитка керамічна; 2. Прошарок і заповнення швів сумішшю CERESIT CM – 8 мм; 3. Стяжка з цем.-піщ. розчину М200 – 20 мм, ; 4. Теплоізоляція керамзитобетонна-60мм; 5. Плита перекриття; | 431,96 |
| | 2 | | 1. Паркет - 15 мм; 2. Мастика клеюча; 3. Стяжка з цементно-піщаного розчину М150 – 20 мм; 4. Шар руберойду; 5. Теплоізоляція керамзитобетонна-60мм; 6. Плита перекриття. | 16,13 |

4.1.5 Визначення термічного опору теплопередачі зовнішньої стіни

Визначаємо фактичний термічний опір теплопередачі і коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни будівлі, що будується в м. Вінниця.

Розрахунок проводимо, враховуючи наступні характеристики:

- вологісний режим приміщень будівлі – нормальний;
- зона вологості – нормальна;
- умови експлуатації огорожувальної конструкції – Б;
- характеристики конструктивних шарів зовнішньої стіни (рис. 4.1):

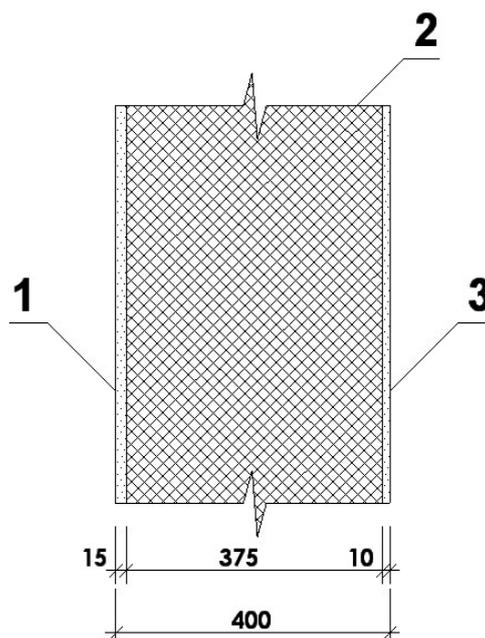


Рисунок 4.1 – Конструкція зовнішньої стіни

1. Декоративна штукатурка (вапняно-піщаний розчин): $\rho=1800\text{кг/м}^3$; $\lambda=0,81$ Вт/(м·К);

2. Газобетонні блоки: $\rho=600\text{кг/м}^3$; $\lambda=0,12$ Вт/(м·К);

3. Внутрішня штукатурка (цементно-піщаний розчин): $\rho=1800\text{кг/м}^3$; $\lambda=0,93$ Вт/(м·К).

Місто Вінниця знаходиться у I температурній зоні України, де нормований термічний опір теплопередачі, для опалювальних будівель повинен бути:

$$R = 4 \text{ м}^2\text{К/Вт.}$$

Підраховуємо фактичний загальний термічний опір теплопередачі стіни за формулою:

$$R_3^{\text{факт}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} \quad (4.1)$$

$$R_3^{\text{факт}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,375}{0,12} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,3 (\text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{Вт}) < R_p^{\text{норм}} = 4,0 (\text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{Вт})$$

де $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 (\text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{Вт})$ - коефіцієнт теплопередачі на внутрішній поверхні стіни;

$\alpha_3 = 23 (\text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{Вт})$ - коефіцієнт теплопередачі на зовнішній поверхні стіни.

Оскільки термічний опір недостатній, потрібне встановлення зовнішнього утеплення. Приймаємо для утеплення шар мінеральної вати товщиною 50 мм.

Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати $\lambda_4 = 0,043 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$. Опір теплопередачі $R = 0,05/0,043 = 1,16 (\text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{Вт})$.

Отже сумарний опір теплопередачі стіни $R_{\text{заг}} = 3,3 + 1,16 = 4,46 (\text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{Вт})$, що перевищує потрібний за нормами.

Приймаємо для утеплення шар мінеральної вати товщиною 50 мм.

4.1.6 Інженерне обладнання будинку

Проект опалення виконаний на розрахункову температуру -21°C . Розрахункова внутрішня температура в приміщеннях 19°C . Теплоносій – вода з параметрами $95-70^\circ\text{C}$. Джерелом тепlopостачання для потреб опалення та гарячого водopостачання є підвальна котельня. Магістральні трубопроводи прокладені у спеціальних каналах по вертикалі та під полами приміщень, прокладка передбачається закритою.

Опалення запроектоване із поліетиленових труб. Система однотрубна.

Вентиляція у будинку передбачена припливно-витяжна. Існує також додатковий природний обмін повітря через вікна переважно у допоміжних приміщеннях.

Внутрішні мережі холодного та гарячого водopостачання монтуються із поліетиленових труб закрито в нішах стін будівлі на зварному або клеєному з'єднанні. Для обліку витрат води на вході водopроводу встановлюють водомірний вузол.

В залежності від складу стічної води в будівлі запроєктована роздільна каналізація у вигляді двох мереж – зливової та господарчо-побутової. Каналізаційні стояки монтуються із поліетиленових труб. При монтажі мереж прямий кінець труби вставляють у раструб, а стик герметизують.

У даному проєкті передбачено наступні види систем освітлення: робоче, аварійне, місцеве – 380/220 В. Мережа живлення прокладається проводом у вініл з пластикових труб закрито в підлозі, в борознах капітальних стін.

Електропостачання будівлі передбачається від трансформаторної підстанції.

Ввідно-розподільчий пристрій встановлюється в приміщенні електрощитової. Для контролю використаної електроенергії на вхідній панелі передбачено встановлення електророзрахункових пристроїв.

Проєктом передбачено телефонізацію та радіофікацію будівлі.

Трубопроводи в межах підвальної частини будинку ізолюють мінераловатними виробами з накривним шаром із склотканини.

4.1.7 Санітарні умови та вимоги

При проєктуванні водопостачання та каналізації потрібно дотримуватися нормативних вимог.

Норми витрат води на господарсько-питні потреби працівників та відвідувачів приймаються 15 л/люд. на добу (4 л/люд. на годину), у тому числі гарячої води 5 л/люд. на добу (1,2 л/люд. на годину).

Примітка. Розрахункова кількість працівників та відвідувачів приймається в розмірі 60% у добу та 5% у годину від загальної кількості працівників та відвідувачів.

Кількість струменів і мінімальна витрата води на один струмінь на внутрішнє пожежогасіння опалюваних приміщень потрібно приймати: у разі об'єму протипожежного відсіку від 0,5 до 5 тис. м³ - 2 струменя по 2,5 л/с, понад 5 тис. м³ - 2 струменя по 5 л/с.

На живильній мережі між пожежними насосами та мережею протипожежного водопроводу потрібно встановлювати зворотні клапани.

Системи прямоточного та зворотнього водопостачання потрібно відносити за ступенем забезпеченості подавання води до III категорії, за винятком елементів

системи водопостачання, пов'язаних з пожежогасінням (водоводи, насосні станції, резервуари протипожежного запасу води), що відносяться до I категорії.

Для технологічних процесів з однаковими вимогами до якості води і близькими за характеристикою забрудненнями, внесеними у воду, потрібно передбачати системи зворотнього водопостачання у вигляді окремих замкнутих циклів для миття автомобілів, миття агрегатів, вузлів і деталей.

Стабілізаційну обробку води в системах зворотнього водопостачання допускається не передбачати.

Використання для виробничого водопостачання води питної якості допускається як виняток за відсутності технічного водопроводу та за техніко-економічного обґрунтування недоцільності влаштування системи зворотнього водопостачання.

4.1.8 Пожежна безпека

Будівля торговельно-розважального центру за конструктивними характеристиками відноситься до ступеню III вогнестійкості. Ступінь вогнестійкості визначається мінімальними межами вогнестійкості будівельних конструкцій згідно з табл. 1, 2, 3, 4 ДБН В.1.1-7-2016 та максимальними межами розповсюдження вогню по цим конструкціям.

Проект будівництва передбачає наступні протипожежні заходи:

- для зовнішніх стін прийнята мінімальна межа вогнестійкості EI 30 M0;
- для внутрішніх стін, шахт ліфтів та сходових кліток прийнята мінімальна межа вогнестійкості RE 120 M0;
- для перегородок прийнята мінімальна межа вогнестійкості EI 30 M0;
- для колон прийнята межа вогнестійкості R 120 M0;
- для сходових площадок, маршів, сходів, прийнята мінімальна межа вогнестійкості R 60 M0;
- для перекриттів прийнята мінімальна межа вогнестійкості REI 45 M0;

Усі дерев'яні конструкції покриття (крокви, прогони, дошки та ін.) просочуються антипіренами для доведення їх до II ступеню вогнестійкості.

Двері шахт ліфтів протипожежні з межею вогнестійкості EI 30 хвилин, сертифіковані по системі УкрСЕПРО ДЦСВПІ МНС України.

Ширина сходів в сходових клітках прийнята 1,4 м, ухилом 1:2.

Площа світлових отворів, що відчиняються в зовнішніх стінах сходових кліток передбачена не менше 1,2 кв. м.

Для захисту будівлі від прямих ударів блискавки передбачений блискавкозахист відповідно до табл. 1 РД 34.21.122-87.

4.2 Основи та фундаменти

4.2.1 Підготовка даних для проєктування

Земельна ділянка під будівництво будівлі центру надання послуг населенню розташована у м. Вінниці. Рельєф ділянки спокійний з загальним ухилом на південний захід.

Вітровий район – 3 [37].

Сніговий район – 3 [37].

Клас споруди за ступенем відповідальності – СС2 [41].

4.2.2 Аналіз інженерно-геологічних умов будівельного майданчика

У таблицях 4.6, 4.7 представлені фізико-механічні характеристики ґрунтів. Інженерно-геологічна будова майданчику показана на розрізі (див. рис. 4.2).

Ґрунт інженерно-геологічних елементів №2 і 3 (ІГЕН№2 і 3) – просадочний. Тип ґрунтових умов за просадочністю – перший.

Таблиця 4.6 – Характеристики просадочності

| № ІГЕ | Глибина відбирання, м | Природний тиск, кПа | Відносна просадочність, ϵ_{sl} , при p, кПа | | | | | | Початковий просадочний тиск, p_{sl} , кПа |
|-------|-----------------------|---------------------|--|--------|-------|-------|-------|-------|---|
| | | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | |
| 2 | 1,2 | 11 | 0,002 | 0,005 | 0,010 | 0,025 | 0,024 | 0,022 | 110 |
| 3 | 2,2 | 32 | 0,007 | 0,010 | 0,012 | 0,013 | 0,023 | 0,028 | 100 |
| 3 | 3,0 | 49 | 0,006 | 0,0097 | 0,012 | 0,013 | 0,024 | 0,028 | 105 |

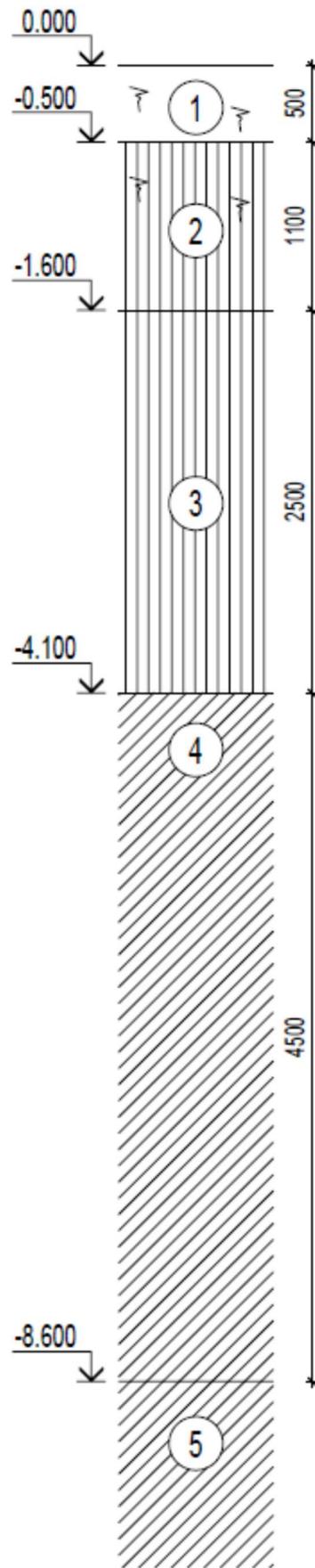


Рисунок 4.2 – Інженерно-геологічний розріз будівельного майданчику.

Таблиця 4.7 – Фізико-механічні властивості ґрунтів

| № ПЕ | Найменування ґрунтів | Потужність шару, м | Питома вага | Вологість | Питома вага частинок ґрунту | Питома вага сухого ґрунту | Коефіцієнт пористості | Ступінь вологості | Вологість на межі текучості | Вологість на межі пластичності | Число пластичності | Показник текучості | Питоме зчеплення | Кут внутрішнього тертя | Модуль деформації |
|------|--|--------------------|------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------------|-------------------|
| | | | γ , кН/м ³ | w | γ_s , кН/м ³ | γ_d , кН/м ³ | e | S_r | w _L | w _p | I _p | I _L | c, кПа | ϕ , град. | E, МПа |
| 1 | Насипний ґрунт | 0,5 | 16,5 | Для природної основи фундаментів не рекомендується | | | | | | | | | | | |
| 2 | Суглинок м'якопластичний, гумусований, жовто-бурий просадочний | 1,1 | 16,9 | 0,21 | 26,8 | Ґрунти проходяться фундаментами | | | | | | | | | |
| 3 | Суглинок м'якопластичний, жовтий просадочний | 2,5 | 18,7 | 0,18 | 26,8 | 15,8 | 0,73 | 0,7 | 0,24 | 0,15 | 0,09 | 0,35 | 22 | 20 | 18 |
| 4 | Суглинок текучопластичний, жовтий | 4,5 | 18,8 | 0,27 | 26,8 | 14,8 | 0,81 | 0,89 | 0,28 | 0,19 | 0,09 | 0,9 | 16 | 17 | 7 |
| 5 | Суглинок тугопластичний, жовто-бурий запіскований | 3,0 | 18,8 | 0,19 | 26,8 | 15,8 | 0,7 | 0,73 | 0,31 | 0,16 | 0,15 | 0,21 | 26 | 22 | 17 |
| 6 | Суглинок тугопластичний, жовто-сірий запіскований | 1,8-2.3 | 19,1 | 0,17 | 26,8 | 16,2 | 0,65 | 0,70 | 0,24 | 0,14 | 0,10 | 0,3 | 23 | 24 | 20 |

Продовження таблиці 4.7

| № ІГЕ | Найменування ґрунтів | Розрахункові значення з урахуванням прогнозу можливих змін (у процесі будівництва і експлуатації) інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов і властивостей ґрунтів | | | | |
|----------|--|--|----------------|-------------------------------------|---|----|
| | | $\frac{\gamma_{\text{п}}}{\gamma_{\text{г}}}$ | I_{L} | $\frac{c_{\text{п}}}{c_{\text{г}}}$ | $\frac{\varphi_{\text{п}}}{\varphi_{\text{г}}}$ | E |
| 1 | Насипний ґрунт | | | | | |
| 2 | Суглинок м'якопластичний, гумусований, жовто-бурий просадочний | | | | | |
| 3 | Суглинок м'якопластичний, жовтий просадочний | $\frac{18,7}{18,6}$ | 0,99 | $\frac{21}{14}$ | $\frac{18}{15}$ | 7 |
| 4 | Суглинок текучопластичний, жовтий | $\frac{18,7}{18,6}$ | 0,9 | $\frac{15}{10}$ | $\frac{16}{14}$ | 7 |
| 5 | Суглинок тугопластичний, жовто-бурий запіскований | $\frac{18,8}{18,7}$ | 0,21 | $\frac{15}{10}$ | $\frac{21}{18}$ | 11 |
| 6 | Суглинок тугопластичний, жовто-сірий запіскований | $\frac{19,1}{19,0}$ | 0,3 | $\frac{25}{16}$ | $\frac{24}{22}$ | 20 |

Нормативна глибина сезонного промерзання ґрунту визначається за формулою [34, 18]:

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t} = 0,23 \sqrt{(5,1 + 3,8 + 2,9)} = 0,79 \text{ (м):}$$

$$d_f = 1,1 d_{fn} = 1,1 \times 0,79 = 0,9 \text{ (м).}$$

4.2.3 Визначення навантажень на фундамент

На рис. 4.3 наведена схема розташування несучих елементів на рівні підвального поверху, на рис. 4.4 – розріз будівлі.

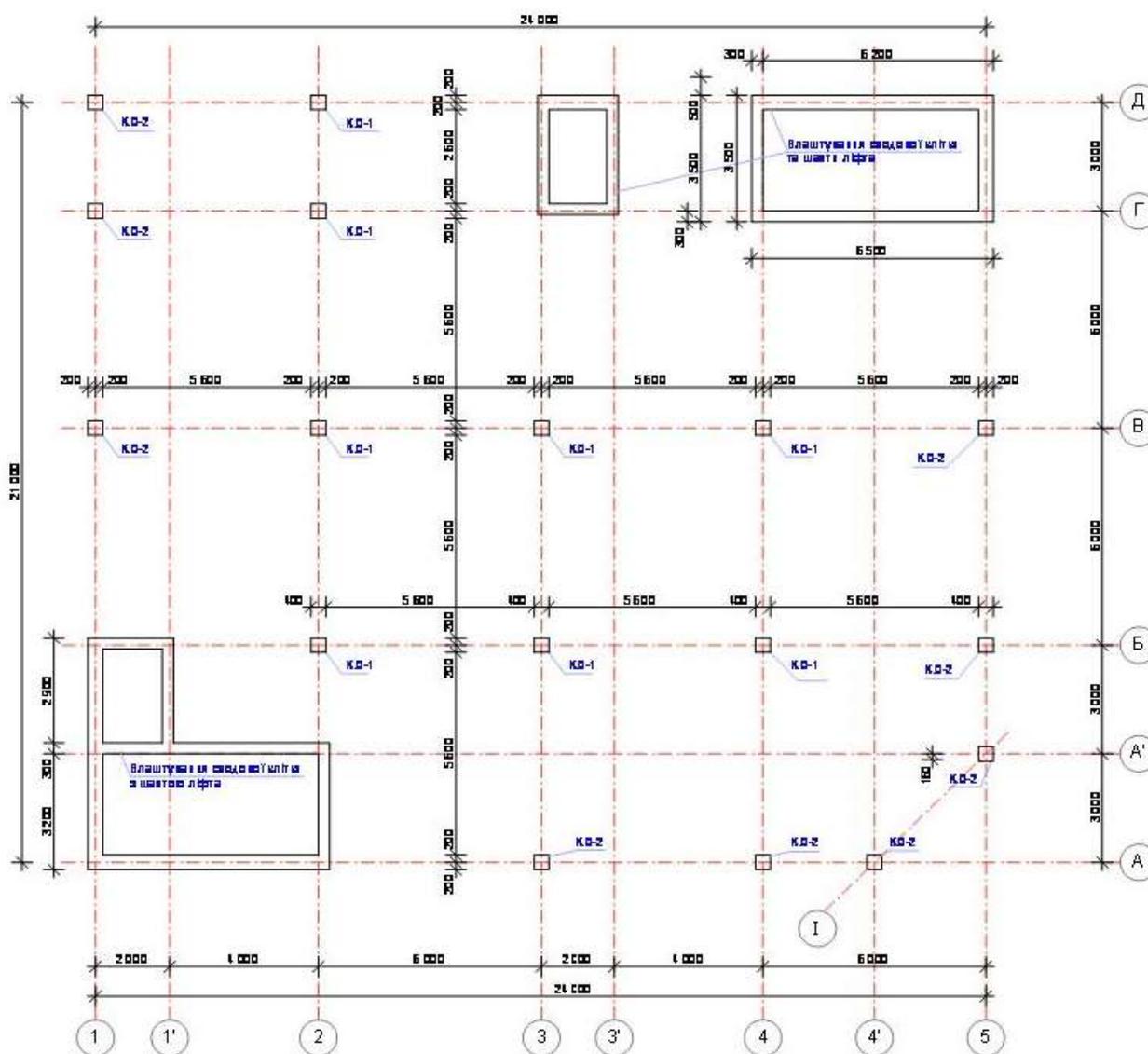


Рисунок 4.3 – Схема розташування несучих елементів на рівні підвального поверху

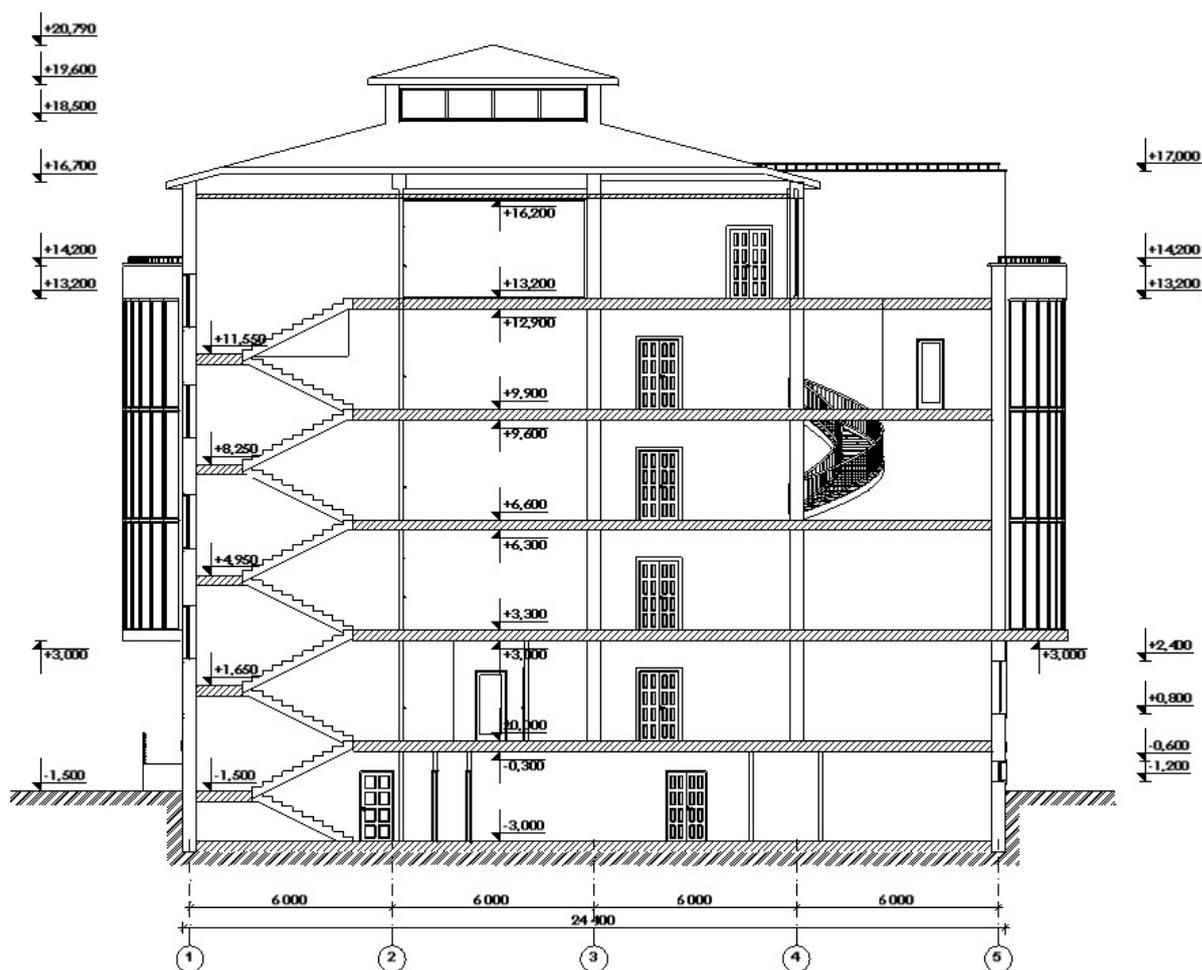


Рисунок 4.4 – Розріз 1-1

Збір навантажень виконуємо для фундаментів під колони, що знаходяться по осях Б-В, 2-4, які сприймають найбільше навантаження. Вантажна площа $A_{\text{вант, покр}} = 6,0 \times 6,0 = 36,0 \text{ (м}^2\text{)}$. Результати розрахунків представлені у таблиці 4.8. Навантаження збирались на рівні обрізу фундаментів.

Вага 1 м^2 конструкції перекриття - $5,0 \text{ кН}$.

Вага перегородок $1,0 \text{ кН/м}^2$.

Вага 1 м^2 конструкції підлоги:

| | | |
|--------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| • керамічна плитка | $0,02 \cdot 28$ | $0,56 \text{ кН}$; |
| • цементно-піщана стяжка | $19 \times 0,03$ | $0,57 \text{ кН}$; |
| • 2 шари гідроізолю | | $0,05 \text{ кН}$; |
| • цементно-піщана стяжка | $19 \times 0,02$ | $0,38 \text{ кН кН}$; |
| • звукоізоляція, мінвата | $1,5 \times 0,02$ | <u>$0,03 \text{ кН}$</u> . |
| Разом | | $1,59 \text{ кН}$. |

Вага 1 м² конструкції даху (бітумна черепиця):

- бітумна черепиця – 0,05 кН/м²;
- дерев'яна крокв'яна система з обрешіткою – 0,8 кН/м² ;
- утеплювач мін. плити (350 мм) – $0,35 \cdot 0,5 = 0,175$ кН/м²;
- металеві конструкції покриття 0,45 кН/м²;
- конструкція підвісної стелі - 0,5 кН/м²
- Разом 1,975 кН.

Таблиця 4.8 – Навантаження на фундамент по осях Б-В, 2-4.

| Найменування навантаження і формула підрахунку | X _e , кН | γ _{fm} | X _m , кН |
|--|---------------------|-----------------|---------------------|
| 1 Постійні вертикальні навантаження | | | |
| 1. Вага колони $0,4 \cdot 0,4 \cdot 19,7 \cdot 25,0$ | 78,8 | 1,1 | 86,7 |
| 2. Вага перекриттів $5,0 \cdot 36,0 \cdot 5$ | 900,0 | 1,1 | 990,0 |
| 3. Вага конструкції даху $1,975 \cdot 36,0 / \cos 17^0$ кН | 74,4 | 1,3 | 96,7 |
| 4. Вага конструкції підлоги $1,59 \cdot 36,0 \cdot 5$ | 286,2 | 1,3 | 372,1 |
| Всього | 1339,4 | | 1545,2 |
| 2 Змінні вертикальні навантаження | | | |
| 1. Перегородки $1,0 \cdot 36,0 \cdot 5$ | 180,0 | 1,3 | 234,0 |
| 2. Корисне $4,0 \cdot 36,0 \cdot 5$ | 720,0 | 1,2 | 864,0 |
| 3. Сніг $1,4 \cdot 36,0$ (γ _{fe} = 0,49) | 24,7 | 1,14 | 57,5 |
| Всього | 924,7 | | 1155,5 |

Складемо найбільш несприятливе поєднання навантажень. Несприятливе навантаження складається з суми всіх навантажень.

З урахуванням коефіцієнтів сполучень, а також враховуючи коефіцієнти надійності за призначенням, маємо вертикальні сили для фундаментів по осях Б-В, 2-4:

$$N_e = (\sum N_i^{\text{пост.}} + 0,95 \sum N_i^{\text{тим.трив.}} + 0,9 \sum N_i^{\text{тим.кор.}}) \gamma_n = (1339,4 + 180,0 \cdot 0,95 + 0,9 \cdot (720,0 + 24,7)) \cdot 0,975 = 2126,1 \text{ (кН)};$$

$$N_m = (\sum N_i^{\text{пост.}} + 0,95 \sum N_i^{\text{тим.трив.}} + 0,9 \sum N_i^{\text{тим.кор.}}) \gamma_n = (1545,2 + 0,95 \cdot 234,0 + 0,9 \cdot (864,0 + 57,5)) \cdot 1,1 = 2856,5 \text{ (кН)}.$$

4.2.4 Проектування фундаменту у варіанті з забивних призматичних палів

Вибір довжини і марки палі

Основою для паль можуть слугувати шари основи ІГЕ №5 та №6. Виходячи з величини навантаження обираємо для розрахунку забивні призматичні палі С10-30. Для забезпечення для висоти ростверку кратності 300 мм і можливості анкерування робочої арматури монолітної колони приймаємо відмітку підшви -4,600 (при цьому висота ростверку 1500 мм). Положення паль у ґрунті показане на рисунку 4.5.

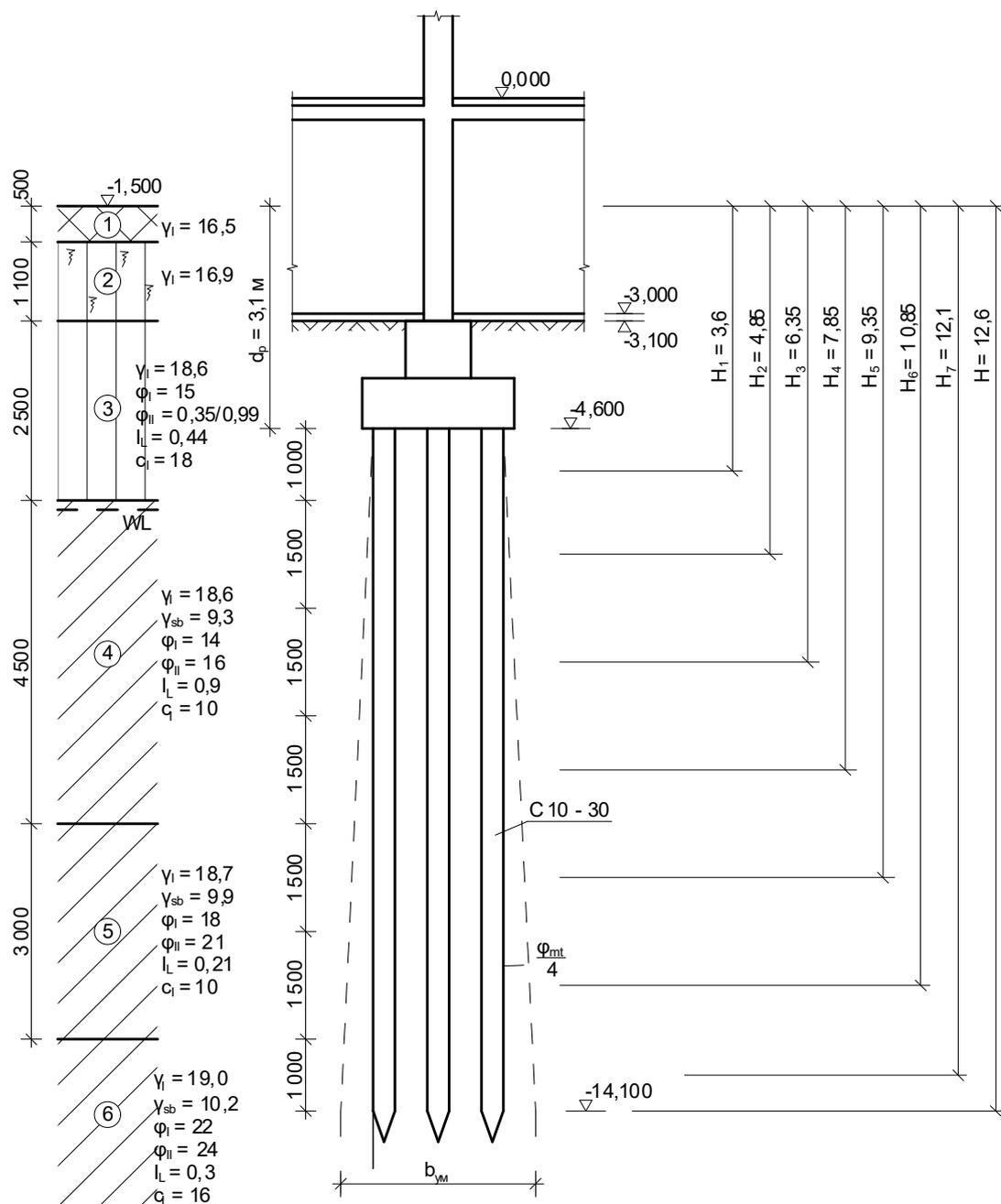


Рисунок 4.5 – Положення забивних висячих паль у ґрунті і їх розрахункова
схема

Визначення несучої здатності палі

Розрахункове навантаження на палю

$$N \leq F_d / \gamma_k, \quad (4.2)$$

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cd} R \cdot A + U \sum \gamma_{cf} f_i h_i), \quad (4.3)$$

де коефіцієнти умов роботи для забивних паль, згідно з [18] $\gamma_c=1$, $\gamma_{CR}=\gamma_{CF}=1$;
розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі R знаходимо за таблицею
Н.2.1 [18]. $R=3750$ кПа;

f_i - розрахунковий опір i -го шару ґрунту основи по бічній поверхні палі, що
визначається за формулою табл. Н.2.2 [18], для попередніх розрахунків
допускається f_i приймати за табл. Н.2.2 [18], кПа;

h_i - товщина i -го шару ґрунту, що прорізається боковою поверхнею палі, м.

Нашарування ґрунтів в межах довжини палі (рис. 4.2, 4.3):

Суглинок м'якопластичний, жовтий просадочний товщиною 1,0 м, $\gamma_I=18,6$
кН/м³; $c_I=14$ кПа; $\varphi_I=15^0$; $I_L=0,35/0,99$;

Суглинок текучопластичний, жовтий товщиною 4,5 м, $\gamma_I=18,6$ кН/м³; $\gamma_{sb}=9,3$
кН/м³; $c_I=10$ кПа; $\varphi_I=14^0$; $I_L=0,9$;

Суглинок тугопластичний, жовто-бурий запіскований товщиною 3,0 м, γ_I
 $=18,7$ кН/м³, $\gamma_{sb}=9,9$ кН/м³; $c_I=10$ кПа; $\varphi_I=18^0$; $I_L=0,21$;

Суглинок тугопластичний, жовто-сірий запіскований товщиною 3,4 м, γ_I
 $=19,0$ кН/м³, $\gamma_{sb}=10,2$ кН/м³; $c_I=16$ кПа; $\varphi_I=22^0$; $I_L=0,3$;

рівень ґрунтових вод – 4,1 м.

Визначимо розрахунковий опір ґрунту по бічній поверхні палі, розділивши
ґрунтову товщу на шари потужністю не більше 2 м (див. рис. 4.5). Розрахунок опору
по бічній поверхні зведений до таблиці 4.9. При визначенні питомого опору тертя
по боковій поверхні визначались:

$\sigma_{zg,i}$ – напущення від власної ваги ґрунту в середині i -го шару ґрунтової основи;

ν_i – коефіцієнт Пуасона ґрунту в середині i -го шару ґрунтової основи.

Таблиця 4.9 - Розрахунок опору по бічній поверхні забивної палі

| H_i , м | f_{1i} , кПа (за табл. Н.2.2) | h_i , м | $f_i \cdot h_i$ | Вид ґрунту | $\sigma_{zg,i}$, кПа | ν_i | φ_i , ° | c_i , кПа | f_{2i} , кПа (за формулою Н.2.2) | $\gamma_{cf,i} f_{2i} \cdot h_i$, кН/м |
|----------------|---------------------------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------------|---------|-----------------|-------------|------------------------------------|---|
| 3,6 | 5 | 1,0 | 5,0 | $I_L = 0,99$ | 64,0 | 0,35 | 15 | 14 | 23,2 | 23,2 |
| 4,85 | 7 | 1,5 | 10,5 | $I_L = 0,9$ | 80,3 | 0,35 | 14 | 10 | 20,8 | 31,2 |
| 6,35 | 7 | 1,5 | 10,5 | $I_L = 0,9$ | 94,3 | 0,35 | 14 | 10 | 22,7 | 34,1 |
| 7,85 | 7 | 1,5 | 10,5 | $I_L = 0,9$ | 122,2 | 0,35 | 14 | 10 | 26,4 | 39,6 |
| 9,35 | 63 | 1,5 | 94,5 | $I_L = 0,21$ | 136,6 | 0,35 | 18 | 10 | 33,9 | 50,9 |
| 10,85 | 65 | 1,5 | 97,5 | $I_L = 0,21$ | 151,4 | 0,35 | 18 | 10 | 36,5 | 54,7 |
| 12,1 | 48 | 1,0 | 48 | $I_L = 0,3$ | 163,9 | 0,35 | 22 | 16 | 51,7 | 51,7 |
| $\Sigma=276,5$ | | | | | | | | | $\Sigma= 285,5$ | |

Несуча здатність висячої забивної призматичної палі

$$F_{d1} = 1(1 \cdot 3750 \cdot 0,30^2 + 1,2 \cdot 276,5) = 669,3 \text{ (кН)}.$$

$$F_{d2} = 1(1 \cdot 3750 \cdot 0,30^2 + 1,2 \cdot 285,5) = 680,1 \text{ (кН)}.$$

Розрахункове навантаження на палю за формулою (3.8)

$$N_1 = 669,3/1,4 = 478,1 \text{ (кН)}; \quad N_2 = 680,1/1,4 = 485,8 \text{ (кН)}.$$

Допустиме навантаження на палю $N = 478,1$ кН.

Визначення потрібної кількості палей і перевірка навантаження на палю

Потрібна кількість палей $n = 2856,5 \cdot 1,1/478,1 = 6,6$ (шт.).

Приймаємо куц з 7 палей. Розташовуємо палі з відстанню в осях $3d = 0,9$ м.

Розміщення палей у плані показане на рисунку 4.6. Розміри ростверку приймаємо 2100x2400 мм з урахуванням звисів не менше, ніж по 100 мм з кожної сторони і кратності розмірів підшви ростверка 300 мм.

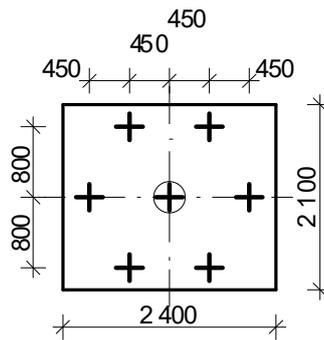


Рисунок 4.6 – Розміщення палів в плані у ростверку по осі 4,В

Виконаємо перевірку навантаження на палю з урахуванням фактичної ваги ростверку і палів.

$$\text{Вага палі } G_{\text{палі}} = 0,3^2 \cdot 9,5 \cdot 25,0 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 25,9 \text{ (кН)}.$$

Вага ростверку з ґрунтом на його уступах $G_p = 2,1 \cdot 2,4 \cdot 1,6 \cdot 22 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 214,7 \text{ (кН)}$. Максимальне розрахункове навантаження на одну палю

$$N = \frac{N_m + G_p + G_{\text{паль}}}{n} + \frac{M_x \cdot x_{\text{max}}}{\sum x_i^2} = \frac{2856,5 + 214,7 + 25,9 \cdot 7}{7} = \frac{3252,5}{7} =$$

$$= 464,6 \text{ (кН)} < 478,1 \text{ кН}.$$

Отже, несуча здатність палів при обраному їх розташуванні забезпечена. Зупиняємось на варіанті з 7 палів С10-30.

Розрахунок осідання пального фундаменту

Розрахунок осідання відноситься до другої групи граничних станів, отже враховуємо експлуатаційне розрахункове значення навантаження. Згідно з п. 4.2.2 $N_e = 2126,1 \text{ кН}$.

Нормами [18] передбачені два методи розрахунку осідання пального фундаменту.

Розрахунок осідання за розрахунковою схемою умовного фундаменту.

Розміри умовного фундаменту визначаються такими параметрами

$$\varphi_{mt} = \frac{\varphi_1 h_1 + \varphi_2 h_2 + \varphi_3 h_3 + \varphi_4 h_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4} = \frac{18 \cdot 1,0 + 16 \cdot 4,5 + 21 \cdot 3,0 + 24 \cdot 1,0}{9,5} = 18,6$$

$$\text{tg} \left(\frac{18,6}{4} \right) = 0,0815.$$

$$b_y = b_1 + 2htg\left(\frac{\varphi_{mt}}{4}\right) = 1.9 + 2 \cdot 9.5 \cdot 0.0815 = 3.45 \text{ (м)}.$$

$$l_y = b_1 + 2htg\left(\frac{\varphi_{mt}}{4}\right) = 2.1 + 2 \cdot 9.5 \cdot 0.0815 = 3.65 \text{ (м)}.$$

Визначаємо об'єми елементів умовного фундаменту

$$V_{ум.} = l_{ум.} \cdot b_{ум.} \cdot d_{ум.} = 3.65 \cdot 3.45 \cdot 11.1 = 139.8 \text{ (м}^3\text{)}.$$

$$V_p + V_{гр.} = 2.1 \cdot 2.4 \cdot 1.6 = 8.1 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$V_{паль} = 0.3^2 \cdot 9.5 \cdot 7 = 6.0 \text{ (м}^3\text{)}.$$

$$V_{гр.} = 139.8 - 8.1 - 6.0 = 125.7 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Визначаємо вагу окремих частин умовного фундаменту

$$G_p + G_{гр.} = 8.1 \cdot 22 = 178.2 \text{ (кН)};$$

$$G_{паль} = 6.0 \cdot 25 = 150.0 \text{ (кН)}.$$

$$\gamma_{mt} = \frac{18.7 \cdot (1.6 + 1.0) + 9.3 \cdot 4.5 + 9.9 \cdot 3.0 + 10.2 \cdot 1.0}{11.1} = \frac{130.4}{11.1} = 11.7 \left(\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}\right).$$

$$G_{гр.} = 125.7 \cdot 11.7 = 1476.4 \text{ (кН)}.$$

Повний тиск в рівні підшви умовного фундаменту

$$p = \frac{N_e + G_{p+гр.} + G_{сп.} + G_{паль}}{A_{ум.}} = \frac{2126.1 + 178.2 + 1476.4 + 150.0}{3.45 \cdot 3.65} = 312.1 \text{ (кПа)}.$$

Розрахунковий опір ґрунту основи умовного фундаменту

$$R = \frac{\gamma_{c_1} \cdot \gamma_{c_2}}{K} [M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}] =$$

$$= \frac{1.2 \cdot 1.1}{1.1} \cdot [0.72 \cdot 1 \cdot 3.45 \cdot 10.2 + 3.87 \cdot 11.1 \cdot 11.7 + 2.87 \cdot 1.5 \cdot 11.7 + 6.45$$

$$\cdot 25] = 887.5 \text{ (кПа)},$$

де $\gamma_{c_1} = 1.2$, $\gamma_{c_2} = 1.1$) $\kappa = 1.1$, оскільки характеристики ґрунту визначені за таблицями. Для суглинку з $0.25 < I_L < 0.5$ (табл. Е7 [18])

$$M_\gamma = 0.72, \quad M_q = 3.87, \quad M_c = 6.45, \quad \text{при } \varphi = 24 \text{ (табл. Е8 [18])}.$$

Тиск під підшвою умовного фундаменту без врахування власної ваги ґрунту в межах умовного фундаменту

$$N_\Sigma = N_e + G_{p+гр.} + G_n = 2126.1 + 178.2 + 150.00 = 2454.3 \text{ (кН) Тиск}$$

$$p = N_{\Sigma} / A_y = 2454,3 / (3,45 \cdot 3,65) = 194,9 \text{ (кПа)} .$$

Тиск від власної ваги ґрунту від підшви ростверка до підлоги підвалу $\sigma_{zg0} = 18,0 \cdot 1,6 = 28,8$ (кПа).

Необхідні вихідні дані для розрахунку осідання методом пошарового підсумовування.

$$h_i = 0,2; b_y = 0,2 \cdot 3,45 = 0,69 \text{ (м)}. \quad \eta = l_{ym} / b_{ym} = 3,65 / 3,45 = 1,06.$$

$$\sigma'_{zq,0} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i = 17,7 \cdot 3,1 = 54,9 \text{ (кПа)}. \quad \eta = l_k / b_k = 37 / 34 = 1,09.$$

Розрахунок осідання ґрунту наведений у таблиці 4.10.

При глибині котловану $d = 3,1 \text{ м} < 5 \text{ м}$, осідання фундаменту знаходимо без врахування вторинного навантаження.

У результаті розрахунків, наведених у таблиці 4.10, осідання фундаменту $S = 0,01163283 \text{ (м)} = 1,16 \text{ см}$.

Допустиме осідання для будинків із залізобетонним каркасом і монолітними перекриттями $S_u = 15 \text{ см}$. Умова $S = 1,16 \text{ см} < S_u = 15 \text{ см}$ виконується.

Рзрахунок польового фундаменту за деформаціями основи за розв'язанням задачі про переміщення стержня в пружному півпросторі.

Вихідні дані для розрахунку приймаємо за рисунком 4.5.

Визначимо осідання одиночної палі в куці (рис. 4.6).

Вертикальне навантаження від колони $N_e = 2126,1 \text{ кН}$.

Вага ростверку з ґрунтом на його уступах $G_p + G_{гр.} = 178,2 \text{ (кН)}$;

Середнє навантаження на палю

$$P = \frac{2126,1 + 178,2}{7} = 329,2 \text{ (кН)}.$$

Коефіцієнт Пуасона в межах напруженої зони

$$\nu = \frac{\sum \nu_i h_i}{\sum h_i} = 0,35.$$

Граничний опір палі

$$P_u = 1,25F_d = 1,25 \cdot 669,3 = 836,6 \text{ (кН)}.$$

Навантаження на палю на межі пропорційності

$$P_e = 0,5P_u = 0,5 \cdot 836,6 = 418,3 \text{ (кН)}.$$

Необхідні значення модулів деформації ґрунту під нижнім кінцем палі і по довжині палі

$$E_p = 20,0 \text{ МПа}.$$

Таблиця 4.10 – Розрахунок осідання пального фундаменту

| | | | |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|
| b = 3,45 | l = 3,65 | (для ленточного весті 10*b) | |
| b _k = 24 | l _k = 27 | (для ленточного весті 10*b) | |
| | p = 194,9 | σ _γ = 54,90 | σ _{g0} = 28,80 |

$$S = 0,01163283$$

| Z | γ | 2Z/by | α | σ _{zp} | σ _{zg} | 2Z/b _k | α _k | σ _γ | Σz _p (ср) | σ _γ (ср) | E | h | S |
|------|------|-------|--------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------|-------|------|----------|
| 0 | | 0 | 1 | 194,9 | 28,8 | 0 | 1 | 54,9 | | | | | |
| 0,69 | 10,2 | 0,4 | 0,9631 | 187,71309 | 35,838 | 0,0575 | 0,999879 | 54,893 | 191,31 | 54,897 | 20000 | 0,69 | 0,003765 |
| 1,38 | 10,2 | 0,8 | 0,8102 | 157,91043 | 42,876 | 0,115 | 0,999041 | 54,847 | 172,81 | 54,87 | 20000 | 0,69 | 0,003255 |
| 2,07 | 10,2 | 1,2 | 0,6213 | 121,0856 | 49,914 | 0,1725 | 0,996824 | 54,726 | 139,5 | 54,787 | 20000 | 0,69 | 0,002338 |
| 2,76 | 10,2 | 1,6 | 0,4642 | 90,471597 | 56,952 | 0,23 | 0,992667 | 54,497 | 105,78 | 54,612 | 20000 | 0,69 | 0,001412 |
| 3,45 | 10,2 | 2 | 0,3494 | 68,097215 | 63,99 | 0,2875 | 0,986145 | 54,139 | 79,284 | 54,318 | 20000 | 0,69 | 0,000689 |
| 4,14 | 10,2 | 2,4 | 0,2681 | 52,245671 | 71,028 | 0,345 | 0,976984 | 53,636 | 60,171 | 53,888 | 20000 | 0,69 | 0,000173 |
| 4,83 | 10,2 | 2,8 | 0,2102 | 40,960284 | 78,066 | 0,4025 | 0,965068 | 52,982 | 46,603 | 53,309 | 20000 | 0,69 | 0 |
| 5,52 | 10,2 | 3,2 | 0,1682 | 32,783684 | 85,104 | 0,46 | 0,950419 | 52,178 | 36,872 | 52,58 | 20000 | 0,69 | 0 |
| 6,21 | 10,2 | 3,6 | 0,1372 | 26,733436 | 92,142 | 0,5175 | 0,933184 | 51,232 | 29,759 | 51,705 | 20000 | 0,69 | 0 |
| 6,9 | 10,2 | 4 | 0,1137 | 22,161491 | 99,18 | 0,575 | 0,913599 | 50,157 | 24,447 | 50,694 | 20000 | 0,69 | 0 |
| 7,59 | 10,2 | 4,4 | 0,0956 | 18,6381 | 106,218 | 0,6325 | 0,891966 | 48,969 | 20,4 | 49,563 | 20000 | 0,69 | 0 |

$$E_f = \frac{\sum E_i h_i}{\sum h_i} = \frac{7,0 \cdot (1,0 + 4,5) + 11,0 \cdot 3,0 + 20,0 \cdot 1,0}{9,5} = 9,6 \text{ (МПа)}.$$

Вхідні параметри для таблиць норм

$$k_E = \frac{E_p}{E_f} = \frac{20,0}{9,6} = 2,1. \quad r = \frac{r_0}{l} = \frac{0,15}{9,5} = 0,0158.$$

Модуль деформації матеріалу палі при класі бетону С20/25 $E_0 = 30000$ МПа.

Допоміжні параметри для визначення пружної складової осідання [18]

$$b = 0,173. \quad k_f = 1,4. \quad k_p = 3,18.$$

$$E = (1 - b)k_f E_f + k_p b E_p = (1 - 0,173) \cdot 1,4 \cdot 9,6 + 3,18 \cdot 0,173 \cdot 20,0 = 22,1 \text{ (МПа)}.$$

$$c = 0,621.$$

Пружна складова осідання палі

$$s_e = 2(1 + \nu) \frac{P_e c}{El} + \frac{P_e l(1 + b)}{2E_0 F} = 2(1 + 0,35) \frac{418,3 \cdot 0,621}{22100 \cdot 9,5} + \frac{418,3 \cdot 9,5 \cdot (1 + 0,173)}{2 \cdot 30000 \cdot 10^3 \cdot 0,3^2} = 0,0042 \text{ (м)}.$$

Осідання одиночної палі

$$s_1 = \frac{s_e P}{P_u - P} = \frac{0,0042 \cdot 329,2}{836,6 - 329,2} = 0,00272 \text{ (м)}.$$

Визначимо осідання куща з 7 палей, взявши за основну одну з палей (див. рис. 4.6). Палі віддалені від середньої на відстані:

$$a_1 = 0,918 \text{ м} - 4 \text{ шт.}$$

$$a_2 = 0,9 \text{ м} - 2 \text{ шт.}$$

$$\frac{a_1}{2r_0} = 0,918 / 0,3 = 3,06; \quad w_1 = 0,48; \quad k_{b1} = 1,048.$$

$$\frac{a_2}{2r_0} = 0,9 / 0,3 = 3,0; \quad w_2 = 0,485; \quad k_{b2} = 1,05.$$

Для відповідних палей додаткове осідання середньої палі

$$s_{1,1} = 2(1 + \nu) \frac{w_j k_{bj}}{El} = 2(1 + 0,35) \frac{0,48 \cdot 1,048}{22100 \cdot 9,5} = 6,47 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

$$s_{1,2} = 2(1 + \nu) \frac{w_j k_{bj}}{El} = 2(1 + 0,35) \frac{0,485 \cdot 1,05}{22100 \cdot 9,5} = 6,55 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Осідання пального фундаменту з 7 палей

$$s_i = s_1 + \sum_{j=1}^n p_j s_{ij} = 0,00272 + 329,2(4 \cdot 6,47 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 6,55 \cdot 10^{-6}) = 0,0156 \text{ (м)}.$$

Допустиме осідання для будинків із залізобетонним каркасом і монолітними перекриттями $S_u = 15$ см. Умова $S = 1,56$ см $<$ $S_u = 15$ см виконується.

4.2.5 Розрахунок міцності тіла ростверку пальового фундаменту, розрахованого за традиційною методикою

Перевірка міцності ростверку на продавлювання.

В першому наближенні приймаємо висоту плитної частини ростверка 700 мм. Розрахункова схема ростверка наведена на рис. 4.7.

Граничні розрахункові значення навантаження на фундамент

$$N_m = 2856,5 \text{ кН}; M_{x,m} = 0 \text{ кНм}; M_{y,m} = 0 \text{ кНм}.$$

В якості матеріалу фундаменту використовуємо бетон класу C20/25 та арматуру A400C (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 - Фізико-механічні характеристики матеріалів [43, 44]:

| Бетон C20/25 | | Арматура | | | |
|------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | | A400C | | A240C | |
| $f_{ck,prism}$, МПа | 18,5 | f_{yk} , МПа | 400 | f_{yk} , МПа | 240 |
| f_{cd} , МПа | 14,5 | f_{yd} , МПа | 363,6 | f_{yd} , МПа | 228,6 |
| f_{ctd} , МПа | 1,0 | f_{ywd} , МПа | 285 | f_{ywd} , МПа | 170 |
| E_{cm} , МПа | $30,0 \cdot 10^3$ | ε_{ud} | 0,025 | ε_{ud} | 0,025 |
| $\varepsilon_{c3,cd}$ | 0,63 | E_s , МПа | $2,1 \cdot 10^5$ | E_s , МПа | $2,1 \cdot 10^5$ |
| $\varepsilon_{cu3,cd}$ | 3,10 | γ_s | 1,1 | γ_s | 1,05 |
| γ_{cl} | 0,9 | | | | |

Під подошвою фундаменту передбачаємо бетонну підготовку, тому висоту захисного шару бетону можна прийняти рівною $a_s = 50$ мм, тоді робоча висота перерізу $z_s = h - a_s = 700 - 50 = 650$ (мм)

Висота фундаменту $H_f = 1,5$ м;

розміри подошви ростверку $l \times b = 2,4 \times 2,1$ м;

розміри підколонника в плані $h_c \times b_c = 0,5 \times 0,5$ м;

Рисунок 4.7 – Розрахункова схема ростверку для фундаменту з 7 паль
Розрахункове навантаження на палю без урахування ваги ростверку

$$F_1 = \frac{N_m}{n} + \frac{M_{xm} y_{\max}}{\sum y_i^2} = \frac{2856,5}{7} = 408,1 \text{ (кН)}.$$

Коефіцієнт зниження міцності бетону із тріщиною при зсуві

$$\nu = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{18,5}{250} \right) = 0,556,$$

максимально допустиме значення опору на зріз, що може витримати переріз

$$V_{Rd, \max} = 0,5 \nu f_{cd} = 0,5 \cdot 0,556 \cdot 13050 = 3625,3 \text{ (кПа)};$$

Перевіримо умову відсутності зрізу при продавлюванні поряд з підколонником (коефіцієнт β приймаємо рівним одиниці, оскільки згинальні моменти відсутні)

Продавлювальна сила

$$V_{Ed} = 6F_1 = 6 \cdot 408,1 = 2448,6 \text{ (кН)}.$$

$$V_{Ed, \sigma} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} = \frac{1,0 \cdot 2448,6}{(0,5 + 0,5) \cdot 2 \cdot 0,65} = 1883,5 \text{ (кПа)} < V_{Rd, \max} = 3625,3 \text{ кПа}.$$

Умова виконується.

Оскільки зріз при продавлюванні здійснюється по внутрішніх гранях паль, то перевіримо опір продавлюванню на контрольному периметрі на відстані $c = 400(500)$ мм від контуру підколонника (рис. 4.7).

Контрольний периметр

$$u = 2c_1 + 2c_2 + \pi \cdot 2c_1 = 2 \cdot 1,2 + 2 \cdot 1,0 + \pi \cdot 2 \cdot 0,15 = 5,34 \text{ (м)}.$$

Визначаємо розрахункову величину опору на зріз при продавлюванні плитної частини ростверка без поперечного армування

$$C_{Rd, c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,3} = 0,138, \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{650}} = 1,555 < 2.$$

Відсоток армування робочої арматури, який не перевищує 0,02

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{10,05}{100 \cdot 65,0} = 0,00155 < 0,02;$$

$$V_{\min} \frac{2d}{a} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \frac{2 \cdot 0,65}{0,5} = 0,035 \cdot 1,555^{3/2} 18,5^{1/2} \cdot 2,6 = 0,759 \text{ (МПа)}.$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_i f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = 0,138 \cdot 1,555(100 \cdot 0,00155 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 2,6 = 0,793 \text{ (МПа)} \geq V_{\min} = 0,759 \text{ (МПа)}.$$

Перевіряємо умову міцності на зріз при продавлюванні при відсутності поперечного армування

$$V_{Ed,\sigma} = \frac{\beta V_{Ed,red}}{ud} = \frac{1,0 \cdot 2448,6}{5,34 \cdot 0,65} = 705,4 \text{ (кПа)} < V_{Rd,c} = 793 \text{ кПа}.$$

Отже, міцність на продавлювання забезпечена.

Розрахунок міцності нахилених перерізів ростверку на дію поперечних сил.

Загальне максимальне розрахункове навантаження на одну палю з урахуванням ваги ростверка $F_1 = \frac{N_{bot}}{n} + \frac{M_{xbot} y_{max}}{\sum y_i^2} = \frac{2856,5 + 214,7}{7} = 438,7 \text{ (кН)}$.

$$V_{Ed} = 3F_1 = 3 \cdot 438,7 = 1316,2 \text{ (кН)}.$$

Мінімальна ширина перерізу балки $b_w = 2100 \text{ (мм)}$.

Максимально допустиме значення поперечної сили, що може витримати переріз $V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 2,1 \cdot 0,65 \cdot 0,556 \cdot 13,05 \cdot 10^3 = 4952,1 \text{ (кН)}$.

Перевіряємо умову міцності

$$V_{Ed} = 1316,2 \text{ кН} < V_{Rd,max} = 4952,1 \text{ кН}. \text{ Розміри перерізу достатні.}$$

Визначимо необхідність розрахунку поперечних стержнів.

Визначаємо максимальну поперечну силу, що може витримати переріз без поперечного армування з урахуванням коефіцієнта $\beta = a/2d = 50/2 \cdot 650 = 0,00067$.

Приймаємо $\beta = 0,2$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_i f_{ck})^{1/3} b d / \beta + 0 = \\ = 0,138 \cdot 1,555(100 \cdot 0,00155 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 2,1 \cdot 0,65 / 0,2 = 2,08 \text{ (MH)};$$

$$V_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,555^{3/2} 18,5^{1/2} = 0,292 \text{ (MH)}.$$

$$V_{Rd,c} = (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d / \beta = (0,292 + 0,15 \cdot 0) 2,1 \cdot 0,65 / 0,2 = 1,992 \text{ (MH)}.$$

Приймаємо більше значення $V_{Rd,c} = 2,08 \text{ (MH)}$.

$V_{Ed} = 1316,2 \text{ кН} < V_{Rd,c} = 2080 \text{ кН}$. Умова міцності на зріз від поперечної

сили виконана.

Розрахунок ростверку на згин.

Визначаємо згинальні моменти, що діють в перерізі 1-1 (рис. 4.7) для визначення поздовжнього армування.

Згинальний момент від реакцій паль з урахуванням ваги ростверку біля грані підколонника (переріз 1-1)

$$M = F_1(0,9 - 0,5/2) + 2F_1(0,45 - 0,5/2) - \frac{G_{p+cp} \cdot (1,2 - 0,5/2)^2}{2 \cdot 4 \cdot 2} = \\ = 438,7 \cdot 0,65 + 2 \cdot 438,7 \cdot 0,2 - \frac{214,7 \cdot 0,95^2}{2 \cdot 4 \cdot 2} = 420,3 \text{ (кНм)}.$$

Знайдемо параметр λ $\lambda = \frac{\varepsilon_{cu3,cd} - \varepsilon_{c3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd}} = (3,1 - 0,63)/3,1 = 0,797.$

Максимально можлива стиснута зона.

$$x_1 = x_{lu} = z_s \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{so}} = 0,65 \frac{3,1}{3,1 + 1,729} = 0,417 \text{ (м)};$$

$$\varepsilon_{so} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{363}{2,1 \cdot 10^5} = 0,001729.$$

Визначаємо розрахункове значення величини стиснутої зони x_1

$$x_1 = \frac{d \cdot q_c - \sqrt{d^2 \cdot q_c^2 - 4k_\lambda q_c M}}{2q_c k_\lambda}, \text{ [м]}, \quad (4.4)$$

$$k_\lambda = \frac{1 + \lambda(1 + \lambda)}{3(1 + \lambda)} = \frac{1 + 0,797(1 + 0,797)}{3(1 + 0,797)} = 0,451;$$

$$q_c = \frac{1}{2} f_{cd} \cdot \gamma_{cl} \cdot b(1 + \lambda) = \frac{1}{2} 13,05 \cdot 10^3 \cdot 2,1 \cdot 1,0(1 + 0,797) = 24,6 \cdot 10^3 \text{ (кН / м)};$$

$$x_1 = \frac{0,65 \cdot 24,6 \cdot 10^3 - \sqrt{0,65^2 (24,6 \cdot 10^3)^2 - 4 \cdot 0,451 \cdot 24,6 \cdot 10^3 \cdot 420,3}}{2 \cdot 0,451 \cdot 24,6 \cdot 10^3} =$$

$$= 0,0268 \text{ (м)}.$$

Перевіряємо умову $x_1 \leq x_{lu}$; $x_1 = 0,0268 \text{ м} \leq x_{lu} = 0,417 \text{ м}$.

Умова виконана. Отже, робоче армування розміщене лише в нижній зоні.

Знаходимо площу потрібного армування

$$A_s = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_1 (1 + \lambda)}{2 f_{yd}} = \frac{13,05 \cdot 10^3 \cdot 2,1 \cdot 0,0268 (1 + 0,797)}{2 \cdot 363 \cdot 10^3} = 0,00182 \text{ (м}^2\text{)} =$$

$$= 18,2 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Приймаємо в поздовжньому напрямку 11Ø16 А400С $A_s = 22,12 \text{ см}^2$.

Визначаємо згинальні моменти, що діють в перерізі 2-2 (рис. 4.7) для визначення поперечного армування.

Згинальний момент від реакцій паль з урахуванням ваги ростверку біля грані підколонника (переріз 2-2)

$$M = 2F_1(0,8 - 0,5/2) - \frac{G_{p+сп} \cdot (1,05 - 0,5/2)^2}{2,1 \cdot 2} =$$

$$= 2 \cdot 438,7 \cdot 0,55 - \frac{214,7 \cdot 0,8^2}{2,1 \cdot 2} = 449,9 \text{ (кНм)}.$$

$$q_c = \frac{1}{2} f_{cd} \cdot \gamma_{cl} \cdot b(1 + \lambda) = \frac{1}{2} 13,05 \cdot 10^3 \cdot 2,4 \cdot 1,0(1 + 0,797) = 28,1 \cdot 10^3 \text{ (кН / м)};$$

$$x_1 = \frac{0,65 \cdot 28,1 \cdot 10^3 - \sqrt{0,65^2 (28,1 \cdot 10^3)^2 - 4 \cdot 0,451 \cdot 28,1 \cdot 10^3 \cdot 449,9}}{2 \cdot 0,451 \cdot 28,1 \cdot 10^3} =$$

$$= 0,0251 \text{ (м)}.$$

Перевіряємо умову $x_1 \leq x_{lu}$; $x_1 = 0,0251 \text{ м} \leq x_{lu} = 0,417 \text{ м}$.

Умова виконана. Отже, робоче армування розміщене лише в нижній зоні.

Знаходимо площу потрібного армування

$$A_s = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_1 (1 + \lambda)}{2 f_{yd}} = \frac{13,05 \cdot 10^3 \cdot 2,4 \cdot 0,0251 (1 + 0,797)}{2 \cdot 363 \cdot 10^3} = 0,00195 (m^2) = 19,5 (cm^2).$$

Приймаємо в поперечному напрямку 13Ø14 A400C $A_s = 20,01 \text{ см}^2$.

Висновки за розділом 4

1. В архітектурній частині проєкту розроблено основні планувальні рішення, опис та обґрунтування вибору конструкцій та матеріалів для зведення та оздоблення будинку, характеристика інженерних мереж, специфікація елементів заповнення віконних та дверних прорізів, вибір матеріалів для зовнішнього утеплення стін з дотриманням сучасних вимог, розрахунок огорожувальних конструкцій за теплопровідністю. В результаті об'єкт відповідає вимогам енергозбереження.

2. Визначене конструктивне рішення фундаменту під найбільш навантажену колону. Прийнятий паливий фундамент з забивних палей С10-30 у кількості 7 шт.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок варіанту фундаменту з врахуванням результатів дослідження

В підрозділі 4.2 виконаний розрахунок пального фундаменту з забивних палів С10-30, розрахованих, згідно з вказівками норм [18]. Потрібна кількість палів 7 штук. Розглянемо цей базовий традиційний варіант як варіант 1. Робоче креслення фундаменту наведено на рис. 5.1.

Розглянемо для порівняння варіант з використанням комплексного фундаменту: варіант 2 – фундамент з палів С10-30 у кількості 4 шт. з ростверком 3,2х3,2 м.

Розміщення палів С10-30 у ґрунті наведено на рис. 4.5. У п. 4.2.4 визначена несуча здатність такої палі і допустиме навантаження на неї $N = 478,1$ кН.

Виконаємо перерахунок несучої здатності фундаменту у варіанті 2, враховуючи сумісну роботу палів і ростверку у складі пального фундаменту.

Для палів з довжиною 10 м при кількості палів 4 шт. і розмірах ростверка 3,2х3,2 м (палі розміщені з кроком 2,7 м) реалізація несучої здатності палів за моделюванням у різних програмних комплексах знаходиться в межах 0,8 – 1,0 – 1,2 (рис. 3.13, табл. 2.7, 3.2), а реалізація тиску під подошвою ростверка в межах 0,66 – 0,85 – 0,9 (рис. 3.16, табл. 2.7, 3.2). Виходячи з обережності оцінок приймаємо реалізацію несучої здатності палі 0,8, ростверка 0,66.

Осереднене значення питомої ваги ґрунту вище подошви ростверку:

$$\gamma'_{II} = 17,7 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

Розрахунковий опір ґрунту під подошвою ростверку:

$$R = \frac{1,1 \cdot 1,0}{1,1} (0,43 \cdot 1 \cdot 3,2 \cdot 18,7 + 2,73 \cdot 1,6 \cdot 17,7 + 1,73 \cdot 1,5 \cdot 17,7 + 5,31 \cdot 21,0) = 260,5 \text{ (кПа)}.$$

Навантаження, що може взяти на себе ростверк

$$N_{\text{роств}} = 260,5 \cdot (3,2 \cdot 3,2 - 0,09 \cdot 4) \cdot 0,66 \cdot 1,3 = 2208 \text{ (кН)}.$$

Навантаження, яке можуть сприйняти палі

$$N_{\text{паль}} = 478,1 \times 4 \times 0,8 = 1530 \text{ (кН)}.$$

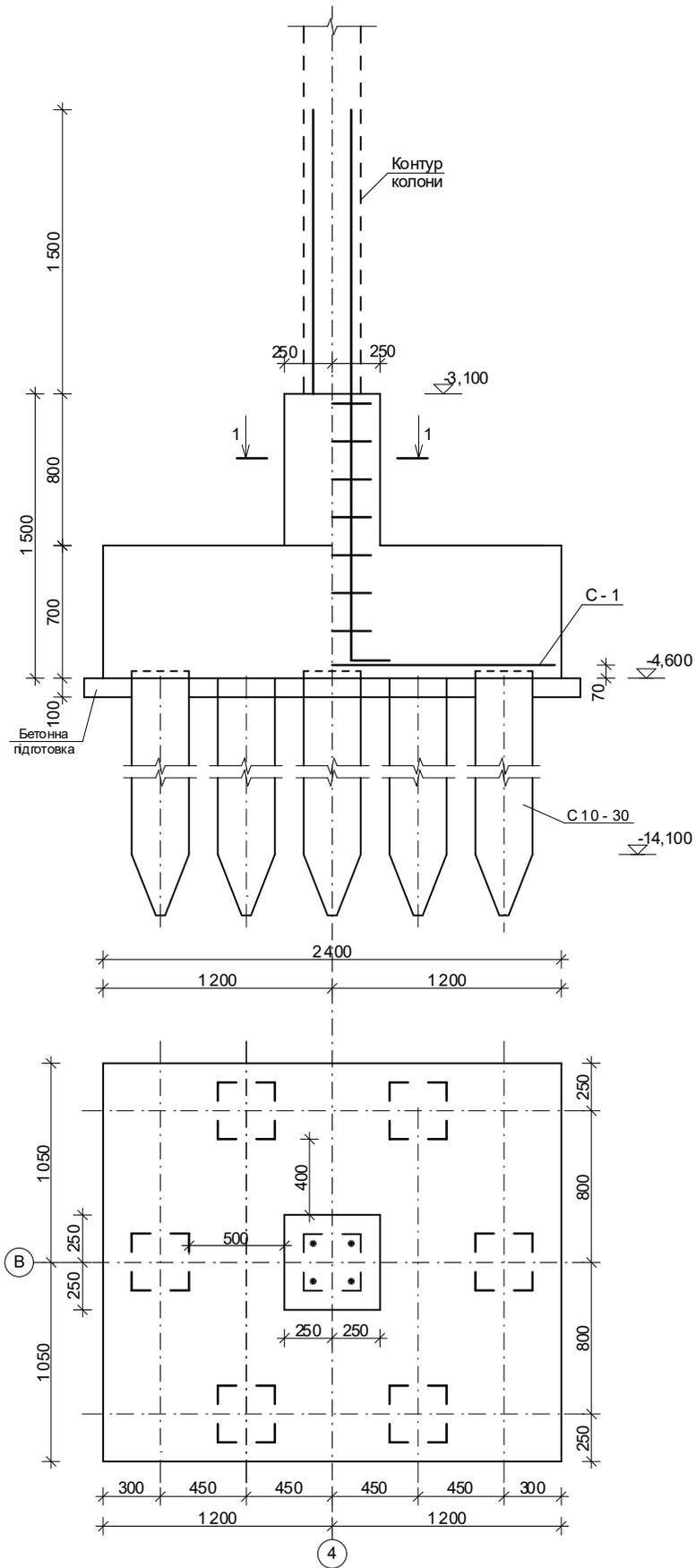


Рисунок 5.1 – Робоче креслення фундаменту у варіанті 1 (базовий варіант, розрахований за вимогами норм

Сумарна несуча здатність куца

$$3738 \text{ кН} \geq 2856,5 + 25,9 \cdot 4 + 3,2 \cdot 3,2 \cdot 1,6 \cdot 22 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 3396 \text{ (кН)}.$$

Розміщення паль у плані і розрахункова схема ростверку показана на рисунку 5.2.

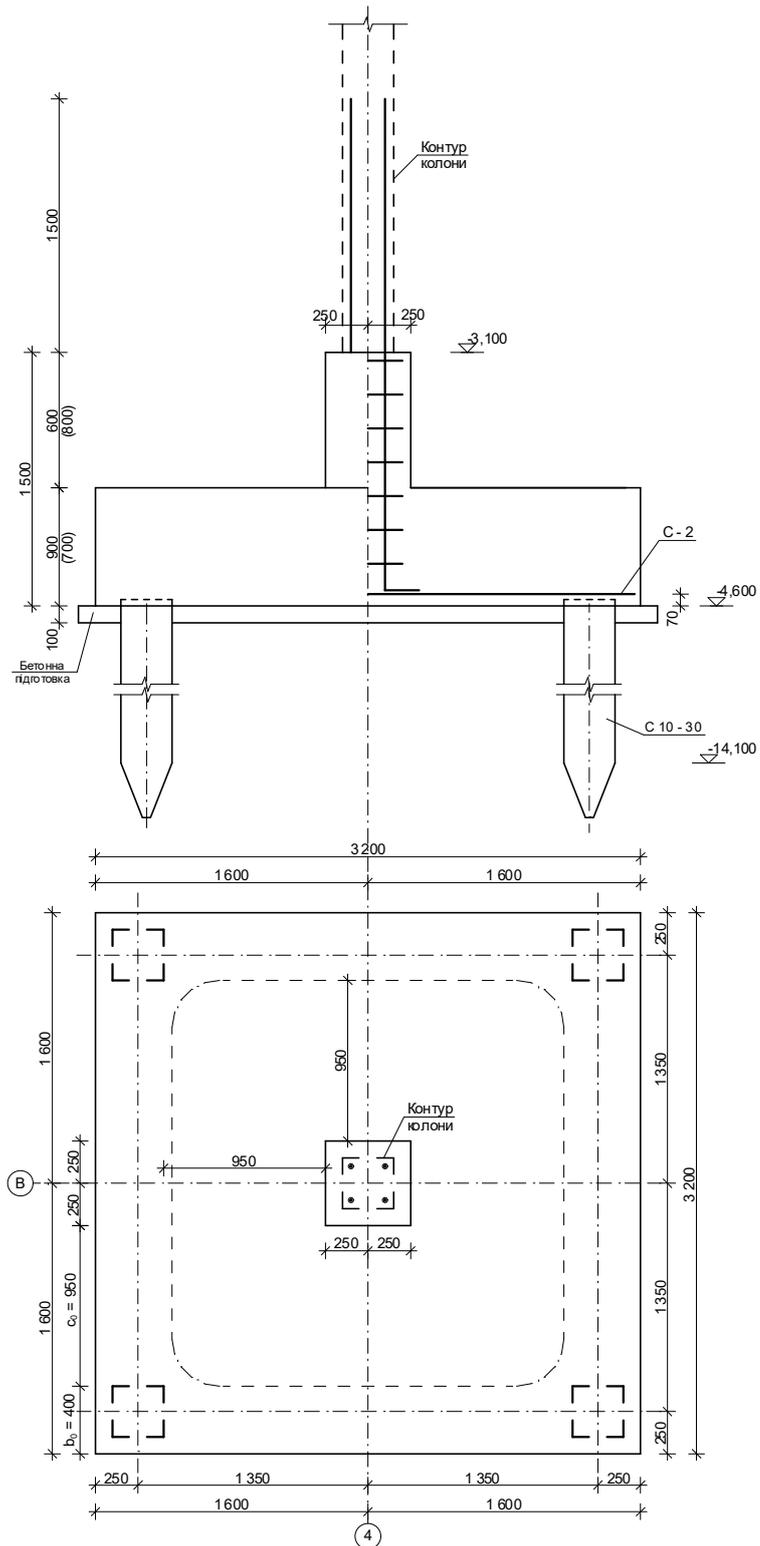


Рисунок 5.2 – Робоче креслення фундаменту у варіанті 2 з врахуванням сумісної роботи паль і ростверку у куші (комплексний фундамент)
Розрахунок ростверку пальового фундаменту за варіантом 2 з врахуванням сумісної роботи паль і ростверку за міцністю тіла.

В якості матеріалу ростверку використовуємо бетон класу C20/25 та арматуру A400C. Характеристики матеріалів наведені у п. 4.2.5.

Граничне розрахункове значення навантаження на фундамент $N_m = 2856,5$ кН.

Висота фундаменту $H_f = 1,5$ м; розміри підшви ростверка $3,2 \times 3,2$ м; розміри підколонника в плані $h_c \times b_c = 0,5 \times 0,5$ м; висота плитної частини $h_1 = 700$ мм.

Перевірка міцності ростверка на продавлювання.

Розрахункове навантаження на палю без урахування ваги ростверку

$$F_1 = \frac{N_m}{n} + \frac{M_{xm} y_{\max}}{\sum y_i^2} = \frac{2856,5}{4} = 714,1 \text{ (кН)}.$$

Розрахункове значення продавлювальної сили

$$V_{Ed} = 2 \cdot 2F_1 = 2 \cdot 2 \cdot 714,1 = 2856,5 \text{ (кН)}.$$

Коефіцієнт зниження міцності бетону із тріщиною при зсуві

$$\nu = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{18,5}{250} \right) = 0,556,$$

максимально допустиме значення опору на зріз, що може витримати переріз

$$V_{Rd, \max} = 0,5 \nu f_{cd} = 0,5 \cdot 0,556 \cdot 13050 = 3625,3 \text{ (кПа)};$$

Перевіримо умову відсутності зрізу при продавлюванні поряд з підколонником (коефіцієнт β приймаємо рівним одиниці, оскільки згинальні моменти відсутні)

$$V_{Ed, \sigma} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} = \frac{1,0 \cdot 2856,5}{(0,5 + 0,5) \cdot 2 \cdot 0,65} = 2197,3 \text{ (кПа)} < V_{Rd, \max} = 3625,3 \text{ кПа}.$$

Умова виконується.

Оскільки зріз при продавлюванні здійснюється по внутрішніх гранях паль, то перевіримо опір продавлюванню на контрольному периметрі на відстані $c = 200(300)$ мм від контуру підколонника (рис. 6.2).

Продавлююча сила за вирахування тиску під подошвою ростверка в межах контрольного периметра

$$V_{Ed} = N_m n_1/n = 2856,5 - (2208/3,2^2)(0,5 \cdot 2,4 + 0,5 \cdot 1,9 + \pi \cdot 0,95^2) = 2856,5 - 1074,6 = 1781,9 \text{ (кН)},$$

$$u = 2c_1 + 2c_2 + \pi \cdot 2c_1 = 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,5 + \pi \cdot 2 \cdot 0,95 = 8,0 \text{ (м)}.$$

Визначаємо розрахункову величину опору на зріз при продавлюванні фундаментних плит без поперечного армування

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,3} = 0,138; \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{650}} = 1,555 < 2.$$

Відсоток армування робочої арматури, який не перевищує 0,02

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{10,05}{100 \cdot 65,0} = 0,00155 < 0,02;$$

$$V_{\min} \frac{2d}{a} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \frac{2 \cdot 0,65}{0,95} = 0,035 \cdot 1,555^{3/2} \cdot 18,5^{1/2} \cdot 1,368 = 0,399 \text{ (МПа)}.$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_i f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = 0,138 \cdot 1,555(100 \cdot 0,00155 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 1,368 = 0,417 \text{ (МПа)} > V_{\min} = 0,399 \text{ (МПа)}.$$

Перевіряємо умову міцності на зріз при продавлюванні при відсутності поперечного армування

$$V_{Ed,\sigma} = \frac{\beta V_{Ed,red}}{ud} = \frac{1,0 \cdot 1781,9}{8,0 \cdot 0,65} = 342,7 \text{ (кПа)} < V_{Rd,c} = 417 \text{ кПа}.$$

Отже, міцність на продавлювання забезпечена.

Розрахунок на продавлювання кутовою палею.

$$\text{Вага ростверку з ґрунтом на його уступах} \quad G_{p+zp} = 436,1 \text{ (кН)}.$$

Розрахункове навантаження на палею з урахуванням ваги ростверку

$$F_1 = \frac{N_{bot}}{n} + \frac{M_{xbot} y_{max}}{\sum y_i^2} = \frac{2856,5 + 436,1 - 2208}{4} = 271,2 \text{ (кН)}.$$

Розрахункові параметри (позначення згідно з рис. 6.2):

$$b_{01} = 0,4 \text{ м}; \quad c_{01} = 0,95 \text{ м}; \quad b_{02} = 0,4 \text{ м}; \quad c_{02} = 0,95 \text{ м};$$

$$h_{01}/c_{01} = 650/950 = 0,684; \quad h_{01}/c_{02} = 650/950 = 0,684,$$

Коефіцієнти $\beta_1 = \beta_2 = 0,6$. $c_{01} = c_{02} = h_{01} = 0,65$ м.

Граничне навантаження на палю з умови продавлювання

$$F_{ai} = V_{Rd,c} \cdot h_{01} \left[\beta_1 \left(b_{02} + \frac{c_{02}}{2} \right) + \beta_2 \left(b_{01} + \frac{c_{01}}{2} \right) \right] =$$

$$= 1050 \cdot 0,65 \left[0,6 \left(0,4 + \frac{0,65}{2} \right) + 0,6 \cdot \left(0,4 + \frac{0,65}{2} \right) \right] = 593,8 \text{ (кН)} > F_1 = 271,2 \text{ кН.}$$

Міцність на продавлювання кутовою палею забезпечена.

Розрахунок міцності нахилених перерізів ростверку на дію поперечних сил.

Загальне максимальне розрахункове навантаження в поперечному перерізі 1-1 з урахуванням ваги ростверка

$$V_{Ed} = 2F_1 + 3,2 \cdot 1,35 \cdot (2208 / 3,2^2) = 2 \cdot 271,2 + 931,5 = 1473,9 \text{ (кН)}.$$

Мінімальна ширина перерізу балки $b_w = 3200$ (мм).

Максимально допустиме значення поперечної сили, що може витримати переріз

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 3,2 \cdot 0,65 \cdot 0,556 \cdot 13,05 \cdot 10^3 = 7546,0 \text{ (кН)}.$$

Перевіряємо умову міцності

$$V_{Ed} = 1473,9 \text{ кН} < V_{Rd,max} = 7546 \text{ кН. Розміри перерізу достатні.}$$

Визначимо необхідність розрахунку поперечних стержнів.

Відсоток армування робочої арматури

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{10,05}{100 \cdot 65,0} = 0,00155 < 0,02;$$

Визначаємо максимальну поперечну силу, що може витримати переріз без поперечного армування з урахуванням коефіцієнта $\beta = a/2d = 950/2 \cdot 650 = 0,73$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k (100 \rho_i f_{ck})^{1/3} b d / \beta + 0 =$$

$$= 0,138 \cdot 1,555 (100 \cdot 0,00155 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 3,2 \cdot 0,65 / 0,73 = 0,868 \text{ (МН)};$$

$$V_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,555^{3/2} \cdot 18,5^{1/2} = 0,292 \text{ (МН)}.$$

$$V_{Rd,c} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d / \beta = (0,292 + 0,15 \cdot 0) 3,2 \cdot 0,65 / 0,73 = 0,832 \text{ (МН)}.$$

Приймаємо більше значення $V_{Rd,c} = 0,868 \text{ (МН)}$.

$V_{Ed} = 1473,9 \text{ кН} < V_{Rd,c} = 868 \text{ кН}$. Умова міцності на зріз від поперечної сили не виконана.

Збільшуємо товщину плитної частини ростверку до 900 мм і кількість арматури до ($\text{Ø}20 \text{ A400C}$ з кроком 200)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{850}} = 1,485 < 2$$

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{15,71}{100 \cdot 85,0} = 0,00185 < 0,02;$$

$$\beta = a/2d = 950/2 \cdot 850 = 0,559$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_i f_{ck})^{1/3} bd / \beta + 0 = \\ = 0,138 \cdot 1,485(100 \cdot 0,00185 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 3,2 \cdot 0,85 / 0,559 = 1,502 \text{ (MH)};$$

$$V_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,485^{3/2} 18,5^{1/2} = 0,272 \text{ (MH)}.$$

$$V_{Rd,c} = (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d / \beta = (0,272 + 0,15 \cdot 0) 3,2 \cdot 0,85 / 0,559 = 1,326 \text{ (MH)}.$$

Приймаємо більше значення $V_{Rd,c} = 1,502 \text{ (MH)}$.

$V_{Ed} = 1473,9 \text{ кН} < V_{Rd,c} = 1502 \text{ кН}$. Умова міцності на зріз від поперечної сили виконана.

Розрахунок ростверку на згин.

Визначаємо згинальні моменти, що діють в перерізі 1-1 (рис. 5.2).

Згинальний момент від реакції паль з урахуванням ваги ростверку біля грані підколонника (переріз 1-1)

Загальне максимальне розрахункове навантаження на одну палю

$$F_1 = \frac{N_{bot}}{n} + \frac{M_{xbot} y_{\max}}{\sum y_i^2} = \frac{2856,5 + 436,1 - 2208}{4} = 271,2 \text{ (кН)}.$$

Згинальний момент від реакції паль і ростверку біля грані підколоннику

$$M = 2F_1(1,35 - 0,5/2) + 3,2 \cdot 1,35 \cdot (2208/3,2^2) \cdot 1,35/2 - \frac{(G_{p+sp.})(1,6 - 0,5/2)^2}{3,2 \cdot 2} =$$

$$= 2 \cdot 271,2 \cdot 1,1 + 628,8 - \frac{436,1 \cdot 1,35^2}{3,2 \cdot 2} = 1101,2 \text{ (кНм)}.$$

Знайдемо параметр λ $\lambda = \frac{\varepsilon_{cu3.cd} - \varepsilon_{c3.cd}}{\varepsilon_{cu3.cd}} = (3,1 - 0,63)/3,1 = 0,797.$

Максимально можлива стиснута зона.

$$x_1 = x_{lu} = z_s \frac{\varepsilon_{cu3.cd}}{\varepsilon_{cu3.cd} + \varepsilon_{so}} = 0,85 \frac{3,1}{3,1 + 1,729} = 0,545 \text{ (м)};$$

$$\varepsilon_{so} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{363}{2,1 \cdot 10^5} = 0,001729.$$

Визначаємо розрахункове значення величини стиснутої зони x_1

$$x_1 = \frac{d \cdot q_c - \sqrt{d^2 \cdot q_c^2 - 4k_\lambda q_c M}}{2q_c k_\lambda}, \text{ [м]}, \quad (5.1)$$

$$k_\lambda = \frac{1 + \lambda(1 + \lambda)}{3(1 + \lambda)} = \frac{1 + 0,797(1 + 0,797)}{3(1 + 0,797)} = 0,451;$$

$$q_c = \frac{1}{2} f_{cd} \cdot \gamma_{cl} \cdot b(1 + \lambda) = \frac{1}{2} 13,05 \cdot 10^3 \cdot 3,2 \cdot 1,0(1 + 0,797) = 37,5 \cdot 10^3 \text{ (кН / м)};$$

$$x_1 = \frac{0,85 \cdot 37,5 \cdot 10^3 - \sqrt{0,85^2 (37,5 \cdot 10^3)^2 - 4 \cdot 0,451 \cdot 37,5 \cdot 10^3 \cdot 1101,2}}{2 \cdot 0,451 \cdot 37,5 \cdot 10^3} =$$

$$= 0,0352 \text{ (м)}.$$

Перевіряємо умову $x_1 \leq x_{lu}$; $x_1 = 0,0352 \text{ м} \leq x_{lu} = 0,545 \text{ м}.$

Умова виконана. Отже, робоче армування розміщене лише в нижній зоні.

Знаходимо площу армування

$$A_s = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_1 (1 + \lambda)}{2f_{yd}} = \frac{13,05 \cdot 10^3 \cdot 3,2 \cdot 0,0352(1 + 0,797)}{2 \cdot 363 \cdot 10^3} = 0,00364 \text{ (м}^2\text{)} =$$

$$= 36,4 \text{ (см}^2\text{)}.$$

В поперечному і поздовжньому напрямку приймаємо армування 17Ø20 А400С (прийнято раніше при перевірці на дію поперечної сили) $A_s = 53,41 \text{ см}^2.$

5.2 Техніко-економічне порівняння варіантів фундаментів

При порівнянні варіантів фундаментів розглядаємо два варіанти конструктивного рішення фундаментів. Кількість фундаментів під середні колони складає 10 штук.

У таблиці 5.1 підраховані обсяги основних робіт на улаштування варіантів стовпчастих пальових фундаментів.

Таблиця 5.1 – Обсяги робіт з улаштування варіантів фундаментів

| Обґрунтування (шифр норм) | Найменування робіт і витрат | Одиниця виміру | Кількість |
|--|---|---------------------|---------------------------|
| 1. Варіант фундаменту з 7 паль С10-30 (базовий) | | | |
| КБ1-11-1 | 1. Розробка ґрунту котловану екскаватором $36,0 \cdot 3,2 \cdot 10 = 1152 \text{ м}^3$ | 1000 м ³ | 1,152 |
| КБ5-3-5 | 2. Заглиблення дизель-молотом гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 10 м у ґрунти групи 1 $0,09 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10 \text{ м}^3$ | м ³ | 63 |
| С1411-139 | 3. Вартість паль марки С10-30 ГОСТ 19804.1-79 $7 \cdot 10 \cdot 10$ | п. м | 700 |
| КБ6-1-1 | 4. Улаштування бетонної підготовки з бетону класу В7,5 (М100) товщиною 100 мм під ростверк $2,3 \cdot 2,6 \cdot 0,1 \cdot 10 = 6,0 \text{ м}^3$ | 100 м ³ | 0,06 |
| КБ6-1-6 | 5. Улаштування монолітних залізобетонних стовпчастих фундаментів під колони об'ємом до $5 \text{ м}^3 (2,1 \cdot 2,4 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,8) \cdot 10 = 3,728 \cdot 10 = 37,3 \text{ (м}^3)$ з бетону класу С20/25 (В25) | 100 м ³ | 0,373 |
| С147 | 6. Арматура для ростверків $\varnothing 16 \text{ A400C (A-III)} \quad 40,8 \cdot 10$ $\varnothing 14 \text{ A400C (A-III)} \quad 32,2 \cdot 10$ $\varnothing 32 \text{ A400C (A-III)} \quad 80,8 \cdot 10$ $\varnothing 8 \text{ A240C (A-I)} \quad 5,53 \cdot 10$ | кг | 408 322 808 55,3 |
| КБ1-27-1 | 7. Зворотна засипка котловану $36,0 \cdot 1,6 \cdot 10 - 6,0 - 37,3 = 532 \text{ (м}^3)$ | м ³ | 532 |
| КБ1-130-1 | 8. Ущільнення ґрунту в пазухах котловану | м ³ | 532 |
| 2. Варіант фундаменту з 4 паль С10-30 (за результатами наукових досліджень) | | | |

| | | | |
|----------|---|--------------------|-------|
| КБ1-11-1 | 1. Розробка ґрунту котловану екскаватором $36,0 \cdot 3,2 \cdot 10 = 1152 \text{ м}^3$ | 1000 м^3 | 1,152 |
| КБ5-3-5 | 2. Заглиблення дизель-молотом гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 10 м у ґрунти групи 1 $0,09 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10 \text{ м}^3$ | м^3 | 36 |

Продовження таблиці 5.1

| Найменування робіт і витрат | | Одиниця виміру | Кількість |
|-----------------------------|--|-------------------|---------------------|
| С1411-139 | 3. Вартість паль марки С10-30 ГОСТ 19804.1-79 $4 \cdot 10 \cdot 10$ | п. м | 400 |
| КБ6-1-1 | 4. Улаштування бетонної підготовки з бетону класу В7,5 (М100) товщиною 100 мм під ростверк $3,4 \cdot 3,4 \cdot 0,1 \cdot 10 = 11,5 \text{ м}^3$ | 100 м^3 | 0,115 |
| КБ6-1-6 | 5. Улаштування монолітних залізобетонних стовпчастих фундаментів під колони об'ємом до 10 м^3 $(3,2 \cdot 3,2 \cdot 0,9 + 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6) \cdot 10 = 9,37 \cdot 10 = 93,7 \text{ (м}^3\text{)}$ з бетону класу С20/25 (В25) | 100 м^3 | 0,937 |
| С174 | 6. Арматура для ростверків $\text{Ø}20 \text{ А400С (А-III)} \quad 264,1 \cdot 10$ $\text{Ø}32 \text{ А400С (А-III)} \quad 80,8 \cdot 10$ $\text{Ø}8 \text{ А240С (А-I)} \quad 5,53 \cdot 10$ | кг | 2641 808 55,3 |
| КБ1-27-1 | 7. Зворотна засипка котловану $36,0 \cdot 1,6 \cdot 10 - 11,5 - 93,7 = 471 \text{ (м}^3\text{)}$ | м^3 | 471 |
| КБ1-130-1 | 8. Ущільнення ґрунту в пазухах котловану | м^3 | 471 |

На основі підрахованих об'ємів робіт таблиці 5.1 складаємо локальні кошториси (таблиці 5.2, 5.3) за допомогою кошторисної програми Будівельні технології.

Для виконання порівняння зводимо усі підраховані показники в таблицю 5.4.

Будівельні Технології: Кошторис 8.4 Онлайн

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---------------|---|--|-------|-----------|---------|--------|-------|--------|----------|--------|
| 1 | КБ1-11-1 | Розроблення ґрунту у відвал екскаваторами 'драглайн' або 'зворотна лопата' з ковшом місткістю 2,5 [1,5-3] м3, група ґрунтів 1 | 1000 м ³ ґрунту | 1.152 | 8404.17 | 7913.71 | 9682 | 565 | 9117 | 7.1600 | 8.25 |
| | | | | | 490.46 | 2698.87 | | | 3109 | 31.4781 | 36.26 |
| 2 | КБ5-3-5 | Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною до 12 м у ґрунти групи 1 | 1м ³ паль | 63.0 | 2843.19 | 2395.19 | 179121 | 15721 | 150897 | 3.3900 | 213.57 |
| | | | | | 249.54 | 245.00 | | | 15435 | 2.6765 | 168.62 |
| 3 | К58-1721-К707 | Палі забивні залізобетонні марки С10-30 ГОСТ 19804.1-79 | шт | 70 | 6764.53 | | 473520 | | | | |
| 4 | КБ6-1-1 | Улаштування бетонної підготовки | 100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі | 0.06 | 279011.09 | 2329.72 | 16741 | 570 | 140 | 150.7000 | 9.04 |
| | | | | | 9492.59 | 890.07 | | | 53 | 10.6641 | 0.64 |
| 5 | КБ6-1-6 | Улаштування залізобетонних фундаментів загального призначення під колони, об'єм понад 3 м3 до 5 м3 | 100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі | 0.373 | 342434.33 | 9144.68 | 127728 | 11136 | 3411 | 435.8300 | 162.56 |
| | | | | | 29854.36 | 3405.61 | | | 1270 | 40.8984 | 15.26 |

Будівельні Технології: Кошторис 8.4 Онлайн

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-----------|--|-------------------------------------|-------|----------|----------|---------|-------|--------|---------|--------|
| 6 | C147-1-8 | Стрижнева арматура А-I, діаметр 8 мм | 100кг | 0.553 | 3239.37 | | 1791 | | | | |
| 7 | C147-4-14 | Стрижнева арматура А-III, діаметр 14 мм | 100кг | 3.22 | 3359.58 | | 10818 | | | | |
| 8 | C147-4-16 | Стрижнева арматура А-III, діаметр 16 мм | 100кг | 4.08 | 3359.58 | | 13707 | | | | |
| 9 | C147-4-32 | Стрижнева арматура А-III, діаметр 32 мм | 100кг | 8.08 | 3359.58 | | 27145 | | | | |
| 10 | KB1-27-1 | Засипка траншей і котлованів бульдозерами потужністю 59 кВт [80 к.с.] з переміщенням грунту до 5 м, група ґрунтів 1 | 1000 м3 грунту | 0.532 | 6954.47 | 6954.47 | 3700 | - | 3700 | - | - |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | - | 1248.09 | | 664 | 15.1575 | 8.06 |
| 11 | KB1-130-1 | Ущільнення ґрунту причіпними котками на пневмоколісному ходу масою 25 т за перший прохід по одному сліду при товщині шару 25 см | 1000м3 ущільнен ого грунту | 0.532 | 20974.85 | 20974.85 | 11159 | - | 11159 | - | - |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | - | 3464.89 | | 1843 | 35.8638 | 19.08 |
| | | Разом прямих витрат по кошторису | | | | | 875112 | 27992 | 178424 | | 393.42 |
| | | | | | | | | | 22374 | | 247.92 |
| | | Разом прямі витрати | | | | грн. | 875112 | | | | |
| | | в тому числі: | | | | | | | | | |
| | | вартість матеріалів, виробів і комплектів | | | | грн. | 242528 | | | | |
| | | вартість ЕММ | | | | грн. | 178424 | | | | |
| | | в т.ч. заробітна плата в ЕММ | | | | грн. | | 22374 | | | |

Будівельні Технології: Кошторис 8.4 Онлайн

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|-------|--------|-------|----|----|--------|
| | | заробітна плата робітників | | | | грн. | | 27992 | | | |
| | | всього заробітна плата | | | | грн. | | 50366 | | | |
| | | Загальновиробничі витрати | | | | грн. | 27498 | | | | |
| | | трудоємність в загальновиробничих витратах | | | | люд-г | | | | | 76.96 |
| | | заробітна плата в загальновиробничих витратах | | | | грн. | | 8879 | | | |
| | | Всього по кошторису | | | | грн. | 902610 | | | | |
| | | Кошторисна трудоємність | | | | люд-г | | | | | 718.30 |
| | | Кошторисна заробітна плата | | | | грн. | | 59245 | | | |

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

| | | | | | | | | | | на ОДИНИЦЮ | ВСЬОГО |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---------------|---|--|-------|-----------|---------|--------|-------|-------|----------|--------|
| 1 | КБ1-11-1 | Розроблення ґрунту у відвал екскаваторами 'драглайн' або 'зворотна лопата' з ковшом місткістю 2,5 [1,5-3] м3, група ґрунтів 1 | 1000 м3 ґрунту | 1.152 | 8404.17 | 7913.71 | 9682 | 565 | 9117 | 7.1600 | 8.25 |
| | | | | | 490.46 | 2698.87 | | | 3109 | 31.4781 | 36.26 |
| 2 | КБ5-3-5 | Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною до 12 м у ґрунти групи 1 | 1м3 паль | 36.0 | 2843.19 | 2395.19 | 102355 | 8983 | 86227 | 3.3900 | 122.04 |
| | | | | | 249.54 | 245.00 | | | 8820 | 2.6765 | 96.35 |
| 3 | К58-1721-К707 | Палі забивні залізобетонні марки С10-30 ГОСТ 19804.1-79 | шт | 40 | 6764.53 | | 270580 | | | | |
| 4 | КБ6-1-1 | Улаштування бетонної підготовки | 100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі | 0.115 | 279011.09 | 2329.72 | 32086 | 1092 | 268 | 150.7000 | 17.33 |
| | | | | | 9492.59 | 890.07 | | | 102 | 10.6641 | 1.23 |
| 5 | КБ6-1-6 | Улаштування залізобетонних фундаментів загального призначення під колони, об'єм понад 3 м3 до 5 м3 | 100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі | 0.937 | 342434.33 | 9144.68 | 320861 | 27974 | 8569 | 435.8300 | 408.37 |
| | | | | | 29854.36 | 3405.61 | | | 3191 | 40.8984 | 38.32 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|----|-----------|--|-------------------------------------|-------|----------|----------|-------|--------|-------|--------|-----|---------|
| 6 | C147-1-8 | Стрижнева арматура А-I, діаметр 8 мм | 100кг | 0.553 | 3239.37 | | 1791 | | | | | |
| 7 | C147-4-20 | Стрижнева арматура А-III, діаметр 20 мм | 100кг | 26.41 | 3359.58 | | 88727 | | | | | |
| 8 | C147-4-32 | Стрижнева арматура А-III, діаметр 32 мм | 100кг | 8.08 | 3359.58 | | 27145 | | | | | |
| 9 | КБ1-27-1 | Засипка траншей і котлованів бульдозерами потужністю 59 кВт [80 к.с.] з переміщенням грунту до 5 м, група ґрунтів 1 | 1000 м3 грунту | 0.471 | 6954.47 | 6954.47 | 3276 | - | 3276 | - | - | |
| | | | | | | | | | | | 588 | 15.1575 |
| 10 | КБ1-130-1 | Ущільнення ґрунту причіпними котками на пневмоколісному ходу масою 25 т за перший прохід по одному сліду при товщині шару 25 см | 1000м3 ущільнен ого грунту | 0.471 | 20974.85 | 20974.85 | 9879 | - | 9879 | - | - | |
| | | | | | | | | | | | | 1632 |
| | | Разом прямих витрат по кошторису | | | | | | 866382 | 38614 | 117336 | | 555.99 |
| | | | | | | | | | | 17442 | | 196.19 |
| | | Разом прямі витрати | | | | | грн. | 866382 | | | | |
| | | в тому числі: | | | | | | | | | | |
| | | вартість матеріалів, виробів і комплектів | | | | | грн. | 466910 | | | | |
| | | вартість ЕММ | | | | | грн. | 117336 | | | | |
| | | в т.ч. заробітна плата в ЕММ | | | | | грн. | | 17442 | | | |
| | | заробітна плата робітників | | | | | грн. | | 38614 | | | |

Будівельні Технології: Кошторис 8.4 Онлайн

336_лк 09-002-004

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|-------|--------|-------|----|----|--------|
| | | всього заробітна плата | | | | грн. | | 56056 | | | |
| | | Загальновиробничі витрати | | | | грн. | 31544 | | | | |
| | | трудоємність в загальновиробничих витратах | | | | люд-г | | | | | 90.27 |
| | | заробітна плата в загальновиробничих витратах | | | | грн. | | 10414 | | | |
| | | Всього по кошторису | | | | грн. | 897926 | | | | |
| | | Кошторисна трудоємність | | | | люд-г | | | | | 842.45 |
| | | Кошторисна заробітна плата | | | | грн. | | 66470 | | | |

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Таблиця 5.4 - Порівняння варіантів фундаментів

| Показники | Варіант 1 | Варіант 2 |
|---|-----------|-----------|
| Прямі витрати, тис. грн. | 875,112 | 866,382 |
| Кошторисна трудомісткість, тис. люд.-год. | 0,718 | 0,842 |
| Кошторисна заробітна плата, грн. | 59,245 | 66,47 |
| Кошторисна вартість робіт, тис. грн. | 902,610 | 897,926 |

Висновки за розділом 5

В даному розділі виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів влаштування фундаментів:

- варіант 1 - фундамент з паль С10-30 у кількості 7 шт;
- варіант 2 – фундамент з паль С10-30 у кількості 4 шт;

Для кожного варіанту розроблений локальний кошторис на влаштування паль за допомогою програмного комплексу Будівельні технології. В кошторисному документах визначена:

- кошторисна вартість виконання робіт.
- заробітна плата.
- вартості матеріалів.
- кошторисна трудомісткість.

В результаті розрахунків економічним варіантом за кошторисною вартістю є варіант влаштування фундаментів із 4 паль, запропонований за результатами наукових досліджень.

ВИСНОВКИ

1. Математичне моделювання за допомогою різних програмних комплексів в цілому дозволяє зробити однакові висновки в якісній картині розподілу зусиль між палями і ростверком.

2. Характер розподілу напружень і переміщень по підшві ростверка при використанні різних програмних комплексів виявився аналогічним. А саме, найбільше осідання спостерігається в місці прикладання зосередженого навантаження від колони посередині ростверка. Найбільші напруження під підшвою ростверка спостерігаються в зоні його периметру. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану якісно відповідають відомим результатам попередніх дослідників.

3. Для визначення критерія несучої здатності груп пальь були виконані ручні розрахунки несучої здатності і осідань пальових фундаментів, паль і ростверків у відповідних ґрунтах за вимогами норм. Результати розрахунків показали, що критерієм визначення навантаження, яке сприймає група пальь, для розрахунків в різних програмних комплексах слугують різні значення переміщень:

- для програмного комплексу Ліра - осідання 15 мм.
- при використанні програмного комплексу SOFiSTiK таким критерієм була деформація 40 мм,
- при використанні програмного комплексу Plaxis – 100 мм.

4. Всі програмні комплекси дозволили зробити висновок, що при сталих розмірах ростверка основними чинниками, що впливають на ступінь реалізації несучої здатності пального фундаменту, є кількість пальь, їх крок і вид ґрунту. Збільшення кількості пальь, яке призводить до збільшення компактності їх розміщення, спричинює неповне використання роботи ростверка і пальь. При сталій

кількості паль збільшення площі ростверка збільшує реалізацію його несучої здатності.

5. Якісні результати оцінки таких параметрів, як частка ростверку у навантаженні на фундамент, ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверків однакові при розрахунках в різних програмних комплексах. Але кількісні діапазони зміни означених параметрів відрізняються. При наявності результатів розрахунків у кількох програмних комплексах слід дотримуватись обережних оцінок на мінімальній межі.

6. Жоден з програмних комплексів не дозволяє достовірно визначити кількісні параметри розподілу зусиль між елементами пального фундаменту. Для підтвердження кількісних параметрів необхідний фізичний експеримент. З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундаменту.

Список використаних джерел

1. Abdolrezayi A., Khayat N. Comparative Three-Dimensional Finite Element Analysis of Piled Raft Foundations. *Computational Engineering and Physical Modeling* 4-1 (2021) 19-36.
2. Hewitt P, Gue SS. Piled Raft Foundation in a weathered sedimentary formation. *Proc Geotropica* 1994:1–11.
3. Дитюк О. Є. Обґрунтування параметрів комбінованих плитно-пальових фундаментів багатоповерхових будівель. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія. Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, 2023, 164 с.
4. ANDRÉ RYLTIENIUS Modelling of Piled Raft Foundations in Two and Three Dimensions. Master's Dissertation (TVGT-5046, Lund University, (2011). 69 p.
5. 6 Reasons Why You Should Use PLAXIS for Geotechnical Analysis. Bentley Systems. Published: 12 April 2021.
6. Richard Witasse How to Model Piles in PLAXIS. *Geotechnical Engineering*. May 19, 2021.
7. Gouw Tjie-Liong Effects of Pile Lateral Movement, Pile Spacing and Pile Numbers on Laterally Loaded Group Piles. International Conference on *PILE* 2017.
8. Shahad Kh. Elias та Moataz A. Al-Obaydi Effect of asymmetry pile's length on piled raft foundation system under earthquake load. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2024, 71(1). 17 p.
9. Garg P, Singh H, Jha J (2011) Optimization of piled-raft foundation. In: UKIERI Concrete Congress-Innovations in Concrete Construction, p 1724–1735.
10. Richard Witasse Optimizing Soil Improvement with PLAXIS: Techniques and Benefits. *Geotechnical Engineering | Seequent Recent Articles*. November 6, 2024. https://blog.bentley.com/category/geotechnical-engineering/?utm_source=chatgpt.com.
11. Загоруйко Є. А., Лозовий С. О. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ДЕФОРМАЦІЙ. *Нові технології в будівництві* №1/2(23/24), 2012, С.68-73.

12. Бондарева Л., Нечипоренко Д. Дослідження впливу способів моделювання паль на розподіл зусиль у пальовому фундаменті. ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ. 2022. Випуск 44, с.44-54.

13. Кашоїда О.О. Взаємодія пальових фундаментів з ґрунтовими основами при врахуванні зміни жорсткості конструкцій будівлі. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво. Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2023. 169 с.

14. Самородов О. В. Нова конструкція плитно-пального фундаменту. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 1 (214). Дніпропетровськ : ПДАБА, 2016. С. 58-65.

15. Самородов О., Табачников С., Дитюк О., Бондар О. Польові дослідження напруженого стану системи «ґрунтова основа – комбінований пально-плитний фундамент» багатофункціонального комплексу у місті Харкові. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип.46. Київ : КНУБА, 2023. С.38-48.

16. Методичні вказівки та вихідні дані з дисципліни «Системи наскрізного проектування» до розрахунково-графічних робіт та курсової роботи для студентів освітнього рівня «Магістр» галузі знань 19«Архітектура та будівництво» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Одеса : ОДАБА, 2021. 70 с.

17. Самородов О.В., Дитюк О.С. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КОМБІНОВАНОГО ПЛИТНО-ПАЛЬНОГО ФУНДАМЕНТУ. Науковий вісник будівництва, 2023, т.1, №109. С. 42-49.

18. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування зі зміною №1 та №2. [Чинний від 2012-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с. (Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення).

19. Носенко В., Кашоїда О. Визначення напружено-деформованого стану групи паль шляхом числового моделювання їх взаємодії з основою за даними польових

досліджень. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Київ, КНУБА, 2021. Вип.43. С.87-100.

20. ДУБІНЧИК О. І., НЕДУЖА Л. О. Обґрунтування напружено-деформованого стану пальового фундаменту з використанням програмних комплексів. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2021, № 20. С. 13-18.

21. Підлуцький В., П'ятков О., Беган В. Дослідження напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій при визначенні вертикальної жорсткості паль за допомогою різних програмних комплексів. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Київ, КНУБА, 2023. Вип. 47. С. 15-28.

22. Маєвська І. В. Попович М.М., Кременська Ю. О. Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту за результатами фізичного моделювання. „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. – 2022. – №2(33). – С. 108-118.

23. Малишев О.М., Цимбал С.О., Маєвська І.В., Блащук Н.В. Сумісна робота паль і ростверку у стовпчастому пальовому фундаменті. *Молодь в науці: тез. регіон. наук.-практ. інтернет-конф. студентів, аспірантів та молодих науковців ВНТУ, м. Вінниця, 2 січ. 2018.* Вінниця, 2018. - URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/viewFile/3694/31033103>.

24. Кримняк Я. М., Маєвська І. В. Робота забивних паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту. Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», Вінниця, ВНТУ, 2021 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11077>.

25. Маєвська І. В., Блащук Н.В., Кременська Ю. О. Особливості роботи пальових кушків з коротких паль за даними числового моделювання. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. – Вип.43. – К.: КНУБА, 2021. – С.30-39. <http://bf.knuba.edu.ua/issue/view/15533>

26. Блащук Н. В., Ткачук А. А., Шевчук Є. О. Перерозподіл зусиль між елементами кушового пальового фундаменту в залежності від кількості паль. *Матеріали конференції «LI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького*

національного технічного університету (2022)», Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15454>.

27. Ганущак Ю. В., Маєвська І. В. Математичне моделювання роботи комплексного стовпчастого пальового фундаменту. Збірник матеріалів ЛІІ Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету ВНТУ. Вінниця, 2024. 10 с. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20500/17070> (дата звернення 29.03.2024).

28. Грисюк В. М., Маєвська І.В., Шмундяк О.Ю. ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ У РІЗНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСАХ. *Матеріали «LIV Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2025)»*, Вінниця, 2025. [Електронний ресурс] <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23967/20235>.

29. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 182 с.

30. Шевчук В.В., Маєвська І.В. Порівняльний аналіз різних методик визначення осідання паль / *Енергоефективність в галузях економіки України*. Тези доповіді міжнародн. н/т конф. (Вінниця, 12-14 листопада 2019 р.), Вінниця, ВНТУ, 2019, URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2019/paper/viewFile/8262/6945>.

31. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023-01-11]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 123 с.

32. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будинків і споруд. [Чинний від 2019-01-04]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 95 с.

33. ДБН В.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. Основні положення. [Чинний від 2019-01-06]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 43 с. (Будинки і споруди).

34. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с. (Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі).

35. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 23 с.

36. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2013-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 52 с.

37. ДБН В.1.2.-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Київ : Мінбуд України, 2006. – 59 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів).

38. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-01-06]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. - 35 с.

39. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 179 с.

40. ДСТУ Б А.2.4.-6:2009. Правила виконання робочої документації генеральних планів. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 34 с. (Система проектної документації для будівництва).

41. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 30 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів).

42. ДБН В 1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. [Чинний від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 110 с.

43. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2011-06-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с. (Конструкції будинків і споруд).

44. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с. (Конструкції будинків і споруд).

45. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Київ : Мінбуд України, 2006. 15 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів).

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Моделювання роботи стовпчастих паливових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ: кафедра БМГА, ФБЦЕІ
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 18.52 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

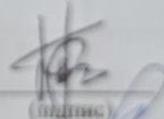
У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бікс Ю. С. доцент, гарант ОП
(прізвище, ініціали, посада)

Швець В. В. доцент, зав. каф. БМГА
(прізвище, ініціали, посада)

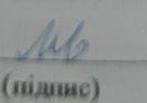

(підпис)


(підпис)

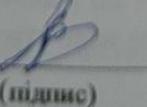
Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Блашук Н. В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис)

Маєвська І. В. доц.
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис)

Гришок В. М.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б

Відомість графічної частини

| Аркуш № | Найменування | Примітки |
|---------|--|-----------|
| 1 | Мета і задачі дослідження | Плакат 1 |
| 2 | Програма моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 (додатково варіюється вид ґрунту) | Плакат 2 |
| 3 | Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту при довжині паль 3 та 10 м | Плакат 3 |
| 4 | Розподіл зусиль між палями групи і нумерація паль в глинистому ґрунті при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1 | Плакат 4 |
| 5 | Кольорові діаграми тиску під подошвою ростверка при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1. Кольорові діаграми осідань під подошвою ростверка при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1 | Плакат 5 |
| 6 | Залежність осідання-навантаження при моделюванні в Plaxis, SOFiSTiK та Лірі | Плакат 6 |
| 7 | Графіки залежності навантаження на куц з від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 7 |
| 8 | Графіки залежності навантаження на куц з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 8 |
| 9 | Графіки залежності навантаження на куц з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 9 |
| 10 | Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з ростверком $3,2 \times 3,2 \text{ м}$ ($2,4 \times 2,4 \text{ м}$ для Plaxis) від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 10 |
| 11 | Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 11 |
| 12 | Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 12 |

| | | |
|----|--|--------------|
| 13 | Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з ростверком $3,2 \times 3,2 = 10,24$ м ² від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 13 |
| 14 | Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24$ м ² від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 14 |
| 15 | Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 15 |
| 16 | Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком $3,2 \times 3,2$ м від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 16 |
| 17 | Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24$ м ² від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 17 |
| 18 | Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль | Плакат 18 |
| 19 | Висновки за результатами досліджень | Плакат 19 |
| 20 | Фасад в осях "1-5", фасад в осях "Е-А", фасад в осях "А-Е", фасад в осях "5-1". | |
| 21 | План підвального поверху, план першого поверху, експлікація приміщень | |
| 22 | План четвертого поверху, експлікація приміщень, фрагмент генплану, розріз 1-1. | |
| 23 | Геологічний розріз, план фундаментів, робочі креслення фундаментів, розріз 1 - 1, сітки С - 1, С - 2, специфікації | |

Магістерська кваліфікаційна робота Грисюка В. М. на тему:
«Моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів»

Мета дослідження. Співставлення результатів фізичного та математичного моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів та аналіз їх відмінностей.

Задачі дослідження:

- проведення детальних досліджень за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 R2;
- систематизація і збір результатів досліджень за допомогою маломасштабних моделей у лотку;
- систематизація і збір результатів досліджень за допомогою програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK для порівняння з результатами, одержаними у програмному комплексі ЛІРА-САПР 2024;
- порівняльний аналіз результатів, одержаних різними методами.

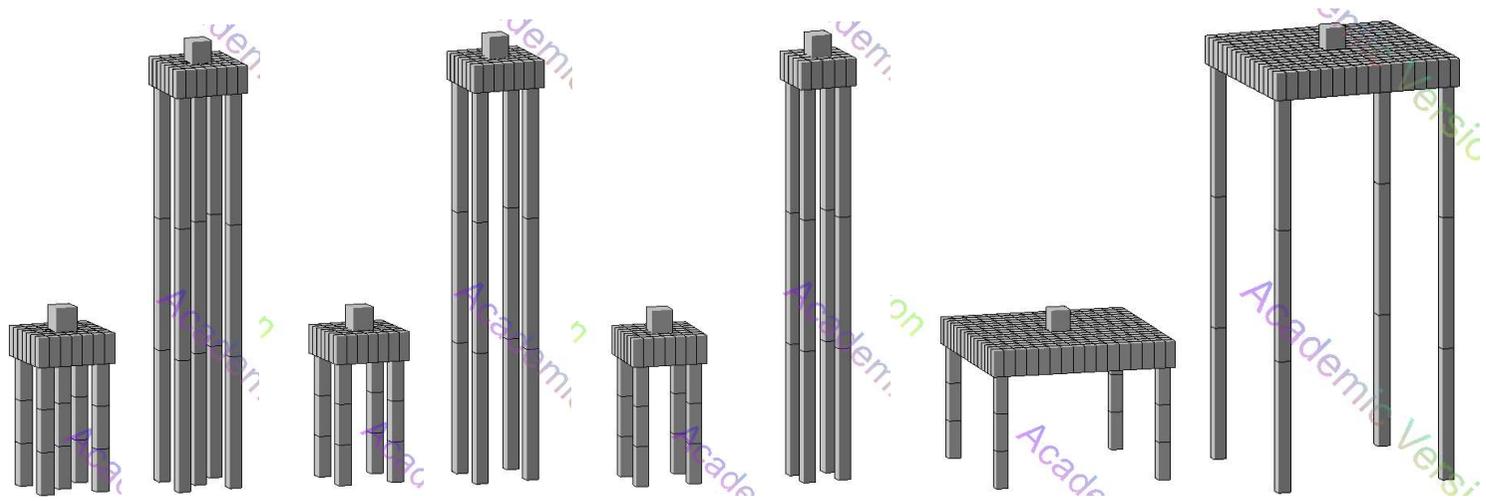
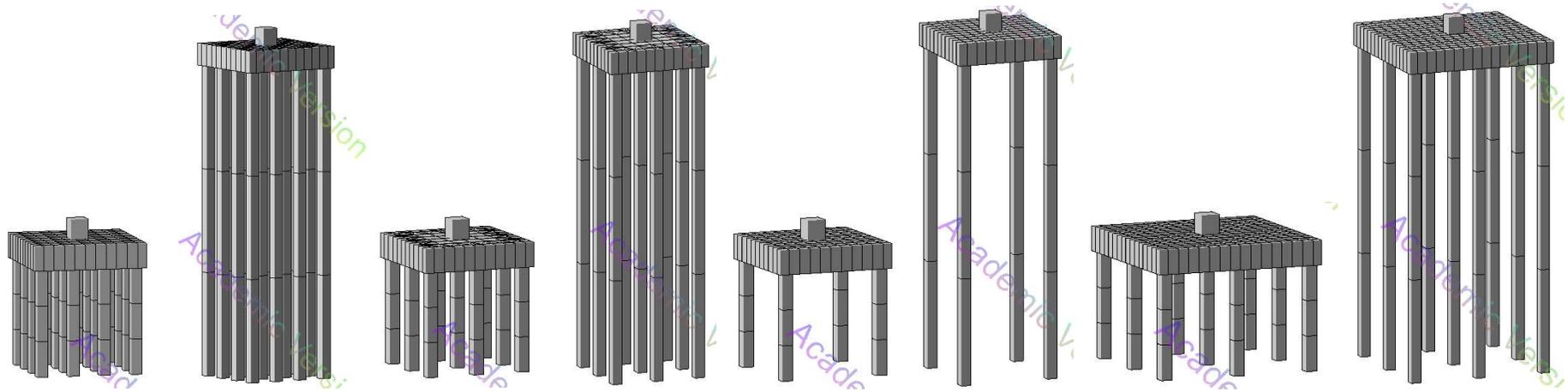
Програма моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024 (додатково варіюється вид ґрунту)

| Група дослідів | Довжина та поперечник паль | Розміщення паль у ростверку |
|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 2 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 3 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 4 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |

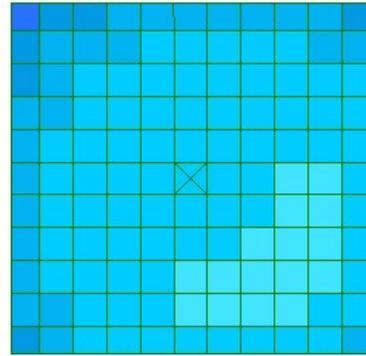
| Група дослідів | Довжина та поперечник паль | Розміщення паль у ростверку |
|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 4 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 5 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 6 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 7 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| 8 | $L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |
| | $L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$ | |

Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту

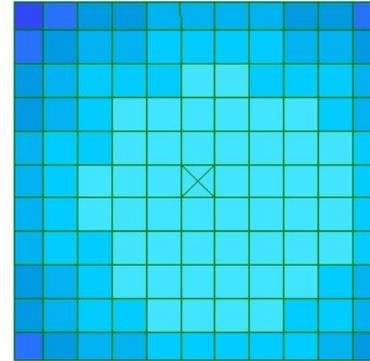
при довжині палів 3 та 10 м



Кольорові діаграми тиску під подошвою ростверка при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1

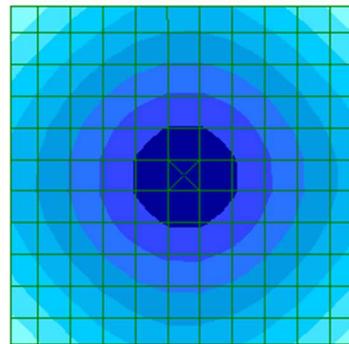


піщаний ґрунт

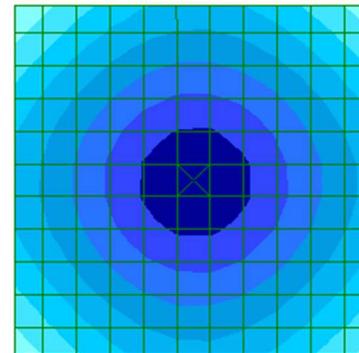


глинистий ґрунт

Кольорові діаграми осідань під подошвою ростверка при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1



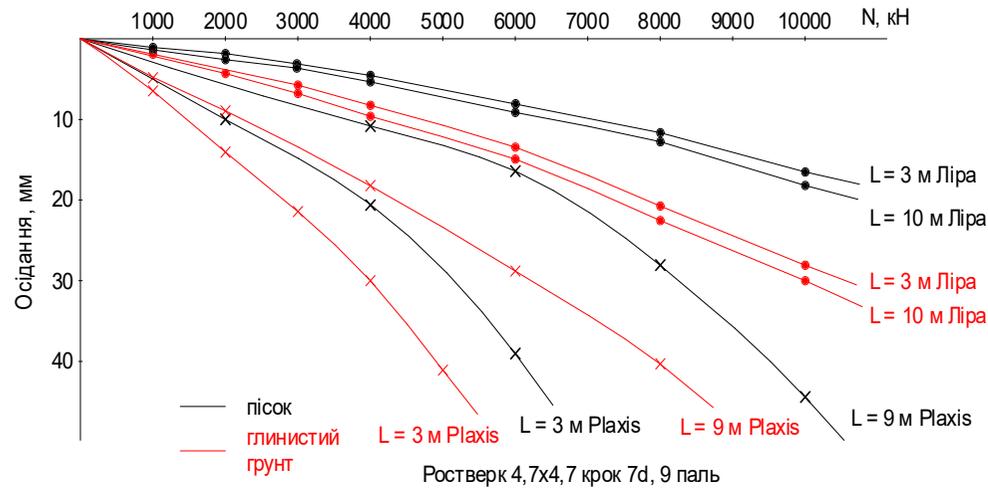
піщаний ґрунт



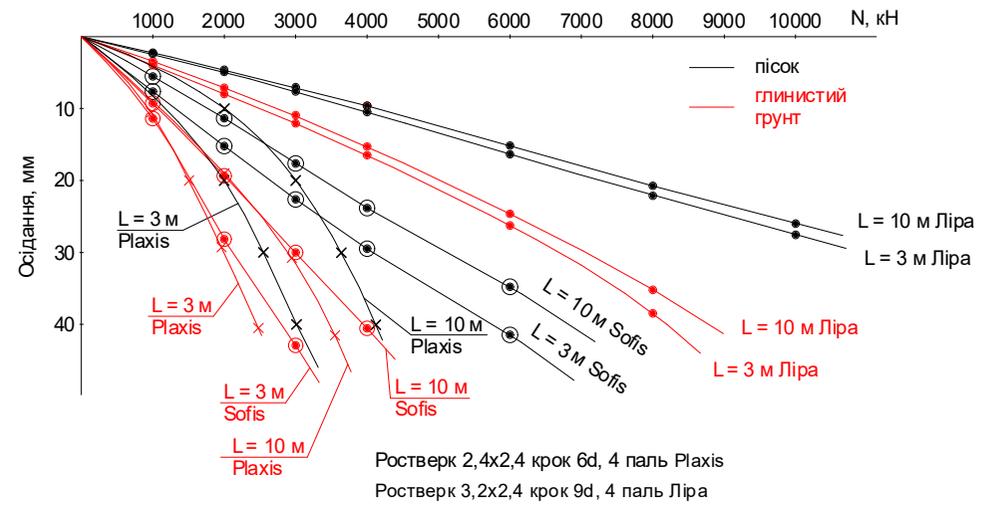
глинистий ґрунт

Залежність осідання-навантаження при моделюванні в Plaxis, SOFiSTiK та Лірі

“Для пального фундаменту з 9 палей,
розміщених з кроком 3d
(розміри ростверка 4,7x4,7 м)

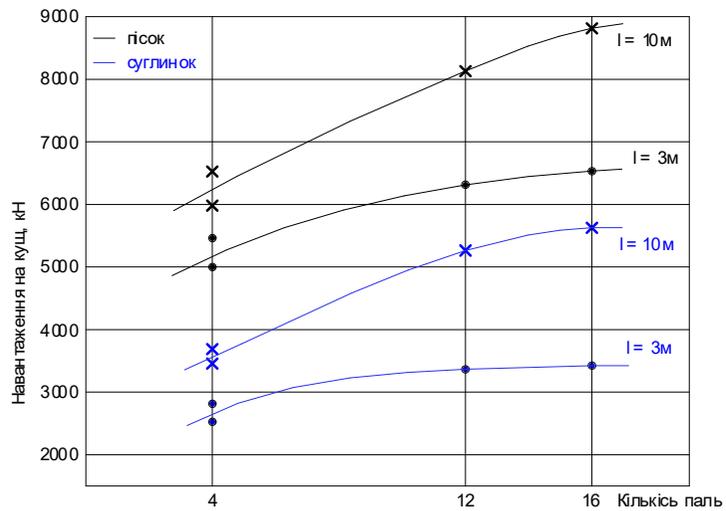


Для пального фундаменту з 4 палей,
розміщених з кроком 6d
(розміри ростверка 2,4x2,4 м)

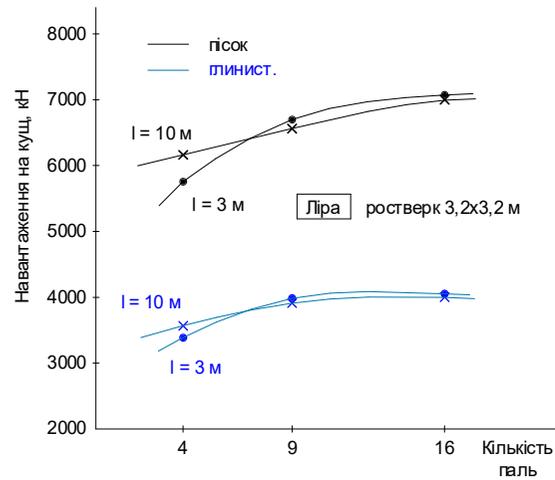
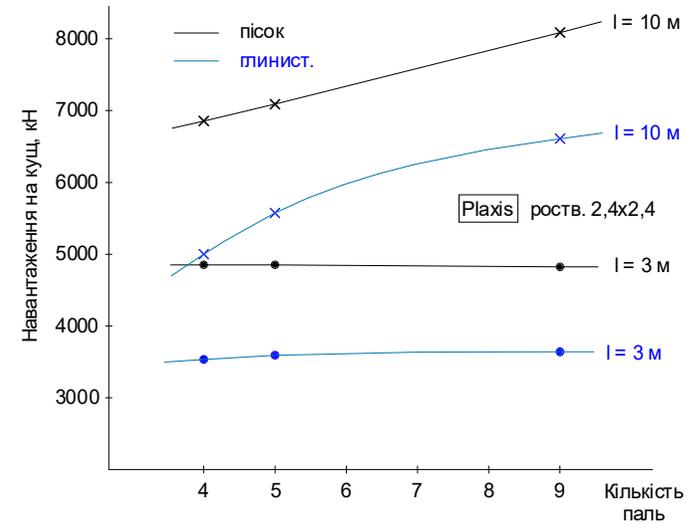


Графіки залежності навантаження на куц з від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

SOFiSTiK, ростверк 3,2×3,2 м

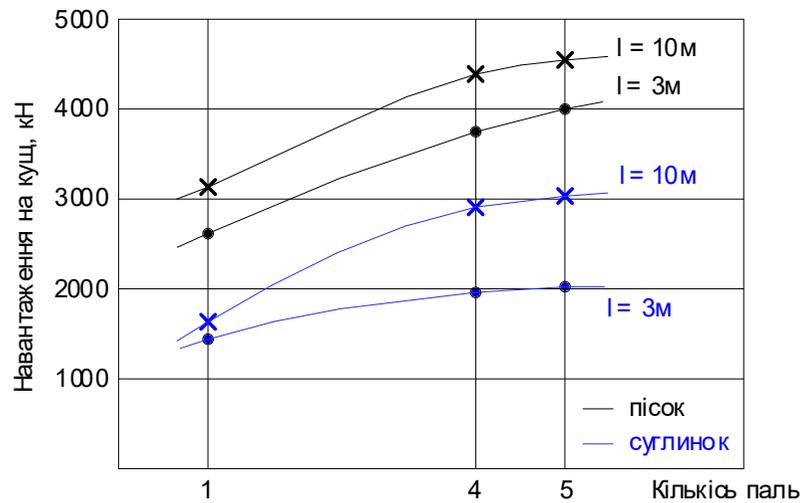


Plaxis, ростверк 2,4х2,4 м

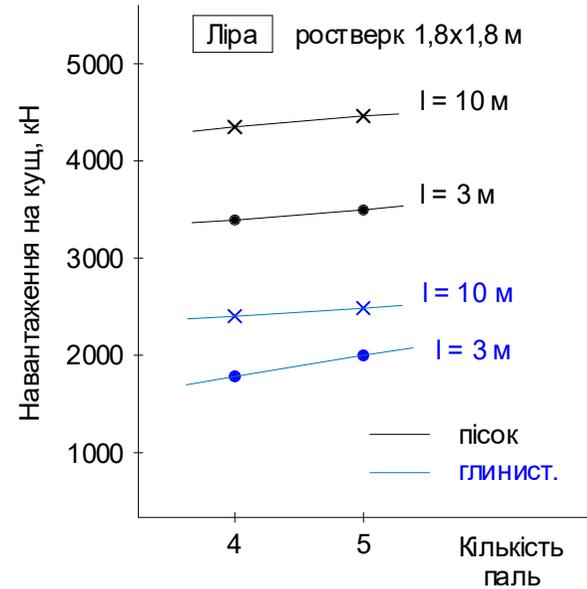


Ліра, ростверк 3,2×3,2 м

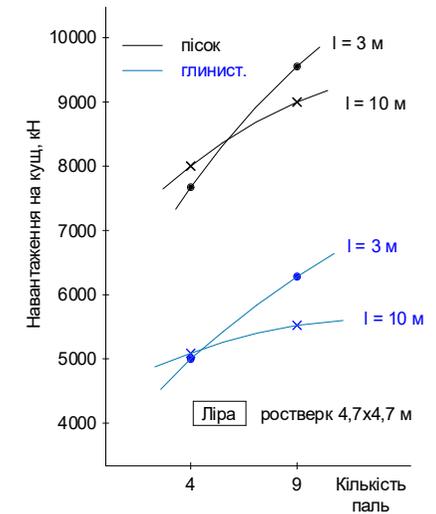
Графіки залежності навантаження на куц з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK, ростверк $1,8 \times 1,8 \text{ м}$

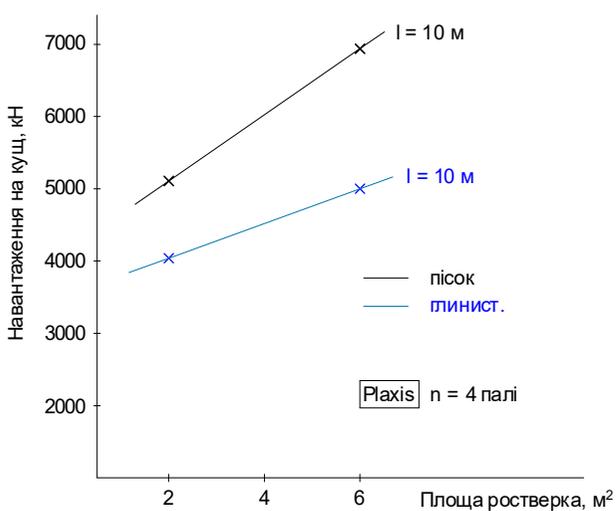
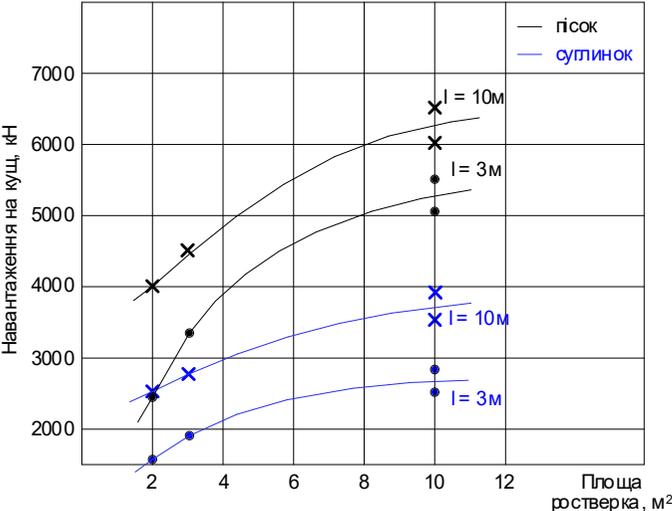


Ліра, ростверк $1,8 \times 1,8 \text{ м}$



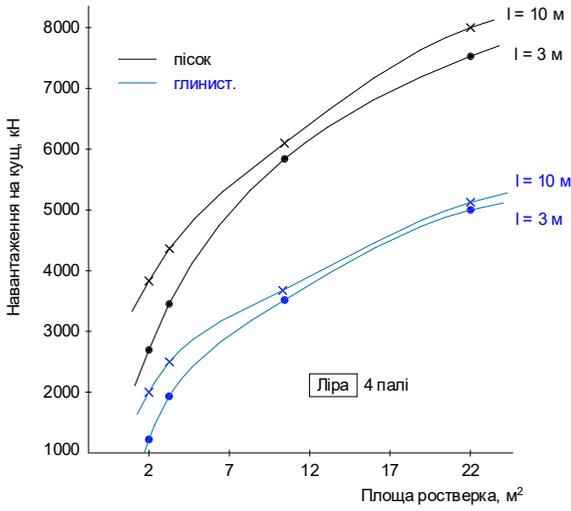
Ліра, ростверк $4,7 \times 4,7 \text{ м}$

Графіки залежності навантаження на куц з 4 палів від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині палів



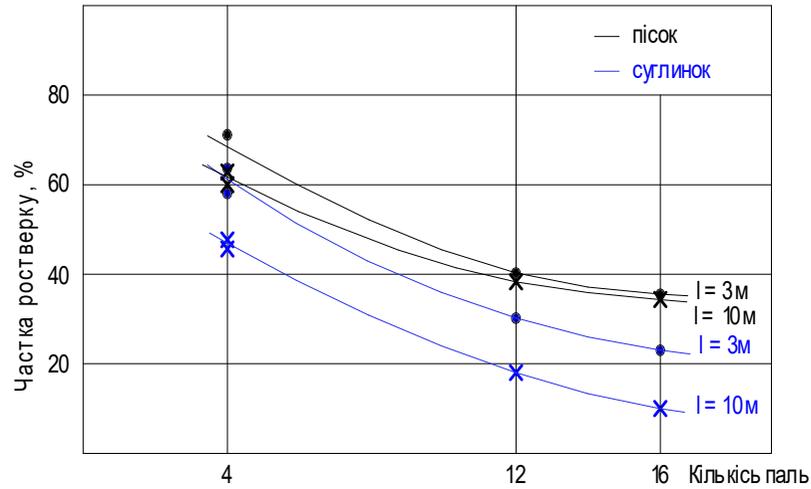
SOFiSTiK

Plaxis

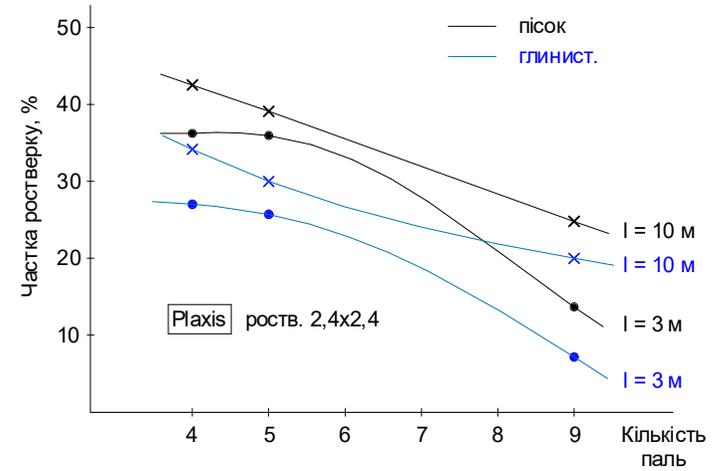


Ліра

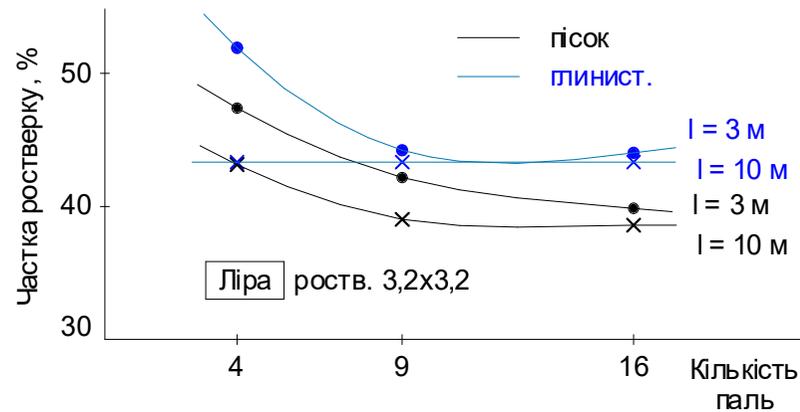
Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куш з ростверком 3,2×3,2 м (2,4×2,4 м для Plaxis) від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK (ростверк 3,2x3,2)

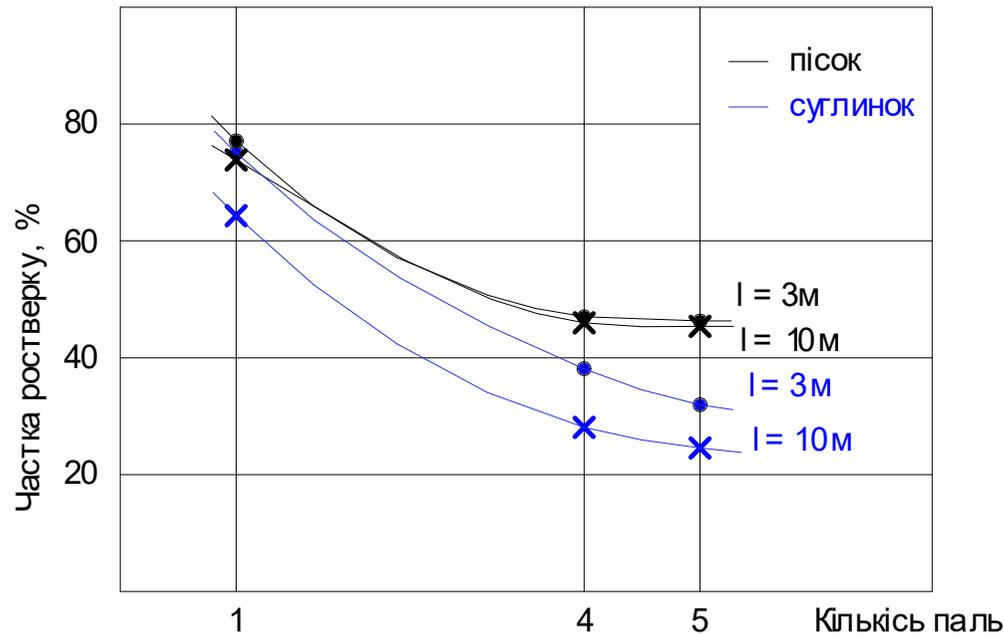


Plaxis

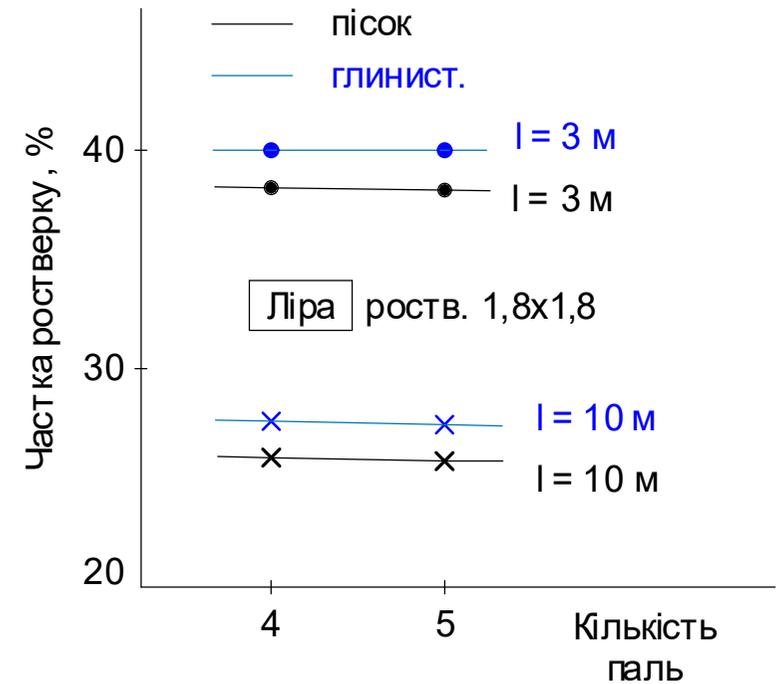


Ліра

Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куш з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

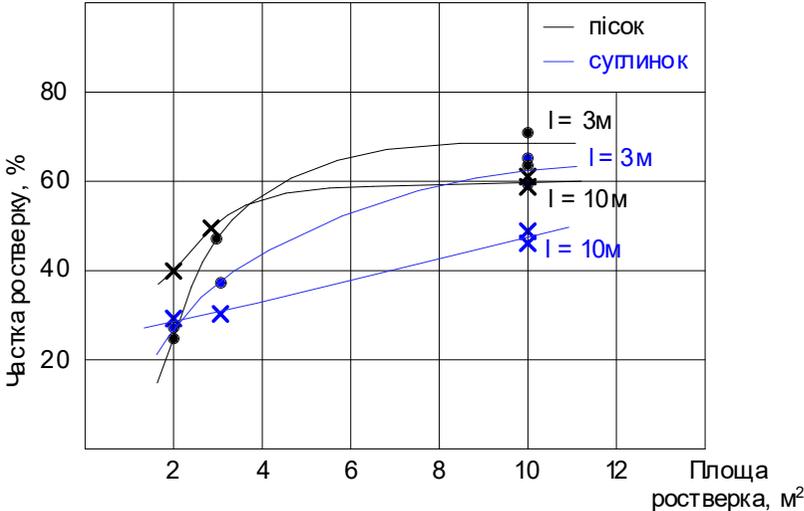


SOFiSTiK

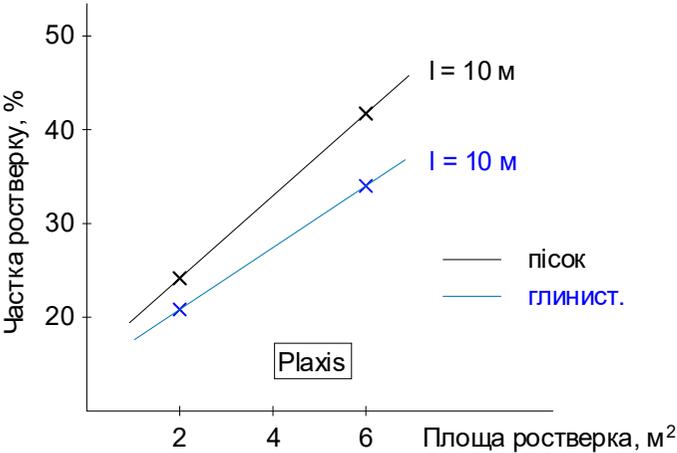


Ліра

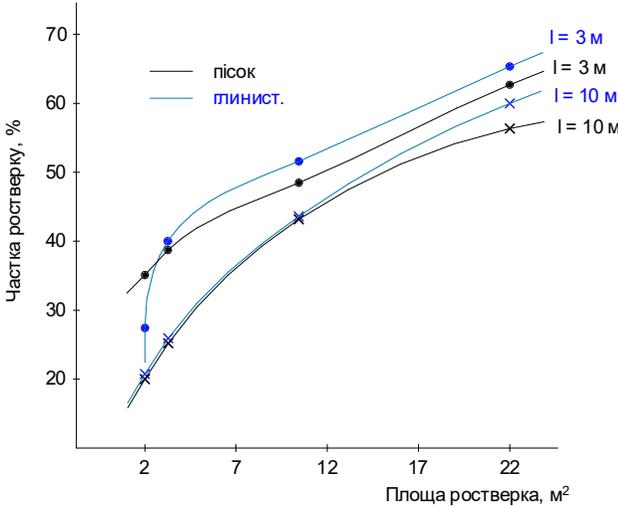
Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiStiK

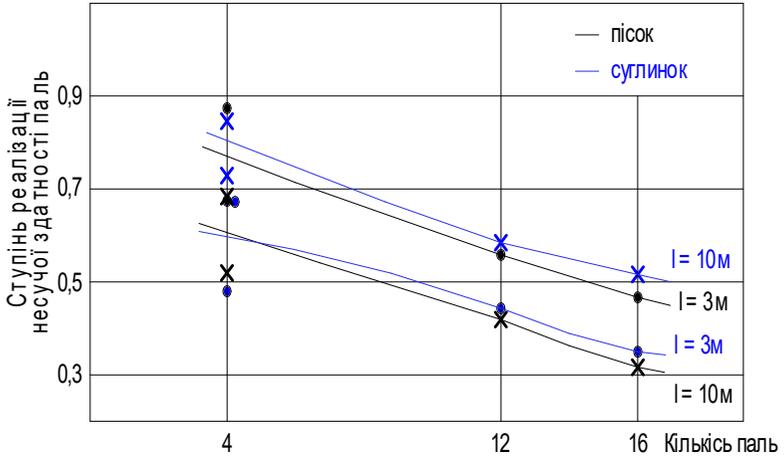


Plaxis

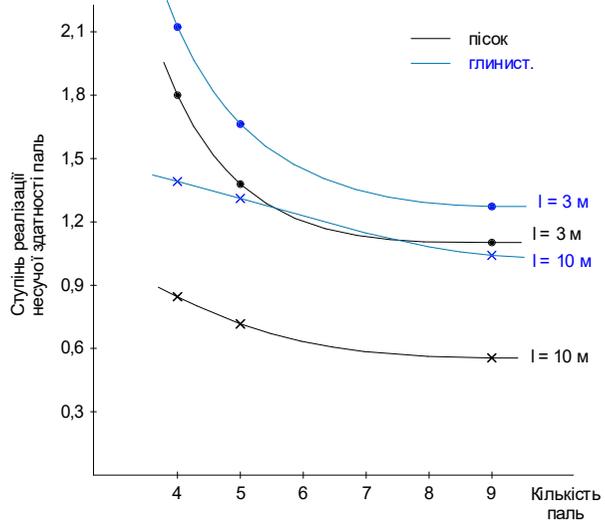


Ліра

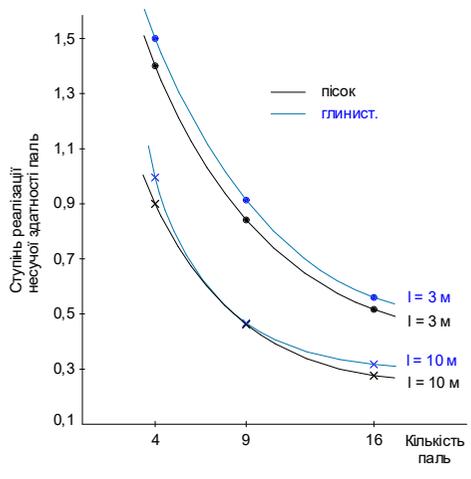
Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у куці з ростверком $3,2 \times 3,2 = 10,24 \text{ м}^2$ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK

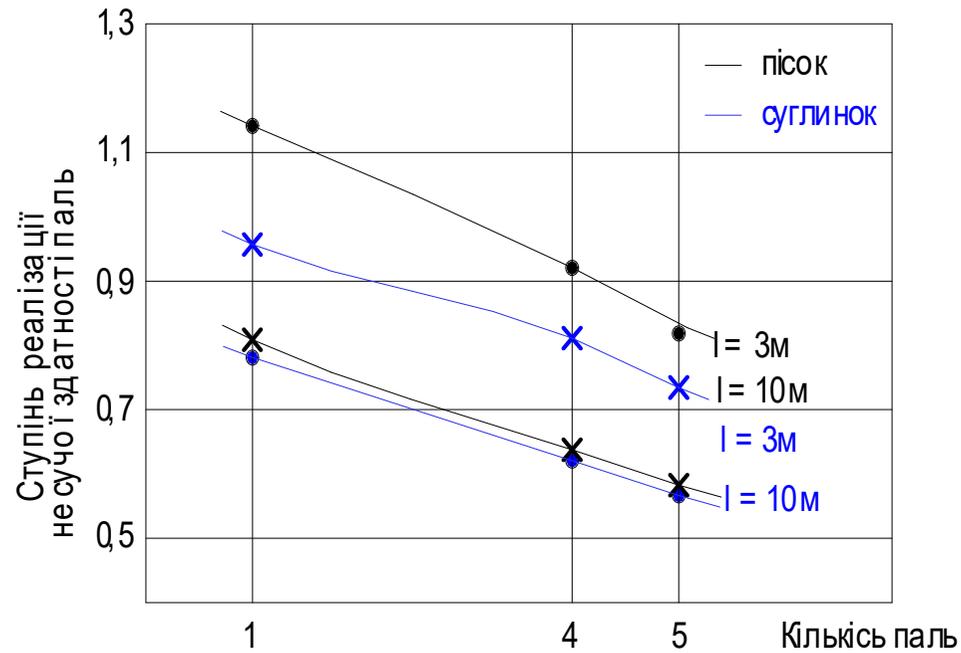


Plaxis

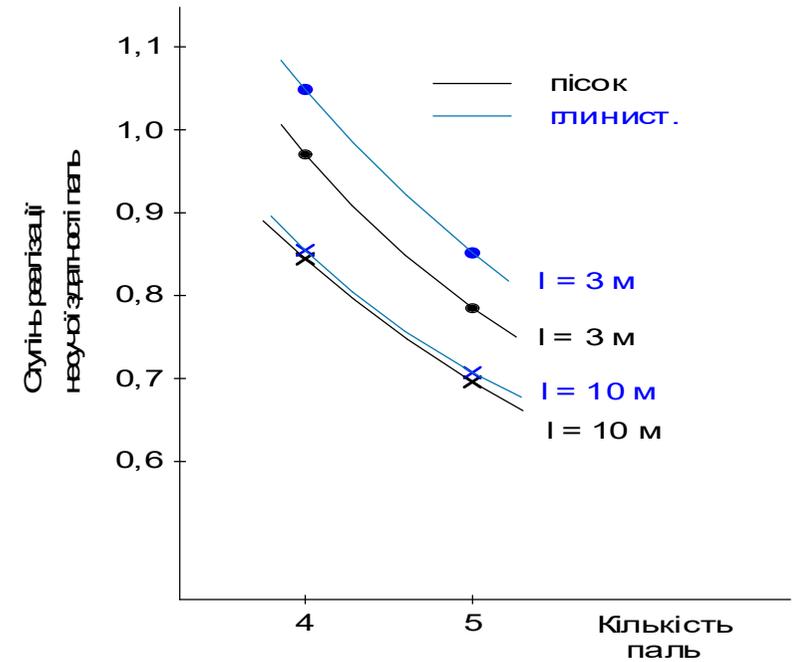


Ліра

Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

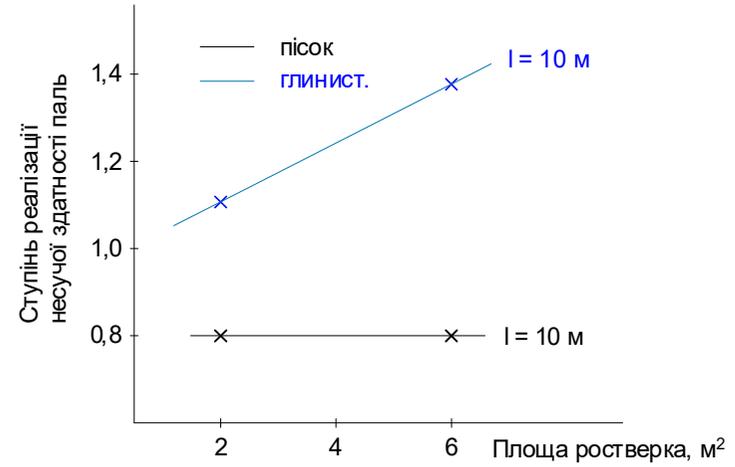
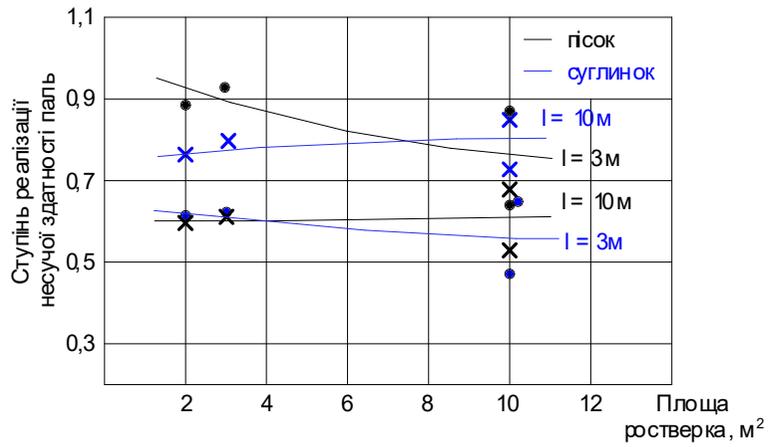


SOFiSTiK



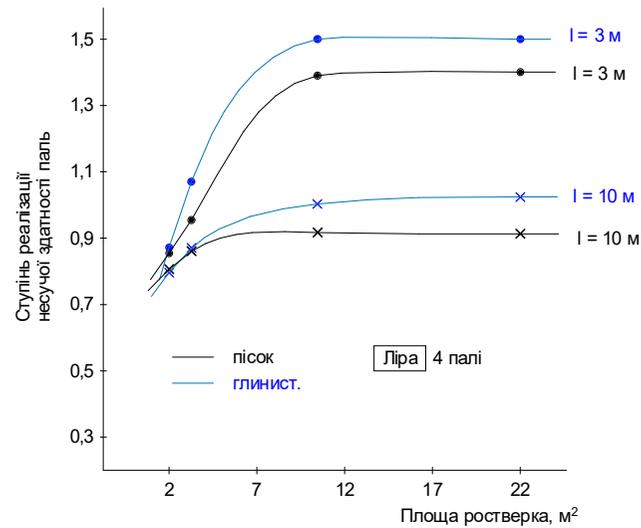
Ліра

Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у куші з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль



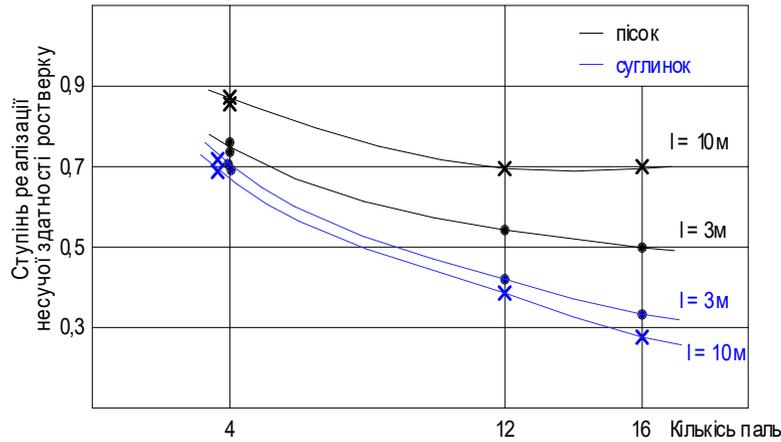
SOFiStiK

Plaxis

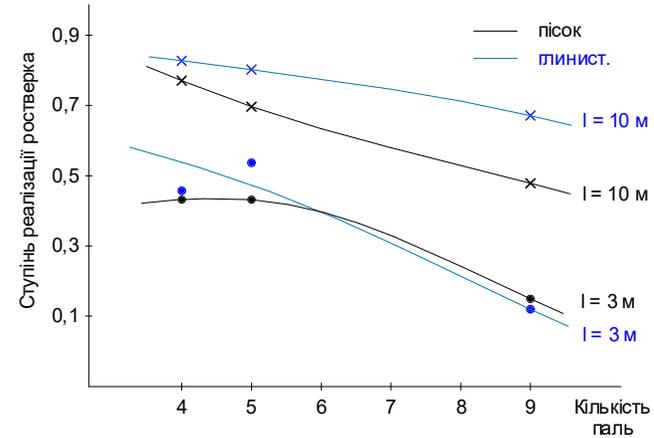


Ліра

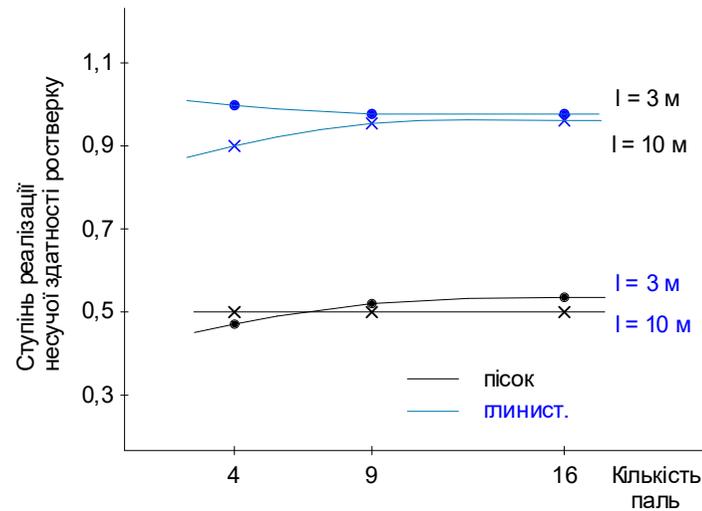
Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у куці з ростверком 3,2×3,2 м від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK

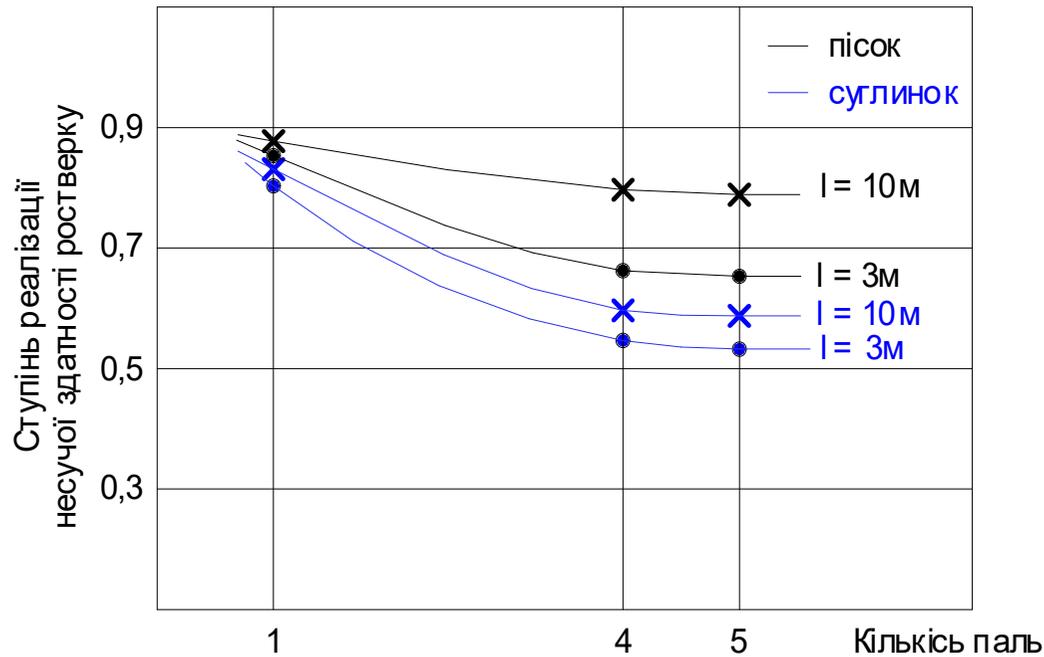


Plaxis (ростверк 2,4x2,4)

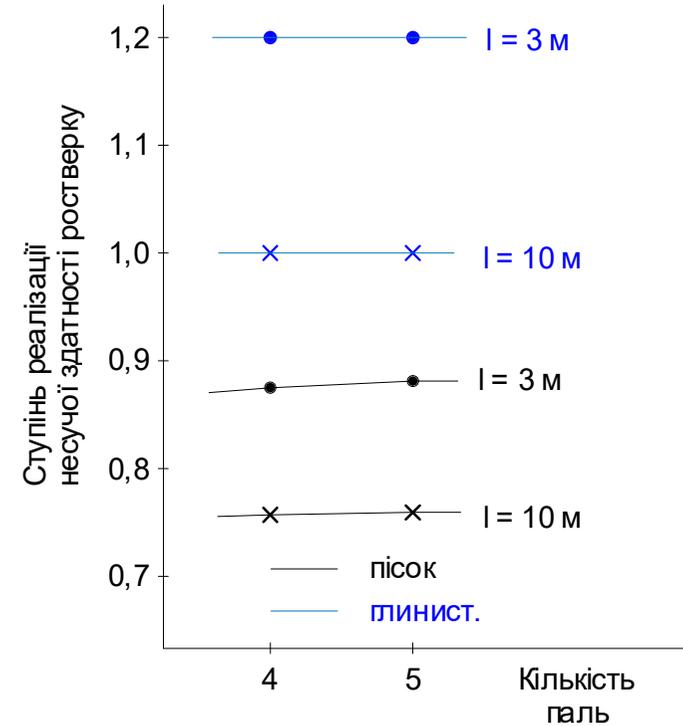


Ліра

Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверк $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості палів в групі та виду ґрунту при різній довжині палів

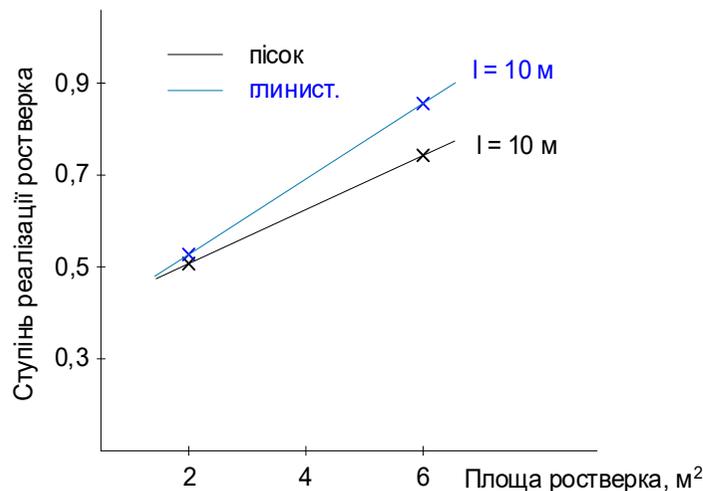
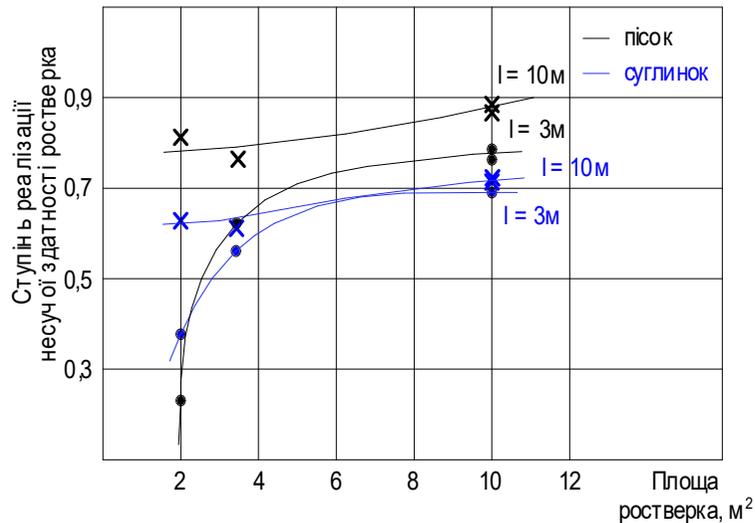


SOFiSTiK

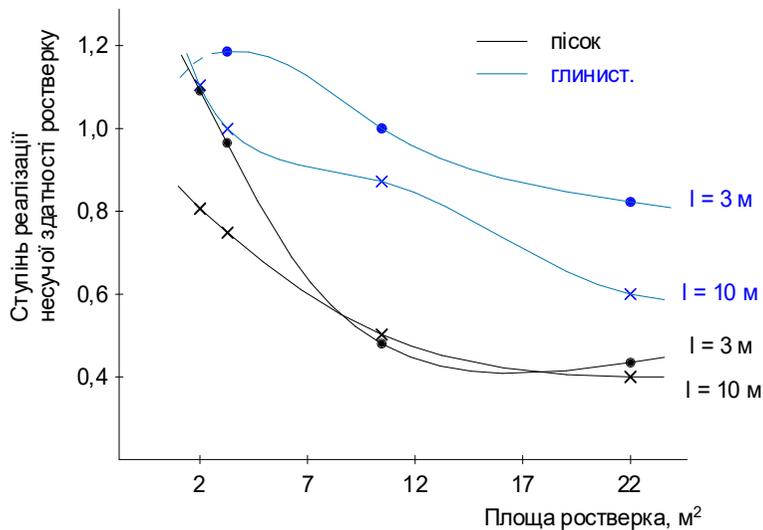


Ліра

Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK



Plaxis

Ліра

Висновки за результатами досліджень

1. Математичне моделювання за допомогою різних програмних комплексів в цілому дозволяє зробити однакові висновки в якісній картині розподілу зусиль між палями і ростверком.

2. Характер розподілу напружень і переміщень по подошві ростверка при використанні різних програмних комплексів виявився аналогічним. А саме, найбільше осідання спостерігається в місці прикладання зосередженого навантаження від колони посередині ростверка. Найбільші напруження під подошвою ростверка спостерігаються в зоні його периметру. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану якісно відповідають відомим результатам попередніх дослідників.

3. Для визначення критерія несучої здатності груп палей були виконані ручні розрахунки несучої здатності і осідань палевих фундаментів, палей і ростверків у відповідних ґрунтах за вимогами норм. Результати розрахунків показали, що критерієм визначення навантаження, яке сприймає група палей, для розрахунків в різних програмних комплексах слугують різні значення переміщень:

- для програмного комплексу Ліра - осідання 15 мм.
- при використанні програмного комплексу SOFiSTiK таким критерієм була деформація 40 мм,
- при використанні програмного комплексу Plaxis – 100 мм.

4. Всі програмні комплекси дозволили зробити висновок, що при сталих розмірах ростверка основними чинниками, що впливають на ступінь реалізації несучої здатності палевого фундаменту, є кількість палей, їх крок і вид ґрунту. Збільшення кількості палей, яке призводить до збільшення компактності їх розміщення, спричинює неповне використання роботи ростверка і палей. При сталій кількості палей збільшення площі ростверка збільшує реалізацію його несучої здатності.

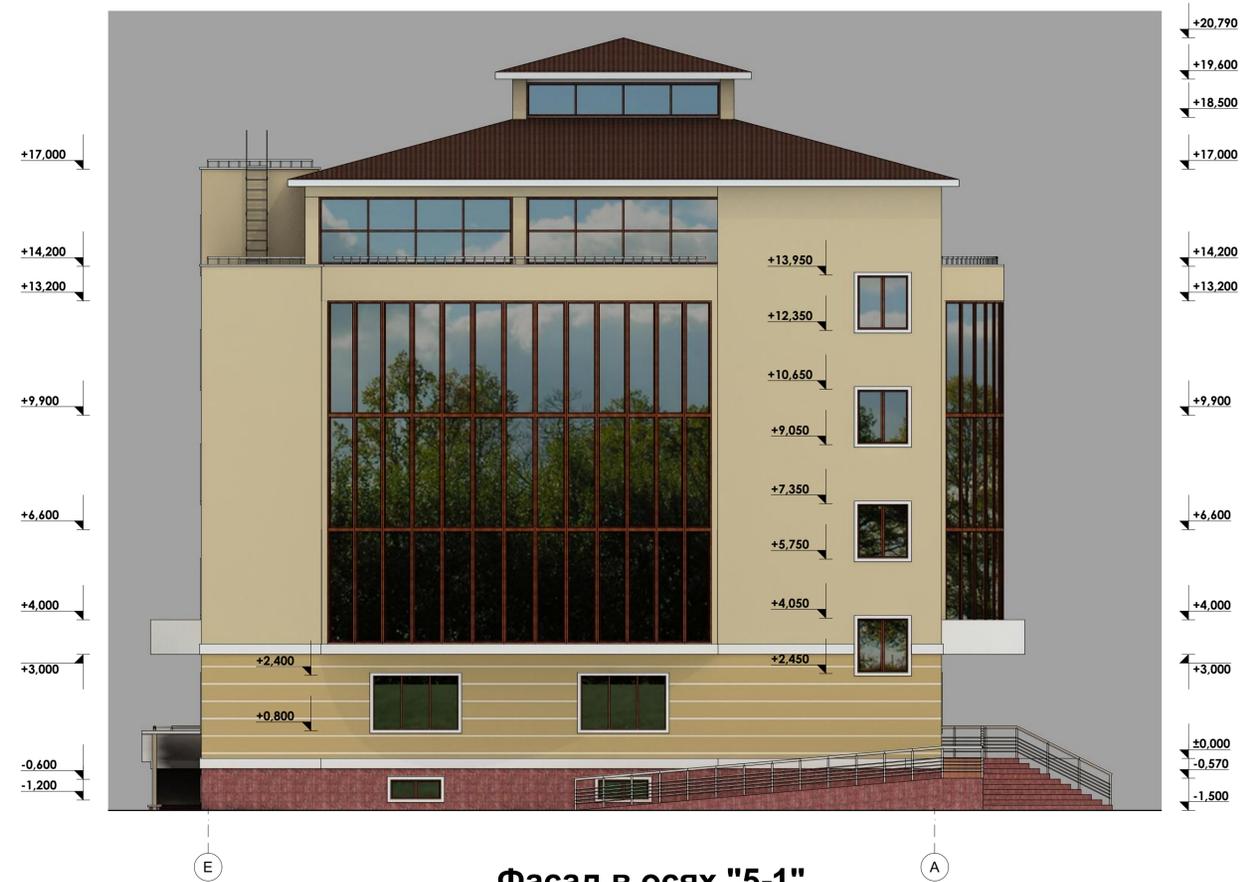
5. Якісні результати оцінки таких параметрів, як частка ростверку у навантаженні на фундамент, ступінь реалізації несучої здатності палей та ростверків однакові при розрахунках в різних програмних комплексах. Але кількісні діапазони зміни означених параметрів відрізняються. При наявності результатів розрахунків у кількох програмних комплексах слід дотримуватись обережних оцінок на мінімальній межі.

6. Жоден з програмних комплексів не дозволяє достовірно визначити кількісні параметри розподілу зусиль між елементами палевого фундаменту. Для підтвердження кількісних параметрів необхідний фізичний експеримент.

Фасад в осях "1-5"



Фасад в осях "Е-А"



Фасад в осях "А-Е"



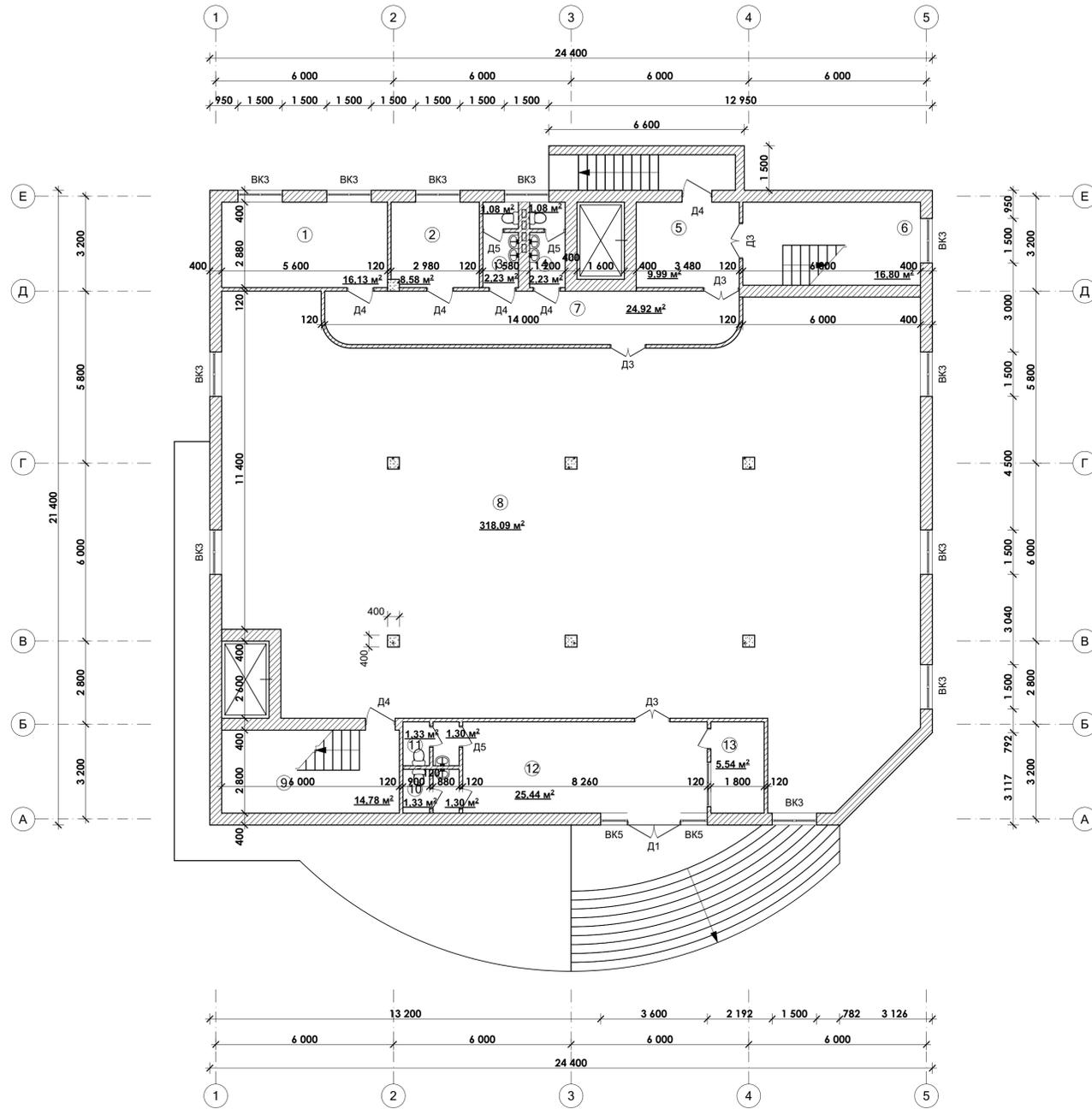
Фасад в осях "5-1"



Ім'я, прізвище, дата
Підпис, дата
Знак, ліній. №

| | | | | | | | | | |
|----------------|--------|------|--------|--------|------|---|------------------|-------|---------|
| | | | | | | 08-11.МКР.007 - АР | | | |
| | | | | | | Центр надання послуг населенню | | | |
| Зм. | Кільк. | Лист | № док. | Підпис | Дата | Моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів | Стадія | Аркуш | Аркушів |
| Розробив | | | | | | | П | | |
| Перевірив | | | | | | | | | |
| Керівник | | | | | | | | | |
| Норм. контроль | | | | | | Фасад в осях 1 - 5, фасад в осях Е - А, фасад в осях А - Е, фасад в осях 5 - 1 | ВНТУ, гр. Б-23мз | | |
| ОпONENT | | | | | | | | | |
| Затвердив | | | | | | | | | |

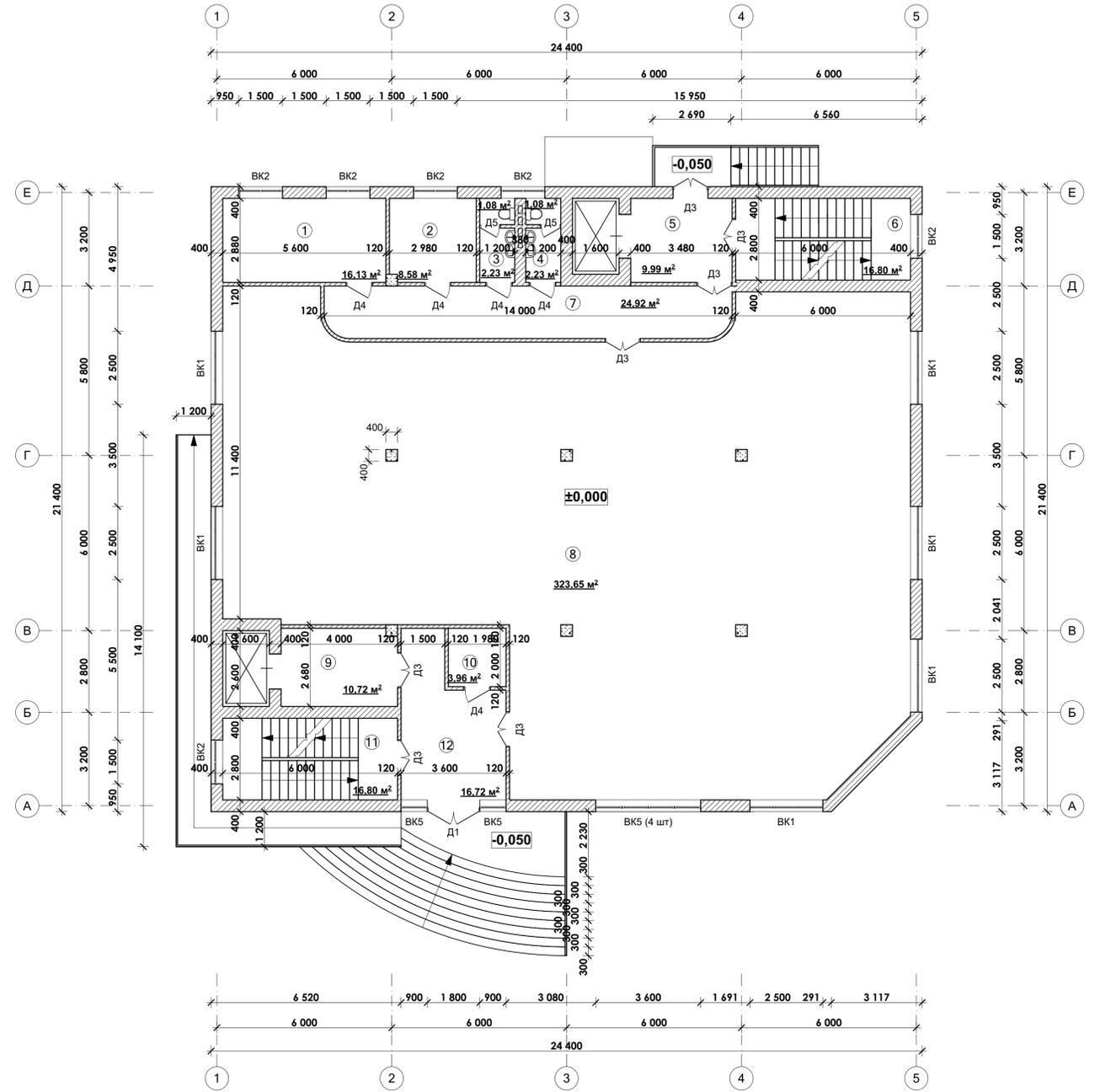
План підвального поверху на відм -3.000



Експлікація приміщень підвального поверху

| № п/п | Назва приміщення | Площа, м² | Примітки |
|-------|-------------------------------------|-----------|----------|
| 1 | Кабинет завідуючого магазину | 16,13 | |
| 2 | Кімната персоналу | 8,58 | |
| 3 | Санвузол псоналу чоловічий | 1,08+2,23 | |
| 4 | Санвузол псоналу жіночий | 1,08+2,23 | |
| 5 | Тамбур | 9,99 | |
| 6 | Сходовая клітина | 16,80 | |
| 7 | Коридор | 24,92 | |
| 8 | Магазин | 318,09 | |
| 9 | Сходовая клітина | 10,72 | |
| 10 | Санвузол для відвідувачів чоловічий | 1,33+1,30 | |
| 11 | Санвузол для відвідувачів жіночий | 1,33+1,30 | |
| 12 | Вестибюль | 25,44 | |
| 13 | Гардероб | 5,54 | |
| | Площа приміщень | 448,09 | |

План першого поверху на відм ±0.000

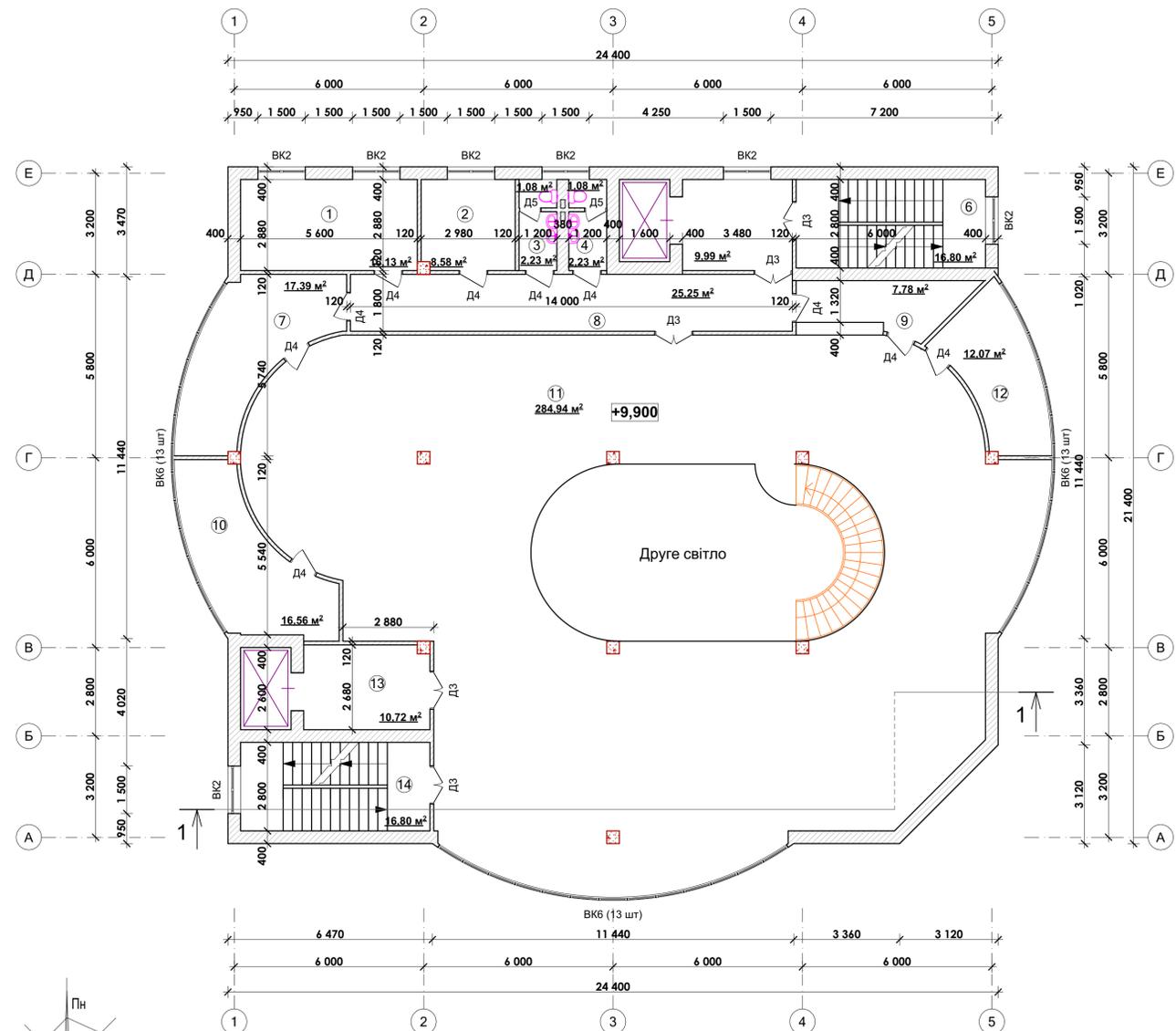


Експлікація приміщень першого поверху

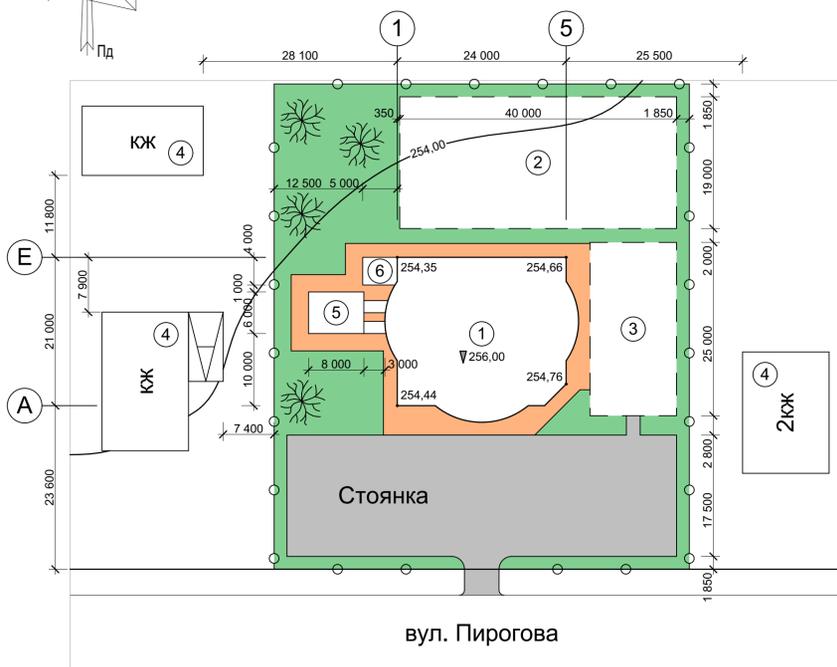
| № п/п | Назва приміщення | Площа, м² | Примітки |
|-------|------------------------------|-----------|----------|
| 1 | Кабинет завідуючого магазину | 16,13 | |
| 2 | Кімната персоналу | 8,58 | |
| 3 | Санвузол псоналу чоловічий | 1,08+2,23 | |
| 4 | Санвузол псоналу жіночий | 1,08+2,23 | |
| 5 | Тамбур | 9,99 | |
| 6 | Сходовая клітина | 16,80 | |
| 7 | Коридор | 24,92 | |
| 8 | Магазин продовольчих товарів | 323,65 | |
| 9 | Ліфтовий хол | 10,72 | |
| 10 | Приміщення охорони | 3,96 | |
| 11 | Сходовая клітина | 16,80 | |
| 12 | Вестибюль | 16,72 | |
| | Площа приміщень | 454,89 | |

| | | | | | |
|---|--------|------|------------------|--------|---------|
| 08-11.МКР.007 - АР | | | | | |
| Центр надання послуг населенню | | | | | |
| Зм. | Кільк. | Лист | № док | Підпис | Дата |
| Розробив | | | Гришок В.М. | | |
| Перевірив | | | Маєвська І.В. | | |
| Керівник | | | Маєвська І.В. | | |
| Норм. контроль | | | Маєвська І.В. | | |
| Опонент | | | | | |
| Затвердив | | | Швець В.В. | | |
| План підвального поверху, план першого поверху | | | Стадія | Аркуш | Аркушів |
| | | | П | | |
| | | | ВНТУ, гр. Б-23мз | | |

План четвертого поверху на відм +9.900



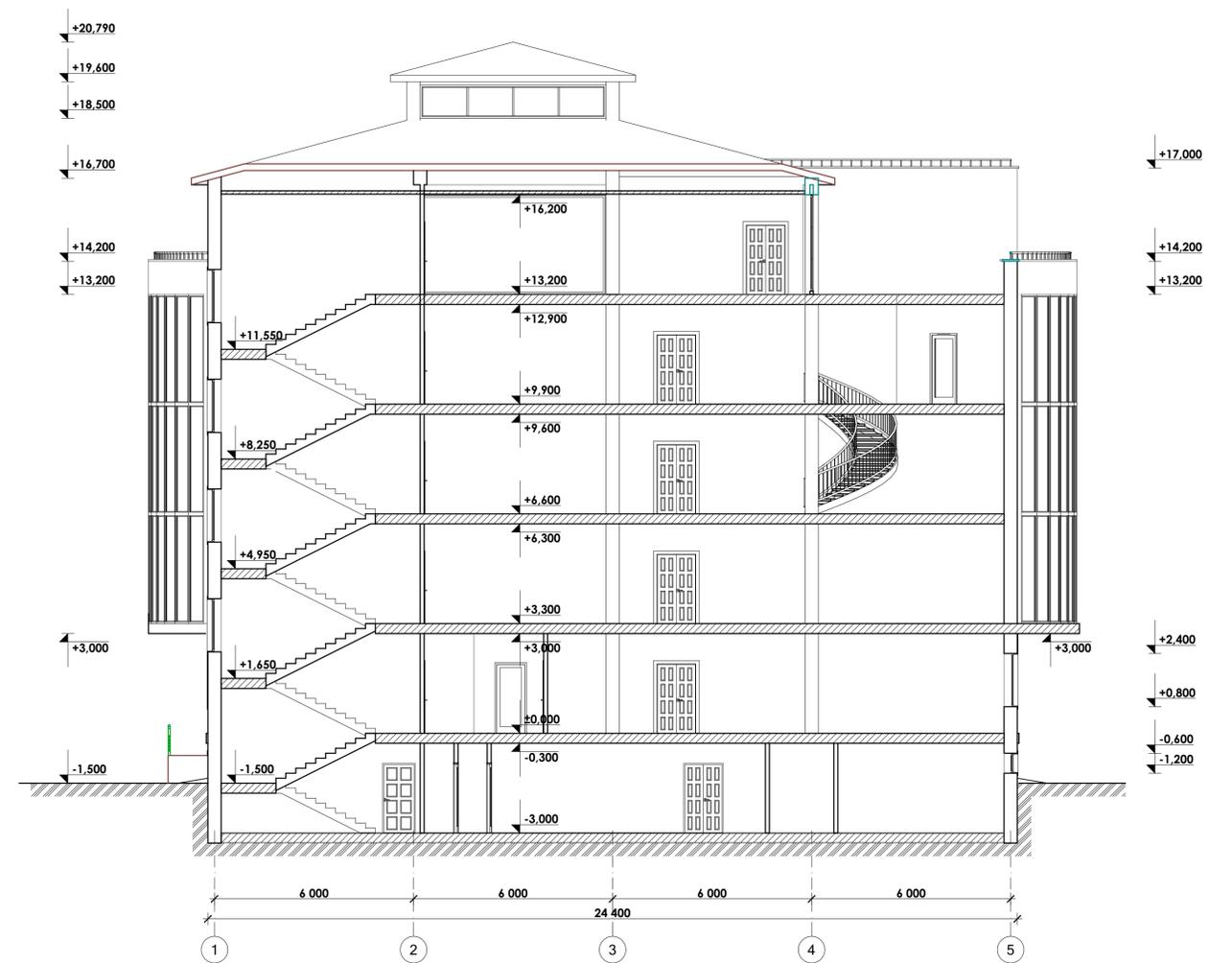
Фрагмент генплану



Умовні позначення

| | |
|--|--------------------------------------|
| | Ділянки з покриттям бетонною плиткою |
| | Асфальтобетонні проїзди і площадки |
| | Ділянки озеленення |
| | Листяні дерева |
| | Огородження |

Розріз 1-1



Експлікація будівель та споруд генплану

| Номер по ГП | Найменування | Площа забудови, м ² | Примітки |
|-------------|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Торговельно-розважальний центр | 565,2 | |
| 2 | Спортивний майданчик | 760 | |
| 3 | Літній майданчик | 312,500 | |
| 4 | Малоповерхові житлові будинки садибної забудови | - | існуючі |
| 5 | Вентиляційний блок | 48 | |
| 6 | Котельня | 20 | |

Експлікація приміщень четвертого поверху

| № п/п | Назва приміщення | Площа, м ² | Примітки |
|-------|------------------------------|-----------------------|----------|
| 1 | Кухня дготовоча | 16,13 | |
| 2 | Кімната персоналу | 8,58 | |
| 3 | Санвузол персоналу чоловічий | 1,08+2,23 | |
| 4 | Санвузол персоналу жіночий | 1,08+2,23 | |
| 5 | Тамбур | 9,99 | |
| 6 | Сходова клітина | 16,80 | |
| 7 | Віп кабінка | 17,39 | |
| 8 | Коридор | 25,25 | |
| 9 | Бар | 7,78 | |
| 10 | Віп кабінка | 16,56 | |
| 11 | Обідній зал | 284,94 | |
| 12 | Віп кабінка | 12,07 | |
| 13 | Ліфтовий хол | 10,72 | |
| 14 | Сходова клітина | 16,80 | |
| | Площа приміщень | 458,63 | |

Показники по генплану

| № п/п | Найменування | Одиниці виміру | Кількість |
|-------|---|----------------|-----------|
| 1 | Комерційна площа ділянки | м ² | 3500,0 |
| 2 | Площа ділянки благоустрою | м ² | 760,0 |
| 3 | Загальна площа ділянки | м ² | 4200,0 |
| 4 | Щільність забудови | % | 16,2 |
| 5 | Площа ділянок з твердим покриттям | м ² | 1247,3 |
| | в т.ч. асфальтобетонні проїзди і тротуари | м ² | 1020,5 |
| 6 | площі з бетонної плитки | м ² | 226,8 |
| | Площа озеленення | м ² | 1286,0 |

08-11.МКР.007 - АР

Центр надання послуг населенню

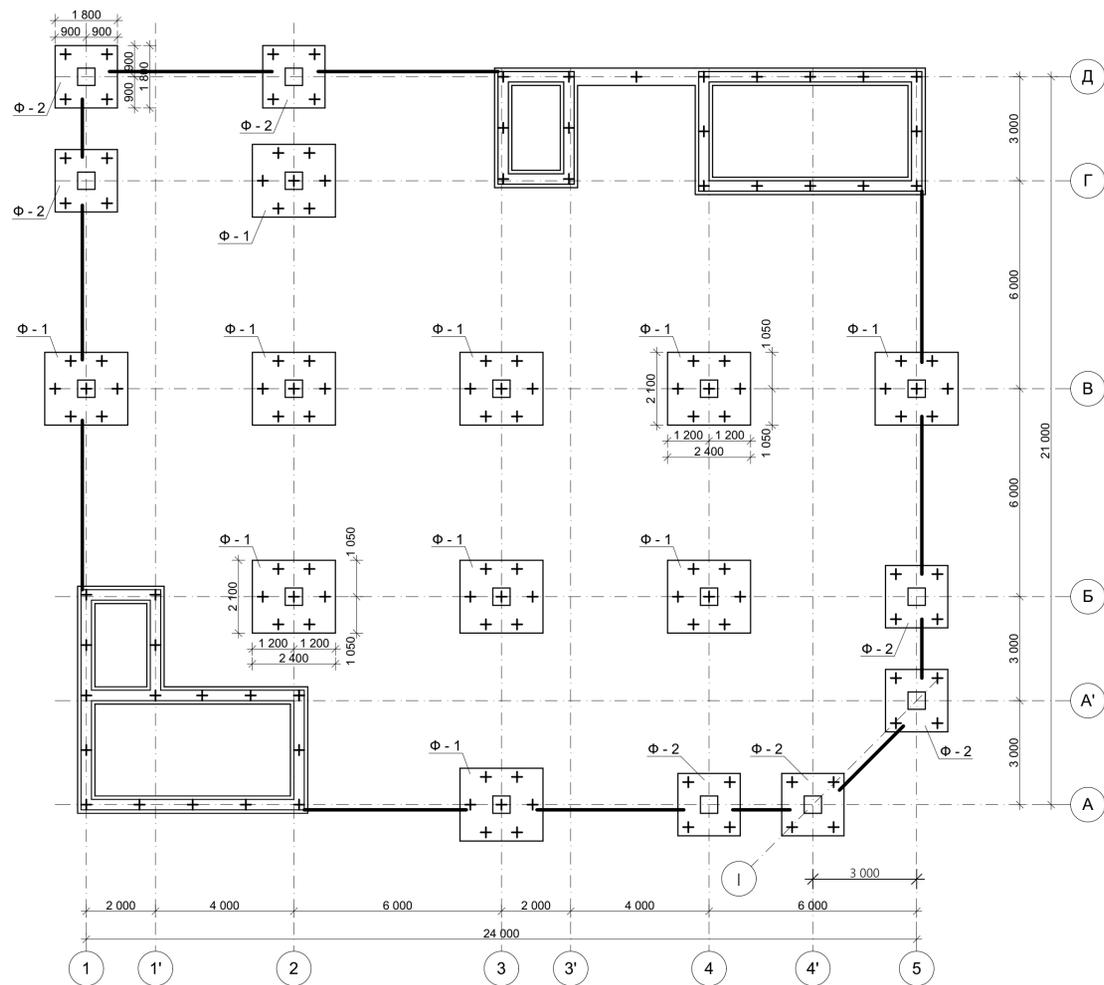
| Зм. | Кільк. | Лист | № док. | Підпис | Дата | Стадія | Аркуш | Аркушів |
|----------------|--------|------|--------|---------------|------|--------|-------|---------|
| Розробив | | | | Гришок В.М. | | | | |
| Перевірив | | | | Масвська І.В. | | | | |
| Керівник | | | | Масвська І.В. | | | | |
| Норм. контроль | | | | Масвська І.В. | | | | |
| ОпONENT | | | | | | | | |
| Затвердив | | | | Швець В.В. | | | | |

Моделирование работи стовпчатих палъових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів

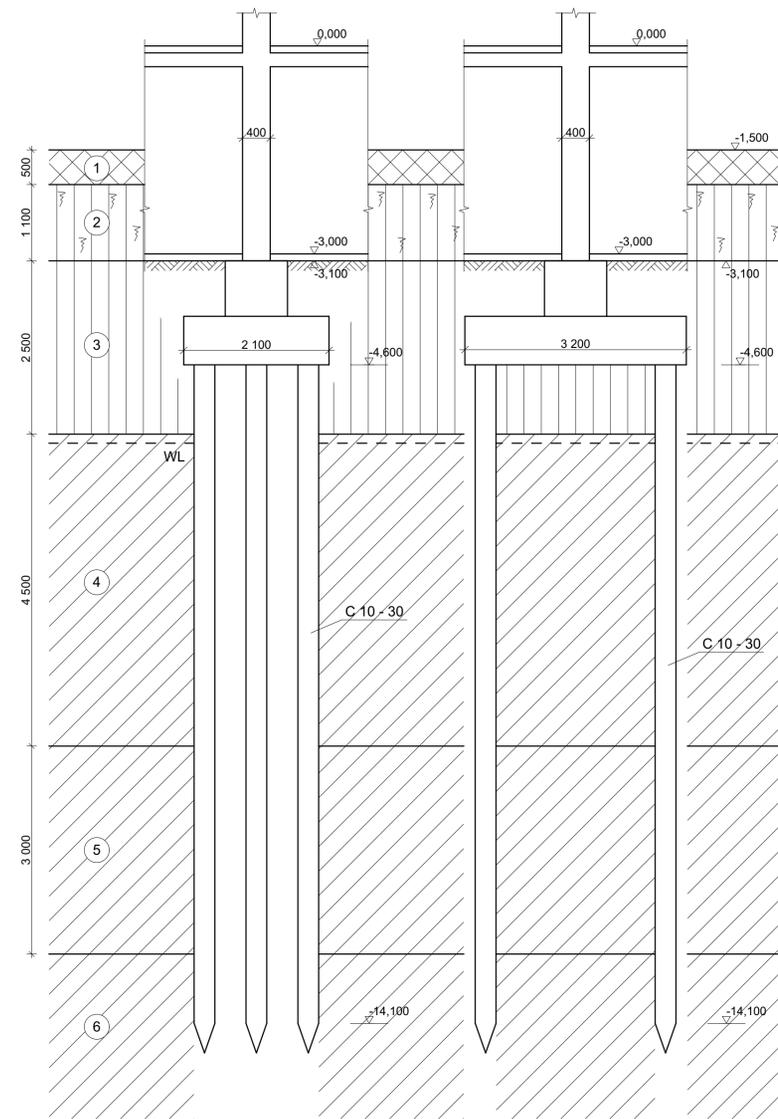
План четвертого поверху, фрагмент генплану, розріз 1 - 1

ВНТУ, гр. Б-23мз

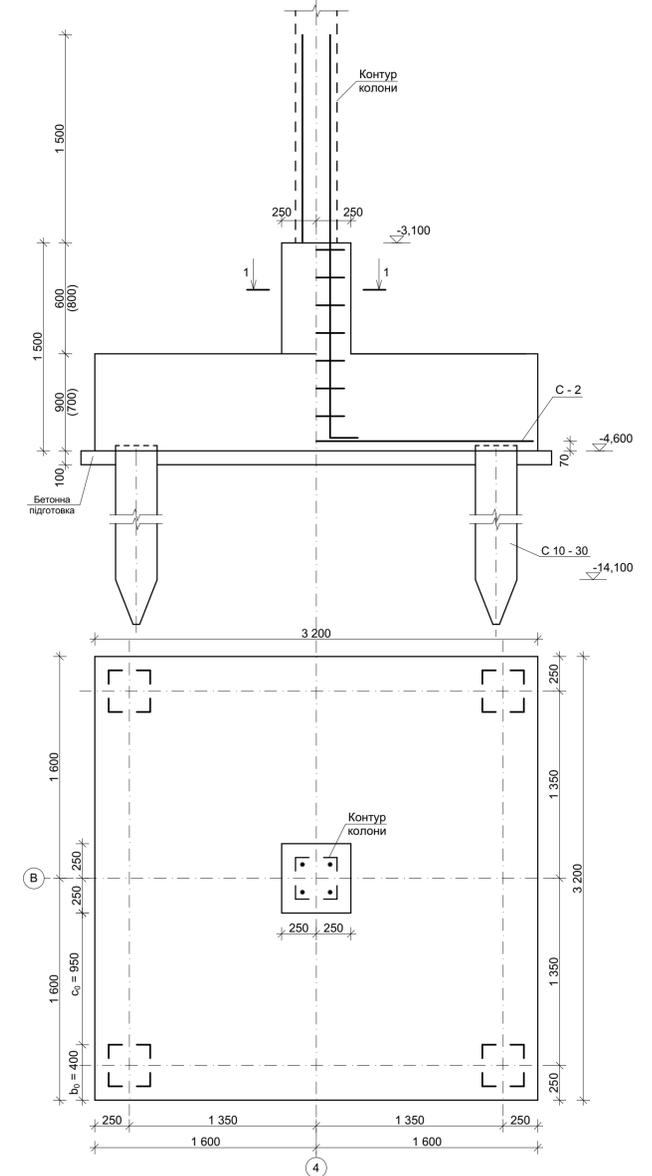
План фундаментів



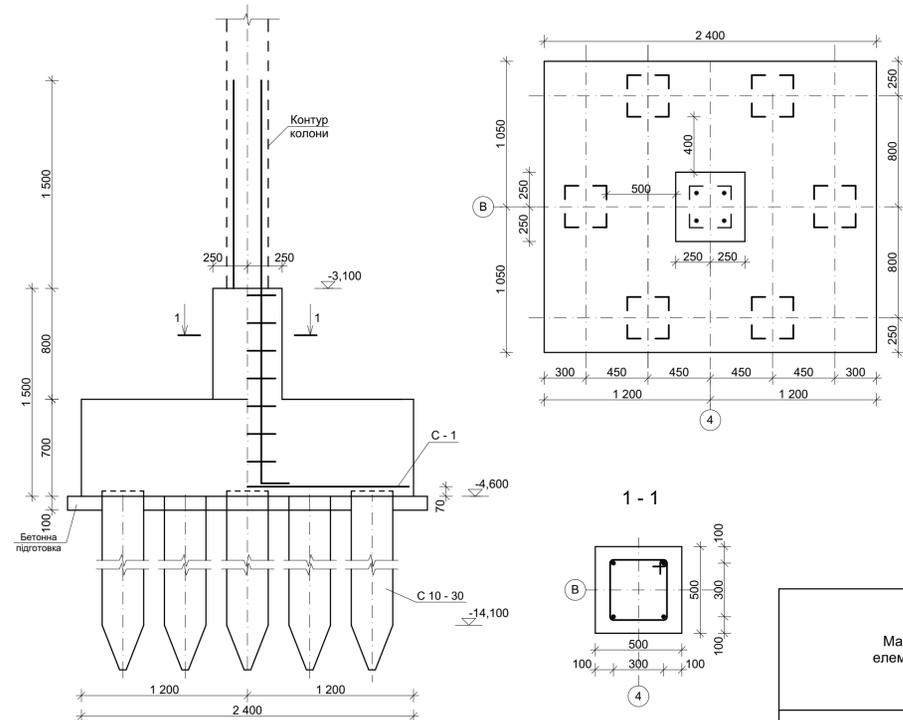
Геологічний розріз з варіантами фундаментів



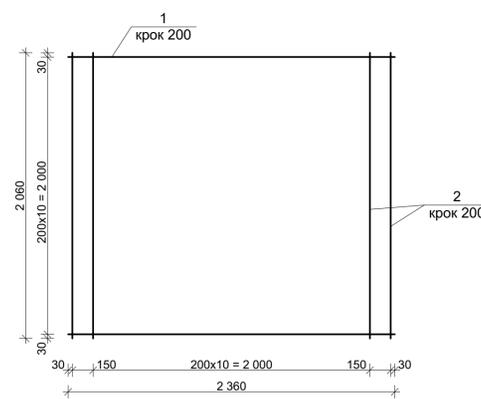
Ф-1 в варіанті 2 (за результатами наукового дослідження)



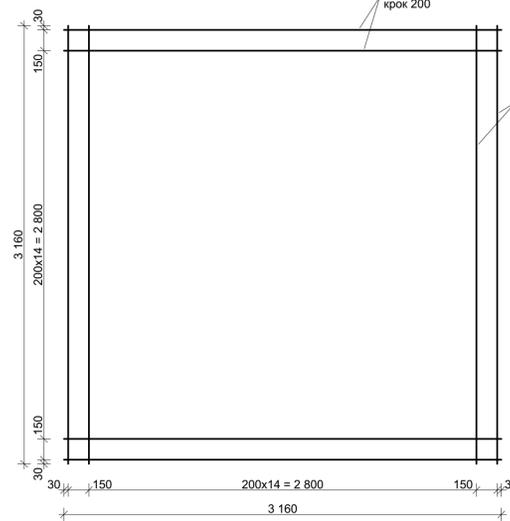
Ф-1 в варіанті 1 (традиційне рішення)



С-1



С-2



Умовні позначення



Специфікація для фундаменту Ф-1

| Марка поз. | Позначення | Найменування | Кіл. | Маса од, кг | Примітки |
|--|------------|--------------------|------|-------------|---------------------|
| Ф-1 в варіанті 1 (традиційне рішення) | | | | | |
| С-1 | | Складальні одиниці | 1 | 75,09 | 75,09 |
| | | Матеріали | | | 3,73 м ³ |
| Ф-1 в варіанті 2 (за результатами наукового дослідження) | | | | | |
| С-2 | | Сітка С-2 | 1 | 265,2 | 265,2 |
| | | Матеріали | | | 9,37 м ³ |

Відомість витрати сталі

| Марка елемента | Вироби арматурні | | | | Всього |
|--|------------------------|-------|-------|--------|--------|
| | Арматура класу А 400 С | | | | |
| | Ø14 | Ø16 | Ø20 | Всього | |
| Ф-1 в варіанті 1 (традиційне рішення) | 34,06 | 41,03 | - | 75,09 | 75,09 |
| Ф-1 в варіанті 2 (за результатами наукового дослідження) | - | - | 265,2 | 265,2 | 265,2 |

Специфікація на сітці

| Марка виробу | Поз. дет. | Найменування | Кіл. | Маса од, кг. | Маса виробу, кг. |
|--------------|-----------|-----------------------|------|--------------|------------------|
| С-1 | 1 | Ø16 А 400 С l = 2 360 | 11 | 3,73 | 75,09 |
| | 2 | Ø14 А 400 С l = 2 060 | 13 | 2,62 | |
| С-2 | 3 | Ø20 А 400 С l = 3 160 | 34 | 7,8 | 265,2 |

08-11.МКР.007 - КБ

Центр надання послуг населенню

| Зм. | Кільк. | Лист | № док | Підпис | Дата |
|----------------|--------|------|-------|--------|------|
| Розробив | | | | | |
| Перевірив | | | | | |
| Керівник | | | | | |
| Норм. контроль | | | | | |
| Опонував | | | | | |
| Затвердив | | | | | |

Моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів

Геологічний розріз, план фундаментів, робочі креслення фундаментів, розріз 1-1, сітки С-1, С-2, специфікації

Стадія Аркуш Аркуші

П

ВНТУ, гр. Б-23мз

Ім'я, прізвище, підпис, дата, зам. ім'я, №

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

здобувача (ки) Грисюка Віталія Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Моделювання роботи стовпчастих

пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів

Недосконалість методик розрахунку пальових фундаментів робить актуальним дослідження напружено-деформованого стану таких фундаментів при різних факторах впливу. У даній магістерській кваліфікаційній роботі пропонується узагальнення результатів математичного моделювання стовпчастого пальового фундаменту за допомогою різних програмних комплексів. Виконані автором власні дослідження дозволили розширити перелік програмних комплексів, оскільки були виконані за програмою, що наближалась до раніше проаналізованих іншими авторами.

Аналіз результатів дослідження показує, що якісні результати оцінки таких параметрів, як частка ростверку у навантаженні на фундамент, ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверків однакові при розрахунках в різних програмних комплексах. Але кількісні діапазони зміни означених параметрів відрізняються. При наявності результатів розрахунків у кількох програмних комплексах слід дотримуватись обережних оцінок на мінімальній межі.

Робота відповідає виданому завданню і вимогам до магістерських кваліфікаційних робіт.

Робота є навчальною, але відповідає сучасним потребам проєктної та будівельної практики.

При вирішенні поставлених задач було виконане математичне моделювання роботи системи «ростверк – палі – основа» з врахуванням геометричних та конструктивних параметрів, фізико-механічних характеристик ґрунтів основи в програмному комплексі ЛІРА-САПР 2024.

Програма дослідження розподілу навантаження між окремими елементами у складі стовпчастого пальового фундаменту передбачала створення розрахункової схеми пальового фундаменту під колону з можливістю варіювання довжини і кроку паль, розміщення їх в ростверку, розмірів ростверків. При складанні програми враховувались аналогічні програми досліджень за допомогою програмних комплексів Plaxis та SOFiSTiK, щоб була можливість їх подальшого порівняння.

Магістерська робота містить технічний розділ, де розроблена конструкторська документація на каркасно-монолітний багатоквартирний житловий будинок, розташований по вул. Гетьмана Мазепи м. Вінниці. В розділі економіки визначено, що використання результатів досліджень озволяє оптимізувати проєктне рішення пальового фундаменту з одержанням економічного ефекту.

Під час роботи здобувач показав достатній рівень фахових знань, здатність до прийняття самостійних наукових та інженерних рішень,

володіння сучасними програмними комплексами та інформаційними технологіями.

За матеріалами досліджень була зроблена доповідь на LIV науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2025)», Вінниця, 24.03.2025 – 27.03.2025. ВНТУ, 2025, і за результатами доповіді опубліковані тези.

Здобувач дотримувався календарного плану, виконав великий обсяг роботи, показав відповідний рівень підготовки.

По роботі слід відзначити такі недоліки:

1. Моделювання пальового фундаменту у програмному комплексі ЛПА-САПР 2024 виконано без просторового моделювання ґрунтового середовища, що дещо знижує точність одержаних результатів.
2. При математичному моделюванні бажано б було розглянути більшу кількість типів ґрунтів.

Підготовка здобувача Грисюка В. М. відповідає вимогам освітньої програми.

Магістерська кваліфікаційна робота заслуговує на оцінку «В», а здобувач на присвоєння ступеня магістра та кваліфікації Магістр з будівництва та цивільної інженерії за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво».

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

Доц. каф. БМГА, к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

lv
(підпис)

І. В. Маєвська
(ініціали, прізвище)

ВІДГУК ОПОНЕНТА
на магістерську кваліфікаційну роботу
Грисюка Віталія Михайловича
(прізвище, ім'я, по батькові)

здобувача (ки) _____

на тему: Моделювання роботи стовпчастих
пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів

Робота магістранта полягала в співставленні результатів фізичного та математичного моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів за допомогою різних програмних комплексів та аналіз їх відмінностей.

Робота Грисюка В. М. виконана відповідно до завдання. Магістрант під час роботи показав достатній рівень інженерної підготовки, здатний самостійно і в поставлені терміни виконувати поставлені задачі. Дослідження, виконані в роботі, відповідають поставленій меті.

Магістерська робота складається з текстової частини, яка містить 5 розділів та графічної частини, що містить дослідницькі плакати та технічні креслення. При виконанні роботи були використані результати досліджень в програмних комплексах Plaxis та SOFiSTiK, а також проведені власні математичні дослідження в програмному комплексі ЛПРА-САПР 2024.

Параметри, що варіюються при моделюванні були обрані аналогічними проведеним раніше дослідженням, а саме довжина, кількість паль, розміщення їх у ростверках, властивості ґрунтів.

Результати досліджень впроваджені на прикладі технічного об'єкта і в економічній частині доведена їх доцільність.

Результати досліджень доповідались на науково-технічній конференції та висвітлені у тезах доповіді.

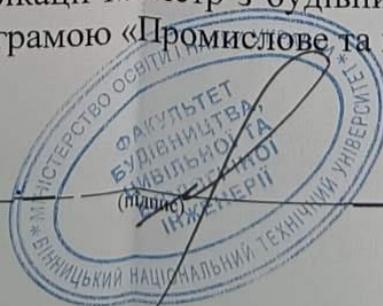
До недоліків можна віднести:

- відсутність конкретних чисельних рекомендацій щодо частки ростверку, ступеня реалізації паль і ростверка для проектування реальних об'єктів;
- недостатню кількість розглядених видів ґрунтів.

Проте магістерська кваліфікаційна робота Грисюка В. М. виконана на високому рівні і заслуговує на оцінку «В» (добре), а здобувач на присвоєння ступеня магістра та кваліфікації Магістр з будівництва та цивільної інженерії за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво».

Опонент

Улас. канд. ТЕ, к. т. н., доц.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)



Снівак О.Ю.
(ініціали, прізвище)