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:

Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі

Виконав: студент 2-го курсу, групи Б-22мз
за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»
_____ Ю. В. Ганущак
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц.
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ І.В. Маєвська
(підпис) (ініціали та прізвище)
«10» 06 2024 р.
(підпис)

Опонент к.т.н., доц.
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ Н. М. Слободян
(підпис) (ініціали та прізвище)
«11» 06 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри БМГА
_____ к.т.н., доц. В. В. Швець
(підпис) (ініціали та прізвище)
«11» 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 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.
" 15 " 03 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТА

Ганущаку Юрію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі
керівник роботи Маєвська І.В., к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від " 11 " 03 2024 року № 81
2. Строк подання студентом роботи 17.05.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту проєктування, результати інженерно-геологічних вишукувань. Передбачається проєктування каркасно-монолітного житлового будинку на 36 квартир в м. Вінниця. Передбачені офісні приміщення на 1 поверсі. Перекриття монолітні залізобетонні. Стіни з газобетону. Покрівля плоска. 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. Опанування програмного комплексу SOFiSTiK, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів. Побудова розрахункової схеми роботи паль різних типів у грунті. Планування чисельного експерименту з визначення впливу геометричних чинників та характеристик грунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундаменту Чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи. Аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту.
2. Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту (розрахунок планувальних відміток генплану, специфікації на віконні та дверні заповнення, експлікація підлоги, теплотехнічний розрахунок).
3. Основи та фундаменти (розробка конструктивного рішення фундаментів за традиційним рішенням та у варіанті з використанням результатів досліджень)

4. Розробка заходів з охорони праці та цивільного захисту.
5. Економічна частина (визначення економічного ефекту від впровадж результатів наукової розробки на прикладі технічного об'
Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Науково-дослідні розділи – 5-8 арк. (плакати, що ілюструють результати нау дослідної роботи)
2. Архітектурно-будівельні рішення – 2-3 арк. (фасад, генеральний план, плани, покрівлі, розріз, вузли)
3. Основи та фундаменти – 1-2 арк. (план фундаментів, робочі креслення варіа фундаментів, геологічний розріз з розміщенням варіантів фундаме специфікації)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав прийн
1-3, 4.2	Маєвська І. В.- доцент каф. БМГА, к.т.н.		
4.1 (Архітект.)	Смоляк В. В. - доцент каф. БМГА, к.а.		
5 (Охорона праці)	Кобилянська І. М. – доцент каф. БЖДПБ, к.пед.н.		
6 (Економіка	Лялюк О. Г. - доцент каф. БМГА, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання 15.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Складання вступу до МКР	01.02-06.02.24	
2	Науково-дослідна частина (три розділи)	07.02-15.03.24	
3	Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту	18.03-29.03.24	
4	Основи та фундаменти	30.03-12.04.24	
5	Подання роботи на перевірку на плагіат	15.04-19.04.24	
6	Охорона праці та цивільний захист	16.04-21.04.24	
7	Економічна частина	22.04-30.04.24	
8	Оформлення МКР	01.05-12.05.24	
9	Подання МКР на кафедру для перевірки	13.05-17.05.24	
10	Попередній захист	23.05-24.05.24	
11	Опонування	27.05-03.06.24	

Студент _____ Ганущак Ю. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Маєвська І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 624.15

Ганущак Ю. В. Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма – «Промислове та цивільне будівництво». Вінниця: ВНТУ, 2024. 137 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 74 назв; рис.: 56; табл. 56, 16 аркушів граф. частини.

У даній магістерській кваліфікаційній роботі пропонуються комплексні стовпчасті пальові фундаменти, в яких кількість паль зменшена у порівнянні з традиційним рішенням за рахунок збільшення площі ростверка. Який включається у роботу у проміжках між палями. Досліджена реалізація роботи ростверку і паль у складі комплексного стовпчастого пальового фундаменту в залежності від розміщення паль в плані, їх довжини, кількості і виду грунту. Встановлено, що за рахунок збільшення площі ростверка можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 раза.

Показане, що в випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундамента в цілому, а також окремих його елементів підвищується. З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундамента.

В технічній частині роботи розроблена конструкторська документація на десятиповерховий житловий будинок каркасно-монолітної конструкції. Розглянуті питання архітектурно-планувальних рішень, виконано проєктування фундаментів, запропоновано рекомендації з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

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

Ключові слова: стовпчастий пальовий фундамент, комплексний фундамент, ростверк, забивна паля, перерозподіл зусиль, несуча здатність.

ANNOTATION

UDC 624.15

Ganushchak Y.V. The work of a complex foundation of piles and a grid of an expanded area. Master's qualification work on specialty 192 - "Construction and civil engineering", educational program - "Industrial and civil construction". Vinnytsia: VNTU, 2024. 137 p.

Ukraine language Bibliography: 74 titles; Fig.: 56; table 56, 16 sheets of graph. parts.

In this master's qualification work, complex columnar pile foundations are proposed, in which the number of piles is reduced compared to the traditional solution due to an increase in the grid area. Which is included in the work in the gaps between the piles. The implementation of the work of the grid and piles as part of a complex columnar pile foundation, depending on the placement of the piles in the plan, their length, quantity and type of soil, has been investigated. It was established that due to the increase in the area of the grid, it is possible to achieve, with a constant number of piles, an increase in the load on the bush by 1.4-2.1 times.

It is shown that in the case of the use of complex pile foundations with sparse placement of piles and an increased grid area, the efficiency of the foundation as a whole, as well as its individual elements, increases. In order to save materials, it is possible to reduce the number of piles in a group while increasing the size of the grid without losing the load-bearing capacity of the foundation.

In the technical part of the work, design documentation was developed for a ten-story frame-monolithic residential building. Issues of architectural and planning decisions were considered, foundations were designed, and recommendations for occupational health and safety in emergency situations were proposed.

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

Key words: columnar pile foundation, complex foundation, grid, driven pile, redistribution of forces, bearing capacity.

Зміст

ВСТУП 3
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ 7
1.1 Дослідження роботи пальових фундаментів з нерівномірним розміщенням паль 7
1.2 Аналіз засобів дослідження роботи пальових фундаментів при математичному моделюванні 30
1.3 Постановка задач і методи досліджень 33
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ, ЩО МІСТЯТЬ ЗМЕНШЕНУ КІЛЬКІСТЬ ПАЛЬ І РОЗВИНУТІ В ПЛАНІ РОСТВЕРКИ 35
2.1 Планування дослідження шляхом математичного моделювання 35
2.2 Виклад основного матеріалу дослідження 38
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ 54
3.1 Аналіз розвитку перерозподілу зусиль між елементами фундаментів при зростанні навантаження 54
3.2 Аналіз розвитку перерозподілу зусиль між палями в кущі 58
3.3 Аналіз розподілу зусиль між елементами пальового фундамента 59
4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА 67
4.1 Архітектурно-будівельні рішення 67
4.1.1 Вихідні дані 67
4.1.2 Відомості про ділянку будівництва 67
4.1.3 Вертикальна прив’язка будівлі 68
4.1.4 Техніко - економічна оцінка забудови 69
4.1.5 Об’ємно-планувальне рішення 70
4.1.6 Архітектурно-конструктивні рішення 71
4.1.7 Теплотехнічний розрахунок 74
4.1.8 Протипожежні заходи 76
4.1.9 Санітарні вимоги 77
4.1.10 Інженерне обладнання будинку 77
4.2 Основи та фундаменти 80
4.2.1 Підготовка вихідних даних для проєктування фундаментів 80
4.2.2 Навантаження на фундаменти 80
4.2.3 Вибір глибини закладання ростверку 83
4.2.4 Розрахунок фундаменту в варіанті з забивних паль за традиційною методикою 84
4.2.5 Визначення осідання пальового фундамента 87
4.2.6 Розрахунок міцності тіла ростверку пальового фундаменту, розрахованого за традиційною методикою 92
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 98
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту 98
5.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць 98
5.1.1 Електробезпека 101
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії 103

5.2.1 Мікроклімат 103
5.2.2 Склад повітря робочої зони 104
5.2.3 Виробниче освітлення 104
5.2.4 Виробничий шум 105
5.2.5 Психофізіологічні фактори 106
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Розрахунок пальових фундаментів при сейсмічному навантаженні 107
5.3.1 Визначення допустимого навантаження на палі 107
5.3.2 Розрахунок пальового фундамента на вертикальну і моментну складову навантажень 109
5.3.3 Розрахунок пальового фундаменту на горизонтальну складову навантажень 110
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 113
6.1 Розрахунок варіанту фундаменту з врахуванням результатів дослідження 113
6.2 Техніко-економічне порівняння варіантів фундаментів 119
ВИСНОВКИ 128
Список використаних джерел 130
Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень 138
Додаток Б Відомість графічної частини 139

ВСТУП

Актуальність.

Пальові фундаменти використовуються в практиці проєктування частіше за все при значних навантаженнях або при наявності з поверхні значних товщ слабких ґрунтів. В умовах навантажень середнього діапазону або незначних, а також якщо в основі залягають міцні та середньої міцності ґрунти, пальові фундаменти зазвичай поступаються фундаментам мілкого закладання за техніко-економічними показниками. Це пов'язане з тим, що при проєктуванні пальових фундаментів за рекомендаціями чинних норм [44] не враховується робота низького ростверка у їх складі.

Численними дослідженнями доведене, що врахування роботи ростверка забезпечує значний резерв підвищення несучої здатності пальового фундамента. Величина цього резерва залежить від виду паль і їх геометричних параметрів, відстані між ними, кількості паль в групі, ступеня піддатливості ґрунтової основи. Але поза увагою залишається ще значна кількість аспектів спільної роботи паль і ростверку у складі фундамента, які потребують подальшого дослідження.

Зокрема, для пальово-плитних фундаментів останнім часом рядом авторів [8 – 12] пропонується не рівномірне розміщення паль в межах плану плити ростверка, а їх концентрація в місцях прикладання навантаження. При цьому частина ростверка працює з ґрунтом самостійно, спираючись на нього в проміжках між групами паль. Це дозволяє скоротити кількість паль у фундаменті. Такі фундаменти одержали назву комплексних.

В даній роботі пропонується використати ідею комплексного фундамента не для плитного, а для стовпчастого фундамента. При масовому проєктуванні, визначивши потрібну кількість паль, виходячи тільки з їх несучої здатності, намагаються розмістити їх в кущі якомога компактніше, щоб скоротити витрати на ростверк, робота якого не враховується. Якщо розмістити палі на значній відстані одна від одної або компактно розмістити їх під колоною, але розміри ростверка прийняти доволі значними, це може компенсувати незначну кількість паль включенням у роботу ростверка.

Відомо, що паля є значно більш дорогою конструкцією, ніж ростверк [47], тому зменшення кількості паль при збільшенні габаритів ростверка в цілому може призвести до більш економічного рішення.

Для дослідження пропонується використати моделювання роботи пальових груп за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в межах науково-дослідної теми кафедри БМГА №6ОК1 «Інноваційні технології визначення напружено-деформованого стану системи будівля-фундамент-основа та окремих її елементів». Продовжуються дослідження ефективності роботи пальового фундаменту з низьким ростверком при врахуванні взаємодії всіх його елементів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження ефективності використання комплексних пальових фундаментів, що містять зменшену кількість паль і розвинуті в плані ростверки.

Для підтвердження припущення про можливість зменшувати кількість паль при збільшенні габаритів ростверку без суттєвої втрати несучої здатності куща передбачається розв’язання таких задач:

- опанування програмного комплексу SOFiSTiK, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів;
- побудова розрахункової схеми роботи забивних паль у ґрунті;
- планування чисельного експерименту з визначення впливу геометричних чинників та характеристик ґрунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундамента;
- чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик ґрунту основи;
- аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту.

Об'єкт дослідження – процес включення у роботу ростверка стовпчастого пальового фундамента за умови нечастого розміщення паль при різних варіантах їх розміщення в плані.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан елементів комплексного стовпчастого пальового фундамента в залежності від його геометричних параметрів.

Методи дослідження. Математичне моделювання просторової роботи пальового фундамента в ґрунтовому середовищі з використанням ПК SOFiSTiK, що ґрунтується на методі скінченних елементів (МСЕ).

Одна з найбільш популярних задач в SOFiSTiK – аналіз споруди при її спільній роботі з основою. SOFiSTIK дозволяє розраховувати споруди з різними типами фундаментів. Задача розв'язується зокрема з використанням пружного півпростору за рішенням Бусінеска, що генерирується модулем HASE.

Новизна одержаних результатів.

В даній роботі пропонується використати ідею комплексного фундамента не для плитного, а для стовпчастого фундамента. При масовому проєктуванні, визначивши потрібну кількість паль, виходячи тільки з їх несучої здатності, намагаються розмістити їх в кущі якомога компактніше, щоб скоротити витрати на ростверк, робота якого не враховується [44]. Якщо розмістити палі на значній відстані одна від одної або компактно розмістити їх під колоною, але розміри ростверка прийняти доволі значними, це може компенсувати незначну кількість паль включенням у роботу ростверка.

Практична цінність одержаних результатів.

Показане, що в випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундамента в цілому, а також окремих його елементів підвищується. З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундамента.

Відомо, що паля є значно більш дорогою конструкцією, ніж ростверк, тому зменшення кількості паль при збільшенні габаритів ростверка в цілому може призвести до більш економічного рішення.

Достовірність отриманих у магістерській роботі результатів забезпечується використанням апробованого програмного комплексу SOFiSTiK, в межах якого геотехничні задачи розв'язуються розбиванням ґрунту на скінчені елементи з використанням нелінійних моделей матеріала, порівнянням одержаних результатів з результатами, одержаними аналітичними методами, передбаченими нормами, а також результатами досліджень інших авторів при використанні альтернативних програмних комплексів.

Особистий внесок здобувача полягає у складанні програми моделювання, виконанні численних розрахунків за запропонованою програмою, аналізі найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту.

Магістрантом самостійно одержані представлені в магістерській кваліфікаційній роботі результати.

Апробація результатів роботи. Результати роботи апробовано на LIII Науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету ВНТУ. Вінниця, 2024, проведеної 28 березня 2024 р. у ВНТУ.

Публікації.

За результатами LIII Науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету ВНТУ. Вінниця, 2024, опубліковані тези: «Математичне моделювання роботи комплексного стовпчастого пальового фундаменту». Збірник матеріалів LIII Науково-технічної конференції 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 .

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

Пальовий фундамент зазвичай складається з трьох компонентів: ростверк, палі і грунтове середовище [1 – 4]. Призначення паль крім сприйняття навантаження – зменшення осідання споруди. Відносна жорсткість компонентів пальового фундамента визначає характер розподілу навантаження між ними (рис. 1.1).

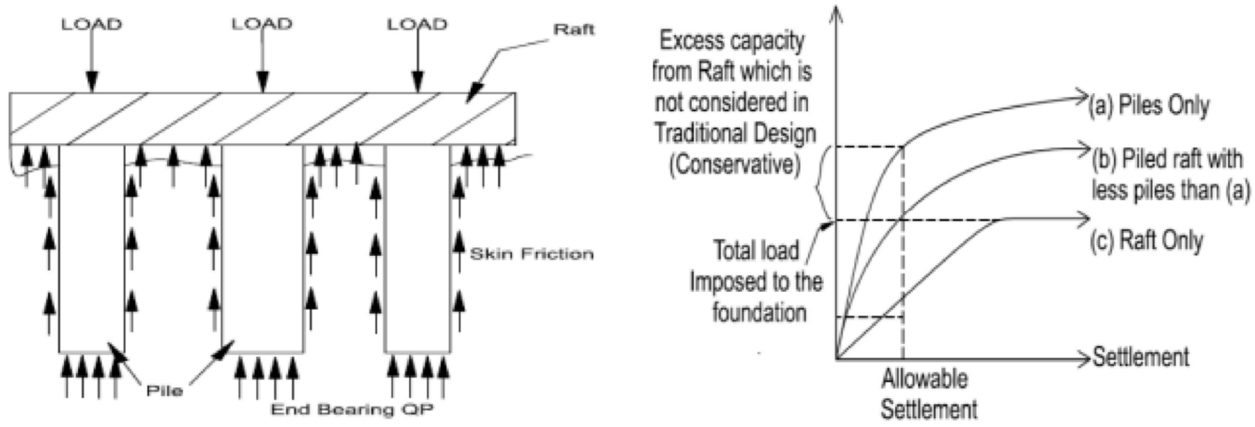


Рисунок 1.1 – Розподіл зусиль між компонентами пальового фундамента [1]

Численні дослідження дозволили одержати більш глибоке уявлення про складність умов роботи пальового фундамента, коли змінними є умови навантаження, відносна довжина паль (L/D), їх кількість, відстань між ними, піддатливість ґрунту і жорсткість ростверка.

Включення в роботу з грунтом низького ростверка часто визначає ефективність роботи фундамента в цілому. Однак, впровадження фундаментів з несучим ростверком у будівництво стримується недостатньою кількістю теоретичних досліджень, відсутністю необхідної нормативної бази та обмеженим досвідом проєктування таких конструкцій.

1.1 Дослідження роботи пальових фундаментів з нерівномірним розміщенням паль

На теперішній час серед проєктувальників і будівельників набуло популярності використання комбінованих плитно-пальових фундаментів [5]. Це конструктивне рішення вважається одним з найбільш ефективних розробок в галузі

фундаментобудування останнього десятиліття. Комбінований плитно-пальовий фундамент (КППФ) відрізняється тим, що в системі «пальове поле – плитний ростверк – ґрунтова основа» частину навантаження від будівлі сприймають палі, а частину – плитний ростверк. Плитний ростверк працює в даному випадку як фундаментна плита, підкріплена палями (рис. 1.2).

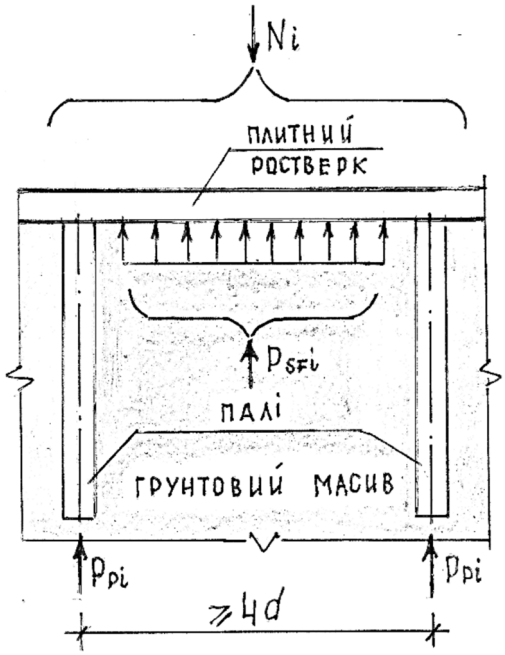


Рисунок 1.2 – Схема роботи плитно-пальового фундамента [5]

В межах КППФ палі того чи іншого типу можуть бути розташованими у вигляді пальового поля, стрічок, кущів або одиночних паль. В більшості випадків проєктування фундаментів каркасних будівель палі групують навколо місць прикладання навантаження (під колонами), в безкаркасних будинках зі стіновою конструктивною схемою – у вигляді рядів під стінами. Через урахування опору ґрунту під підошвою плитного ростверку в роботі комбінованих плитно-пальових фундаментів реалізується резерв їх економічної ефективності: зменшення кількості паль, зниження витрат арматури сталі, зменшення товщини ростверку [5]. В першому наближенні можна прийняти, що всі палі сприймають до 70…80 % всього навантаження .

В Україні дослідженню роботи плитно-пальових фундаментів присвячені роботи [6 – 12]. Відомі як експериментальні дослідження роботи таких фундаментів, так і практичне впровадження їх в реальному будівництві.

Для того, щоб мати можливість включити в роботу реактивний опір грунту під підошвою ростверка, необхідно забезпечити безпосередній контакт підошви плитного ростверку з грунтом і виконання таких умов:

- пальова компонента КППФ повинна володіти певною податливістю, тобто мати осідання під навантаженням;

- палі повинні бути розташовані на достатній відстані одна від одної.

За думкою більшості дослідників крок паль більше (4..5)*d* забезпечує повноцінну реалізацію роботи ґрунту під підошвою ростверку на ділянках, достатньо віддалених від паль, поза їх зоною впливу (рис. 1.3).

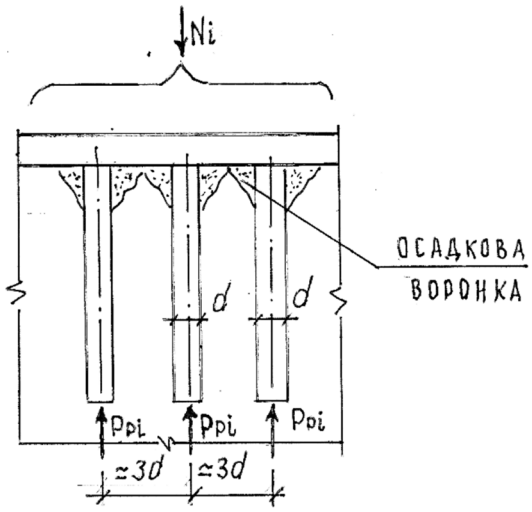


Рисунок 1.3 – Зони впливу паль в межах підошви ростверка при частому їх розташуванні [5]

Участь плитної частини в роботі КППФ визначається також модулем деформації шару грунту під підошвою ростверка. Велике значення мають форма і розмір плити, кількість паль. Частка плитного ростверку у несучій здатності КППФ за результатами проведених досліджень [5 – 12] і чисельного моделювання їх роботи може досягати 20% – 40% в залежності від означених факторів.

Комбіновані пальово-плитні фундаменти пропонуються і у роботах зарубіжних дослідників [13 – 18]. Ana Cláudia Frade de Faria [13] визначає

комбінований пальово-ростверковий фундамент (CPRF) як поєднане рішення, що з'єднує палі і плиту ростверка з метою підсилення переваг кожного з цих елементів. Цей підхід полягає в застосуванні достатньої кількості паль для зменшення розрахункових показників до прийнятних значень. Навантаження від конструкцій буде розподілятись через палі, ростверк і грунт основи. Мета полягає в тому, щоб оптимізувати конструкцію, зменшивши кількість застосованих паль у порівнянні з традиційною групою паль. Також можливо зменшити товщину ростверка у порівнянні з традиційним рішенням плитного фундамента, що в цілому сприяє більш економічному рішенню без ущерба для безпеки.

У статі [13] виконане економічне порівняння фундаментів офісно-житлового будинку висотою 33 поверхи у варіантах: плитний фундамент, пальові кущі, комбінований плитно-пальовий фундамент. Відзначаються переваги CPRF: меншій час будівництва у порівнянні з плитним фундаментом, менша кількість паль у порівнянні з пальовими кущами, менші напруження в ростверку завдяки стратегічному розміщенню паль, що в цілому призвело до більш економічного рішення.

Katzenbach R. та ін. у роботі [14], яка підбиває підсумки роботи багатьох дослідників щодо впровадження комбінованих пальово-ростверкових фундаментів, сформулювали загальні рекомендації з проєктування, будівництва та моніторингу CPRF. Метою роботи є надання загальних орієнтирів для проєктувальників всього світу підчас використання CPRF. Комбінований пальово-ростверковий фундамент розглядається як геотехнічний композит, який містить ефект спільної роботи паль і ростверка з урахуванням взаємодії між ними та з ґрунтовим середовищем (рис. 1.4).

Характеристичне значення полного опору $R_{tot,k}(s)$ CPRF залежить від осідання фундамента і складається з суми характеристичних опорів паль $\sum_{j=1}^{m} R_{pile,kj}(s)$ і характеристичного опору основи $R_{raft,k}(s)$. Характеристичний опір основи виникає

в результаті інтеграції контактного тиску $\sigma(s, x, y)$ на площі плана ростверка (рис. 1.4).

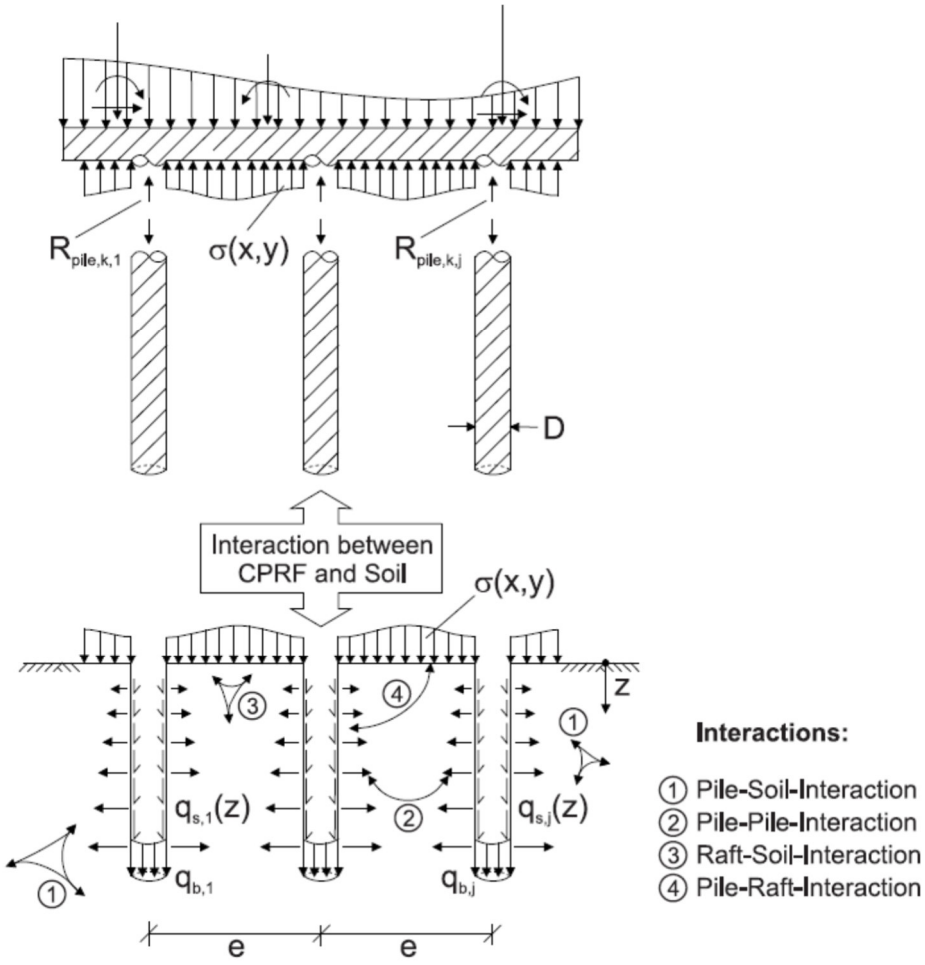


Рисунок 1.4 – Комбінований пальово-ростверковий фундамент як геотехнічна композиція [14]

Несуча здатність CPRF описується за допомогою коеффіцієнту паль-ростверка α_{np},:

$$\alpha_{pr} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_{pile,k,j}(s)}{R_{tot,k}(s)} \tag{1.1}$$

В роботі [14] для безпечного проєктування CPRF пропонується математичне моделювання взаємодії фундамента з основою та надфундаментними конструкціями за допомогою надійних програмних комплексів.

В статті [16] відзначається зростаюче визнання комбінованої системи пальово-плитних фундаментів, яке обумовлене їх економічністю. Автори посилаються на

приклади застосування CPRF для високих і важконавантажених конструкцій (Hooper, 1974; Cooke et al., 1981 год; Пулос, 2008 г.; Ямашита, 2012, Катценбах и др., 2010), але в своїй роботі досліджують доцільність застосування CPRF для помірнонавантажених конструкцій. Виконане фізичне моделювання на маломасштабних моделях і математичне моделювання в програмному комплексі ANSYS. Досліджувались розміщення паль в плані, шорсткуватість їх поверхні, частота розміщення паль (відношення суми їх поперечних перерізів до площі плити ростверка), наявність слабкого прошарку ґрунту по довжині палі. Аналіз результатів виконувався при різних значеннях осідання. Для теми дослідження в магістерській роботі важливі висновки стосовно частоти розміщення паль.

Співвідношення площі паль і ростверку, AR, варіювалось в межах від 4,25% до 9,25%. На рисунку 1.5 представлений вплив коефіцієнта площі AR на коефіцієнт розподілення навантаження α_{pr} (α_{pr} визначається як співвідношення між величиной навантаження, що сприймається палями при заданому значенні ростверка до повного навантаження на фундамент).

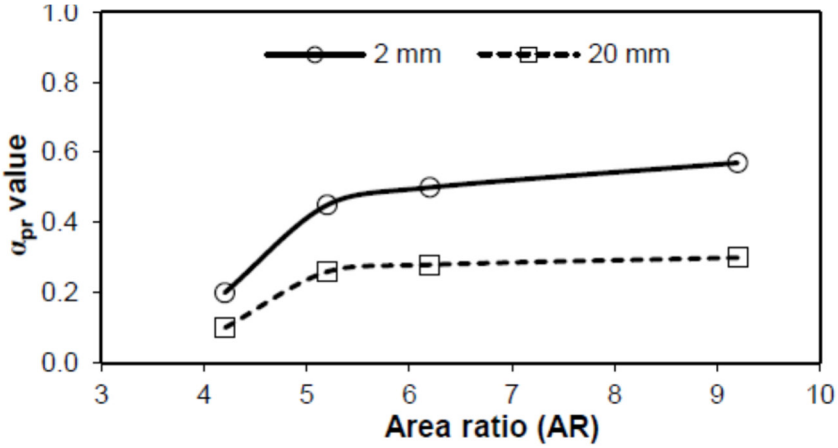


Рисунок 1.5 – Змінення α_{pr} в залежності від Співвідношення площі паль і ростверку [16]

З рисунку видно, що частка навантаження, яке сприймається палями, на початкових стадіях (осідання 2 мм) набагато вище, ніж на високих стадіях (осідання 20 мм). Також видно, що оптимальну вигоду можна одержати, коли співвідношення площі паль і ростверку, AR, перевищує 5%, що відповідає відстані між палями 4d. Було встановлено, что навантаження, що сприймається ростверком

при такому кроці паль складає 35% від загального на рівні осідання 2 мм, но при і 64% при осіданні 20 мм.

Спостереження, виконані для 12-поверхового житлового будинку протягом 25 місяців з початку будівництва, показали, що мобілізація роботи ростверка здійснюється поступово по мірі завантаження і досягає 43% прикладеного навантаження. Автори констатують, що для більшості побудованих пальово-плитних фундаментів частка ростверку складає від 45 до 55%.

Phung Duc Long (Ханой) [17] доводить ефективність застосування CPRF на прикладі великого висотного комплекса з застосуванням концепції пальово-ростверкового фундамента, в якому палі використовуються тільки для зменшення осідання, а не для витримування всього навантаження від споруди. Фундамент був запроєктований інженерами-проєктувальниками як звичайний пальовий фундамент, коли палі сприймають все навантаження від споруди. CPRF досліджується автором як альтернативний варіант зі значно меншою кількістю паль (рис. 1.6).

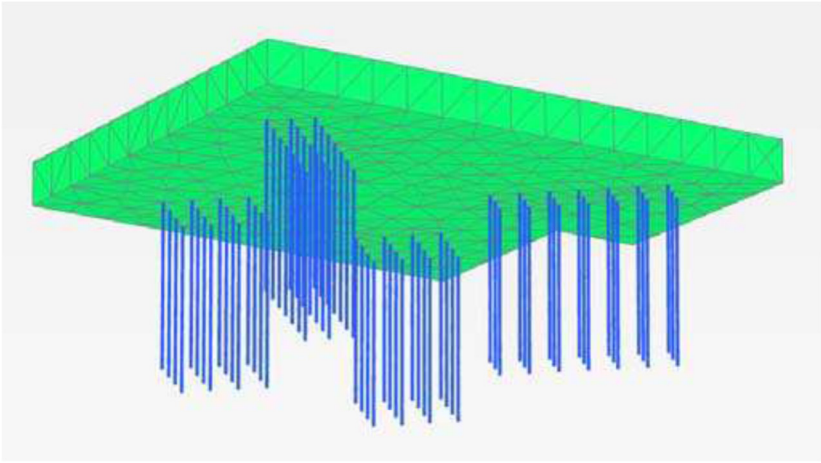


Рисунок 1.6 – Plaxis 3D- модель фундамента зі зменшеною кількістю паль [17]

Попередньо автор провів серію натурных крупномасштабних модельних випробувань. В кожній серії виконувались випробування ростверка, як фундамента мілкого закладання, одиночної палі, окремостоячої групи паль і пальового фундамента з низьким ростверком. Всі групи паль були квадратної форми і складались з 5 паль, однієї центральної і 4 кутових з міжцентровою відстанню між

палями 4b, 6b и 8b для тестових серій No 1, 2 и 3 відповідно. Грунт в трьох серіях випробувань був різним.

Результати всіх трьох серій випробувань показують сходну тенденцію. Для прикладу на рис. 1.7 наведене порівняння результатів випробувань в серії T2.

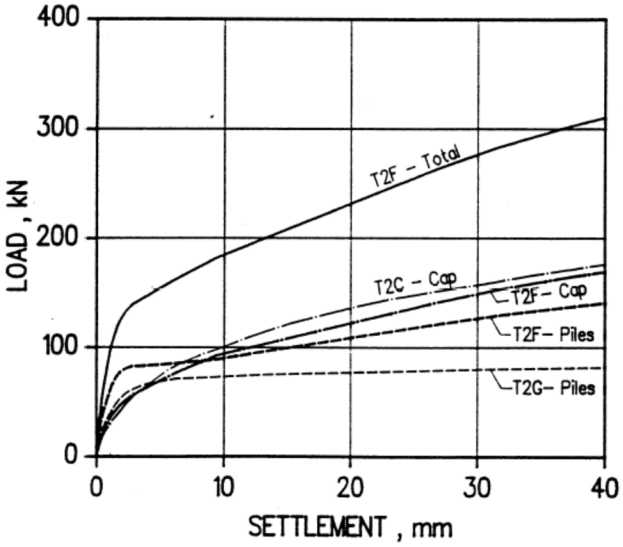


Рисунок 1.7 – Результати випробувань за серією T2 [17]

На цьому рисунку можна бачити, що навантаження, яке сприймається ростверком при випробуванні пальового фундамента, крива T2F-Cap, дуже близька до навантаження, яке сприймається ростверком, як фундаментом мілкого закладання, T2C-Cap, тоді як навантаження, яке сприймається палями в окремостоячій групі паль, T2G-Piles значно менше навантаження, яке сприймається палями у складі фундамента, T2F- Piles. Збільшення виникає за рахунок наявності контактного тиску під ростверком.

Автор пропонує методику розрахунку, коли оцінивши навантаження, яке може сприйняти ростверк без паль, решту навантаження передають на палі і виходячи з цього визначають потрібну кількість паль, припустивши, що їх несуча здатність використовується повністю.

При розгляді роботи пальово-плитних фундаментів деякі автори [19] пропонують поділяти фундаменти висотних будинків на пальову основу та пальовий фундамент. У випадку пальової основи (довжина паль менша за габарити плити ростверку) через палі передається близько 55 % зовнішнього навантаження,

а у випадку пальового фундаменту (довжина паль перевищує габарити плити ростверку) – близько 85 %. Осідання фундаментної плити в пальовому фундаменті менше на 30 %. Така різниця напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій вимагає окремого підходу до проєктування наведених типів фундаментів.

Ідея розрідженого розміщення паль у складі кущових пальових фундаментів подається у ряді робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Зазвичай у цих роботах розглядаються конкретні приклади розміщення різної кількості паль у межах ростверка певних розмірів, причому як правило, ці ростверки мають значні розміри (розраховані на кількість паль 16 – 25 шт. при стандартному кроці 3d).

Так, у роботі [20] Elwakil A. Z., Azzam W. R. (2016) наводять результати фізичного моделювання стовпчастого пальового фундамента в циліндричному лотку висотою 600 мм і діаметром 750 мм. В якості основи використовувався пісок середньої крупності середньої щільності. Моделі паль з металевих трубок мали діаметр d=12 мм і довжину 400 мм, 200 мм і 100 мм. Модель ростверка являла собою металеву плиту розмірами 150×150 мм товщиною 15 мм. В такій плиті можна розмістити 16 паль (4x4) з кроком 3d.

Були проведені випробування з варіюванням кількості паль, їх довжини і розміщення в плані для однієї плити ростверка. Розглядались варіанти з розміщенням 16 паль в рядовому порядку, 8 паль в шаховому порядку, а також групи з розміщенням 4 паль всередині куща. У всіх варіантах варіювалась довжина паль. Авторами наводяться залежності сумарної несучої здатності пальового фундамента з низьким ростверком від відносної довжини L/B (L – довжина паль, B – ширина ростверка) і кількості паль (рис. 1.8).

З рис. 1.8 видно, що зменшення кількості паль у 2 та 4 рази при сталих розмірах ростверка призводить до зменшення навантаження на фундамент тільки на 25-30% та 50-57% відповідно для різних довжин паль. Отже за рахунок включення в роботу ростверка ефективність використання паль підвищується.

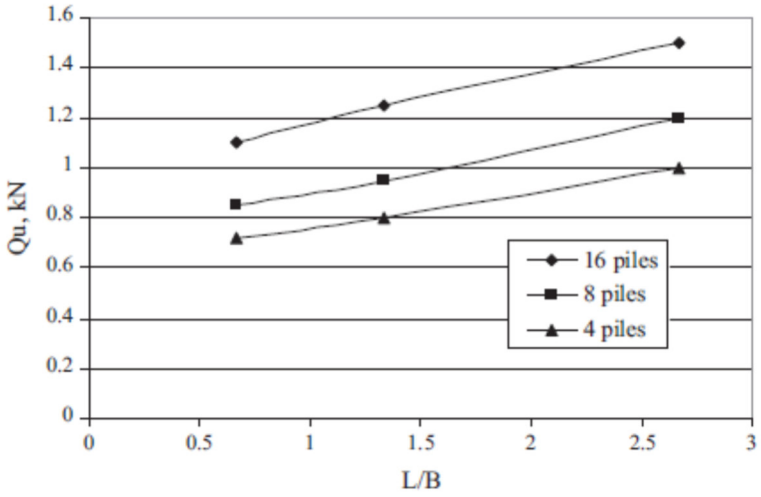


Рисунок 1.8 – Залежність сумарної несучої здатності пальового фундамента з низьким ростверком від відносної довжини L/B паль при S/B = 0,7 % [20]

В результаті проведених досліджень зроблений висновок, що по мірі зменшення довжини паль і їх кількості навантаження, яке сприймає ростверк, збільшується.

Маломасштабні фізичні дослідження були проведені і у роботі [21]. Для кращого розуміння поведінки пальово-ростверкових фундаментів було виконане моделирование тривалої роботи двох моделей PRF з вертикальним навантаженням на водонасиченій глині. Кожна з моделей фундаментів мала квадратну форму і чотири палі з різною відстанню між ними (рис. 1.9).

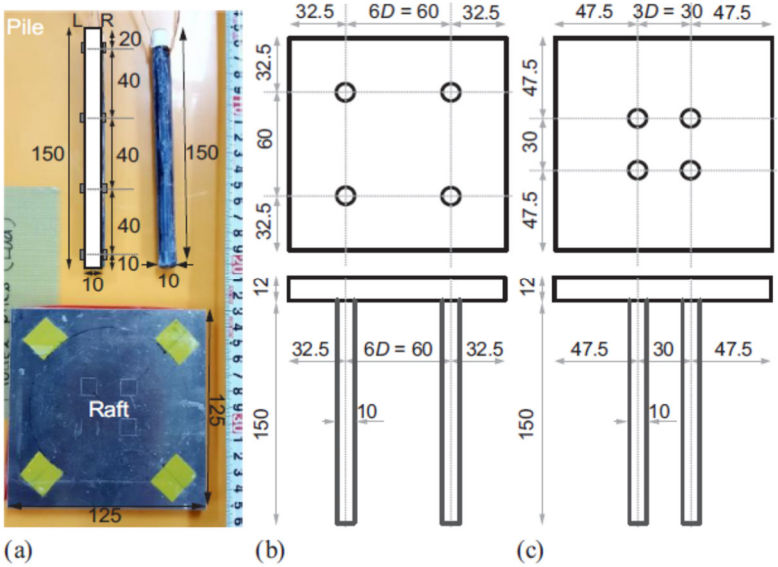


Рисунок 1.9 - Модельні пальові фундаменти: (a) фото модельных паль і модельного фундамента, (b) модельний фундамент з s = 6D і (c) модельный фундамент с s = 3D

Для менших прикладених навантаженнях PRF с більшою відстанню меж палями (s = 6D) мала менше осідання, ніж PRF з з малою відстанню між палями (с = 3D). При великих прикладених навантаженнях – навпаки.

Fekadu Melese [22] розглядає питання підвищення ефективності стовпчастих пальових фундаментів. Концепція проєктування полягає у зменшення кількості паль за рахунок використання роботи ґрунту під ростверком. Палі розглядаються як знижувачі осідань. Одним з аспектів досліджень був аналіз впливу кількості паль шляхом моделювання у програмному комплексі PLAXIS 3D.

Моделювання проводилось для кущів з 4, 9, 16 і 25 паль довжиною 20 м, кроком S/Dp 5 і квадратним ростверком 12×12 м (рис. 1.10).

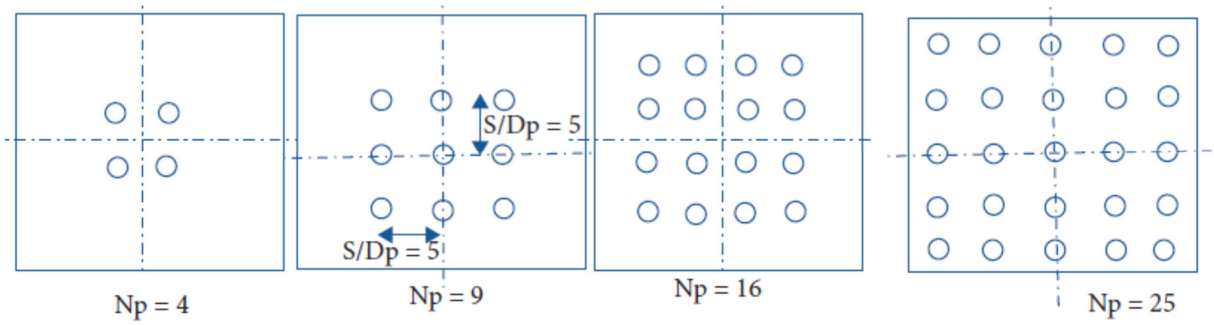


Рисунок 1.10 – Розміщення паль в плані при варіюванні їх кількістю [22]

На рисунку 1.11 показано максимальне осідання фундамента, приведене до ширини ростверка, W/B_r, в залежності від кількості паль для нез'єднаного з палями ростверка (NC) і з'єднаного з палями ростверка (PR). Бачимо, що при збільшенні кількості паль осідання фундамента зменшується.

Якщо проаналізувати навантаження на фундамент при однакових осіданнях, то збільшення кількості паль призводить до збільшення навантаження, яке сприймає фундамент, але у значно меншій степені, ніж можна було очікувати (зменшення кількості паль від 25 до 4 призводить до зменшення навантаження лише у 2,2 рази).

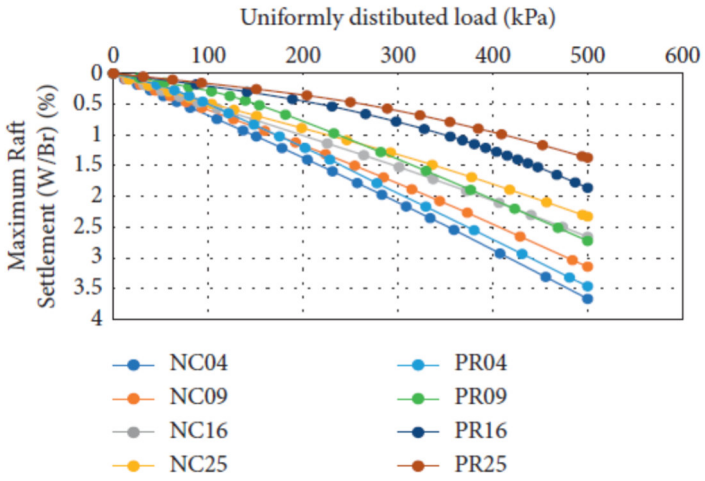


Рисунок 1.11 – Порівняння нормалізованого максимального осідання фундамента для NC (між ростверком і палями прошарок піску) і PR (низький ростверк) для фундаментів з різною кількістю паль (Lp = 20 м і S/Dp = 5) [22]

На рис. 1.12 наведена залежність коефіцієнта α_{pr} (відношення навантаження, що припадає на палі (R_{pile}), до загального навантаження (R_{total}) на фундамент) від кількості паль. При збільшенні кількості паль вони беруть на себе більшу частку навантаження. що автоматично означає зменшення частки ростверка. Отже, як і у інших дослідженнях, ефективність роботи ростверка збільшується при зменшенні кількості паль.

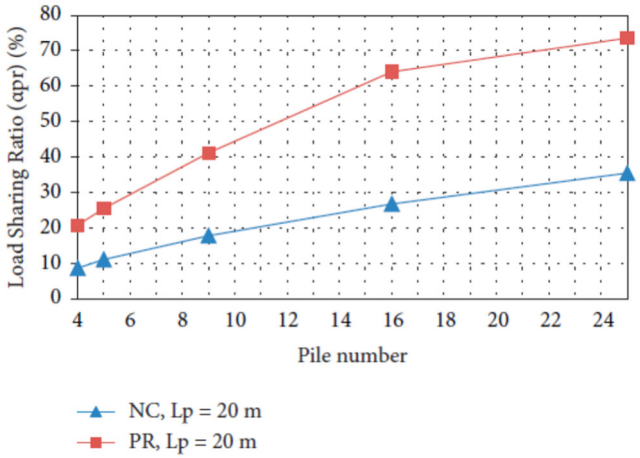


Рисунок 1.12 – Вплив кількості паль на частку навантаження, яку сприймають палі [22]

У роботі [23] наведені результати модельних випробувань за допомогою центрифуги. Було проведено 17 випробувань на центрифузі для вивчення впливу таких параметрів: кількість паль, відстань між ними, градація і товщина зернистого

шару на поведінку системи. Результати показали важливість зернистого шару для зменшення осідання незв’язаної пальово-плитної системи.

Роль паль полягає у зменшенні осідання. На рис. 1.13 наведені схеми моделей для випробувань. На рис. 1.14 наведені залежності нормалізованого осідання від навантаження для пальових фундаментів з 4 та 9 паль. Як можна бачити, осідання в системі з 9 паль значно менше, ніж в випадку з 4 палями.

Якщо порівняти навантаження, що сприймають фундаменти з різною кількістю паль при однаковому навантаженні, то зменшення кількості паль у 2,25 раза призводить до зменшення навантаження, що сприймає фундамент у 2,19 раза, тобто за результатами цих випробувань, на відміну від раніше розглянутих експериментів, із зменшенням кількості паль ефективність використання ростверка майже не змінилась.

В статі [24] проведене маломасштабне експериментальне дослідження моделей груп паль і пальових фундаментів з різною кількістю паль під дією як вертикальних, так і горизонтальних навантажень. Встановлено, що на відміну від пальової групи пальовий фундамент забезпечує достатньо високу жорсткість при обох типах навантажень, а різниця між жорсткостями обох систем зменшується по мірі збільшення кількості паль. Ефект збільшення жорсткості пальового фундамента пов’язаний з вкладом ростверка у опір вертикальним і горизонтальним навантаженням, але із збільшенням кількості паль вклад ростверка зменшується.

Випробування моделей виконувались у стальному боксі 1.5х0,9х1,2 м. В якості моделей паль використовувались оцинковані трубки діаметром 19 мм і довжиною 457 мм. Моделлю ростверка слугувала алюмінієва пластина товщиною 25 мм з розмірами 304,8х304,8 мм. Всього проведено випробування 7 пальових фундаментів і 7 пальових груп. Кількість паль варіювалась від 4 до 25 (рис. 1.15).

Схема проведення випробувань групи паль показана на рисунку 1.16.

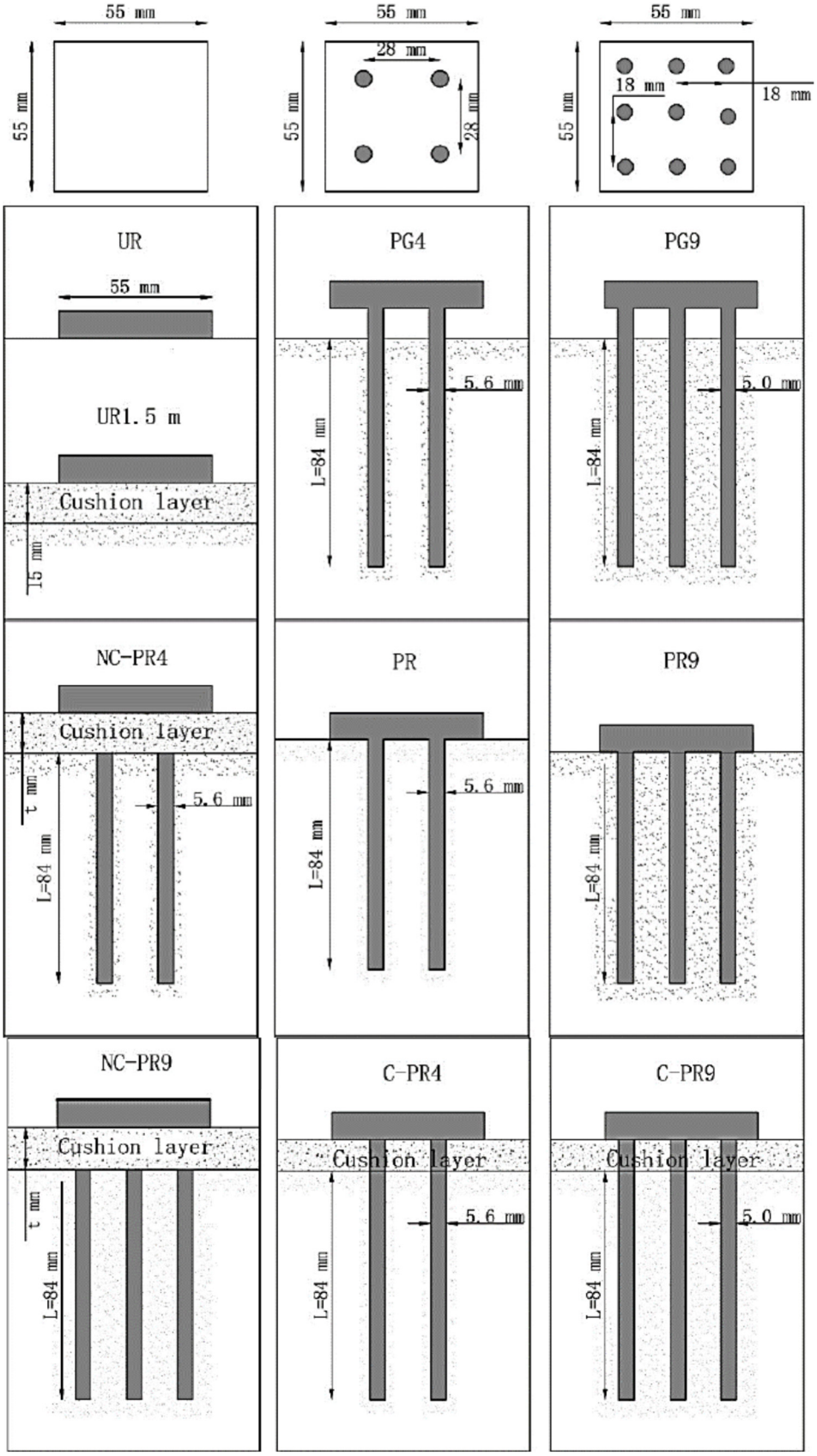


Рисунок 1.13 – Схеми моделей. UR (фундамент без паль), PG4 (група з 4 паль), PR4 (пальово-ростверкова система з 4 паль), NC-PR4 (незв'язна пальово-ростверкова система з 4 палями), C-PR4 (зв'язаний пальовий фундамент з 4-ма палями і зернистим шаром), UR1,5м (фундамент без паль з товщиною шару насипу 1,5 м), PG 9 (група з 9 паль), PR 9 (пальовий фундамент з 9 паль), NC-PR9 (незв'язна пальово-ростверкова система з 9-ти паль), C-PR9 (пальово-ростверкова система з 9 паль з зернистим шаром) [23]

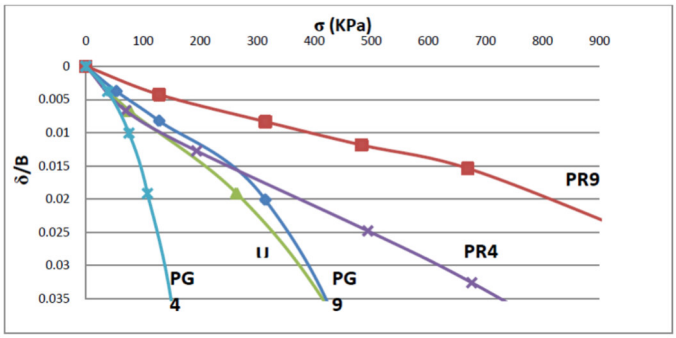


Рисунок 1.14 – Залежність нормалізованого осідання від навантаження для пальових фундаментів з 4 та 9 паль [23]

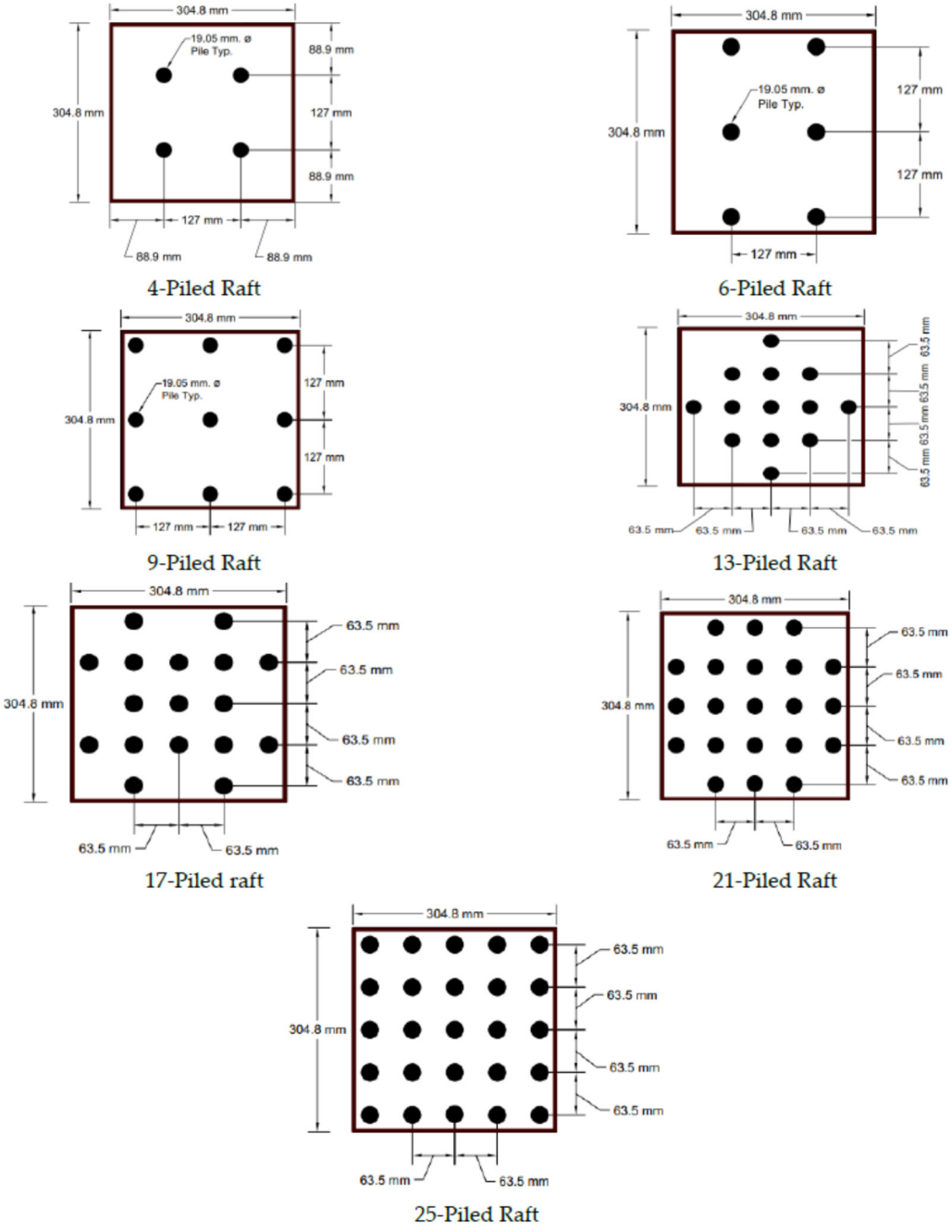


Рисунок 1.15 – Планування експериментального дослідження [24]

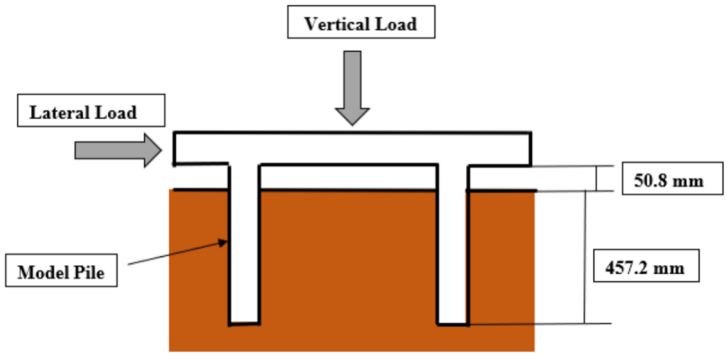


Рисунок 1.16 – Схема проведення випробувань групи паль без ростверка [24]

Різниця в поведінці пальових фундаментів і пальових груп при різній кількості паль наведена у таблиці 1.1. Бачимо, що аналогічно результатам, одержаним іншими дослідниками, збільшення несучої здатності пальового фундамента відбувається непропорційно збільшенню кількості паль. Отже, при меншій кількості паль ефективно використовується ростверк, що підтверджує можливість використання ідеї комплексного фундамента для пальових кущів.

Таблиця 1.1 - Різниця жорсткості групи паль у порівнянні з пальовим фундаментом при вертикальному навантаженні

Type	Stiffness Difference	Piled Raft Settlement (mm)	Pile Group Settlement (mm)	Maximum Vertical Load (N)
4-Piled raft vs. 4-Pile group	4.50/1.60 = 2.81	1.60	4.50	1920
6-Piled raft vs. 6-Pile group	1.34	3.01	4.02	2786
9-Piled raft vs. 9-Pile group	2.52	5.14	12.97	5250
13-Piled raft vs. 13-Pile group	1.65	5.62	9.28	5250
17-Piled raft vs. 17-Pile group	1.40	4.60	6.45	5250
21-Piled raft vs. 21-Pile group	1.57	4.00	6.28	5250
25-Piled raft vs. 25-Pile group	1.27	3.61	4.60	5250

Метою дослідження [25] є вивчення можливості застосування пальових фундаментів в пластичній глині. Вивчались довжина паль, їх кількість, відносна жорсткість ростверк-грунт і наявність піщаної подушки під росверком щодо впливу на осідання фундамента, приріст осідань і розподіл навантаження. Пальові фундаменти моделювались з використанням прогармного продукта PLAXIS 3D. Результати експериментальних випробувань на маломасштабних моделях були використані для верифікації чисельного моделювання.

При фізичному моделюванні випробувальна камера (лоток) представляла собою куб з ребрами 600 мм, виготовлений з стальних листів. В якості грунтової основи використовувався переформований каолініт. Розміри квадратного стального ростверку 200х200 мм. Моделі паль з стальних труб довжиною 250 мм, діаметром 10 мм у кількості 9 шт. Замірювались деформації системи і зусилля в палях. Фізичне моделювання виконане для моделі з 9 паль для веріфікації подальшого математичного моделювання.

Розміри моделей при математичному моделюванні наведені на рис. 1.17.

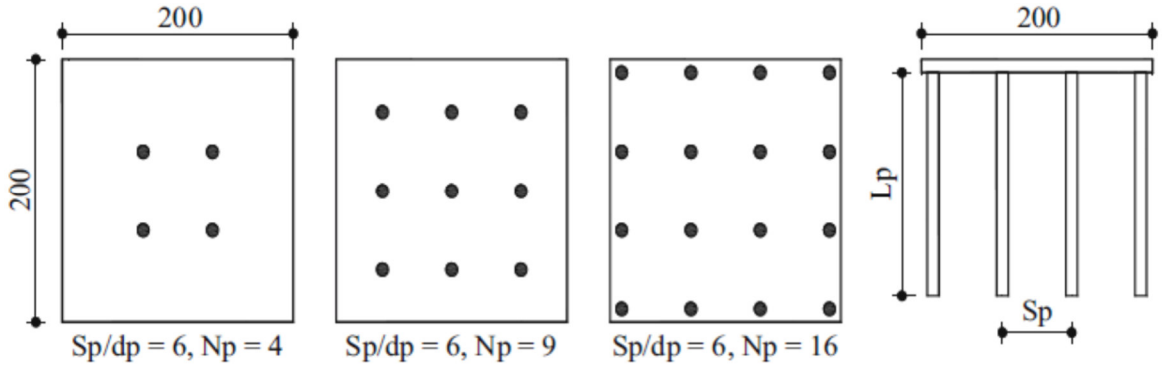


Рисунок 1.17 – Геметричні розміри моделей пальових фундаментів [25]

При математичному моделюванні варіювались такі параметри:

- довжина паль, L_p/діаметр палі, d_p: 10, 15, 20, 25, 30;
- кількість паль № 4, 9, 16;
- товщина ростверка 2, 4, 10 мм. Відповідна відносна жорсткість ростверк-грунт K_{rs} : 0,08, 0,70, 10,43;
- Товщина пщаної подушки, H_c/ d_p, 1, 2, 3, 4, 5.

Результати наведені на графіках, щоб проаналізувати вплив означених параметрів на коефіцієнт зменшення осідання пальовим фундаментом SR (відношення максимального осідання фундамента до максимального осідання ростверка без паль) (рис. 1.18), коефіцієнт роподілу навантаження GPR (частка навантаження, що сприймається палями) (рис. 1.19).

Результати показали, що із збільшенням довжини і кількості паль, осідання і різниця осідань в межах фундамента зменшились. Також було виявлено, що із збільшенням відносної жорсткості ростверк-грунт різниця осідань зменшується.

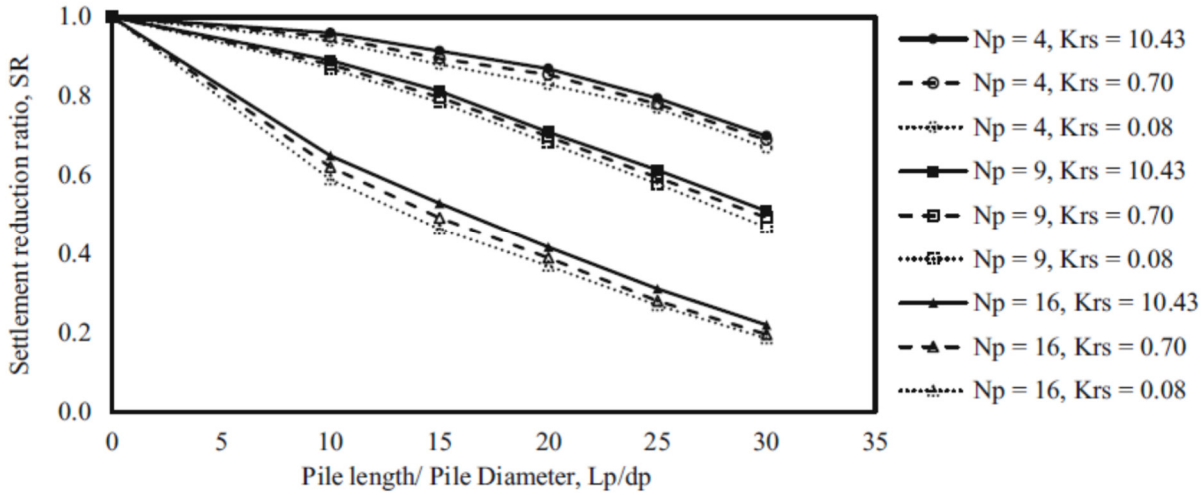


Рисунок 1.18 – Вплив довжини палі на коефіцієнт зменшення осідання пальовим фундаментом SR (відношення максимального осідання фундамента до максимального осідання ростверка без паль) для різних пальових фундаментів [25]

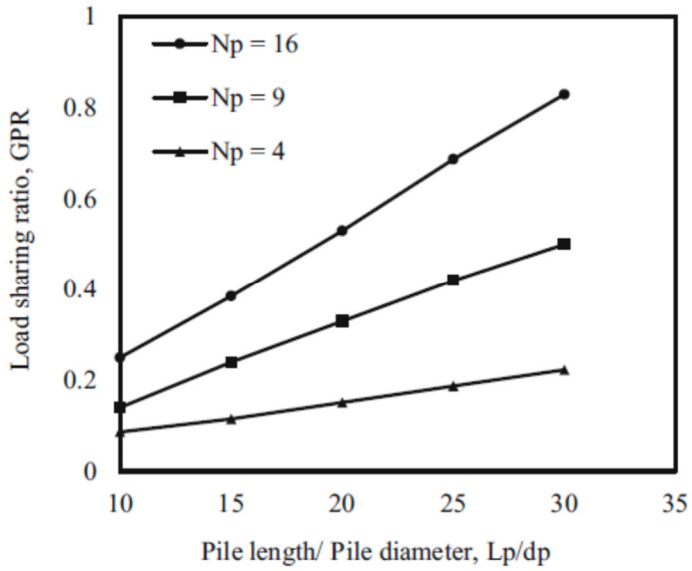


Рисунок 1.19 – Вплив довжини паль на їх частку у навантаженні при різній кількості паль [25]

GPR зменшується із збільшенням потужності і відносної щільності піщаної подушки, але збільшується із збільшенням довжини і кількості паль. Цей приріст GPR склав 13,7, 36 і 58% при збільшенні відношення довжини палі до діаметру від 10 до 30 та кількості паль 4, 9 і 16 відповідно.

Srijit Bandyopadhyay, Aniruddha Sengupta [26] досліджували поведінку пальово-плитної системи, навантаженої рівномірно розподіленим навантаженням, в багатошаровому ґрунті з використанням 3D-аналіза методом скінчених елементів

(MIDAS GTS NX (MIDAS 2019). При параметричному дослідженні варіюються діаметр паль (0,8 м і 1 м), відстань між палями (3D, 4D, 5D і 6D, де D — діаметр паль) і товщина ростверка (1 м, 1,5 м і 2 м). Довжина палі і розміри ростверка прийняті постійними (довжина палі 25 м, разміри ростверка 18 × 18 м). Палі і ростверк з'єднані один з одним монолітно. Варіанти розміщення паль, розглянуті при аналізі, показані на рис. 1.20. Вивчалась також поведінка ростверка без паль при різній його товщині.

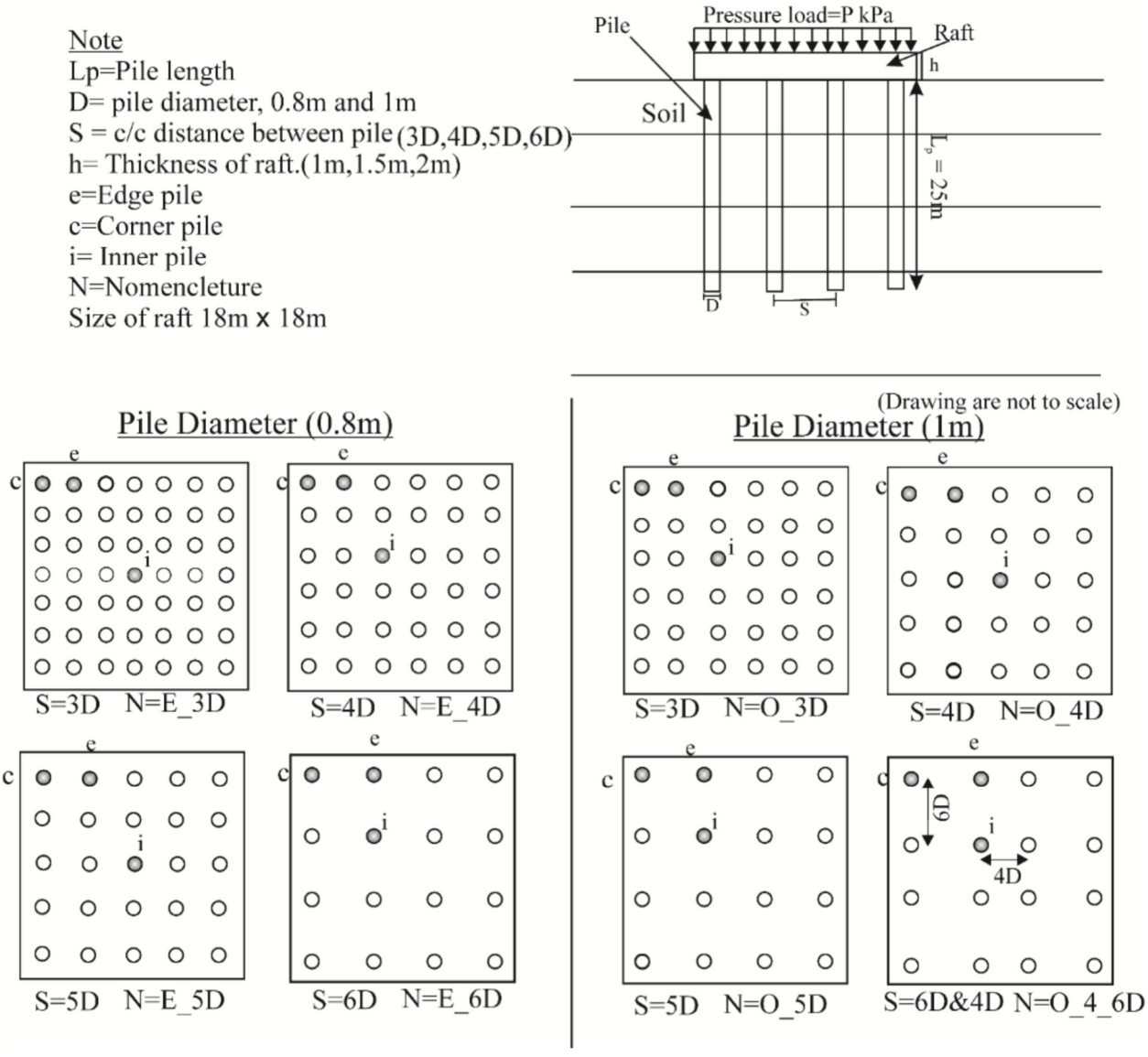


Рис. 1.20 - Конфигурації пальового ростверка (PR), використані при параметричному дослідженні [26]

На рис. 1.21 та 1.22 наведені криві навантаження – осідання для пальово-ростверкової системи з різним кроком паль для двох діаметрів паль, 0,8 м і 1,0 м відповідно.

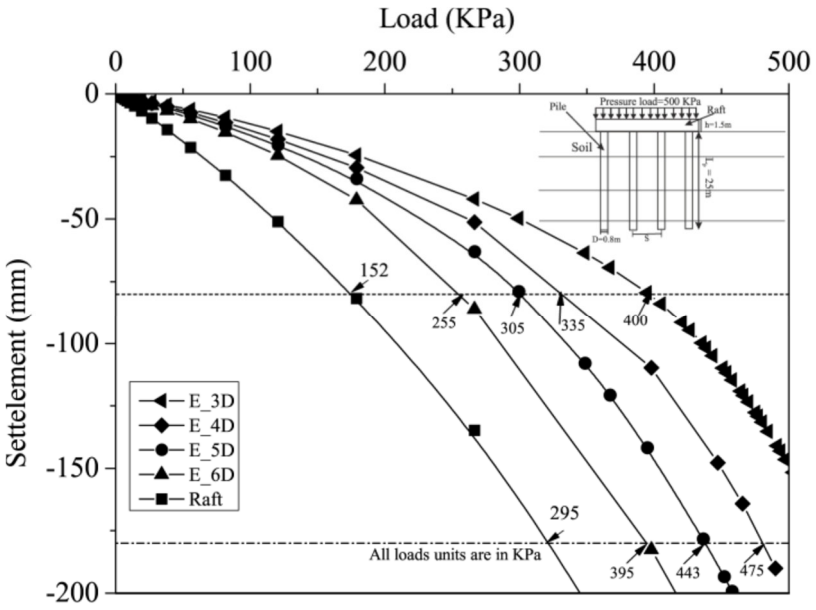


Рисунок 1.21 – Залежність навантаження-осідання для UPR (тільки ростверк) і PR (фундамент) з різною відстанню між палями для діаметра палі 0,8 м, товщина ростверка = 1,5 м [26]

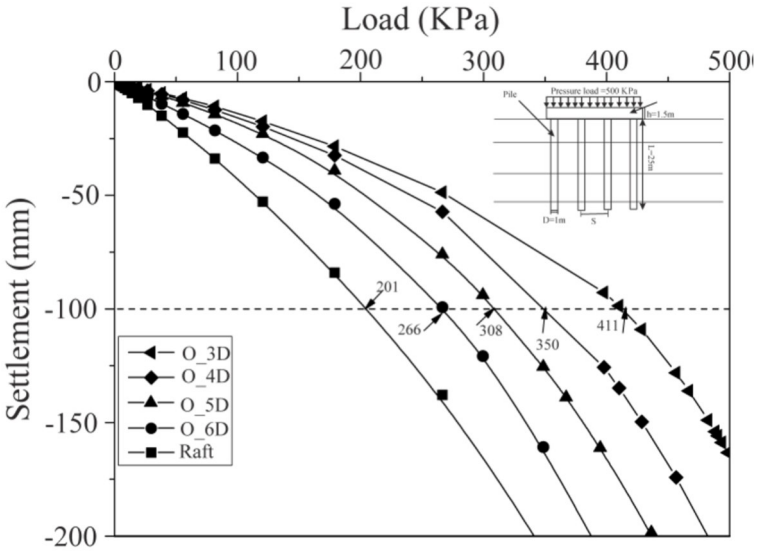


Рисунок 1.22 – Залежність навантаження-осідання для UPR (тільки ростверк) і PR (фундамент) з різною відстанню між палями для діаметра палі 1,0 м, товщина ростверка = 1,5 м [26]

Несуча здатність фундамента з кроком паль 3D, 4D, 5D і 6D, що відповідає величині осідання 80 мм (10% від D, де діаметр палі 0,8 м), складає 400, 335, 305 и

255 кПа відповідно. Аналогічна поведінка спостерігається і для комбінованої пальово-плитної системи з діаметром палі 1 м. Відзначається, що несуча здатність польово-плитного фундамента закономірно знижується із збільшенням відстані між палями.

Автори [26] роблять висновки, що в комбінованій пальово-плитній системі первинна жорсткість забезпечується групою паль за рахунок мобілізації сил тертя по бічній поверхні. Але по мірі збільшення осідання CPRF перерозподіл навантаження на ростверк збільшується, поки не буде досягнута точка руйнування. Для забезпечення економічності конструкції комбінованої пальово-плитної системи слід розумно враховувати відстань між палями і їх діаметр. З'ясовано також, що паля більшого діаметра забезпечує більшу початкову жорсткість, ніж паля малого діаметра, якщо всі інші параметри зберігаються постійними. Кутова паля фундамента забезпечує більш високу початкову жорсткість, ніж центральна. Таким чином можна одержати конструкцію CPRF, в якій необхідна кількість паль набагато менша, але ефективність краща з точки зору зменшення його відносних деформацій.

Оскільки в роботі [26] розглядається фундамент з розмірами в плані 18х18 м з прикладанням рівномірно-розподіленого навантаження, то такий фундамент є пальово-плитним, а не кущовим і одержані висновки збігаються з висновками, що роблять інші дослідники пальово-плитних фундаментів. Наприклад у статі [27] на прикладі просторового розрахунку 16-ти поверхової каркасної будівлі з пальово-плитним фундаментом з використанням ПК ЛІРА розроблено варіант раціонального розташування паль в межах площі завантаження.

Виявлено, що в залежності від геометрії розташування та взаємодії паль у фундаменті багатоповерхової будівлі необхідно виділяти характерні зони їх розташування: середню та периферійну. Встановлено, що раціональне розташування паль у перферійній зоні дозволяє зменшити їх кількість на 15-30% у порівнянні з розташуванням паль по регулярній сітці. Показано, що зміна товщини ростверку впливає на НДС основи та надземної частини будівлі. За рахунок

збільшення товщини можна зменшити відсоток армування плити, та елементів каркасу будівлі.

Серед робіт вітчизняних дослідників, що розглядали розріджене розміщення паль у кущових ростверках можна відзначити роботу [28]. В рамках дослідження було проведено моделювання трьох варіантів розташування паль в ростверкуРозглядались бурові палі діаметром 420 мм, довжиною 10 м у кількості 5 шт. . При зміні кроку паль змінювались розміри ростверка. Варіювалась товщина ростверку (300 та 500 мм) (рис. 1.23).

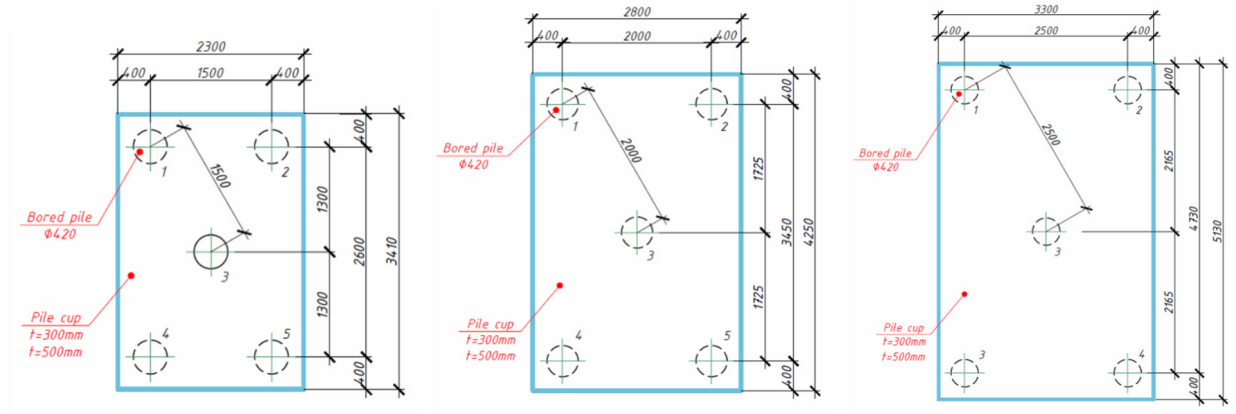


Рисунок 1.23 – Плани ростверків з розміщенням паль [28]

До ростверка прикладалось зосереджене навантаження 4000 кН. В якості основи пальового фундаменту використовувався дрібний пісок середньої щільності. Проводилось математичне моделювання методом скінчених елементів.

Зі збільшенням відстані між палями спостерігається зменшення осідання паль, яке відбувається по різному в центральній та крайніх палях, при цьому різниця між осіданням середньої та крайньої палі збільшується. Зменшення осідання при збільшенні відстані між палями свідчить про те, що зменшується взаємодія паль через ґрунтове середовище, що в свою чергу веде до збільшення несучої здатності паль та включення ростверку в роботу [28].

Аналізувався вплив жорсткості ростверка на загальну несучу здатність фундамента. Встановлено, що включення пальового ростверку в роботу залежить від його жорсткості та осьової відстані між палями.

Над питаннями розподілу зусиль між елементами пальового фундамента працюють науковці кафедри БМГА ВНТУ. Зокрема у статях [29-31] висвітлені результати досліджень стовпчастих пальових фундаментів, зокрема за умови зменшення кількості паль у межах сталого розміру ростверка. Проводилось фізичне моделювання пальових кущів з 9 паль та математичне моделювання у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation. На рисунку 1.24 наведені схеми розміщення паль при фізичному моделюванні. Кількість паль у ростверку змінювалась від 4 до 9. Варіювалась довжина паль.

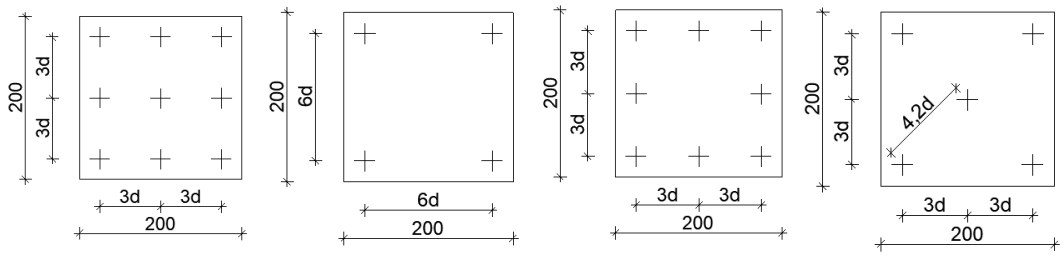


Рисунок 1.24 – Розміщення паль в ростверку при виконанні маломасштабного фізичного моделювання [29, 30]

На рис. 1.25 наведені залежності осідання від навантаження для кущів з довжиною моделей паль 400 мм.

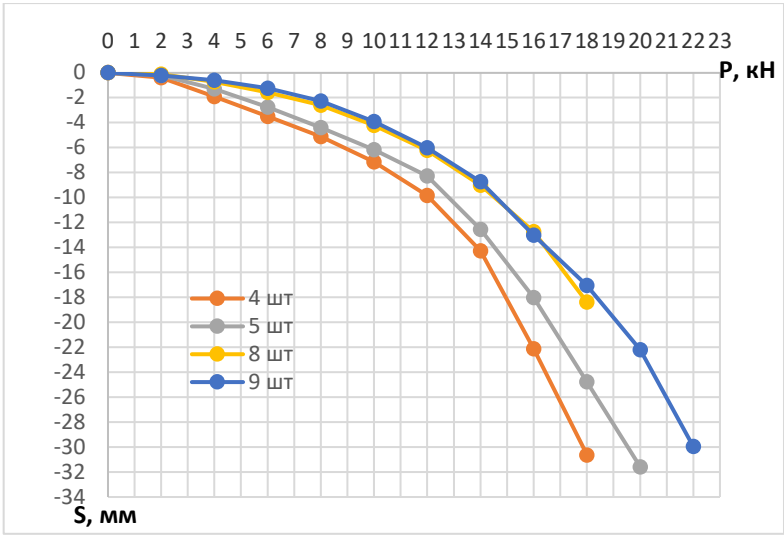


Рисунок 1.25 – Криві залежності навантаження – осідання для куща паль довжиною 400 мм [29, 30]

Зменшення кількості паль в межах незмінного розміру ростверка призводить до несуттєвого зменшення несучої здатності куща. Для паль довжиною 200 мм

зменшення несучої здатності практично не спостерігається, а для паль довжиною 400 мм (співвідношення довжини до поперечного перерізу 20) зменшення несучої здатності при осіданні 10 мм сягає від 0 до 40% для різної кількості паль.

Аналогічні дослідження виконані і шляхом математичного моделювання. Розміщення паль в ростверку прийнято таким же, як при фізичному моделюванні. На рис. 1.26 наведені результати моделювання для паль довжиною 10 м. Математичне моделювання підтвердило висновки фізичного моделювання.

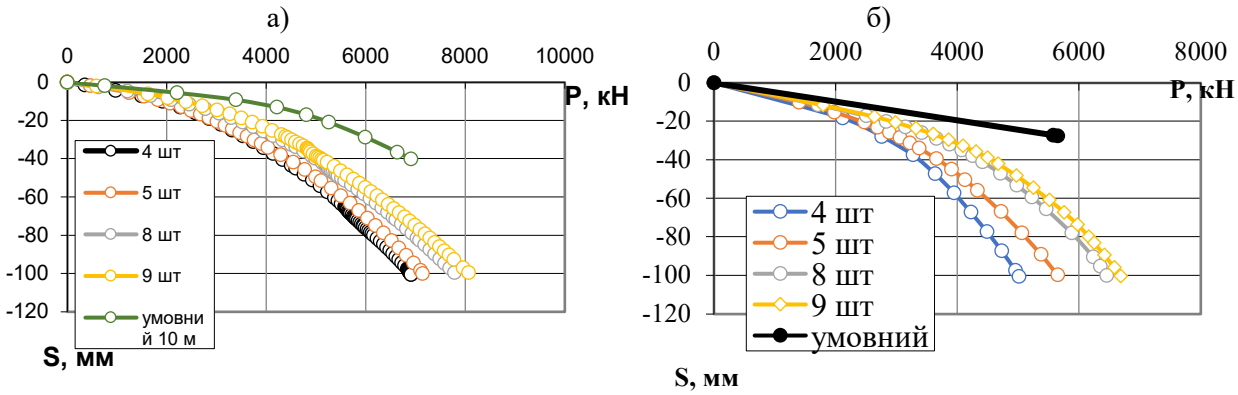


Рисунок 1.26 – Графіки залежності навантаження – осідання для пальових фундаментів з паль довжиною 10 м: а – піщаний грунт; б – глинистий грунт [31]

1.2 Аналіз засобів дослідження роботи пальових фундаментів при математичному моделюванні

Для аналіза пальових фундаментів були розроблені чисельні методи, які можна коротко розділити на такі категорії [32]:

- Методи, засновані на спрощених розрахунках.
- Приблизні комп'ютерні методи.
- Більш строгі комп'ютерні методи.

Спрощені методи і приблизні комп'ютерні методи мають спрощення для розгляду взаємодії між елементами та моделювання поведінки грунтової основи. Тому використання цих методів завжди призводить до деяких похибок. В зв'язку з цим такі методи використовуються для первісної оцінки при проєктуванні, а потім все ж таки звертаються до доступного програмного забезпечення 3D-FEM з метою

одержання надійних результатів. Трьохмірні методи скінчених елементів є одними з найбільш надійних методів аналіза пальових фундаментів, котрі дозволяють враховувати складну взаємодію між елементами в цих системах. На рисунку 1.27 наведений короткий опис різних методів аналіза пальового фундамента.

Активация Window
Чтобы активировать Wind
"Параметры".

Рисунок 1.27 - Короткий опис різних методів аналіза пальово-плитного фундамента [32]

Можна виділити такі більш строгі комп'ютерні методи:

• Спрощений аналіз методом скінчених елементів. Розглядається система фундаментів в умовах плоскої або вісесиметричної задачі, наприклад комерційна програма FLAC (Hewitt P, Gue [33]).

• 3D-скінчено елементний і 3D-аналіз скінчених різниць: використовується в комерційному програмному забезпеченні, такому як PLAXIS 3D [8, 17, 20, 22, 25, 29, 31], FLAC 3D [33], MIDAS GTS [26, 32], ABAQUS [34, 35], ETABS і CSI SAFE

[36], ANSYS [16], SOFISTIK з модулем WinTUBE [11, 12].

• Методи граничних елементів (наприклад, Butterfiled and Banerji [37], Sinha J., Poulos H G [38]).

• Комбіновані методи: методи, в яких поєднуються методи граничних елементів для паль і методи скінчених елементів для ростверків (наприклад, Hain and Lee (1978), Ta and Small (1996), Franke et al. (1994), Моргун А. С. [39].

Однією з основних проблем при застосуванні програм 3D-FEM для аналіза пальових фундаментів є те, що моделювання займає дуже багато часу, коли кількість паль та інших елементів збільшується.

Крім означених методів в Україні використовуються також програмні комплекси ЛІРА [27], Scad [8], VSEM, АСНД VESNA [40], PRIZ-Pile [41]. Найбільш поширеними серед проєктувальників України, які займаються геотехнічними розрахунками, можна назвати наступні програмні комплекси: Plaxis; Midas GTS NX; Abaqus; Ліра–САПР [42]. При виборі програмного комплекса треба враховувати переваги і недоліки кожного з них. Наприклад у [42] порівнюються результати використання ПК Ліра–САПР та ПК Midas GTS NX. Відзначається, що в ПК Ліра–САПР складно моделювати нашарування похилих інженерно-геологічних елементів, а в Midas GTS NX при моделюванні паль об'ємними скінченними елементами виникають складнощі при перетинанні поверхонь формування природного залягання шарів грунтів [42].

Останнім часом все більше проєктувальників віддають перевагу ПК SOFiSTiK [11, 12]. У [43] наводяться рекомендації з використання ПК SOFiSTiK для в магістерських роботах здобувачів-будівельників. Цей програмний комплекс належить до категорії CAD/CAE систем, ґрунтується на методі скінченних елементів (МСЕ) і призначений для моделювання та розрахунків конструкцій, використовуваних, в першу чергу, у будівельній галузі. Цей пакет є розробкою німецької компанії SOFiSTiK AG (www.SOFiSTiK.com), і має досить давню історію. Продукт з часом вдосконалюється і набуває все більше прихильників.

На сьогоднішній день більшість аналітичних рішень, що використовуються для визначення напружень і переміщень в ґрунтовій товщі, будуються на теоріях

лінійно деформованого стану. При моделюванні фактичної поведінки ґрунтового середовища, яке не є лінійно-деформівним, отримання аналітичних рішень стає важкою задачею. У зв'язку з цим більшість складних задач розв’язується саме чисельними методами, що покладені в основу програмних комплексів.

1.3 Постановка задач і методи досліджень

Використання ресурсів несучої здатності пальових фундаментів з низьким ростверком є одним із способів досягнення економії при влаштуванні таких фундаментів. Попередні дослідження показали, що при зменшенні кількості паль у групі при збереженні розмірів ростверка краще реалізують себе як палі, так і ростверк. Частка ростверку у несучій здатності куща змінюється в межах 0,05-0,25, а ступінь реалізації несучої здатності паль залежить від їх довжини.

Довгі палі у складі куща при частому розміщенні або реалізуються не повністю або їх несуча здатність в групі наближається до несучої здатності одиночної палі. При збільшенні кроку реалізація несучої здатності паль підвищується, одночасно підвищується і реалізація несучої здатності ростверка. Короткі палі у складі куща працюють краще, ніж одиночні, завдяки чому можна зменшити кількість паль в групі при збереженні розмірів ростверку з незначною втратою несучої здатності. Це призводить до економії матеріалів.

Для підтвердження припущення про можливість зменшувати кількість паль при збільшенні габаритів ростверку без суттєвої втрати несучої здатності куща передбачається:

- опанування програмного комплексу SOFiSTiK, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів;
- побудова розрахункової схеми роботи забивних паль у грунті;
- планування чисельного експерименту з визначення впливу геометричних чинників та характеристик ґрунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундамента;

- чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик ґрунту основи;

- аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту.

Для математичного моделювання роботи пальових фундаментів обрано програмний продукт SOFiSTiK, який базується на використанні чисельного методу скінченних елементів. При розрахунку використовувалась модель ґрунтів Кулона-Мора.

Програмний продукт "SOFiSTiK" (Нюрнберг, Німеччина) являє собою універсальний програмний комплекс, який використовує метод скінченно-елементного аналізу (МСЕ) для розрахунку і проєктування будівельних конструкцій.

Одна з найбільш популярних задач в SOFiSTiK – аналіз споруди при її спільній роботі з основою. SOFiSTIK дозволяє розраховувати споруди з різними типами фундаментів. Задача розв’язується зокрема з використанням пружного півпростору за рішенням Бусінеска, що генерирується модулем HASE.

Крім моделі пружного півпростору, геотехничні задачи розв’язуються розбиванням ґрунту на скінчені елементи з використанням нелінійних моделей матеріала (наприклад, модель Кулона-Мора або ґрунту, що зміцнюється (hardening soil)).

Серед особливостей SOFiSTiK – надання широкого спектру можливостей моделювання конструкцій і навантажень, сучасний графічний інтерфейс, адаптований для будівельних задач, можливість параметризації розрахунків, єдина розрахункова модель «ґрунт-споруда», велика кількість спеціалізованих модулів.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ, ЩО МІСТЯТЬ ЗМЕНШЕНУ КІЛЬКІСТЬ ПАЛЬ І РОЗВИНУТІ В ПЛАНІ РОСТВЕРКИ

2.1 Планування дослідження шляхом математичного моделювання

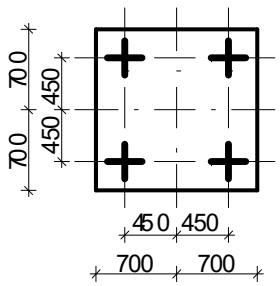
Планується дослідити реалізацію роботи пальового фундаменту з ґрунтовою основою в залежності від довжини, кількості, розміщення паль та ґрунтових умов. Дослідженнями розглядається однорідний піщаний та глинистий ґрунт основи.

При математичному моделюванні за початкову експериментальну модель нового пальового фундаменту були прийняті такі параметри:

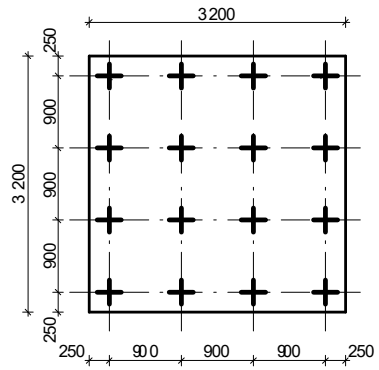
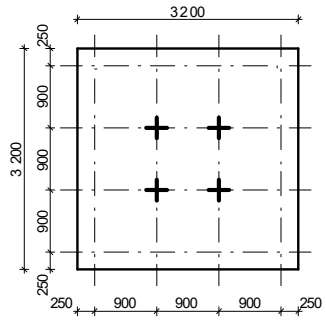
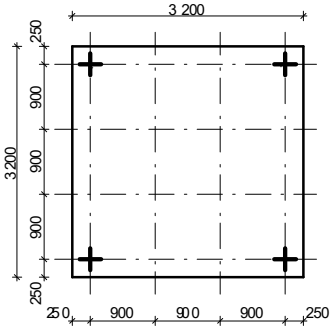
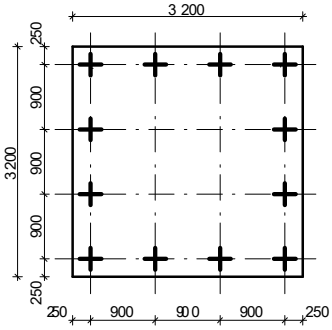
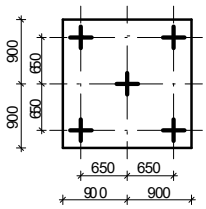
- модель ґрунту – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель пальового фундаменту під колону – ростверк товщиною 0,7 м з підколоником розмірами в плані 0,5х0,5 м і забивні палі поперечного перерізу 0,3 х 0,3 м;
- палі довжиною 3,0 м;
- палі довжиною 10,0 м.

Варіювання кількістю паль і розмірами ростверку в плані здійснюється згідно з табл. 2.1. Кожна група дослідів повторюється двічі: для основи з піщаного ґрунту і для основи з глинистого ґрунту.

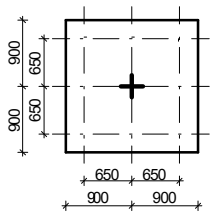
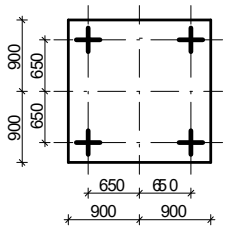
Таблиця 2.1 – Програма математичного моделювання робити пальового фундаменту

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	

Продовження таблиці 2.1

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль
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	
4	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
5	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
6	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	

Продовження таблиці 2.1

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль
7	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
8	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	

Моделювання сумісної роботи ростверку і паль планується на однорідній піщаній та глинистій основі. Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, γ = 18,6 кН/м3, е = 0,67, с = 2 кПа, φ = 32°, Е = 28 МПа. Характеристики глинистого ґрунту: суглинок, γ = 18,5 кН/м3, е = 0,75, с = 23 кПа, φ = 21°, Е = 14 МПа.

Додатково до програми моделювання включені такі дослідження:

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

Навантаження на фундамент передається у вигляді зосередженої сили, прикладеної до підколонику (рис. 2.1).

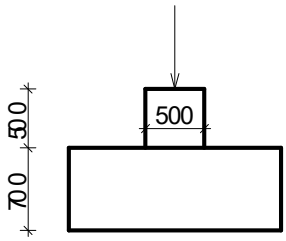


Рисунок 2.1 – Схема прикладання навантаження на ростверк

Програмний комплекс дозволяє одержати залежності навантаження-осідання, величини зусиль у палях, розподіл напружень і осідань по підошві ростверка.

Для проведення моделювання були прийняті забивні палі із бетону С20/25 (В25), довжиною 3 м та 10 м, поперечним перерізом 0,3х0,3 м.

Розміри змодельованого ґрунтового масиву для максимального зменшення впливу крайових ефектів на осідання палі прийняті в плані 20х20 м, та завтовшки 20 м.

Планується дослідити реалізацію роботи пальового фундаменту з ґрунтовою основою в залежності від довжини, кількості, розміщення паль та ґрунтових умов.

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

- створення розрахункової схеми пальового фундаменту під колону з коригуванням довжини і кроку паль;
- ступеневе прикладання навантаження до розрахункової схеми пальового фундаменту з фіксацією одержаних деформацій куща та плити ростверка, зусиль в палях та напружень по підошві ростверка на кожному ступені навантаження;
- побудова графіків осідання-навантаження для груп паль;
- побудова графіків осідання-навантаження для одиночних паль;
- побудова графіків для визначення навантаження, яке сприймає плита ростверку без паль.

2.2 Виклад основного матеріалу дослідження

При вирішенні поставленої задачі були використані результати математичного моделювання пальового фундаменту із забивних паль за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK, який достатньо коректно показує дійсну роботу паль в ґрунті в межах діапазону лінійної залежності навантаження-осідання. Розглянуті варіанти кущів паль різної довжини і кількості у групі.

Побудовані моделі стовпчастого пальового фундаменту зображені на рисунку 2.2.

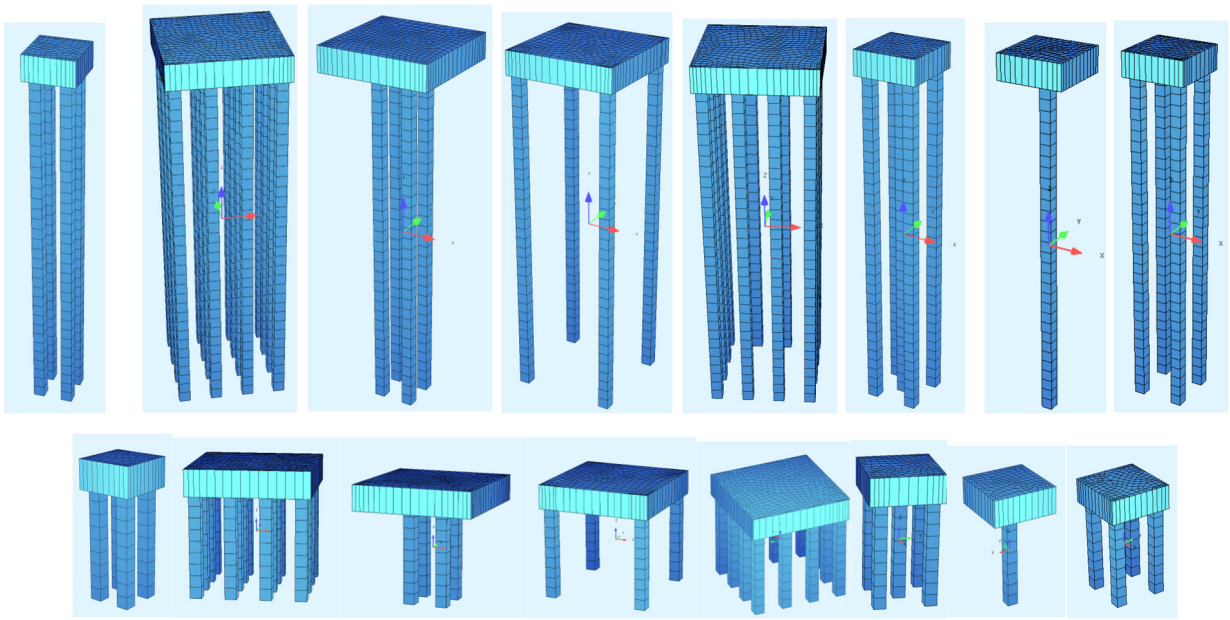


Рисунок 2.2 – Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту при довжині паль 10 м та 3 м

Величина навантаження на моделі збільшувалась до тих пір, поки величина осідання не становила більше 40 мм.

На рис. 2.3, 2.4 для прикладу зображені результати моделювання фундаменту з 16 паль з розмірами ростверка 3,2х3,2 м (група дослідів 2) для паль довжиною 10 м при навантаженні на кущ 1000 кН.

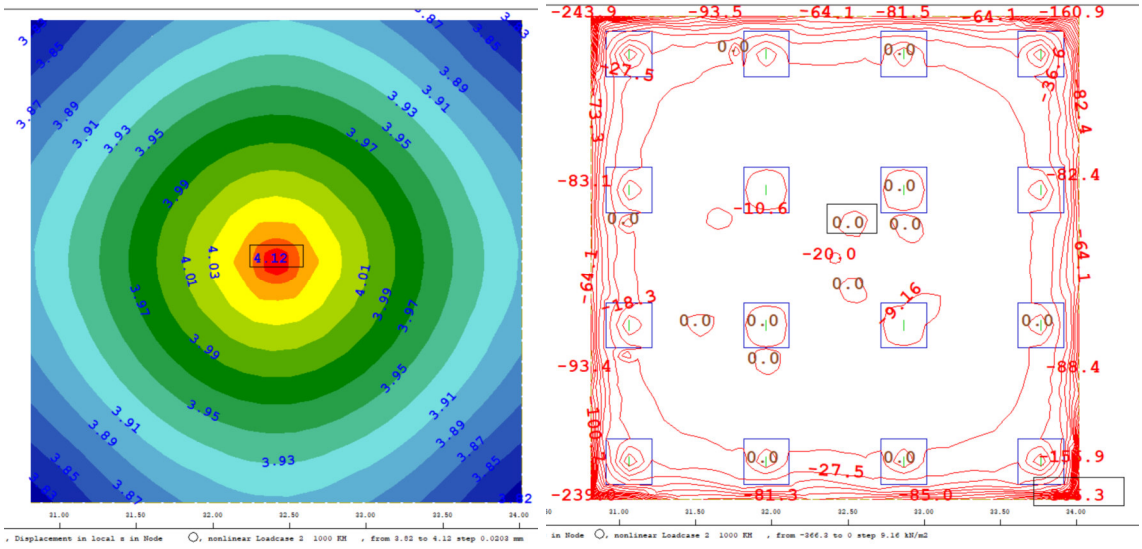


Рисунок 2.3 – Осідання ростверка та напруження під підошвою ростверка

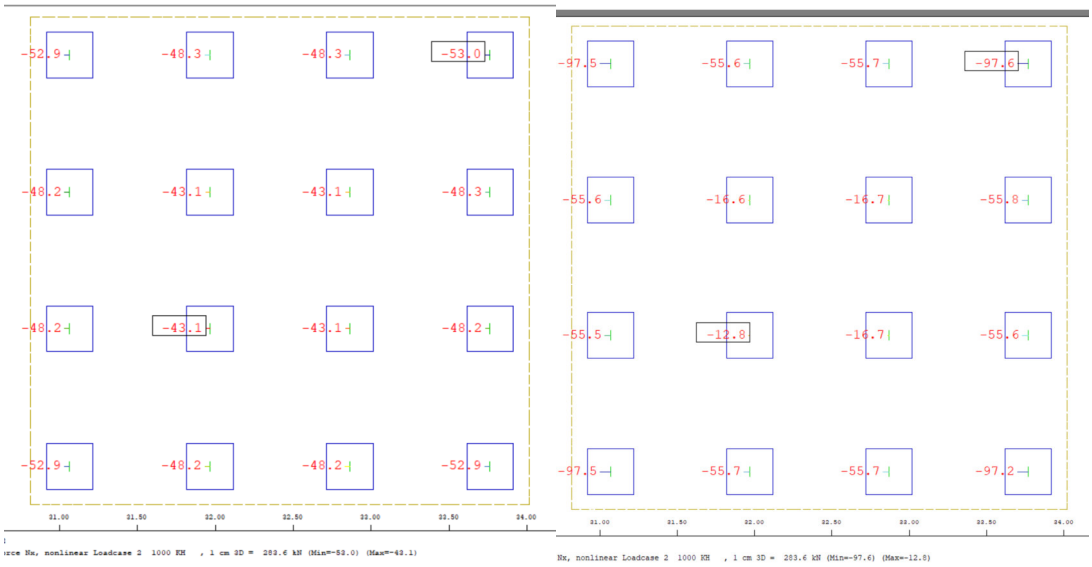


Рисунок 2.4 – Розподіл зусиль між палями для піщаного ґрунту та для глинистого ґрунту

З рисунку 2.3 видно, що найбільше осідання спостерігається посередині ростверка, оскільки до нього прикладене зосереджене навантаження від колони. Відповідно найбільші напруження під підошвою ростверка спостерігаються по його периметру. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану відповідають відомим результатам попередніх дослідників [29 - 31].

При розгляді напружено-деформованого стану куща на кожному кроці навантаження крім загального навантаження на кущ визначались такі параметри:

- осереджене навантаження на палю фундамента;
- навантаження, що сприймається ростверком;
- частка навантаження, яка сприймається ростверком;
- ступінь реалізації несучої здатності паль (відношення осередженого навантаження на палю фундамента до несучої здатності одиночної палі);
- ступінь реалізації несучої здатності ростверка (відношення, яке сприймає ростверк у складі фундамента до навантаження, яке сприймає ростверк як фундамент мілкого закладання при такому ж значенні осідання).

Результати досліджень перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту по мірі зростання навантаження для піщаного ґрунту наведені у таблицях 2.2 –2. 17.

Таблиця 2.2 – Варіант групи дослідів 1 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
12,50	1000,00	157,0	560	372	600	0,28	0,62	0,372
31,60	2000,00	384,0	560	464	1450	0,69	0,32	0,233
40,0	2440,00	494,0	560	464	2000	0,882	0,232	0,232
50,60	3000,00	634,0	560	464	2400	1,13	0,19	0,155
72,00	4000,00	891,0	560	436	3500	1,59	0,125	0,109
114,40	6000,00	1400,0	560	400	5000	2,5	0,08	0,067

Таблиця 2.3 – Варіант групи дослідів 1 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
9,38	1000,00	157,6	1000	369,6	500	0,16	0,739	0,37
19,80	2000,00	299,0	1000	804	1000	0,30	0,8	0,40
29,57	3000,00	449,0	1000	1204	1400	0,45	0,86	0,401
39,76	4000,00	594,0	1000	1624	1900	0,59	0,854	0,406
58,24	6000,00	906,0	1000	2376	2750	0,91	0,86	0,396
80,40	8000,00	1173,0	1000	3308	4000	1,17	0,83	0,414
100,60	10000,00	1465,0	1000	4140	5000	1,46	0,83	0,414

Таблиця 2.4 – Варіант групи дослідів 2 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
6,00	1000,00	42,5	560	320	700	0,076	0,457	0,32
12,20	2000,00	82,1	560	686	1500	0,147	0,457	0,343
18,36	3000,00	121,7	560	1053	2000	0,217	0,527	0,351
24,50	4000,00	161,1	560	1422	3500	0,288	0,406	0,356
36,70	6000,00	240,3	560	2155	4000	0,429	0,539	0,359
40,0	6540,0	261,7	560	2353	4700	0,467	0,501	0,360
48,90	8000,00	319,5	560	2888	6000	0,57	0.481	0,361
61,26	10000,00	398,6	560	3623	7200	0,712	0.503	0,362

Таблиця 2.5 – Варіант групи дослідів 2 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
4,00	1000,00	48,4	1000	226	400	0,048	0,565	0,226
8,60	2000,00	86,2	1000	621	900	0,086	0,690	0,310
13,20	3000,00	124,9	1000	1001	1550	0,125	0,646	0,334
17,78	4000,00	163,6	1000	1382	2000	0,164	0,691	0,346
26,98	6000,00	240,5	1000	2152	3000	0,241	0,717	0,359
36,10	8000,00	303,1	1000	2991	4100	0,303	0.730	0,374
40,0	8860,0	348,7	1000	3281	4700	0,348	0,698	0,370
45,20	10000,00	395,8	1000	3668	5300	0,396	0.692	0,367

Таблиця 2.6 – Варіант групи дослідів 3 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
7,90	1000,00	75,0	560	700	800	0,134	0,875	0,70
15,80	2000,00	146,4	560	1414,4	1800	0,261	0,786	0,707
23,80	3000,00	217,0	560	2132	2800	0,387	0,761	0,711
31,80	4000,00	288,0	560	2848	3750	0,514	0,759	0,712
40,0	5030,0	361,0	560	3586	4700	0,645	0,763	0,713
47,70	6000,00	430,0	560	4280	5500	0,768	0,778	0,713
63,60	8000,00	575,0	560	5700	7400	1,03	0.770	0,713
79,50	10000,00	715,0	560	7140	9200	1,28	0.776	0,714

Таблиця 2.7 – Варіант групи дослідів 3 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
6,30	1000,00	101,0	1000	596	700	0,101	0,851	0,226
12,80	2000,00	191,0	1000	1236	1750	0,191	0,706	0,310
19,40	3000,00	280,0	1000	1880	2300	0,280	0,817	0,334
26,00	4000,00	368,0	1000	2528	3000	0,368	0,843	0,346
39,05	6000,00	549,0	1000	3804	4500	0,549	0,845	0,359
52,00	8000,00	728,0	1000	5088	6100	0,728	0.834	0,374
65,30	10000,00	902,0	1000	6392	7500	0,902	0.852	0,367

Таблиця 2.8 – Варіант групи дослідів 4 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
7,20	1000,00	92,0	560	632	800	0,164	0,79	0,632
14,40	2000,00	180,0	560	1280	1800	0,321	0,711	0,640
21,60	3000,00	268,0	560	1928	2800	0,479	0,689	0,643
28,80	4000,00	356,0	560	2576	3300	0,636	0,780	0,644
40,0	5530,0	492,0	560	3567	4700	0,879	0,759	0,645
43,40	6000,00	533,0	560	3868	5300	0,952	0,730	0,645
57,80	8000,00	709,0	560	5164	6600	1,27	0.782	0,646
72,40	10000,00	886,0	560	6456	8300	1,58	0.778	0,646

Таблиця 2.9 – Варіант групи дослідів 4 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
5,80	1000,00	110,0	1000	560	650	0,11	0,862	0,56
11,90	2000,00	210,0	1000	1160	1300	0,21	0,892	0,58
18,00	3000,00	308,0	1000	1768	2050	0,308	0,862	0,589
23,90	4000,00	411,0	1000	2356	2800	0,411	0,841	0,589
36,10	6000,00	611,0	1000	3556	4100	0,611	0,867	0,593
40,0	6640,0	675,0	1000	3943	4700	0,675	0,839	0,594
48,20	8000,00	811,0	1000	4756	5500	0,811	0.865	0,595
60,30	10000,00	1011,0	1000	5956	7000	1,011	0.851	0,596

Таблиця 2.10 – Варіант групи дослідів 5 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
6,35	1000,00	52,2	560	373	650	0,093	0,574	0,373
12,80	2000,00	101,5	560	782	1500	0,181	0,521	0,390
19,20	3000,00	150,7	560	1192	2200	0,269	0,542	0,397
25,60	4000,00	199,8	560	1602	2900	0,357	0,552	0,400
38,40	6000,00	298,3	560	2421	4400	0,533	0,550	0,404
40,0	6250,0	310,6	560	2520	4700	0,555	0,536	0,403
51,20	8000,00	396,7	560	3240	6100	0,708	0,531	0,405
64,10	10000,00	495,1	560	4059	7300	0,884	0,556	0,406

Таблиця 2.11 – Варіант групи дослідів 5 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
4,40	1000,00	59,2	1000	290	400	0,059	0,725	0,29
9,43	2000,00	107,3	1000	712	1000	0,107	0,712	0,356
14,30	3000,00	157,1	1000	1115	1700	0,157	0,656	0,372
19,00	4000,00	209,0	1000	1492	2200	0,209	0,678	0,373
28,70	6000,00	308,7	1000	2296	3300	0,309	0,696	0,383
38,30	8000,00	408,7	1000	3096	4400	0,409	0,704	0,387
40,0	8350,0	426,2	1000	3237	4700	0,426	0,689	0,388
48,00	10000,00	508,3	1000	3900	5500	0,508	0,709	0,390

Таблиця 2.12 – Варіант групи дослідів 6 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
10,20	1000,00	117,4	560	413	600	0,210	0,688	0,413
20,50	2000,00	231,8	560	841	1300	0,414	0,647	0,421
30,80	3000,00	346,0	560	1270	2000	0,618	0,635	0,423
41,10	4000,00	460,2	560	1699	2600	0,822	0,653	0,425
61,70	6000,00	689,0	560	2555	4000	1,230	0,639	0,426
82,30	8000,00	917,6	560	3412	5500	1,64	0,620	0,426
102,90	10000,00	1146,2	560	4269	6600	2,047	0,647	0,427

Таблиця 2.13 – Варіант групи дослідів 6 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
7,96	1000,00	124,9	1000	375,74	500	0,125	0,751	0,376
16,00	2000,00	244,0	1000	779,9	1000	0,244	0,780	0,390
24,30	3000,00	360,6	1000	1196,8	1600	0,361	0,748	0,399
32,78	4000,00	476,3	1000	1618,6	2200	0,476	0,736	0,405
40,0	4870,0	578,3	1000	1979,8	2600	0,578	0,761	0,407
49,35	6000,00	710,5	1000	2447,5	3200	0,711	0,765	0,408
65,97	8000,00	944,7	1000	3276,4	4300	0,945	0,762	0,410
82,50	10000,00	1178,9	1000	4105,3	5500	1,179	0,746	0,411

Таблиця 2.14 – Варіант групи дослідів 7 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
14,30	1000,00	230,0	560	770,00	900	0,411	0,856	0,770
28,70	2000,00	456,0	560	1544,00	1800	0,814	0,858	0,772
40,0	2790,0	634,0	560	2156,0	2600	1,13	0,829	0,773
43,00	3000,00	682,0	560	2318,00	2800	1,22	0,828	0,773
57,45	4000,00	908,0	560	3092,00	3600	1,62	0,859	0,773
86,20	6000,00	1360,0	560	4640,00	4000	2,430	1,16	0,773
114,90	8000,00	1812,0	560	6188,00	5600	3,24	1,105	0,774

Таблиця 2.15 – Варіант групи дослідів 7 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
12,80	1000,00	271,0	1000	729,00	800	0,271	0,911	0,729
25,90	2000,00	529,0	1000	1471,00	1670	0,529	0,880	0,736
38,90	3000,00	786,0	1000	2214,00	2500	0,786	0,886	0,738
40,0	3085,0	808,0	1000	2277,0	2600	0,808	0,876	0,739
51,90	4000,00	1044,0	1000	2956,00	3300	1,044	0,896	0,739
78,00	6000,00	1559,0	1000	4441,00	5000	1,559	0,888	0,740
104,00	8000,00	2078,0	1000	5922,00	6750	2,078	0,877	0,740

Таблиця 2.16 – Варіант групи дослідів 8 . Ґрунт пісок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
10,60	1000,00	139,0	560	444,00	680	0,248	0,653	0,444
21,25	2000,00	275,0	560	900,00	1450	0,491	0,621	0,450
31,90	3000,00	412,0	560	1352,00	2100	0,736	0,644	0,451
40,0	3765,0	516,0	560	1700,0	2600	0,921	0,654	0,452
42,50	4000,00	548,0	560	1808,00	2700	0,979	0,670	0,452
63,80	6000,00	821,0	560	2716,00	4200	1,470	0,647	0,453
85,00	8000,00	1094,0	560	3624,00	5500	1,95	0,659	0,453
106,00	10000	1366,0	560	4536,00	6750	2,44	0,672	0,454

Таблиця 2.17 – Варіант групи дослідів 8 . Ґрунт пісок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
8,40	1000,00	147,0	1000	412	540	0,147	0,763	0,412
17,10	2000,00	284,0	1000	864	1100	0,284	0,785	0,432
25,70	3000,00	424,0	1000	1304	1650	0,424	0,790	0,435
34,70	4000,00	558,0	1000	1768	2200	0,558	0,804	0,442
40,0	4600,0	640,0	1000	2040	2600	0,640	0,784	0,443
52,34	6000,00	832,0	1000	2672	3300	0,832	0,810	0,445
69,80	8000,00	1106,0	1000	3576	4500	1,106	0,795	0,447
87,3	10000	1382,0	1000	4472	5600	1,382	0,799	0,447

Результати досліджень перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту по мірі зростання навантаження для глинистого ґрунту наведені у таблицях 2.18 – 2.34.

Таблиця 2.18 – Варіант групи дослідів 1 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
23,30	1000,00	181,0	470	276	500	0,385	0,55	0,276
40,0	1520,0	286,0	470	378	1000	0,609	0,378	0,249
55,30	2000,00	382,0	470	472	1350	0,81	0,35	0,236
94,20	3000,00	633,0	470	468	2250	1,35	0,21	0,156
132,00	4000,00	887,0	470	452	3250	1,89	0,14	0,113

Таблиця 2.19 – Варіант групи дослідів 1 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
9,95	1000,00	237,0	620	52	200	0,38	0,26	0,052
29,70	2000,00	393,0	620	428	700	0,63	0,61	0,21
40,0	2520,0	470,0	620	639,0	1000	0,758	0,639	0,254
49,60	3000,00	541,0	620	836	1200	0,87	0,70	0,28
67,20	4000,00	702,0	620	1192	1600	1,13	0,745	0,30
105,70	6000,00	1005,0	620	1980	2600	1,62	0,762	0,33

Таблиця 2.20 – Варіант групи дослідів 2 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
10,90	1000,00	50,6	470	191	500	0,108	0,382	0,191
22,60	2000,00	103,1	470	351	1200	0,219	0,292	0,176
35,00	3000,00	147,6	470	638	2000	0,314	0,319	0,213
40,0	3410,0	164,1	470	787	2340	0,349	0,336	0,231
47,10	4000,00	187,6	470	998	2700	0,40	0,37	0,25
69,80	6000	268,1	470	1710	4000	0,57	0,428	0,285
95,28	8000	339,2	470	2573	5500	0,722	0,468	0,322
119,50	10000	424,8	470	3203	7000	0,904	0,458	0,320

Таблиця 2.22 – Варіант групи дослідів 2 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
6,00	1000,00	53,7	620	141	300	0,087	0,47	0,141
12,40	2000,00	108,6	620	262	650	0,175	0,403	0,131
18,40	3000,00	166,4	620	337	1000	0,268	0,337	0,112
24,70	4000,00	219,9	620	482	1300	0,355	0,371	0,121
40,0	5780,0	323,2	620	611	2340	0,521	0,261	0,106
41,86	6000,00	335,8	620	627	2450	0,542	0,256	0,104
58,73	8000	420,6	620	1270	3300	0,678	0,385	0,159
76,60	10000	500,4	620	1994	4400	0,807	0,453	0,199

Таблиця 2.23 – Варіант групи дослідів 3 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
15,30	1000,00	103,0	470	588	800	0,219	0,735	0,588
31,60	2000,00	182,0	470	1272	1800	0,387	0,707	0,636
40,0	2550,0	223,0	470	1657	2340	0,474	0,708	0,650
46,90	3000,00	256,0	470	1976	2700	0,544	0,732	0,659
62,80	4000,00	327,0	470	2692	3700	0,696	0,728	0,673
94,40	6000	472,0	470	4112	5500	1,00	0,748	0,685
126,10	8000	612,0	470	5552	7200	1,30	0,771	0,694

Таблиця 2.24 – Варіант групи дослідів 3 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
8,70	1000,00	190,0	620	240	500	0,306	0,48	0,240
20,90	2000,00	317,0	620	732	1100	0,511	0,665	0,366
33,90	3000,00	414,0	620	1344	2000	0,668	0,672	0,448
40,0	3470,0	456,0	620	1644	2340	0,735	0,703	0,474
46,90	4000,00	504,0	620	1984	2700	0,813	0,735	0,496
72,60	6000,00	687,0	620	3252	4200	1,108	0,774	0,542
98,70	8000	867,0	620	4532	5600	1,40	0,809	0,566
124,50	10000	1052,0	620	5792	7200	1,70	0,804	0,579

Таблиця 2.25 – Варіант групи дослідів 4 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
13,50	1000,00	130,0	470	480	790	0,277	0,608	0,480
28,00	2000,00	220,0	470	1120	1640	0,468	0,683	0,56
40,0	2830,0	294,0	470	1650	2340	0,626	0,705	0,583
42,50	3000,00	310,0	470	1760	2400	0,660	0,733	0,587
57,00	4000,00	398,0	470	2408	3250	0,847	0,740	0,602
85,80	6000	581,0	470	3676	4850	1,24	0,758	0,613
114,80	8000	762,0	470	4952	6600	1,62	0,750	0,619

Таблиця 2.26 – Варіант групи дослідів 4 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
7,01	1000,00	219,0	620	124	410	0,353	0,302	0,124
18,80	2000,00	338,0	620	648	1100	0,545	0,589	0,324
30,80	3000,00	440,0	620	1240	1700	0,710	0,729	0,413
40,0	3770,0	519,0	620	1691	2340	0,837	0,723	0,449
42,80	4000,00	543,0	620	1828	2400	0,876	0,762	0,457
67,10	6000,00	744,0	620	3024	3800	1,20	0,796	0,504
90,80	8000	953,0	620	4188	5250	1,540	0,797	0,523
115,20	10000	1152,0	620	5392	6700	1,86	0,805	0,539

Таблиця 2.27 – Варіант групи дослідів 5 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
11,00	1000,00	75,1	470	98	640	0,16	0,153	0,098
23,00	2000,00	133,8	470	395	1350	0,285	0,293	0,198
35,20	3000,00	182,9	470	805	2000	0,389	0,403	0,268
40,0	3400,0	202,7	470	964	2340	0,431	0,412	0,284
47,30	4000,00	232,8	470	1206	2650	0,495	0,455	0,302
71,80	6000	332,1	470	2015	4200	0,706	0,480	0,336
96,10	8000	431,5	470	2822	5600	0,918	0,504	0,353
120,00	10000	530,8	470	3631	7000	1,13	0,519	0,363

Таблиця 2.28 – Варіант групи дослідів 5 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
5,96	1000,00	76,3	620	85	350	0,123	0,243	0,076
11,99	2000,00	150,9	620	189	700	0,243	0,27	0,095
18,25	3000,00	231,3	620	224	1050	0,373	0,213	0,075
27,16	4000,00	311,8	620	459	1500	0,503	0,306	0,115
40,0	5340,0	368,5	620	918	2340	0,594	0,392	0,172
46,30	6000,00	404,7	620	1144	2700	0,653	0,424	0,19
63,70	8000	510,5	620	1874	3650	0,823	0,513	0,234
82,00	10000	611,6	620	2661	4750	0,986	0,560	0,266

Таблиця 2.29 – Варіант групи дослідів 6 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на кущ, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
19,10	1000,00	147,4	470	263	620	0,314	0,424	0,263
39,60	2000,00	264,2	470	679	1290	0,562	0,526	0,340
60,10	3000,00	379,2	470	1104	2000	0,807	0,552	0,368
80,50	4000,00	494,0	470	1530	2500	1,05	0,612	0,383
121,00	6000	723,8	470	2381	4000	1,54	0,595	0,397

Таблиця 2.30 – Варіант групи дослідів 6 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
8,60	1000,00	193,0	620	35	230	0,311	0,152	0,035
23,60	2000,00	334,6	620	327	760	0,540	0,43	0,164
39,80	3000,00	451,0	620	745	1300	0,727	0,573	0,248
56,01	4000,00	567,0	620	1165	1750	0,915	0,666	0,291
88,80	6000,00	797,8	620	2011	2800	1,29	0,718	0,335
121,00	8000	1028,0	620	2860	3950	1,658	0,724	0,358

Таблиця 2.31 – Варіант групи дослідів 7 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
28,10	1000,00	273,0	470	727,00	910	0,581	0,799	0,727
40,0	1420,0	368,0	470	1048,0	1300	0,783	0,806	0,738
56,70	2000,00	501,0	470	1499,00	1800	1,06	0,833	0,750
85,30	3000,00	728,0	470	2272,00	2770	1,55	0,82	0,757
113,90	4000,00	956,0	470	3044,00	3700	2,03	0,823	0,761

Таблиця 2.32 – Варіант групи дослідів 7 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
22,20	1000,00	426,0	620	574,00	720	0,687	0,797	0,574
40,0	1690,0	605,0	620	1082,0	1300	0,976	0,832	0,640
48,10	2000,00	687,0	620	1313,00	1400	1,108	0,938	0,657
73,50	3000,00	959,0	620	2041,00	2300	1,547	0,887	0,680
99,40	4000,00	1220,0	620	2780,00	3200	1,97	0,869	0,695
151,00	6000,00	1746,0	620	4254,00	4900	2,82	0,868	0,709

Таблиця 2.33 – Варіант групи дослідів 8 . Ґрунт суглинок, довжина палі 3 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
19,90	1000,00	171,0	470	316,00	640	0,364	0,494	0,316
40,0	1940,0	300,0	470	743,0	1300	0,638	0,571	0,383
41,20	2000,00	308,0	470	768,00	1300	0,655	0,591	0,384
62,35	3000,00	446,0	470	1216,00	2000	0,949	0,606	0,405
83,50	4000,00	583,0	470	1668,00	2650	1,24	0,629	0,405
126,00	6000	858,0	470	2568,00	4050	1,83	0,634	0,428

Таблиця 2.34 – Варіант групи дослідів 8 . Ґрунт суглинок, довжина палі 10 м

Осідання s, мм	Навантаження на куш, кН	Осереднене навантаження на палю у складі фундаменту, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Навантаження, що сприймає ростверк, кН	Навантаження, що сприймає плита ростверку без паль, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності	Частка несучої здатності ростверку
9,28	1000,00	241,0	620	36	300	0,389	0,12	0,036
26,40	2000,00	388,0	620	448	850	0,626	0,527	0,224
40,0	2810,0	505,0	620	791	1300	0,815	0,609	0,281
43,20	3000,00	532,0	620	872	1400	0,858	0,623	0,291
60,54	4000,00	672,0	620	1312	2000	1,08	0,658	0,328
95,16	6000,00	950,0	620	2200	3000	1,53	0,733	0,367
129,50	8000	1231,0	620	3076	4100	1,99	0,750	0,385

На рис. 2.5, 2.6 наведені графіки залежності осідання від навантаження для пальових фундаментів за групами дослідів 1 – 5.

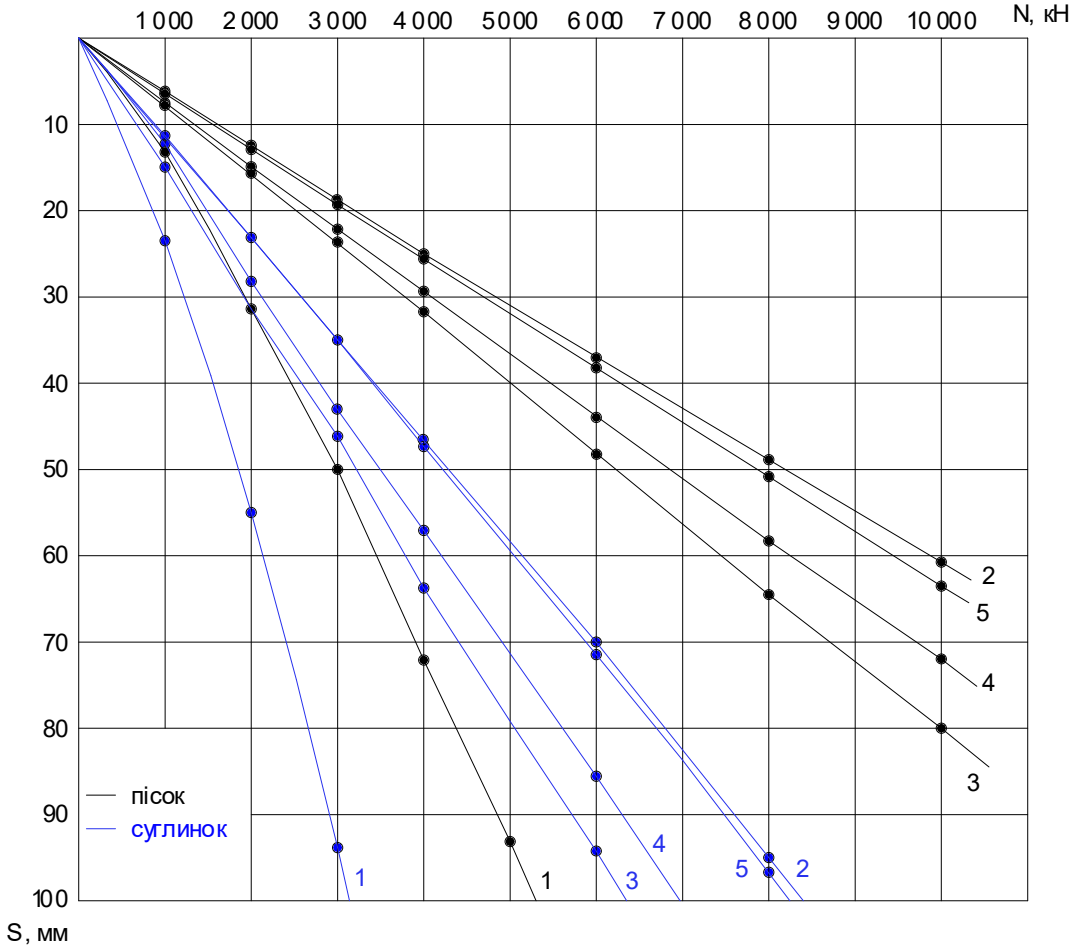


Рисунок 2.5 – Графіки залежності осідання від навантаження для пальових фундаментів за групами дослідів 1 – 5 при довжині паль 3 м

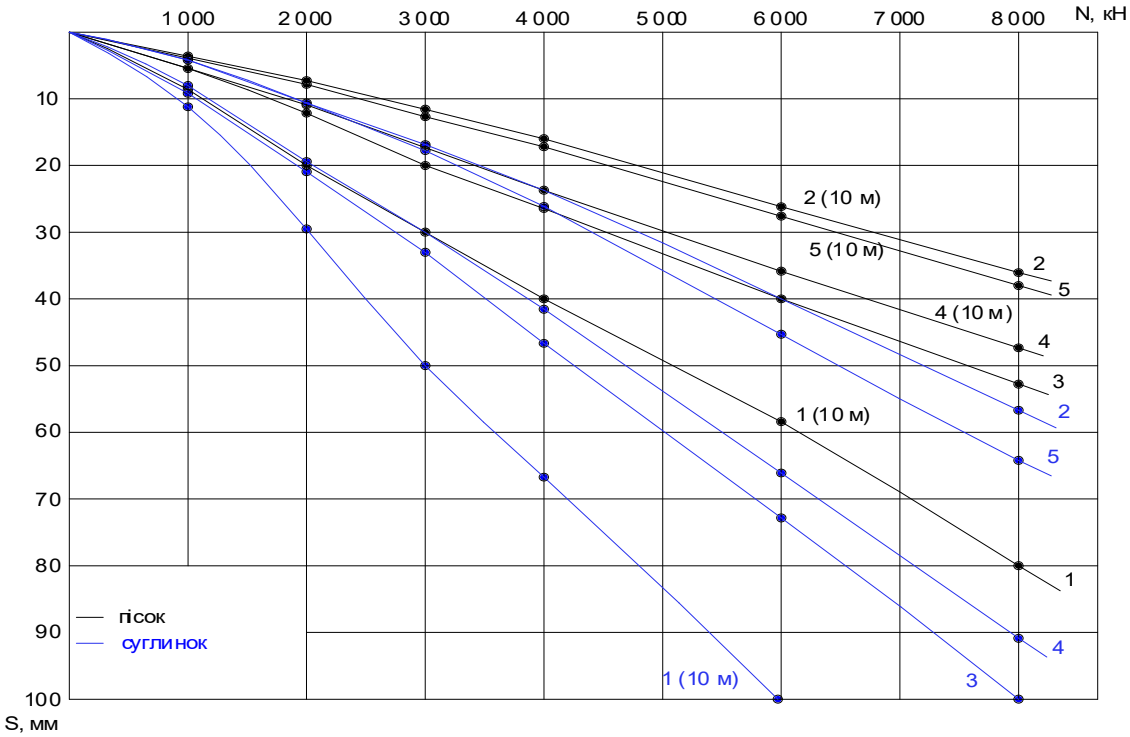


Рисунок 2.6 – Графіки залежності осідання від навантаження для пальових фундаментів за групами дослідів 1 – 5 при довжині паль 10 м

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

На рис 2.7 та 2.8 наведені графіки залежності осідання від навантаження для одиночних паль та плит ростверків без паль.

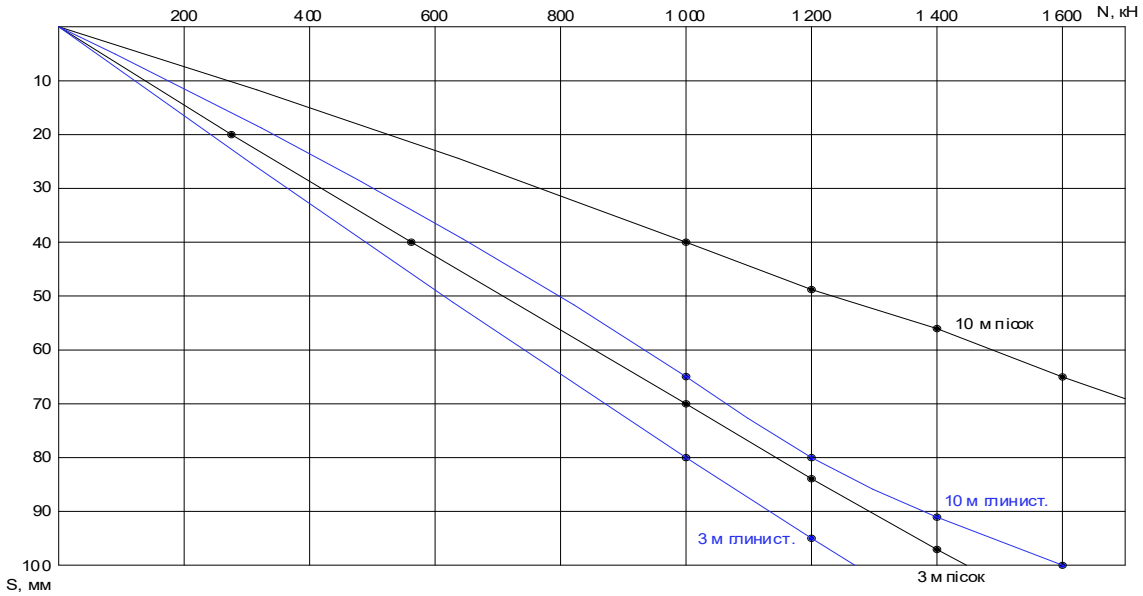


Рисунок 2.7 – Графіки залежності осідання від навантаження для одиночних паль

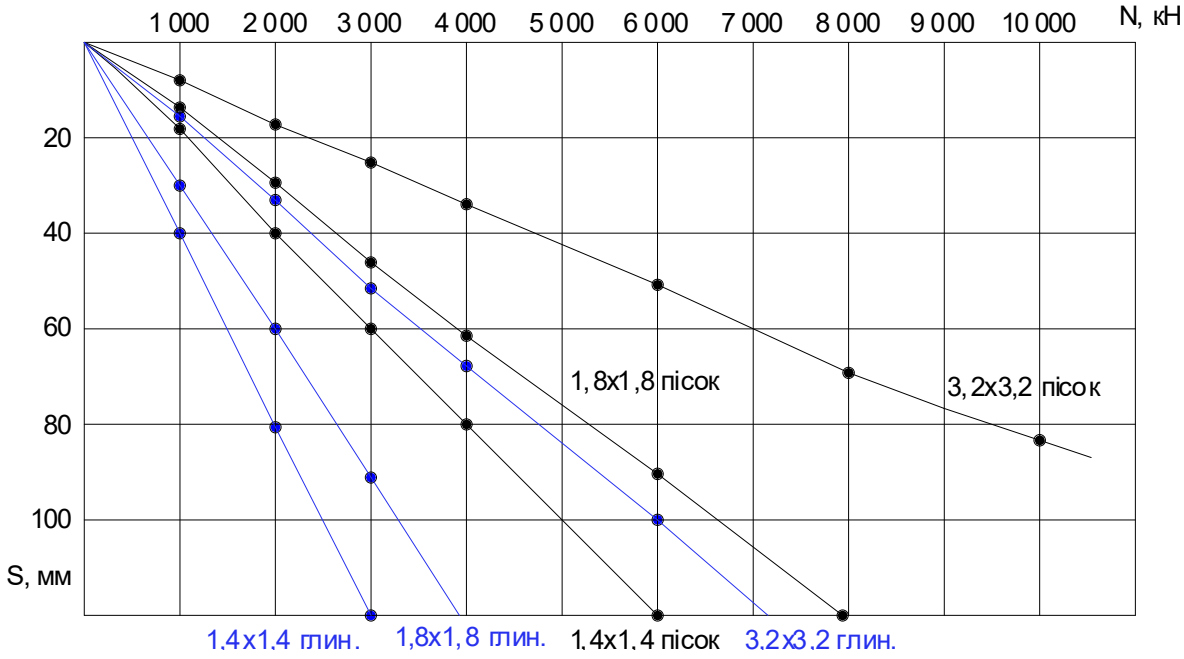


Рисунок 2.8 – Графіки залежності осідання від навантаження для плит ростверків без паль

Одержані графіки осідання-навантаження мають практично лінійний характер. В зв'язку з цим аналіз результатів розрахунків виконувався в межах навантаження на палю на межі пропорційності, p_e [44]. Для визначення цієї межі попередньо були виконані ручні розрахунки несучої здатності і осідань паль у відповідних грунтах. Результати розрахунків показали, що лінійний характер залежності осідання-навантаження можна очікувати в межах навантаження, при якому осідання групи паль не перевищує 40 мм.

За несучу здатність одиночної палі також приймались значення навантаження, що призвело до деформації 40 мм (критерій втрати несучої здатності при польових випробуваннях паль [45]).

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для детального аналізу було визначене навантаження на групу паль за результатами моделювання в SOFiSTiK при осіданні 40 мм. Додатково до наведених у таблицях 2.2 – 2.34 визначались такі параметри:

- сума зусиль, які сприймають палі в групі;
- значення сумарної несучої здатності паль як одиночних;
- величина кущового ефекту (відношення навантаження на кущ до суми несучих здатностей одиночних паль);
- навантаження на кущ, як сума несучих здатностей його окремих елементів.

Визначались також значення здатності ростверку як фундаменту мілкого закладання при відповідному осіданні. Результати моделювання наведені в таблицях 3.1 та 3.2.

3.1 Аналіз розвитку перерозподілу зусиль між елементами фундаментів при зростанні навантаження

Для аналізу зміни перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту за даними таблиць 2.2 – 2.34 були побудовані порівняльні графіки розвитку деформацій пальової групи в цілому, осередненого навантаження на палю у складі пальового куща та відповідних одиночних паль по мірі зростання навантаження для двох видів ґрунтів.

На рис. 3.1 та 3.2 для прикладу наведені такі графіки для групи дослідів 2, з найбільшою кількістю паль та для групи дослідів 7, де кущ складається з однієї палі.

Таблиця 3.1 – Порівняння роботи пальового фундаменту у піщаному ґрунті з роботою його окремих елементів при осіданні куща s = 40,0 мм

Довжина паль, мм	№ групи дослідів	Розміри ростверка, м	Кількість паль 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 паль, кН	Навантаження на куш як сума окремих елементів кН	Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН	Сума зусиль в палях куща, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Навантаження на куш, кН	Кущовий ефект	Частка ростверку, %	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
3 м	1	1,4×1,4	4	560	2240	2000	4240	494,0	1976	464	2440	1,09	23,2	0,882	0,232
	2	3,2×3,2	16		8960	4700	13660	261,7	4187	2353	6540	0,73	36,0	0,467	0,501
	3	3,2×3,2	4		2240	4700	6940	361,0	1444	3586	5030	2,24	71,3	0,645	0,763
	4	3,2×3,2	4		2240	4700	6940	492,0	1968	3567	5530	2,47	64,5	0,879	0.759
	5	3,2×3,2	12		6720	4700	11420	310,6	3730	2520	6250	0,93	40,3	0,555	0,536
	6	1,8×1,8	5		2800	2600	5400	460,2	2301	1699	4000	1,43	42,5	0,822	0,653
	7	1,8×1,8	1		560	2600	3160	634,0	634,0	2156	2790	4,98	77,3	1,130	0,829
	8	1,8×1,8	4		2240	2600	4840	516,0	2065	1700	3765	1,68	45,2	0,921	0,654
10 м	1	1,4×1,4	4	1000	4000	2000	6000	594,0	2376	1624	4000	1,00	40,6	0,590	0,812
	2	3,2×3,2	16		16000	4700	20700	348,7	5579	3281	8860	0,55	37,0	0,348	0,698
	3	3,2×3,2	4		4000	4700	8700	549,0	2196	3804	6000	1,50	63,4	0,549	0,845
	4	3,2×3,2	4		4000	4700	8700	675,0	2700	3940	6640	1,66	59,4	0,675	0,839
	5	3,2×3,2	12		12000	4700	16700	426,2	5113	3237	8350	0,70	38,8	0,426	0,689
	6	1,8×1,8	5		5000	2600	7600	578,3	2890	1980	4870	0,97	40,7	0,578	0,761
	7	1,8×1,8	1		1000	2600	3600	808,0	808,0	2277	3085	3,09	73,9	0,808	0,876
	8	1,8×1,8	4		4000	2600	6600	640,0	2560	2040	4600	1,15	44,3	0,640	0,784

Таблиця 3.2 – Порівняння роботи пальового фундаменту у глинистому ґрунті з роботою його окремих елементів при осіданні куща s = 40,0 мм

Довжина паль, мм	№ групи дослідів	Розміри ростверка, м	Кількість паль 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 паль, кН	Навантаження на кущ, сума окремих елементі 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 паль	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
3 м	1	1,4×1,4	4	470	1880	1000	2880	286,0	1142	378	1520	0,81	24,9	0,609	0,378
	2	3,2×3,2	16		7520	2340	9860	164,1	2624	787	3410	0,45	23,1	0,349	0,336
	3	3,2×3,2	4		1880	2340	4220	223,0	893	1657	2550	1,36	65,0	0,474	0,708
	4	3,2×3,2	4		1880	2340	4220	294,0	1180	1650	2830	1,50	58,3	0,626	0,705
	5	3,2×3,2	12		5640	2340	7980	202,7	2432	964	3400	0,60	28,4	0,431	0,412
	6	1,8×1,8	5		2350	1300	3650	264,2	1321	679	2000	0,85	34,0	0,562	0,526
	7	1,8×1,8	1		470	1300	1770	364,0	368,0	1048	1420	3,02	73,8	0,783	0,806
	8	1,8×1,8	4		1880	1300	3180	300,0	1200	743	1943	1,03	38,3	0,638	0,571
10 м	1	1,4×1,4	4	620	2480	1000	3480	470,0	1880	639	2520	1,02	25,4	0,758	0,639
	2	3,2×3,2	16		9920	2340	12260	323,2	5170	611	5780	0,58	10,6	0,521	0,261
	3	3,2×3,2	4		2480	2340	4820	456,0	1824	1644	3470	1,40	47,4	0,735	0,703
	4	3,2×3,2	4		2480	2340	4820	519,0	2076	1691	3770	1,12	44,9	0,837	0,723
	5	3,2×3,2	12		7440	2340	9780	368,5	4422	918	5340	0,72	17,2	0,594	0,392
	6	1,8×1,8	5		3100	1300	4400	451,0	2255	745	3000	0,97	24,8	0,727	0,573
	7	1,8×1,8	1		620	1300	1920	605,0	605,0	1082	1690	2,72	64,0	0,976	0,832
	8	1,8×1,8	4		2480	1300	3780	505,0	2020	791	2810	1,13	28,1	0,815	0,609

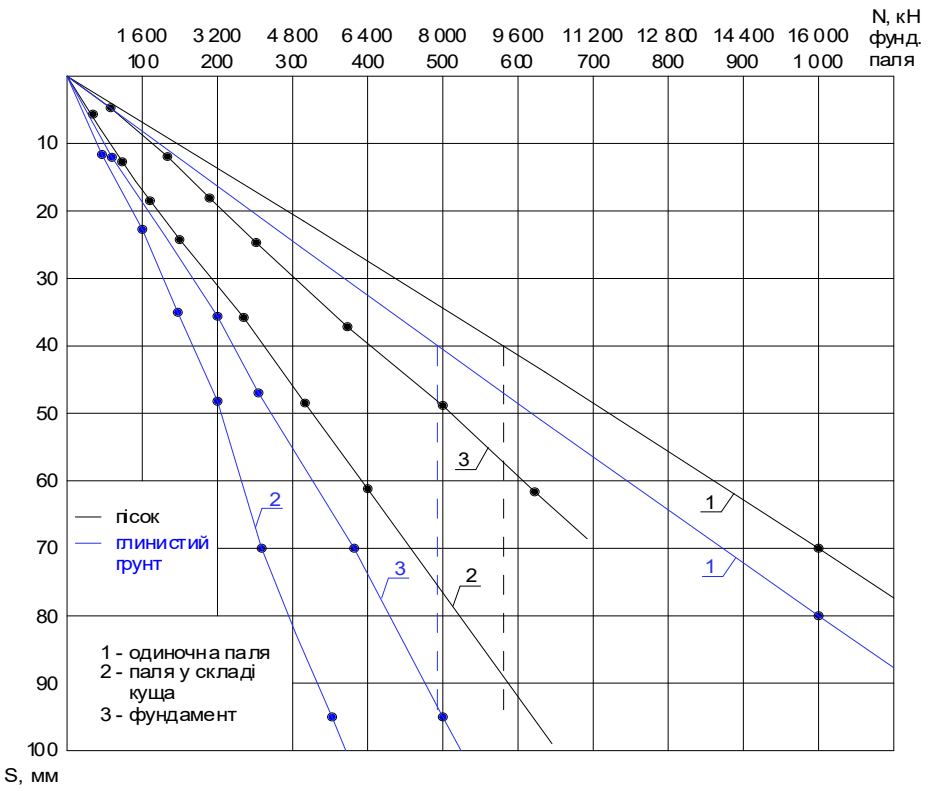


Рисунок 3.1 – Розвиток осідань палі у складі пальового куща та відповідної одиночної палі у порівнянні з осіданням куща при зростанні навантаження для паль довжиною 3 м групи дослідів 2

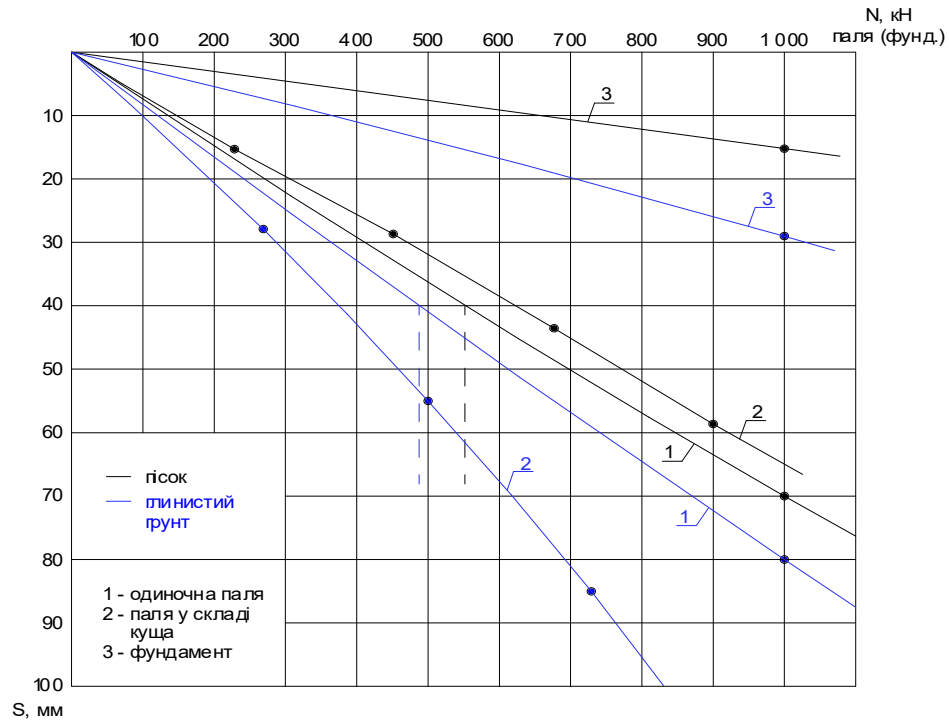


Рисунок 3.2 – Розвиток осідань палі у складі пальового куща та відповідної одиночної палі у порівнянні з осіданням куща при зростанні навантаження для паль довжиною 3 м групи дослідів 7

Результати математичного моделювання, одержані у програмному комплексі SOFiSTiK, підтверджують якісний характер поведінки паль у складі фундамента, що був виявлений у натурних дослідах Бартоломея А. О. і при фізичному моделюванні та математичному моделюванні у програмному комплексі Plaxis 3d [46]. З рис. 3.1 бачимо, що осідання пальових фундаментів з частим розміщенням паль зростають більш інтенсивно, ніж осідання одиночних паль, але при певних осіданнях, які відповідають граничним осіданням одиночних паль, криві «навантаження – осідання» пальових фундаментів перетинають криві «навантаження – осідання» одиночних паль, при цьому пальові фундаменти ще можуть сприймати навантаження при більших осіданнях.

Паля у складі куща поступово реалізує свою несучу здатність (зростає не тільки навантаження на палю, а і ступінь її реалізації) і при значних значеннях осідання сприймає навантаження, яке перевищує несучу здатність одиночної палі.

Для куща з однієї палі (рис. 3.2) ступінь реалізації несучої здатності палі, особливо для піщаних ґрунтів швидко зростає вже при незначних значеннях осідання, а фундамент в цілому осідає повільніше за рахунок втягування в роботу ростверка значних розмірів.

Частка ростверку у несучій здатності фундаменту несуттєво збільшується по мірі зростання навантаження. Ступінь реалізації ростверку також змінюється дуже незначно. Ростверк включається у роботу при певному значенні осідання, але потенційна можливість ростверку сприймати навантаження реалізується не повністю і після перших етапів навантаження залишається сталою.

3.2 Аналіз розвитку перерозподілу зусиль між палями в кущі

На підставі результатів розрахунків можна дослідити також процес розподілу навантаження між палями фундаментів. В кущах з 4 паль (групи дослідів 1, 3, 4, 8) навантаження розподіляються між палями рівномірно. В кущах з 16 паль (група дослідів 2) на початкових етапах навантаження кутові палі довжиною 10 м сприймають на 20% більше навантаження, ніж центральні та крайні в середині ряду для піщаних ґрунтів і в 5 разів більше для глинистих. Зі збільшенням навантаження

на фундамент і зростанням осідань доля центральної палі зменшується (різниця між кутовими і центральними палями складає 30% як для піщаних, так і для глинистих ґрунтів). Кутові палі довжиною 3 м сприймають на 60% більше навантаження ніж центральні для піщаних ґрунтів і в 4 рази більше для глинистих. Зі збільшенням навантаження на фундамент доля центральної палі зменшується (різниця між кутовими і центральними палями складає 70% як для піщаних, так і для глинистих ґрунтів). Отже, нерівномірність розподілу навантажень між палями групи при коротких палях значно більша.

В кущах з 5 паль (група дослідів 6) нерівномірність розподілу зусиль між кутовими та центральною палею складає від 11 до 20%.

3.3 Аналіз розподілу зусиль між елементами пальового фундамента

На рис. 3.3 та 3.4 наведена залежність загального навантаження на кущ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль. На рис. 3.3 залежності побудовані для кущів з площею ростверка 3,2×3,2 = 10,24 м^2, а на рис. 3.4 для кущів з площею ростверка 1,8×1,8 = 3,24 м^2.

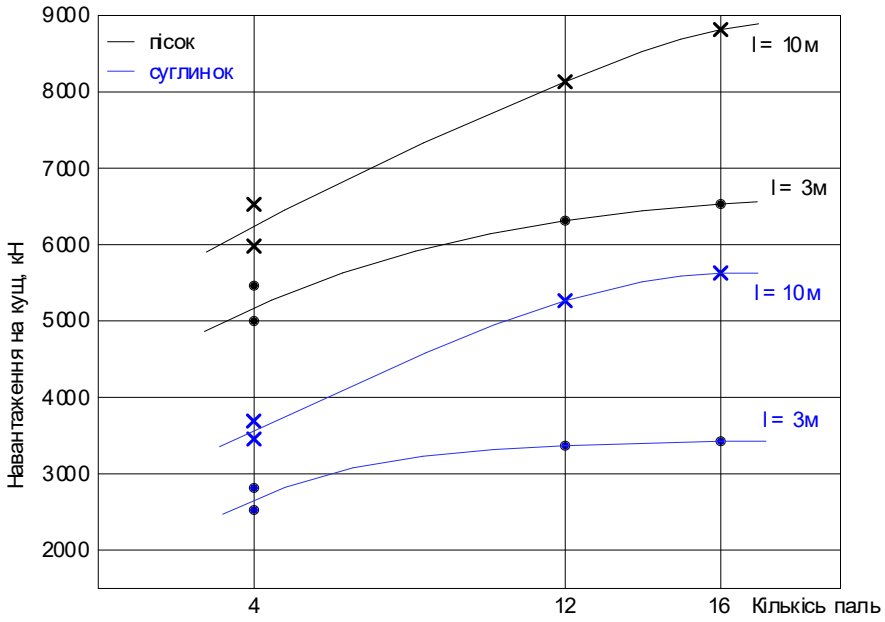


Рисунок 3.3 – Графіки залежності навантаження на кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

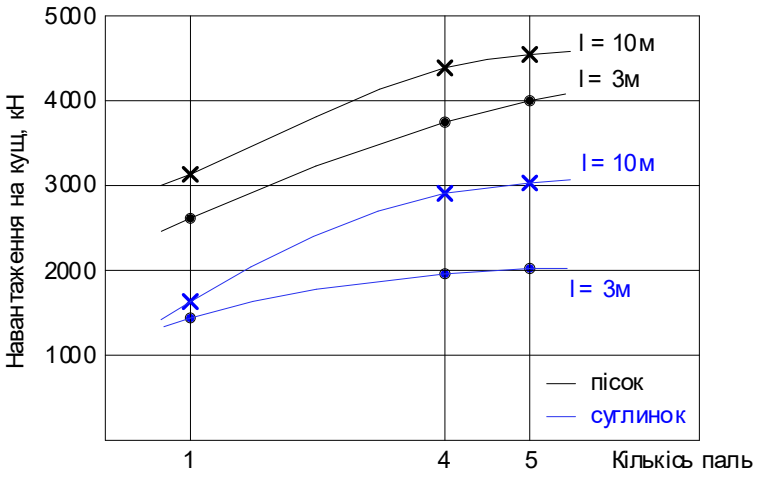


Рисунок 3.4 – Графіки залежності навантаження на кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Таким чином залежності побудовані виходячи з компонування кущів при постійних розмірах ростверка.

З рисунків видно, що зменшення кількості паль у 4-5 разів у межах постійної площі ростверка призводить до зменшення навантаження, яке сприймає кущ, лише у 1,23-1,54 разів для триметрових паль і у 1,37-1,76 разів для десятиметрових. Це свідчить про більш ефективне використання паль при застосуванні комбінованого варіанта пальового фундамента. При цьому більший ефект виникає для коротких паль. З графиків також можна зробити висновок, що для глинистого, більш піддатливого ґрунту, ефективність зменшення кількості паль дещо менша.

На рис. 3.5 наведена залежність загального навантаження на кущ від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль за умови сталої кількості паль в групі 4 шт.

Графіки рис. 3.5 показують, що за рахунок збільшення площі ростверка можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 раза (для коротких паль цей ефект більший, він також більший для піщаного ґрунту).

Програма дослідження дозволила також проаналізувати характер розміщення паль комбінованого фундамента в межах ростверка:

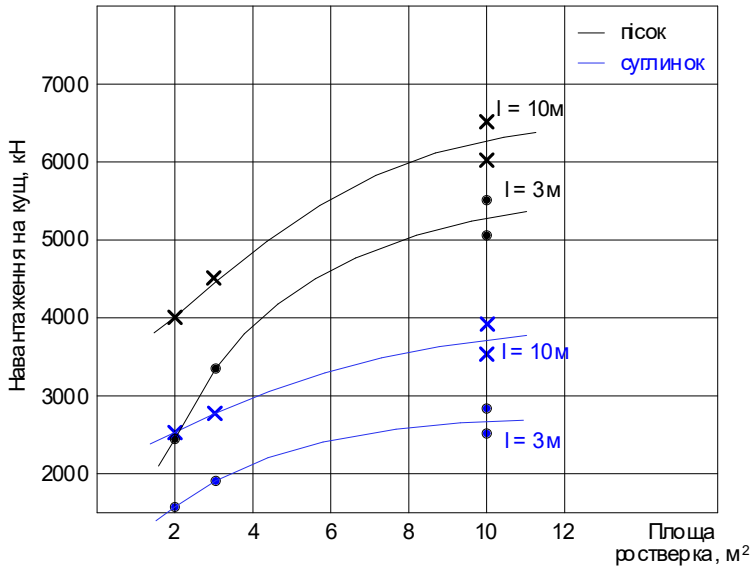


Рисунок 3.5 – Графіки залежності навантаження на кущ з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль

- варіанти розміщення паль в середині куща (під місцем прикладання навантаження (групи дослідів 3 та 7));
- варіанти розміщення паль по периметру куща (групи дослідів 4, 5 та 8).

Аналіз результатів моделювання (табл. 3.1, 3.2 та рис. 3.3 – 3.5) показує більшу ефективність розміщення паль у комбінованому фундаменті по периметру куща.

Таблиці 3.1 та 3.2 дозволяють також проаналізувати суму несучих здатностей паль як одиночних у порівнянні з навантаженням, яке сприймає група паль з низьким ростверком. Кущовий ефект (відношення навантаження на групу до суми несучих здатностей одиночних паль) суттєво зростає при зменшенні кількості паль при сталому розмірі ростверка. Це закономірно, адже в роботу з ґрунтом втягується підошва ростверка. Цей ефект кращій у піщаних грунтах. Таблиці 3.1, 3.2 підтверджують раніше доведене [29, 31] ствердження, що несучу здатність пальового фундамента не можна оцінювати як суму несучих здатностей паль та плити ростверка, як фундамента мілкого закладання. Така оцінка дає помилково завищений результат, оскільки і палі, і ростверк реалізують себе у складі пальового фундамента не в повній мірі.

В таблицях 3.1, 3.2 та на рис. 3.6 – 3.8 наведений вплив розмірів ростверка, довжини та кількості паль та виду ґрунту на частку ростверку у навантаженні, яке сприймає фундамент.

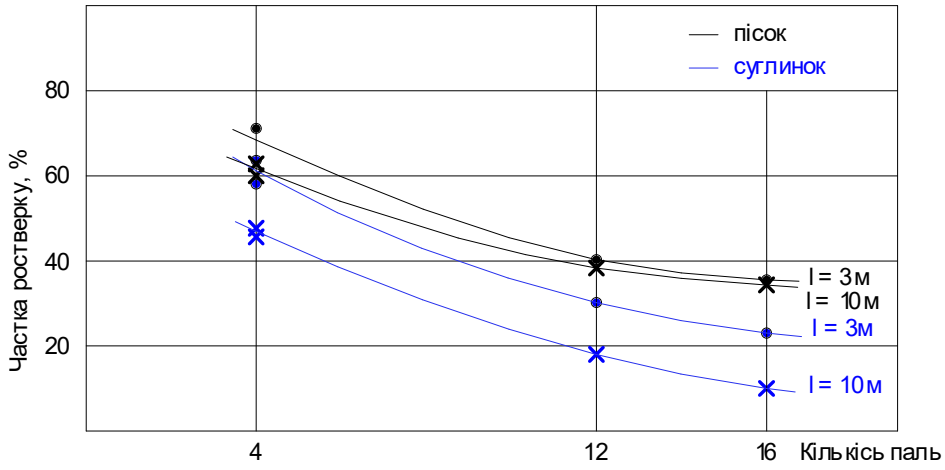


Рисунок 3.6 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

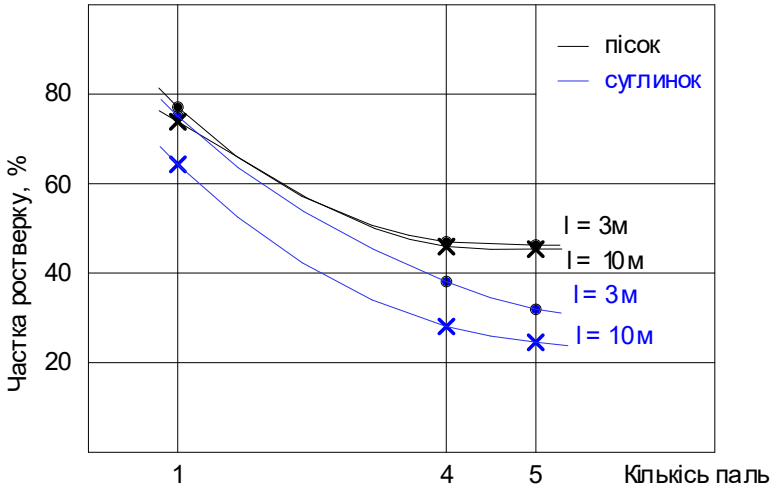


Рисунок 3.7 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

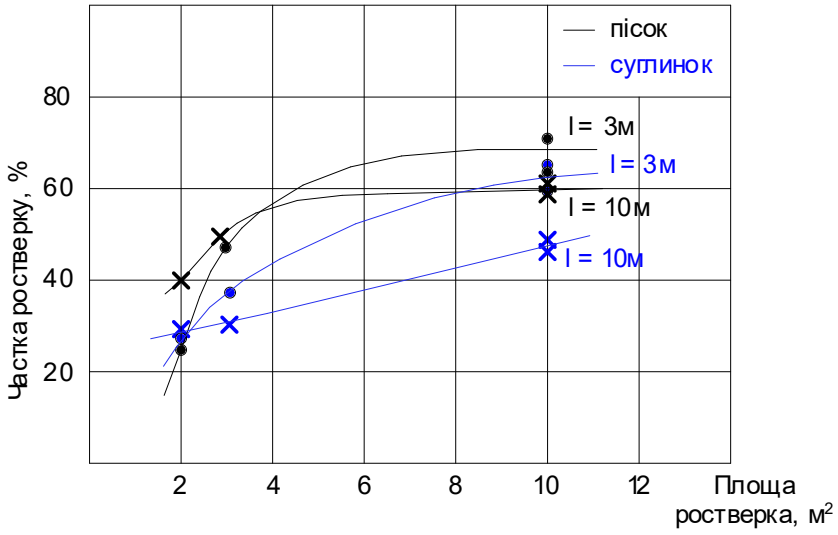


Рисунок 3.8 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на кущ з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль

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. Для піщаних ґрунтів частка ростверку дещо більша, ніж для глинистих.

При незмінній кількості паль збільшення площі ростверка призводить до збільшення його частки у навантаженні на кущ, досягаючи доволі великих значень 50-70%.

Маючі навантаження на ростверк в групі і несучу здатність ростверку як фундаменту мілкого закладання, а також несучу здатність одиночної палі і середнє навантаження на палю в групі, можна проаналізувати ступінь реалізації несучої здатності окремих елементів пальового фундаменту.

У таблиці 3.1, 3.2 та на рис. 3.9 – 3.14 наведена залежність ступеню реалізації несучої здатності ростверку і паль у складі пальового фундаменту.

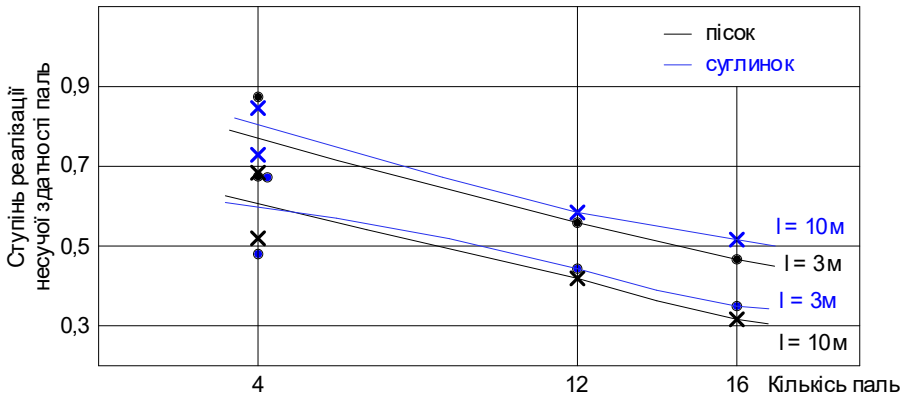


Рисунок 3.9 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

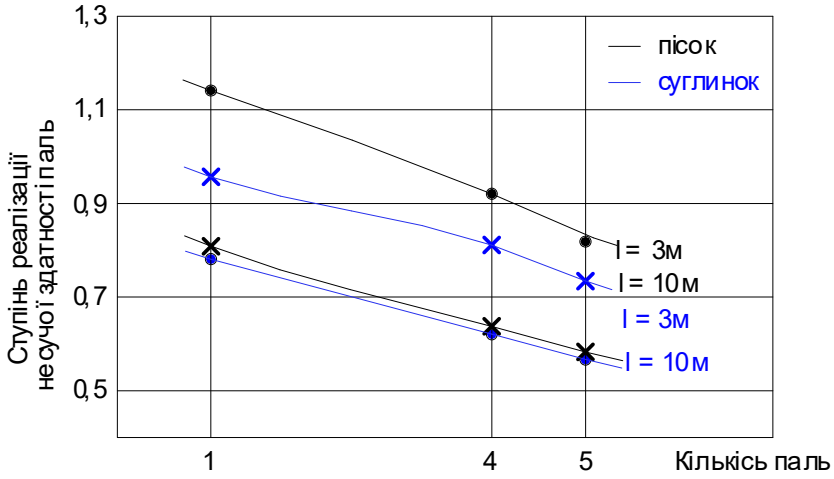


Рисунок 3.10 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

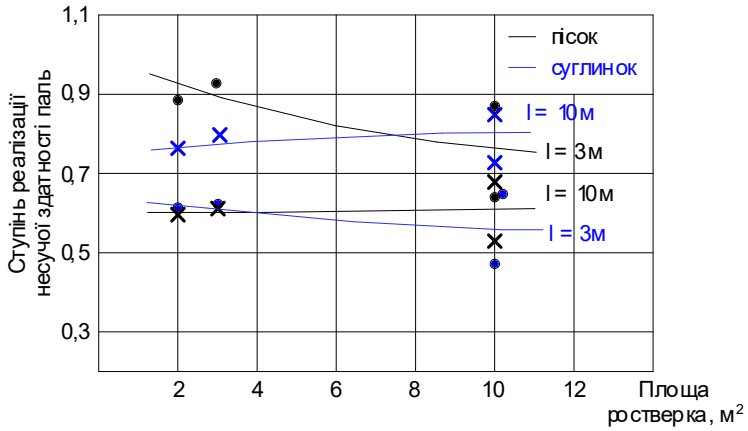


Рисунок 3.11 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль

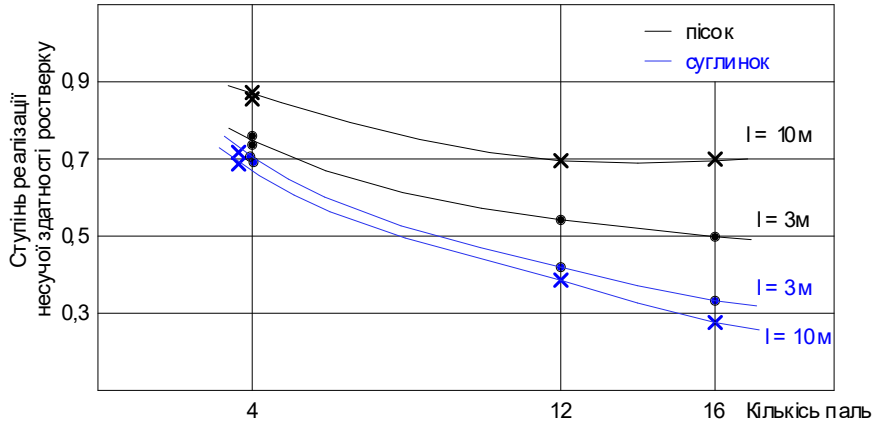


Рисунок 3.12 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

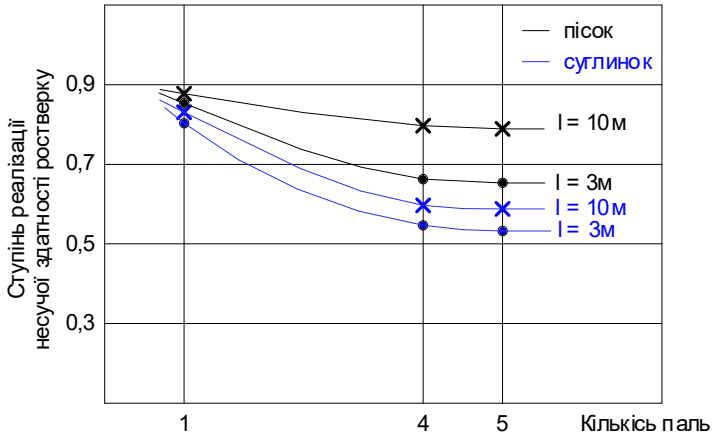


Рисунок 3.13 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

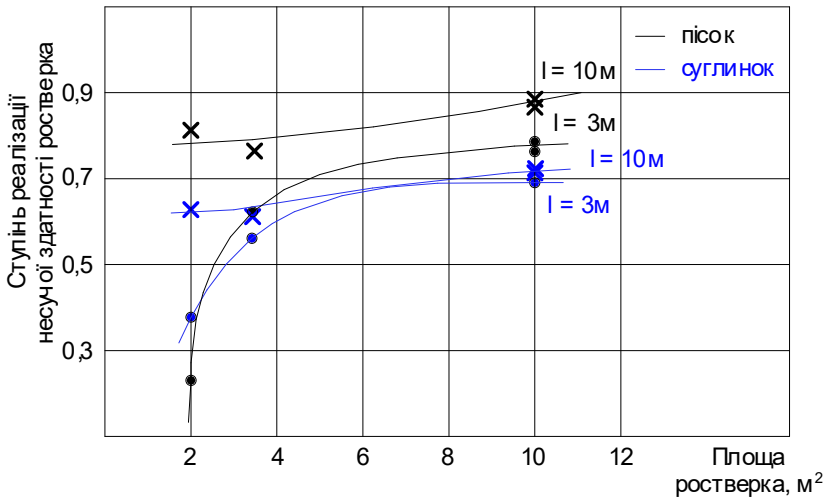


Рисунок 3.14 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль

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

При великій кількості паль ступінь реалізації їх несучої здатності коливається в діапазоні 0,3-0,6, при незначній кількості відповідно в діапазоні 0,5-1,1. Довжина паль впливає на реалізацію їх несучої здатності неоднозначно. В глинистих ґрунтах краще реалізують себе довгі палі, а в піщаних ґрунтах – короткі. При сталій кількості паль площа ростверка мало впливає на реалізацію їх несучої здатності.

Ступінь реалізації тиску під ростверком знаходиться в межах 0,2-0,85. При сталих розмірах ростверка основними чинниками, що впливають на ступінь реалізації його несучої здатності, є кількість паль і вид ґрунту. Збільшення кількості паль, яке призводить до збільшення компактності їх розміщення, спричинює неповне використання роботи ростверка. Так, при традиційному компактному розміщенні паль (групи дослідів 1, 2, 6) ступінь реалізації несучої здатності ростверку коливається в діапазоні 0,2-0,75, тоді як при розрідженому їх розміщенні в комбінованому фундаменті цей діапазон 0,65-0,85. В глинистих ґрунтах ступінь реалізації тиску під ростверком нижче, ніж в піщаних.

При сталій кількості паль збільшення площі ростверка суттєво збільшує реалізацію його несучої здатності.

Аналіз результатів показує, що в випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундамента в цілому, а також окремих його елементів підвищується.

Таким чином з метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундамента [48].

4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Архітектурно-будівельні рішення

4.1.1 Вихідні дані

Для впровадження результатів наукових досліджень передбачається розробка основних архітектурно-будівельних рішень для каркасно-монолітного десятиповерхового багатоквартирного житлового будинку, розташованого по вул. Генерала Григоренка м. Вінниці. Будинок має житлове призначення з адміністративно-офісними приміщеннями на першому поверсі. Розташований в м. Вінниця Вінницької області в І кліматичному районі [49]. Район будівництва характеризується такими кліматичними умовами:

- середня температура найбільш холодна п’ятиденка – -21^0 [49];
- температура повітря найбільш холодної доби – -35^0 [49];
- сейсмічність району за [50]– менше 6 балів;
- снігове навантаження для 4 снігового району [51] – 1,36 кПа ;
- швидкісний напір вітру для 3 району [51]– 0,47 кПа;
- температурна зона [52] – І.

4.1.2 Відомості про ділянку будівництва

Ділянка під будівництво житлового будинку розміщена згідно з проэктом планування та забудови м. Вінниця. Ділянка розміщена в сельбищній зоні серед житлових будинків. Ділянка межує:

з півночі – багатоповерхова житлова забудова;

з півдня – багатоповерхова житлова забудова, вул. Генерала Гргоренка;

з заходу – вул. Степана Тимошенка;

із сходу – приватні житлові будинки.

Проєкт виконано з врахуванням досвіду будівництва житлових будинків України [54].

Проєкт вертикального планування будівельного майданчика виконаний на основі розробленого генерального плану та інженерно-геологічних вишукувань [55, 56]. Рельєф ділянки дозволяє органічно вписати будівлю в ландшафт. За вертикальним плануванням проєкту передбачено максимальне збереження існуючого рельєфу. Вертикальне планування виконано методом проєктних горизонталей через 0,5 м. Планувальні позначки призначаються з умов існуючого рельєфу, створення зручного і безпечного руху транспорту та пішоходів.

Будівельний майданчик характеризується схилом в північно-східному напрямку. Відведення поверхневих вод передбачено відкритого типу і здійснюється спланованими площинами, лотками, утвореними проїжджою частиною та бортом. Дощові та талі води скидаються на проїзди і далі на вулицю Степана Тимошенка.

Генеральним планом передбачається влаштування благоустрою та озеленення ділянки, на якій плануються земляні роботи при будівництві житлового будинку з офісами. Архітектурно-планувальним рішенням ділянки передбачається розташування зелених насаджень, газонів, квітників. Площа озеленення ділянки складає 3815 м^2.

В'їзд на ділянку здійснюється з вул. Степана Тимошенка. Для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог, а також нормального руху транспортних засобів та пішоходів передбачається улаштування асфальтобетонного покриття на проїздах і ділянках. Конструкція дорожньої одежі прийнята по інтенсивності руху транспорту. Для під’їзду пожежних машин передбачено під’їзд до всіх частин фасадів згідно із існуючими нормативними вимогами [57].

Відстань між будинками та спорудами прийнята з дотриманням санітарних і протипожежних норм.

4.1.3 Вертикальна прив’язка будівлі

Планувальні позначки призначаються з умов існуючого рельєфу, створення зручного і безпечного руху транспорту та пішоходів.

Для створення нахилів для відводу поверхневих вод на ділянці забудови передбачене зрізання та підсипання ґрунту.

Визначаємо чорні позначки за формулою:

$$H_ч = H_{м.г.} + \frac{m}{n} \cdot h \qquad (м), \tag{4.1}$$

де $H_{м.г.}$ – відмітка молодшої горизонталі в метрах;

m – відстань від молодшої горизонталі до точки в метрах;

n – відстань між горизонталями в метрах;

$h = 0{,}5$ *м* – розтин горизонталей.

1. Площа планування поверхні будівельного майданчика:

$S_{пов.будмайд.} = 15.16 \cdot 28.92 = 438.43$ м².

2. Чорні відмітки кутів котловану:

$H_A = 259{,}5 - \frac{8}{35} \cdot 0{,}5 = 259.39$ (м); $H_B = 260{,}0 + \frac{4}{10} \cdot 0{,}5 = 260.22$ (м);

$H_C = 260{,}0 + \frac{2}{7} \cdot 0{,}5 = 260.15$ (м); $H_D = 259{,}5 - \frac{2}{25} \cdot 0{,}5 = 259.42$ (м).

3. Проєктні відмітки:

$H_A = 260{,}22 - 29{,}0 \times 0{,}003 = 260{,}13$ (м);

$H_B = 260{,}22$ м;

$H_C = 260{,}7$ м;

$H_D = 260{,}7 - 29{,}0 \times 0{,}003 = 260{,}61$ (м).

4.1.4 Техніко - економічна оцінка забудови

Основні техніко-економічні показники забудови наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Техніко-економічні показники генплану

№ з/п	Найменування показників	Один. виміру	Кількість
1	Площа ділянки для обслуговування	га	0,753
2	Площа забудови	м^2	1826,14
3	Щільність забудови	%	24
4	Площа доріг, проїздів	м^2	1219
5	Площа тротуарів, ділянок	м^2	671
6	Площа озеленення	м^2	3815

4.1.5 Об’ємно-планувальне рішення

Запроєктована будівля (рядова секція) має прямокутну конфігурацію в плані з розмірами в осях 18,66×28,92 м. Будівля десятиповерхова з цокольним та технічним поверхами. В цокольному поверсі розміщені технічне приміщення, водомірний вузол, приміщення насосної установки. Цокольний поверх може бути використаний для облаштування укриття [58]. На першому поверсі розміщені вузли обліку електроенергії, електрощитова, інвентарні, санвузли, адміністративно-конторські та офісні приміщення. Офісні приміщення мають окремі вхідні вузли з тамбурами. Передбачені пандуси для людей з обмеженими фізичними можливостями [59].

Вхід до квартир здійснюється за допомогою окремої сходової клітини, в якій розміщена ліфтова шахта. Сходова клітина незадимлювана.

У будинку передбачено по 4 квартири на кожному поверсі секції. Відповідно до завдання на проєктування передбачено одно- та трикімнатні квартири (дві однокімнатні та дві трикімнатні квартири на поверсі). Житловий будинок запроєктований 1 категорії за рівнем комфорту та соціальної спрямованості, як комерційне житло.

Висота поверхів складає 3,0 м та технічного поверху – 2,8 м. З кожної квартири передбачений еваковихід через балкон. Експлікація приміщень наведена у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Експлікація приміщень

Номер приміщення	Найменування	Площа, $м^2$	Кат. прим.
1 поверх			
1	Хол	38,4	
2	Коридор	24,2	
3	Побутове приміщення	11,88	
4	Офісне приміщення №1	26,47	
5	Офісне приміщення №2	18,06	
6	Офісне приміщення №3	21,78	
7	Офісне приміщення №4	18,02	
8	Вузол обліку електроенергії	9,0	
9	Сходова клітка	14,72	

Продовження таблиці 4.2

Номер приміщення	Найменування	Площа, $м^2$	Кат. прим.
10	Кімната охорони	16,70	
11	Хол	36,22	
12	Коридор	21,32	
13	Побутове приміщення	13,66	
14	Офісне приміщення №5	20,97	
15	Офісне приміщення №6	18,06	
16	Офісне приміщення №7	21,78	
17	Офісне приміщення №8	18,02	
Типовий поверх			
18	Спальня №1	16,61	
19	Ванна кімната	4,23	
20	Туалет	1,95	
21	Спальня №2	18,06	
22	Вітальня №1	27,03	
23	Санвузел	6,0	
24	Коридор №1	16,03	
25	Коридор №2	8,4	
26	Вітальня №2	22,26	
27	Кухня №1	12,81	
28	Кладова №1	2,54	
29	Кухня№2	10,5	
30	Кладова №2	2,1	
31	Хол	29.42	
32	Службове приміщення	3,4	

4.1.6 Архітектурно-конструктивні рішення

Конструктивна схема будівлі вирішена з повним несучим каркасом. Просторова жорсткість будівлі забезпечується спільною роботою елементів каркасу.

Фундаменти пальові. Стіни цокольного поверху монолітні залізобетонні товщиною 300 мм, виконані із бетону класу С20/25 і армовані Ø18А400С.

Пілони цокольного поверху армовані арматурою Ø20А400С, Ø18А400С, бетон класу С25/30. Колони перетином 400х400 мм монолітні із бетону класу С25/30 армовані арматурою Ø16А400С. Колони цокольного поверху перетином 300х500 виконані із монолітного бетону класу С25/30 армовані арматурою Ø22А400С і

Ø25А400С. Колони першого та десятого поверхів перетином 300х500 армовані арматурою Ø22А400С, бетон класу С20/25. Плита перекриття – монолітна залізобетонна із бетону класу С20/25, армована арматурою - Ø10А400С. Сходові марші і площадки – монолітні залізобетонні армовані арматурою Ø16А400С, бетон класу С20/25.

Зовнішні стіни – із газобетонних блоків товщиною 350 мм на розчині із церезіта марки СТ 24 і оштукатурені. Внутрішні стіни – із газобетонних блоків товщиною 200 мм. Перегородки – із газобетонних блоків товщиною 100 та 200 мм. Покрівля – плоска з рулонних матеріалів. Вікна – металопластикові. Двері – дерев'яні, металеві. Підлога – лінолеум, керамічна плитка, паркетна дошка. Ліфтові шахти – виконані із монолітного залізобетону.

По периметру будинку влаштовується вимощення із асфальтобетону.

Специфікація дверних та віконних блоків для типового поверху наведена у табл. 4.3.

Під час виконання робіт з улаштування підлог в якості гідроізоляційного шару використовувати гідроізоляційні сухі суміші групи Г1, самовирівнювальні суміші групи П2, клейові суміші групи К1 – все згідно з [61].

Експлікація підлоги 2-10 поверху наведена у табл. 4.4.

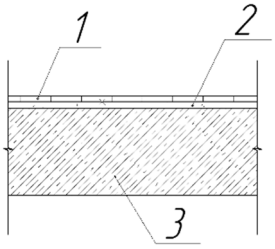
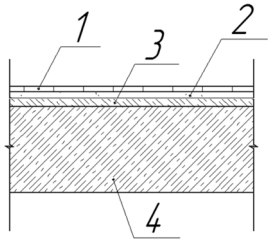
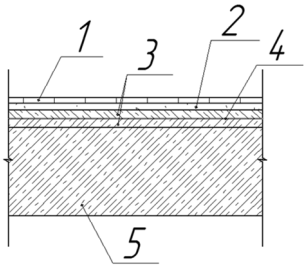
Таблиця 4.3 - Специфікація дверних та віконних блоків

№ примі-щення	Позначен-ня	Розмір, м	Найменування	Кіль-кість	Приміт-ка
Вікна					
3	ВК1	1,5х07	Вікно	12	
21, 27	ВК2	1,5х1,5	Вікно	22	
18, 29	ВК3	0,95х1,5	Вікно балконе	44	
22, 26	ВК4	4,5х1,5	Вікно	44	
29	ВК5	2,4х1,5	Вікно	44	
Двері					
19, 20, 23	Д1	0,81х2,1	Двері глухі	110	
13-18,26, 21	Д2	0,91х2,1	Двері глухі	140	
22	Д3	1,31х2,1	Двері глухі	22	

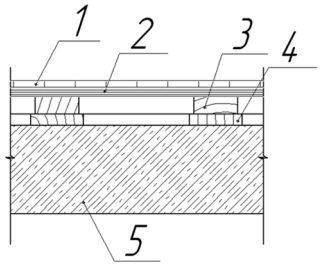
Продовження таблиці 4.3

№ приміщення	Позначення	Розмір, м	Найменування	Кількість	Примітка
11, 31	Д4	1,3х2,1	Двері глухі	22	
13-17, 31	Д5	0,91х2,1	Двері вхідні	22	
11	Д6	1,1х2,1	Двері вхідні	4	
11	Д7	1,21х2,1	Двері вхідні	2	

Таблиця 4.4 - Експлікація підлоги

Назва, номер приміщення	Тип підлоги	Схема підлоги або номер вузла згідно серії	Елементи підлоги та їх товщина	Площа підлоги, м^2
1	2	3	4	5
Сходова клітина, перехідна площадка, хол, міжквартирний коридор, балкона з 1-10 пов. 1, 2, 3, 9, 11, 12, 13, 31, 32	4		1. Керамічні плитки ГОСТ 6787-90 - 6мм 2. Прошарок із заповнення швів з цементно-піщаного розчину М150 – 15мм 3. Залізобетонна плита – 200 мм.	785,73
Кухня 27, 29	5		1. Керамічні плитки ГОСТ 6787-90 - 6мм 2. Прошарок із заповнення швів з розчину М150 – 15мм 3. Стяжка з цементно-піщаного розчину М150 – 20 мм 4. Залізобетонна плита – 200 мм.	419,58
Сунвузол, ванна кімната 19, 20, 23	6		1. Керамічні плитки 2. Прошарок із цементно-піщаного розчину М150 – 15мм 3. Стяжка з розчину М150 – 20мм 4. Гідроізоляція – 2 шари гідроізолу 5. Залізобетонна плита – 200 мм.	219,25

Продовження табл. 4.4

1	2	3	4	5
Вітальня, спальня, коридор 18, 21, 22, 24, 25, 26	7		1. Паркет мозаїчний - 15 мм. 2. Дошки – 20мм 3. Лага 100х40мм 4. Звукоізоляційна прокладка – плити пінополістирольні 5. Залізобетонна плита – 200 мм.	1947,78

4.1.7 Теплотехнічний розрахунок

Зовнішні стіни будинку проєктуються з газобетонних блоків і утеплювача – полістирольних плит з $\rho = 50$ кг/м^3.

Вихідні дані:

1. Район будівництва – температурна зона [52] – I.

2. Параметри внутрішнього повітря – розрахункова температура внутрішнього повітря $t_в = 20^0$; розрахункове значення відносної вологості внутрішнього повітря $\varphi_в = 50\%$ [53].

3. Розрахункова температура зовнішнього повітря для температурної зони I [52] -10^0.

4. Вологісний режим приміщень – нормальний.

5. Вологісні умови експлуатації матеріалу огороджувальних конструкцій – Б.

Теплотехнічні характеристики матеріалів при умовах експлуатації Б:

- кладка з газобетону $\lambda_1 = 0{,}12 \frac{вт}{м\,^0C}$;

- пінополістирол $\lambda_2 = 0{,}043 \frac{вт}{м\,^0C}$;

- штукатурка з вапняно-піщаного розчину $\lambda_3 = 0{,}93 \frac{вт}{м\,^0C}$;

- штукатурка з гіпсового розчину $\lambda_3 = 0{,}29 \frac{вт}{м\,^0C}$;

Нормативний опір теплопередачі для зовнішніх стін у I температурній зоні складає: $R_0 = 4{,}0$ м$^2\,^0$C/вт (табл. 1 [52]).

Для задоволення нормативних вимог до термічного опору огородження повинні виконуватись умови

$$R_o \le R_в + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + R_з \qquad (4.2)$$

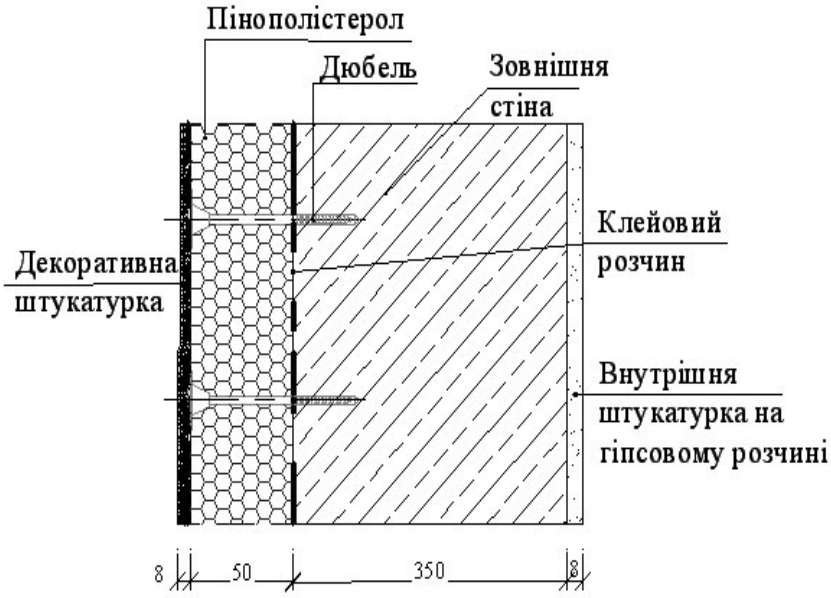


Рисунок 4.1– Розрахункова схема зовнішньої стіни будинку

де $R_в$, $R_з$ – опори теплосприймання і тепловіддачі на контакті огородження відповідно із внутрішнім і зовнішнім середовищем.

При цьому опір теплосприймання ([53]) $R_в = 0.115 \frac{м^2 \cdot ^0 C}{вт}$.

Опір тепловіддачі $R_з = 0.0435 \frac{м^2 \cdot ^0 C}{вт}$.

Потрібна товщина утеплювача з пінополістирольних плит

$$R = 0,115 + \frac{0,35}{0,12} + \frac{0,008}{0,25} + \frac{\delta_2}{0,043} + \frac{0,008}{0,93} + 0,0435 =$$

$$= (3,116 + \frac{\delta_2}{0,043}) \frac{м^2 \, ^0 C}{вт} \ge R_0 = 4,0 \frac{м^2 \, ^0 C}{вт}.$$

$\delta_3 = (4,0 - 3,116)\, 0,043 = 0,038\ (м).$

Приймаємо товщину утеплювача 50 мм виходячи з технологічних міркувань.

Площа вікон складає не більше 18%. Опір теплопередачі вікон приймаємо мінімально допустимим за табл. 1 [52] R=0,9 $м^2$ ^{0}С/вт, що забезпечується застосуванням вікон з двокамерними склопакетами.

4.1.8 Протипожежні заходи

Житловий будинок відноситься до II ступеню вогнестійкості. По відношенню до існуючої забудови та запроектованим будівлям, спорудам, будівля розміщена відповідно до [57].

До житлового будинку з офісами передбачено під'їзд пожежних машин, забезпечена можливість доступу пожежних драбин до всіх частин фасадів з вікнами. Передбачені незадимлювані сходи.

Для забезпечення пожежної безпеки проектом передбачається:

- застосування несучих і огороджувальних конструкцій з регламентованою границею вогнестійкості і границею розповсюдження вогню по цим конструкціям, згідно з II ступенем вогнестійкості;
- застосування негорючих та важкогорючих будівельних матеріалів для опорядження приміщень (коридорів, сходів), через які проходять шляхи евакуації;
- дотримання гранично допустимих об’ємів протипожежних відсіків, секцій і площ між протилежними стінами;
- відкривання всіх дверей будівлі назовні на шляху евакуації;
- із сходових кліток вихід на горище;
- ширина зовнішніх дверей сходових кліток не менше ширини маршу;
- застосування важкогорючих дверей в технічне приміщення і вихід з горища;
- наявність металевих драбин на виходах на покрівлю;
- захист дерев’яних і металевих елементів вогнезахисною сумішшю.

Конструкції будівлі: зовнішні та внутрішні стіни, перекриття, сходи, огорожа сходів, виконані із негорючих матеріалів.

Евакуація з квартир здійснюється чотирма евакуаційними виходами з надземних поверхів. Другим евакуаційним виходом із квартир являються балкони,

для чого на балконних плитах передбачаються площадки з глухою ділянкою стіни. Евакуація із офісних приміщень здійснюється через евакуаційні виходи.

Цокольний поверх розділено на 4 окремі секції площами не більше 500 м^2, які мають по 2 евакуаційних виходи.

Мінімальна ширина коридорів 1,4 м; площадок сходів 1,4 м, маршів сходів 1,2 м; зовнішніх вхідних дверей 1,3 м.

Максимальна віддаль від дверей найбільш віддалених приміщень до виходу назовні або сходову клітину складає 6 м.

Вихід на дах будинку здійснюється через люки-лази.

Автоматична пожежна сигналізація, оповіщення про пожежу та управління евакуацією виконуються по окремому замовленню.

4.1.9 Санітарні вимоги

Всі приміщення відповідно до чинних норм та правил мають форму та розміри, які забезпечують сприятливі санітарно-гігієнічні та безпечні умови.

Для благоустрою і озеленення території передбачено висадка дерев листяних і хвойних порід, кущів, влаштування газонів.

В житлових кімнатах і кухнях влаштовані прилади опалення – радіатори, що забезпечують температуру внутрішнього повітря +20°С згідно з вимогами.

В приміщення санвузлів та кухонь подається холодна та гаряча вода. Відведення побутових стоків здійснюється самопливом в зовнішню каналізаційну систему. Санітарні вузли містять умивальні та вбиральні. Приміщення вбирален у трьохкімнатних квартирах ізольовані від інших приміщень.

Напруга живлення силового обладнання та електроосвітлення 220 В з глухо заземленою нейтраллю.

Кратність обміну повітря в житловому будинку – житлові приміщення 3 м^3/год.

4.1.10 Інженерне обладнання будинку

Водопостачання.

Джерелом водопостачання будинку служить існуюча мережа водопроводу із сталевих труб d=50 мм. Існуючий напір в точці підключення становить 24 м водяного стовпа.

Розрахункові витрати холодної води становлять 4.5 м/добу. В будинку запроєктована тупикова система холодного водопостачання. Для обліку втрат води на вводі водопроводу встановлюють водомірний вузол.

Внутрішні системи холодного водопостачання будинку виконуються за індивідуальним проєктом. Система водопостачання запроєктована від існуючих водопровідних мереж. Вода підводиться до санітарно-технічних приладів житлового будинку та приміщень офісів.

Внутрішні системи гарячого водопостачання будинку виконується за індивідуальним проєктом від індивідуальних котлів. Мережі запроєктовані із сталевих оцинкованих водогазопровідних труб.

Мережі гарячої води запроєктовані із сталевих водогазопровідних оцинкованих труб. Розрахункові витрати води становлять 2,03 м^3/добу. В будинку запроєктована тупикова система гарячого водопостачання.

Опалення

Розрахункові параметри зовнішнього повітря для проєктування систем опалення – 21°С. Теплоносієм для системи опалення є гаряча вода з параметрами 85-62°С.

Схема опалення прийнята горизонтальна, двотрубна з нижньою розводкою магістралей. За опалювальні прилади прийняті сталеві панельні радіатори "Термія", в ванних кімнатах – трубчасті рушникосушарки.

Для регулювання температури в приміщеннях проєктом передбачено встановлення на кожному опалювальному приладі автоматичних терморегуляторів Danfoss.

Трубопроводи опалення прокладаються скрито із труб металополімерних STAMAR. Підживлення систем опалення квартир передбачається привозною хімочищенню водою.

Вентиляція

Витяжка повітря із квартир житлового будинку здійснюється через вентиляційні блоки кухонь та санвузлів квартир природним шляхом.

Приплив повітря в квартири неорганізований.

Вентиляція приміщень офісу припливно-витяжна з механічним збудженням та природна.

Витяжка повітря передбачена через вентиляційні блоки. Приплив повітря передбачається через кондиціонери. Повітропроводи виконуються із листової оцинкованої сталі.

Каналізація.

Внутрішні мережі каналізації будинку виконуються за індивідуальним проєктом із пластмасових каналізаційних труб d=50 і 100 мм та чавунних труб ø50; 100 мм.

В будинку запроєктована система побутової каналізації з випусками в існуючу каналізаційну мережу.

Електропостачання.

Внутрішнє електрообладнання та електроосвітлення виконується згідно з чинними нормами, правилами і стандартами за індивідуальним проєктом.

Облік електроенергії для житлових квартир передбачається:

- загальний – лічильниками на увідному устрої в щитовій;
- поквартирний – лічильниками, установленими в приміщеннях біля кожної сходової клітини, розташованих на офісному поверсі (по 36 лічильників в одному приміщені);

Для офісів:

- загальний – лічильником на увідному устрої в щитовій;
- в офісах - на увідних устроях в кожний офіс.

4.2 Основи та фундаменти

4.2.1 Підготовка вихідних даних для проєктування фундаментів

Земельна ділянка під будівництво десятиповерхового каркасно-монолітного житлового будинку з вбудованими офісними приміщеннями розташована у м. Вінниця.

Клас споруди за ступенем відповідальності – СС2 [60].

Нормативна глибина сезонного промерзання ґрунту визначається за формулою [44, 49]:

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

$d_f = 1{,}1\ d_{fn} = 1{,}1x0{,}79 = 0{,}9$ (м).

Основні фізико-механічні властивості ґрунту наведені у таблиці 4.5. На рисунку 4.2 наведений геологічний розріз майданчику.

Таблиця 4.5 – Зведена інженерно-геологічна колонка і рекомендовані значення фізико-механічних характеристик ґрунтів (нормативні значення)

Найменування грунту, потужність, м	γ, кН/м^3	γ_s, кН/м^3	W	W_L	W_P	I_P	I_L	e	γ_d, кН/м^3	Sr	φ, град	c, кПа	ν	E, МПа
Чорнозем 0,4-0,6	16,1	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Суглинок жовтобурий 1,7-1,9	17.0	26.8	0.15	0.25	0,19	0,06	0.667	0,813	14.78	0,495	17	17	0,33	7.4
Суглинок жовтий 5,8-6,2	18,2	26,8	0,16	0,21	0,12	0,09	0,44	0,76	15,7	0,61	21	25	0,34	16,0
Глина червонобура 3,2-3,6	19,2	27,1	0,28	0,42	0,21	0,21	0,333	0,807	15,0	0,94	16	46	0,42	16,3
Каолін тугопластичний Проб. потуж. 3,0 м	18,3	27,1	0,24	0,34	0,18	0,16	0,31	0,85	14,6	0,78	19	18	0,41	15,4

4.2.2 Навантаження на фундаменти

Розрахунок фундаменту виконуємо для середній колоні будівлі по осі И, 3. Переріз колони 500х300 мм. Висота поверху 3,0 м.

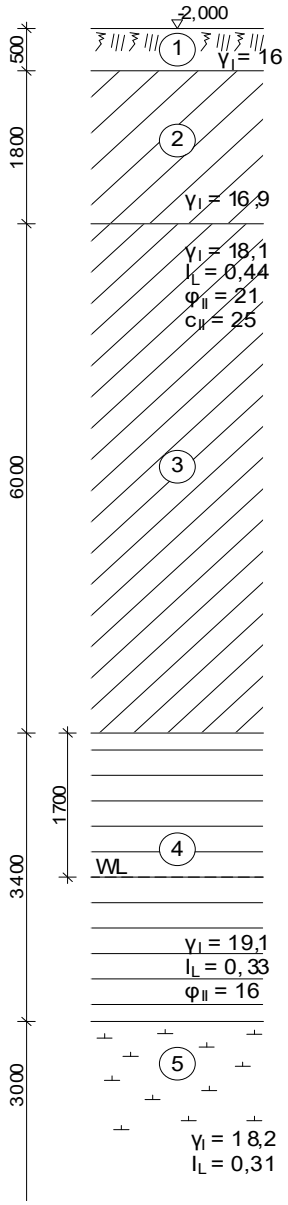


Рисунок 4.2 – Геологічний розріз будівельного майданчику

Вантажна площа $A_{вант.внутр.}$= (1,6+2,09)(2,1+1,75) = 14,2 (м^2).

Снігове навантаження на 1 м^2 покриття складає [51]

$$s_m = \gamma_{fm} s_0 C, \tag{4.3}$$

де $C = \mu C_e C_{alt}$.

Корисне навантаження на перекриття цокольного поверху приймаємо як для офісних приміщень 2 кПа, для решти перекриттів 1,5 кПа.

Коефіцієнт поєднання корисних навантажень на перекриття

$$\psi_{A1} = 0,4 + \frac{0,6}{\sqrt{A / A_1}} = 0,4 + \frac{0,6}{\sqrt{14,2 / 9}} = 0,88; \qquad \psi_{n1} = 0,4 + \frac{0,88 - 0,4}{\sqrt{10}} = 0,539.$$

У табл. 4.6 показаний розрахунок навантажень на фундамент під середній пілон будівлі по осі И, 3. Навантаження збираємо на фундамент в рівні його обрізу.

Таблиця 4.6 - Навантаження на фундамент під середній пілон будівлі по осі И, 3

Найменування навантаження і формула підрахунку	X_e, кН	γ_{fm}	X_m, кН
1 Постійні вертикальні навантаження			
1. Вага пілону 0,5х0,3х(32,3+3,08)х25	132,68	1,1	146,0
2. Вага плит перекриття 0,2х14,2х12х25	852,0	1,1	937,2
3. Вага конструкції підлоги типового поверху • Лінолеум 12·0,005 0,06 кН; • кліюча мастика 0,05 кН; • цементна стяжка 20·0,03 0,60 кН; • пінобетон 12·0,05 0,60 кН; • пароізоляція 0,05 кН; Разом 1,36 кН. 14,2х1,36х9	173,8	1,3	226,0
4. Вага конструкції підлоги надпідвального перекриття • лінолеум 12·0,005 0,06 кН; • кліюча мастика 0,05 кН; • цементна стяжка 20·0,055 1,10 кН; • пінобетон 12·0,1 1,20 кН; • пароізоляція 0,05 кН; Разом 2,46 кН. 14,2х2,46	34,9	1,3	45,4
5. Вага конструкції підлоги горища • 1 шар гідроізолу 0,05 кН; • утеплювач-ISOVER0,75х0,5= 0,375 кН; • пароізоляція 0,05 кН; Разом 0,475 кН. 14,2х0,475	6,8	1,3	8,8
6. Вага покрівлі • руберойд 0,25 кН; • армована цементна стяжка 0,04·25= 1,0кН; • керамзитовий гравій для ухилу 0,22·8 1,76 кН; • пароізоляція 0,05 кН • Разом 3,06 кН 14,2х3,06	43,5	1.3	56,5
Всього:	1243,7		1419,9

Продовження таблиці 4.6

Найменування навантаження і формула підрахунку	X_e, кН	γ_{fm}	X_m, кН
2.Змінні вертикальні навантаження			
1. Корисне навантаження на перекриття 14,2х(2,0+1,5х9+0,7)х0,539	124,0	1,3	161,2
2. Навантаження від перегородок 1,91х14,2х10	271,2	1,3	352,6
3. Снігове навантаження 1,36х14,2 (γ_{fe}=0,49)	9,5	1,14	22,0
Всього:	404,7		535,8

Для визначення найбільш несприятливого сполучення навантажень знаходимо їх суму з урахуванням коефіцієнтів сполучень і коефіцієнта надійності за призначенням γ_n [60].

$N_e = (\Sigma N_i^{пост.} + 0,9\Sigma N_i^{тим.корот.} + 0,95\Sigma N_i^{тим.трив.})\gamma_n = (1243,7+0,9х124,0+$

$+0,95х280,7)х0,975 = 1581,4$ (кН);

$N_m = (\Sigma N_i^{пост.} + 0,9\Sigma N_i^{тим.корот.} + 0,95\Sigma N_i^{тим.трив.})\gamma_n = (1419,9+0,9х161,2+$

$+0,95х374,6)х1,1 = 2113,0$ (кН).

Зведені дані про навантаження на фундамент під середній пілон будівлі по осі И, 3 представлені у табл. 4.7.

Таблиця 4.7 - Навантаження на фундамент

Вісь	N_e, кН	N_m, кН	M_{xe}, кНм	M_{xm}, кНм	M_{ye}, кНм	M_{ym}, кНм
И, 3	1581,4	2113,0	0	0	0	0

4.2.3 Вибір глибини закладання ростверку

Глибину закладання ростверка обираємо найменшою з наступних міркувань.

1. Положення фундаменту у ґрунті, виходячи з наявності конструкції підлоги підвалу, показане на рисунку 4.3. Загальна глибина закладання ростверка товщиною 1,2 м складає 2,38 м.

2. Відмітка рівня ґрунтових вод нижче відмітки підошви фундаменту. Отже, рівень ґрунтових вод не впливає на глибину закладення ростверка.

Глибину закладання ростверка приймаємо d = 2,38 м.

4.2.4 Розрахунок фундаменту в варіанті з забивних паль за традиційною методикою

Довжину паль обираємо виходячи з геологічних умов та з величини навантаження на фундамент. Основою для паль приймаємо каолін тугопластичний. Оскільки навантаження значне, а в несучий грунт палю необхідно завести не менше, ніж на 1 м, приймаємо довжину палі 10,4 м.

Марка прийнятої палі – С11-30. Схема розташування пальового фундаменту показана на рисунку 4.3.

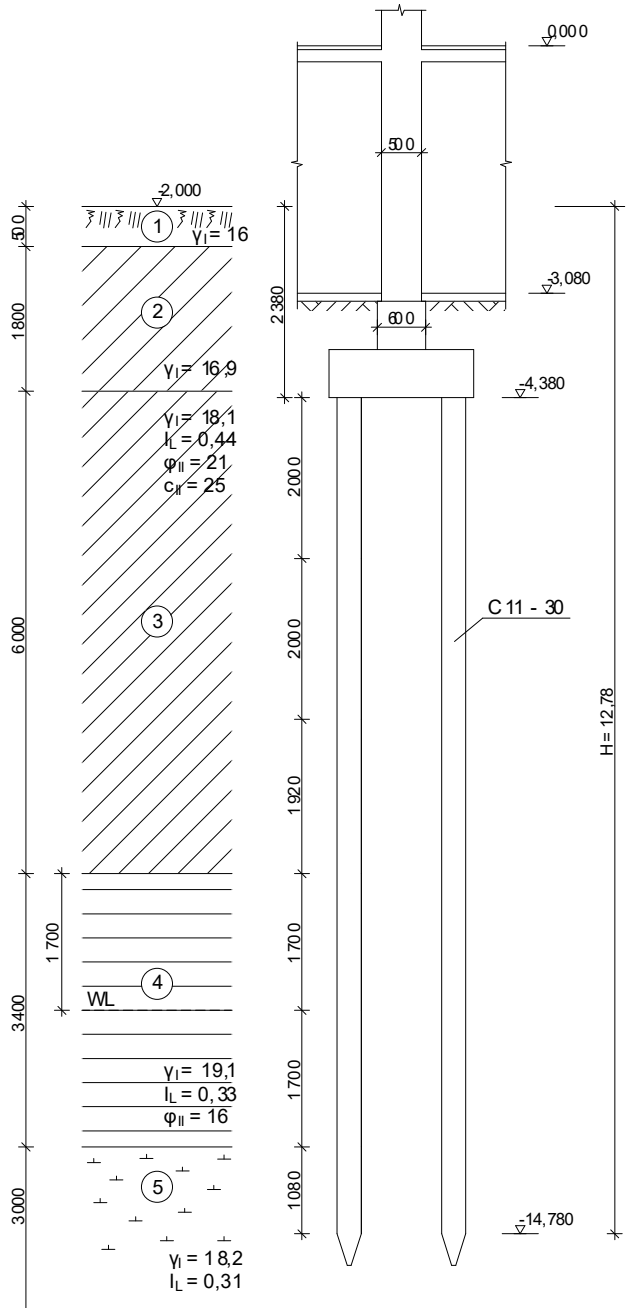


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема пальового фундаменту

Несучу здатність забивної висячої палі в ґрунті визначаємо за формулою

$$F_d = \gamma_c(\gamma_{CR} \cdot R \cdot A + u\sum_{i=1}^{n} f_i \cdot h_i \cdot \gamma_{cfi}). \quad (4.4)$$

При забиванні паль дизель-молотом коефіцієнти за [44] γ_{CR}=1; γ_c=1; γ_{cfi}=1.

Розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі R= 3670 кПа [44], площа поперечного перерізу палі $A = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09\ (м^2)$, периметр поперечного перерізу палі $u = 4 \cdot 0,3 = 1,2\ (м)$.

Для визначення несучої здатності по боковій поверхні палі розбиваємо її по довжині нижче підошви ростверку на ділянки довжиною не більше 2 м. При цьому межі між геологічними шарами служать і межами елементарних шарів.

f_i – розрахунковий опір і-го шару ґрунту основи по боковій поверхні палі, що визначається за формулою Н.2.2 [44], для попередніх розрахунків допускається f_i приймати за табл. Н.2.2 [44], кПа;

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

Ґрунтові умови майданчика забудови представлені такими нашаруваннями (рис. 4.3):

чорнозем товщиною 0,5 м, γ_I =16,0 кН/м^3;

суглинок жовтобурий, м'якопластичний товщиною 1,8 м, γ_I =16,9 кН/м^3; c_I = 17,0/1,5=11,3 (кПа); $\varphi_I = 17^0/1,15=14,8^0$; $I_L = 0,667$;

суглинок жовтий товщиною 6,0 м, γ_I =18,1 кН/м^3, c_I = 25,0/1,5 = 16,7 (кПа); φ_I = 21/1,15=18^0; $\boldsymbol{I_L = 0,44}$;

глина червонобура товщиною 3,4 м, γ_I =19,1 кН/м^3, c_I = 46/1,5=30,7 (кПа); φ_I =16/1,15=13,9^0; $\boldsymbol{I_L = 0,333}$;

каолін, γ_I =18,2 кН/м^3, c_I = 18/1,5=12 (кПа); φ_I =19/1,15=16,5^0; $I_L = 0,31$;

рівень ґрунтових вод – 10,0 м.

Результати розрахунку несучої здатності палі по боковій поверхні наведені в табл. 4.8.

Несуча здатність палі по ґрунту

Таблиця 4.8 - Визначення несучої здатності палі по боковій поверхні

H_i, м	f_{1i}, кПа (за табл. Н.2.2)	h_i, м	$f_i \cdot h_i$	Вид грунту	$\sigma_{zg,i}$, кПа	ν_i	φ_I, °	c_I, кПа	f_{2i}, кПа (за форму-лою Н.2.2	$\gamma_{cf,i} f_{2i} \cdot h_i$, кН/м
3,38	23	2,0	46	$I_L = 0{,}44$	57,87	0,34	18	16,7	26,4	52,8
5,38	27	2,0	54	$I_L = 0{,}44$	94,1	0,34	18	16,7	32,5	65,0
7,38	28	2,0	56	$I_L = 0{,}44$	130,3	0,34	18	16,7	38,5	77,0
9,23	41	1,7	69,7	$I_L = 0{,}33$	164,6	0,42	13,9	30,7	60,2	102,3
10,93	43	1,7	73,1	$I_L = 0{,}33$	197,1	0,42	13,9	30,7	66,0	112,2
12,28	53	1,0	53	$I_L = 0{,}31$	222,4	0,41	16,5	12	57,8	57,8
			Σ=351,8							Σ= 467,1

$$F_d = 1{,}0(1{,}0 \cdot 3670 \cdot 0{,}09 + 1{,}2 \cdot 1{,}0 \cdot 351{,}8) = 752{,}5(кН).$$

Визначення кількості паль у кущі.

Розрахункове навантаження, яке може бути передане на палю з умов несучої здатності грунту:

$$N = F_d / \gamma_k = 752{,}5 / 1{,}4 = 537{,}5 \ \ (кН).$$

Необхідна кількість паль у кущі:

$$n = N_m / N = 2113{,}0 \cdot 1{,}1 / 537{,}5 = 4{,}32 \ \ (шт.),$$

Приймаємо 5 паль.

Визначимо розміри ростверку. Відстань між палями в осях приймаємо 900 мм, звис ростверку не менше 100 мм. Розміри ростверку 1800х1800 мм. Висота плитної частини ростверку 0,6 м (рис. 4.4).

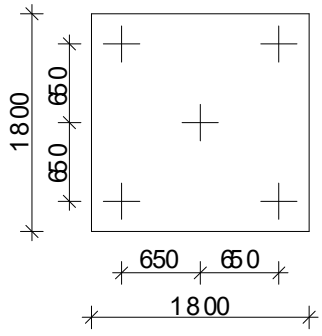


Рисунок 4.4 – Розміщення паль в плані при розрахунку за традиційної методикою

Перевірка навантаження на найбільш навантажену палю виконується за формулою [44]

$$N_{\substack{\max\\ \min}} = \frac{N_{заг}}{n} \pm \frac{M_x y}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_y x}{\sum x_i^2} \le N\,, \qquad (4.5)$$

де $N_{заг} = N_m + G_p + G_{гр} + G_{паль}$;

де N_m – граничне навантаження на фундамент, N_m=2113,0 кН;

$G_{паль}$ – вага паль,

$G_{ростр,\,гр}$ – вага ростверку з грунтом на його уступах.

$$G_{паль} = d^2 \cdot l \cdot \gamma_{\frac{з}{б}} \cdot n \cdot \gamma_{fm} = 0,3^2 \cdot 10,4 \cdot 25 \cdot 5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 141,6\ (кН);$$

$$G_{р+гр} = A_p \cdot d_p \cdot 20 \cdot 1,1 = 1,8 \cdot 1,8 \cdot 1,3 \cdot 20 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 102,0\ кН;$$

$$N_{\substack{max\\ min}} = \frac{N_m + G_{паль} + G_{р+гр}}{n} = \frac{2113,0 + 141,6 + 102,0}{5} = 471,3(kH) < N_{палі}$$

$$= 537.5\ kH.$$

Отже, розрахункове навантаження на палю фундаменту не перевищує допустимого.

4.2.5 Визначення осідання пальового фундамента

Розрахунок осідання методом умовного фундаменту

Осідання пальового фундаменту визначається шляхом перетворення його на умовний фундамент мілкого закладання.

Визначаємо осереднене значення кута внутрішнього тертя для ґрунтової товщі, яка прорізається палями:

$$\varphi_{mt} = \frac{\varphi_1 h_1 + \varphi_2 h_2 + \varphi_3 h_3 + \varphi_4 h_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4} = \frac{21 \cdot 6.0 + 16 \cdot 3.4 + 19 \cdot 1.0}{6.0 + 3.4 + 1.0} = 19.2$$

$$tg\left(\frac{19.2}{4}\right) = 0,0838.$$

Розміри ростверку в плані по зовнішнім граням крайніх паль:

$$l_1 = b_1 = 1,6\ м.$$

Розміри умовного фундаменту в площині нижніх кінців паль:

$$b_y = l_y = b_1 + 2htg(\varphi_{mt}/4) = 1.6 + 2 \cdot 10.4 \cdot 0,0838 = 3.34\ (м).$$

Об’єм умовного фундаменту

$V_{ум.} = l_{ум.}\, b_{ум.} d_{ум.} = 3{,}34 \cdot 3{,}34 \cdot 11{,}7 = 130{,}5$ (м^3).

Об’єм елементів умовного фундаменту

$V_{паль} = 10{,}4 \cdot 0{,}3^2 \cdot 5 = 4{,}68$ (м^3).

$V_{р+гр.} = 1{,}8^2 \cdot 1{,}3 = 4{,}212$ (м^3).

Об’єм грунту в об’ємі умовного фундаменту

$$V_{гр} = V_{ум.} - V_{п} - V_{р+гр} = 130.5 - 4.68 - 4.212 = 121.6 \ (м^3).$$

Вага елементів умовного фундамента

$G_{р+гр} = 4{,}212 \cdot 22 = 92{,}66$ (кН); $G_{паль} = 4{,}68 \cdot 25 = 117$ (кН).

Усереднене значення питомої ваги грунту в об’ємі умовного фундаменту

$$\gamma_{mt} = \frac{18 \cdot 1.3 + 18.2 \cdot 6.0 + 19.2 \cdot 3.4 + 18{,}3 \cdot 1.0}{1.3 + 6.0 + 3.4 + 1.0} = 18{,}5\left(\frac{кН}{м^3}\right).$$

Вага грунту в об’ємі умовного фундаменту

$G_{гр.} = 121{,}6 \cdot 18{,}5 = 2249{,}6$ (кН).

Тиск по підошві умовного фундаменту

$$N_e^y = N_e + G_{гр}^{'} + \left(G_p + G_{гр}\right) + G_{паль} = 1581{,}4 + 2249{,}6 + 92{,}66 + 117{,}0 = 4040{,}7 \ \ (кН);$$

$$p = \frac{N_e^{\ y}}{A_y} = \frac{4040{,}7}{3{,}34 \cdot 3{,}34} = 362{,}2 \ (кПа).$$

Розрахунковий опір ґрунту основи:

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

$$= \frac{1{,}2 \cdot 1{,}1}{1{,}1} \cdot [0{,}47 \cdot 1 \cdot 3{,}34 \cdot 18.3 + 2.89 \cdot 11.7 \cdot 18{,}5 + 1{,}89 \cdot 1{,}08 \cdot 18.5 + 5.48 \cdot 18] = 948.8 \quad (кПа),$$

де $\gamma_{C_1} = 1{,}2$, $\gamma_{C_2} = 1{,}1$ для глини з $0.25 < I_L < 0.5$ (табл. Е7 [44])

$\kappa = 1{,}1$, оскільки характеристики ґрунту визначені за таблицями.

$M_\gamma = 0{,}47$, $M_q = 2.89$, $M_c = 5.48$, при $\varphi = 19^\circ$ (табл. Е8 [44]).

Перевіряємо умову P =362,2 кПа < R =948,8 кПа.

Тиск під підошвою умовного фундаменту без врахування власної ваги грунту

$$p = \frac{N_e^{\ y}}{A_y} = \frac{1581,4 + 92,66 + 117,0}{3,34 \cdot 3,34} = 160,6\ (кПа).$$

Тиск від власної ваги ґрунту в рівні підошви ростверку від рівня підлоги підвалу $\sigma_{zg,0} = 1,3 \cdot 18,5 = 24,05$ кПа;

Тиск від власної ваги ґрунту в рівні підошви фундаменту від рівня природного рельєфу $\sigma_{zy,0} = 0,5 \cdot 16,1 + 1,88 \cdot 17 = 40,0$ (кПа).

Розбиваємо ґрунтову товщу на шари $0,2b_y = 0,668$ м.

Співвідношення сторін підошви фундаменту $\eta = l_y / b_y = 1,0$.

Співвідношення сторін котловану $\eta = l_к/b_к = 29/18 = 1,61$.

Положення межі стисливої товщі основи приймається на глибині $Z_i = H_c$, де виконується умова $\sigma_{zp.i} \leq k\ \sigma_{zg}'$, де $k = 0,2$ при $b_y \leq 5$ м.

Розрахунок зводимо у таблицю 4.9.

$S = 0,01282$ м = 1,3 см < S_u = 15 см [44].

Сумарне осідання менше допустимого, тобто фундамент із забивних паль є доцільним в даних грунтових умовах.

Розрахунок осідання за методом стержня в пружному півпросторі

Вихідні дані для розрахунку приймаємо за рисунком 4.3.

Визначимо осідання одиночної палі в кущі.

Вертикальне навантаження на палю приймаємо середнім для куща при розрахунковому експлуатаційному значенні навантажень.

Вертикальне навантаження від колони $N_e = 1581,4$ кН.

Вага ростверку з грунтом на його уступах $G_p + G_{гр.} = 92,66$ (кН).

Середнє навантаження на палю

$$P = \frac{1581,4 + 92,66}{5} = 334,8\ (кН).$$

Середнє значення коефіцієнта Пуасона в межах напруженої зони

$$\nu = \frac{\sum \nu_i h_i}{\sum h_i} = \frac{0,34 \cdot 6,0 + 0,42 \cdot 3,4 + 0,41 \cdot (1,0 + 1,2)}{10,4 + 1,2} = 0,377.$$

Граничний опір палі $P_u = 1,25 F_d = 1,25 \cdot 752,5 = 940,6\ (кН)$.

Таблиця 4.9 – Визначення осідання фундаменту із забивних паль

b = 3,34	l = 3,34	(для ленточного ввести 10*b)		S = 0,01282
bk = 18	lk = 29	(для ленточного ввести 10*b)		
	p = 160,6	σzγ = 40,00	σzg0 = 24,05	

Z	γ	2Z/by	α	σzp	σzg	2Z/bk	αk	σzγ	σzp(cp)	σzγ(cp)	E	h	S
0		0	1	160,6	24,05	0	1	40					
0,668	18,3	0,4	0,9604	154,23991	36,2744	0,0742	0,999804	39,992	157,42	39,996	15400	0,668	0,004075
1,34	18,3	0,8	0,7997	128,43527	48,4988	0,1484	0,998457	39,938	141,34	39,965	15400	0,668	0,003518
2,00	18,3	1,2	0,6064	97,394884	60,7232	0,2227	0,994945	39,798	112,92	39,868	15400	0,668	0,002535
2,67	18,3	1,6	0,4492	72,148324	72,9476	0,2969	0,988496	39,54	84,772	39,669	15400	0,668	0,001565
3,34	18,3	2	0,3361	53,978897	85,172	0,3711	0,978636	39,145	63,064	39,343	15400	0,668	0,000823
4,01	18,3	2,4	0,2568	41,241051	97,3964	0,4453	0,965196	38,608	47,61	38,877	15400	0,668	0,000303
4,676	18,3	2,8	0,2007	32,23789	109,6208	0,5196	0,948271	37,931	36,739	38,269	15400	0,668	0
5,34	18,3	3,2	0,1603	25,748058	121,8452	0,5938	0,928162	37,126	28,993	37,529	15400	0,668	0
6,01	18,3	3,6	0,1305	20,963636	134,0696	0,668	0,905301	36,212	23,356	36,669	15400	0,668	0

Навантаження на палю на межі пропорційності

$$P_e = 0,5P_u = 0,5 \cdot 940,6 = 470,3\ (кН).$$

Модуль деформації грунту під нижнім кінцем палі в межах одного діаметру вище і чотирьох діаметрів нижче позначки нижнього кінця палі

$E_р$ = 15,4 МПа.

Осереднений у межах довжини палі модуль деформації грунтової основи

$$E_f = \frac{\sum E_i h_i}{\sum h_i} = \frac{16,0 \cdot 6,0 + 16,3 \cdot 3,4 + 15,4 \cdot 1,0}{10,4} = 16,0\ (МПа).$$

Допоміжні параметри

$$k_E = \frac{E_p}{E_f} = \frac{15,4}{16,0} = 0,96. \qquad r = \frac{r_0}{l} = \frac{0,15}{10,4} = 0,0144.$$

Модуль деформації матеріалу палі при класі бетону С20/25 E_0 = 30000 МПа. Коефіцієнт, що визначає частину навантаження, яка передається нижнім кінцем (за таблицею П.1.2 [44] в залежності від r та k_E) b = 0,048.

Коефіцієнт умов роботи грунту вздовж бічної поверхні палі за табл. П.1.5 [44] k_f = 1,4.

Коефіцієнт умов роботи глинистого грунту під нижнім кінцем палі за табл. П.1.8 [44] $k_р$ = 3,1.

Приведений модуль деформації грунту

$$E = (1-b)k_f E_f + k_p b E_p = (1-0,048) \cdot 1,4 \cdot 16,0 + 3,1 \cdot 0,048 \cdot 15,4 = 23,6\ (МПа).$$

Коефіцієнт осідання (за таблицею П.1.1 [44] в залежності від r та k_E)

c = 0,732.

Пружна складова осідання палі

$$s_e = 2(1+\nu)\frac{P_e c}{El} + \frac{P_e l(1+b)}{2E_0 F} = 2(1+0,377)\frac{470,3 \cdot 0,732}{23600 \cdot 10,4} + \frac{470,3 \cdot 10,4 \cdot (1+0,048)}{2 \cdot 30000 \cdot 10^3 \cdot 0,3^2} = 0,00481\ (м).$$

Осідання одиночної палі

$$s_1 = \frac{s_e P}{P_u - P} = \frac{0,00481 \cdot 334,8}{940,6 - 334,8} = 0,00266\ (м).$$

Визначимо осідання куща з 5 паль, взявши за основну центральну палю.

Палі мають такі відстані від центральної:

$a_1 = 0,919$ м – 4 шт.

Визначаємо коефіцієнти впливу сусідніх паль за табл. П.1.3 та П.1.4 [44] в залежності від приведеної відстані

$$\frac{a_1}{2r_0} = 0,919 / 0,3 = 3,06; \qquad w_1 = 0,439; \qquad k_{b1} = 1,0.$$

Осідання середньої палі від одиничного навантаження на j-ту палю

$$s_{1,1} = 2(1+\nu)\frac{w_j k_{bj}}{El} = 2(1+0,377)\frac{0,439 \cdot 1,0}{23600 \cdot 10,4} = 4,93 \cdot 10^{-6} (м).$$

Осідання пальового куща з 5 паль

$$s_i = s_1 + \sum_{j=1}^{n} p_j s_{ij} = 0,00266 + 4 \cdot 334,8 \cdot 4,93 \cdot 10^{-6} = 0,00524\ (м).$$

Допустиме значення осідання для будівель із залізобетонним каркасом і монолітними перекриттями S_u = 15 см [44]. Умова S=0,524 см < S_u= 15 см виконується.

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

Перевірка міцності ростверку на продавлювання.

В першому наближенні приймаємо висоту плитної частини ростверка 600 мм. Розрахункова схема ростверка наведена на рис. 4.5.

Граничні розрахункові значення навантаження на фундамент

N_m = 2113,0 кН; $M_{x,m}$ = 0 кНм; $M_{y,m}$ = 0 кНм.

В якості матеріалу фундаменту використовуємо бетон класу С20/25 та арматуру А400С (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 - Фізико-механічні характеристики матеріалів [62, 63]:

Бетон С20/25		Арматура			
		А400С		А240С	
$f_{ck,prism}$, 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_{c1}	0,9				

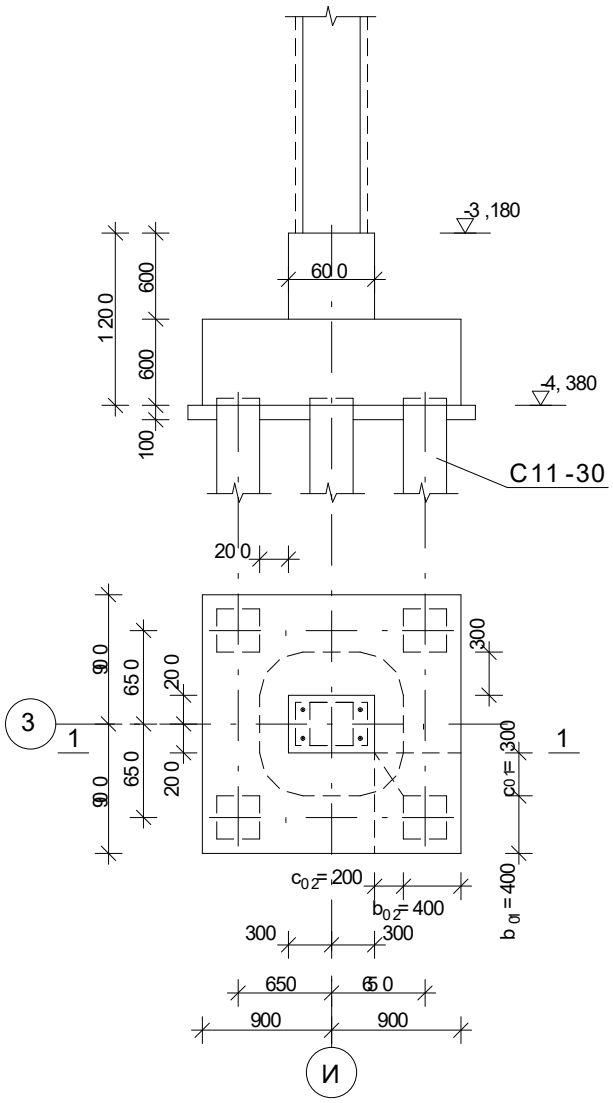


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема ростверку для фундамента з 5 паль

Під підошвою фундаменту передбачаємо бетонну підготовку, тому висоту захисного шару бетону можна прийняти рівною a_s = 50 мм, тоді робоча висота перерізу $z_s = h - a_s = 600 - 50 = 550\ (мм)$.

Висота фундаменту H_f = 1,2 м;

розміри підошви ростверку $l \times b$ = 1,8×1,8 м;

розміри підколонника в плані $h_c \times b_c$ = 0,6×0,4 м;

висота плитної частини h_1 = 600 мм.

Перевірка міцності ростверка на продавлювання.

Розрахункове навантаження на палю без урахування ваги ростверку

$$F_1 = \frac{N_m}{n} + \frac{M_{xm} y_{\max}}{\sum y_i^2} = \frac{2113,0}{5} = 422,6\ (кН).$$

Розрахункове значення продавлювальної сили

$$V_{Ed} = 2 \cdot 2F_1 = 2 \cdot 2 \cdot 422,6 = 1690,4\ (кН).$$

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

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

Перевіримо умову відсутності зрізу при продавлюванні поряд з підколонником (коефіцієнт $\boldsymbol{\beta}$ приймаємо рівним одиниці, оскільки згинальні моменти відсутні)

$$V_{Ed,\sigma} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} = \frac{1,0 \cdot 1690,4}{(0,6+0,4) \cdot 2 \cdot 0,55} = 1536,7\ (кПа) < V_{Rd,\max} = 3625,3\ кПа.$$

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. 4.5).

Продавлювальна сила

$$V_{Ed,red} = F_{per} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 1690,4\ (кН).$$

$u = 2c_1 + 2c_2 + \pi \cdot 2c_1 = 2 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,4 + 0,4 + \pi \cdot 2 \cdot 0,2 = 3,656$ (м).

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,3} = 0,138; \qquad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 < 2.$$

Відсоток армування робочої арматури, який не перевищує 0,02

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{11,31}{180 \cdot 55,0} = 0,00114 < 0,02;$$

$$V_{\min}\frac{2d}{a}=0,035\cdot k^{3/2}f_{ck}^{1/2}\frac{2\cdot 0,55}{0,3}=0,035\cdot 1,603^{3/2}18,5^{1/2}\cdot 3,67=1,121(МПа).$$

$$V_{Rd,c}=C_{Rd,c}\cdot k(100\rho_i f_{ck})^{1/3}\frac{2d}{a}=0,138\cdot 1,603(100\cdot 0,00107\cdot 18,5)^{1/3}\cdot 3,67=$$
$$=1,019(МПа)<V_{\min}=1,121(МПа).$$

Перевіряємо умову міцності на зріз при продавлюванні при відсутності поперечного армування

$$V_{Ed,\sigma}=\frac{\beta V_{Ed,red}}{ud}=\frac{1,0\cdot 1690,4}{3,656\cdot 0,55}=840,7\ (кПа)<V_{Rd,c}=1121\ кПа.$$

Отже, міцність на продавлювання забезпечена.

Розрахунок на продавлювання кутовою палею.

Вага ростверку з ґрунтом на його уступах $G_{р+гр.}$= 102,0 (кН).

Розрахункове навантаження на палю з урахуванням ваги ростверку

$$F_1=\frac{N_{bot}}{n}+\frac{M_{xbot}y_{\max}}{\sum y_i^2}=\frac{2113,0+102,0}{5}=443,0\ (кН).$$

Розрахункові параметри (позначення згідно з рис. 4.5):

b_{01} = 0,4 м; c_{01} = 0,3 м; b_{02} = 0,4 м; c_{02} = 0,2 м;

h_{01}/c_{01} = 550/300 = 1,83; h_{01}/c_{02} = 550/200 = 2,75,

Коефіцієнти β_1 = 0,89; β_2= 1.

Граничне навантаження на палю з умови продавлювання

$$F_{ai}=V_{Rd,c}\cdot h_{01}\left[\beta_1\left(b_{02}+\frac{c_{02}}{2}\right)+\beta_2\left(b_{01}+\frac{c_{01}}{2}\right)\right]=$$
$$=1121\cdot 0,55\left[0,89\left(0,4+\frac{0,2}{2}\right)+1,0\cdot\left(0,4+\frac{0,3}{2}\right)\right]=613,5\ (кН)>F_1=443,0\ кН.$$

Міцність на продавлювання кутовою палею забезпечена.

Розрахунок міцності нахилених перерізів ростверку на дію поперечних сил.

Загальне максимальне розрахункове навантаження на одну палю з урахуванням ваги ростверка

$$V_{Ed}=2F_1=2\cdot 443,0=886,0\ (кН).$$

Мінімальна ширина перерізу балки b_w = 1800 (мм).

Максимально допустиме значення поперечної сили, що може витримати переріз $V_{Rd.\max} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot 0,55 \cdot 0,556 \cdot 13,05 \cdot 10^3 = 3591,6\ (кН)$.

Перевіряємо умову міцності

$V_{Ed} = 886\ кН < V_{Rd.\max} = 3591,6\ кН$. Розміри перерізу достатні.

Визначимо необхідність розрахунку поперечних стержнів.

Відсоток армування робочої арматури

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{11,31}{180 \cdot 55,0} = 0,00114 < 0,02.$$

Визначаємо максимальну поперечну силу, що може витримати переріз без поперечного армування з урахуванням коефіцієнта $\beta = a/2d = 300/2 \cdot 550 = 0,273$

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

$$= 0,138 \cdot 1,603(100 \cdot 0,00114 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 1,8 \cdot 0,55 / 0,273 = 1,029\ (МН);$$

$$V_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,603^{3/2} 18,5^{1/2} = 0,305(МН).$$

$$V_{Rd,c} = (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}]b_w d / \beta = (0,305 + 0,15 \cdot 0)1,8 \cdot 0,55 / 0,3 = 1,006\ (МН).$$

Приймаємо більше значення $V_{Rd,c} = 1,029\ (МН)$.

$V_{Ed} = 886,0\ кН < V_{Rd,c} = 1029\ кН$. Умова міцності на зріз від поперечної сили виконана.

Розрахунок ростверку на згин.

Визначаємо згинальні моменти, що діють в перерізі 1-1 (рис. 4.5).

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

$$M = 2F_1(0,65 - 0,4/2) - \frac{G_{р+гр.}(0,9 - 0,4/2)^2}{1,8 \cdot 2} = 2 \cdot 443,0 \cdot 0,45 - \frac{102,0 \cdot 0,7^2}{1,8 \cdot 2} = 384,8\ (кНм).$$

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.

$$x_1 = x_{lu} = z_s \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{so}} = 0,55 \frac{3,1}{3,1 + 1,729} = 0,353\ (м);$$

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

Визначаємо розрахункове значення величини стиснутої зони x_1

$$x_1 = \frac{d \cdot q_c - \sqrt{d^2 \cdot {q_c}^2 - 4k_\lambda q_c M}}{2q_c k_\lambda}, \text{ [м]}, \qquad (4.6)$$

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

$$q_c = \frac{1}{2} f_{cd} \cdot \gamma_{c1} \cdot b(1+\lambda) = \frac{1}{2} 13{,}05 \cdot 10^3 \cdot 1{,}8 \cdot 1{,}0(1+0{,}797) = 21{,}1 \cdot 10^3 (кН/м);$$

$$x_1 = \frac{0{,}55 \cdot 21{,}1 \cdot 10^3 - \sqrt{0{,}55^2 \left(21{,}1 \cdot 10^3\right)^2 - 4 \cdot 0{,}451 \cdot 21{,}1 \cdot 10^3 \cdot 384{,}8}}{2 \cdot 0{,}451 \cdot 21{,}1 \cdot 10^3} =$$

$$= 0{,}0341\,(м).$$

Перевіряємо умову $x_1 \le x_{lu}$; $x_1 = 0{,}0341\,м \le x_{lu} = 0{,}353\,м.$

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

Знаходимо площу армування

$$A_s = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_1 (1+\lambda)}{2 f_{yd}} = \frac{13{,}05 \cdot 10^3 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}0341(1+0{,}797)}{2 \cdot 363 \cdot 10^3} = 0{,}001983(м^2) =$$

$$= 19{,}83\,(см^2).$$

В поперечному напрямку армування приймаємо як в поздовжньому 10Ø16 А400С $A_s = 20{,}11$ см^2.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі практичної реалізації конструктивних рішень стосовно влаштування та експлуатації комплексного фундаменту з паль та ростверку підвищеної площі. На будівельно-монтажний персонал, який здійснює влаштування фундаменту, впливають такі шкідливі виробничі фактори [64, 65]:

- фізичні: рухомі машини і механізми; вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються; незахищені рухомі елементи виробничого обладнання; обвалення гірських порід (ґрунтів); підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищена та понижена рухливість повітря; підвищена та понижена вологість повітря; підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів; підвищена запиленість повітря робочої зони; недостатня освітленість робочої зони; недостатність природного освітлення; небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень вібрації; розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги); гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;

- психофізіологічні: фізичні перевантаження (динамічні); нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

За наявності небезпечних та шкідливих виробничих факторів, зазначених вище, безпека улаштування штучних основ і фундаментів повинна бути забезпечена відповідно до вимог [66] і проектно-технологічної документації (ПОБ, ПВР тощо) на виконання цих робіт зокрема: дотримання вимог допуску

працюючих до виконання робіт; дотримання безпечних способів і методів виконання робіт з улаштування штучних основ і фундаментів; вибір засобів механізації для виконання робіт; розроблення та дотримання схем монтажу, демонтажу, переміщення по будівельному майданчику засобів механізації; забезпечення безпечної експлуатації бурового інструменту, палебійних механізмів, віброзанурювачів, механізмів із вдавлювання паль; забезпечення безпеки занурення віброзанурювачів, опускних колодязів, забивання та витягання обсадних труб; забезпечення безпечного виконання робіт у зонах обводнених ґрунтів, штучного закріплення ґрунтів, діючих підземних комунікацій; забезпечення безпеки праці під час виконання робіт на одному будівельному майданчику кількома машинами, механізмами; забезпечення безпеки праці під час використання спеціального обладнання для зведення протифільтраційних завіс, споруд типу «стіна у ґрунті», хімічного, термічного та інших видів закріплення ґрунтів; визначення номенклатури та забезпечення необхідної кількості засобів колективного та індивідуального захисту працівників.

До початку робіт наказом роботодавця повинна бути призначена особа, відповідальна за безпечне виконання робіт. Ця особа повинна вивчити геологічні та гідрогеологічні умови, розміщення підземних та наземних комунікацій.

Під час виконання робіт на одному робочому майданчику двома механізмами (бурова установка і кран) відстань між ними повинна бути не менше довжини стріли крана або башти бурильної установки плюс 5,0 м. За неможливості дотримання цих умов під час монтажу арматурного каркаса палі машиніст бурової установки та бурильники, які не беруть участі у монтажі каркаса, повинні вийти за межі небезпечної зони. Після завершення монтажу каркаса кран необхідно вивести з небезпечної зони. У разі виникнення аварійної ситуації під час забивання бурових паль бурильник повинен залишити небезпечну зону, а машиніст – діяти відповідно до інструкції з експлуатації установки.

На робочому місці необхідно мати засоби колективного захисту, а також аптечку. Заборонено перебування робітників без спецодягу і засобів індивідуального захисту в атмосфері, що містить пил, туман чи пару хімічних речовин.

Монтаж, демонтаж і переміщення палебійних і бурових машин і устаткування необхідно виконувати відповідно до ПВР бригадою робітників за участю машиніста і його помічника під керівництвом особи, яка відповідає за безпечне виконання цих робіт. Виконання зазначених робіт забороняється за наявності вітру швидкістю більше ніж 15 м/с, а також під час грози. На будівельному майданчику, де виконуються роботи з монтажу та демонтажу машин і обладнання, безпека праці повинна бути забезпечена на всіх етапах робіт: до початку робіт повинні бути визначені і доведені до всіх виконавців робіт значення сигналів та засобів взаємодії, що подаються під час виконання робіт; заборонено перебування під щоглою бурової установки в період її монтажу або демонтажу; дозволено виконання робіт тільки вдень і на спланованому майданчику з твердою основою; металоконструкції повинні бути виставлені на інвентарні опори з використанням дерев'яних підкладок; всі з'єднання конструкцій повинні бути виконані з використанням передбаченої кількості кріпильних елементів.

Технічний стан палебійних і бурових машин (надійність кріплення вузлів, справність зв'язків і робочих настилів) необхідно перевіряти перед початком кожної зміни. Перед підніманням конструкцій палебійних чи бурових машин їх елементи необхідно надійно закріпити, а інструмент і незакріплені предмети видалити з цих конструкцій. Під час піднімання конструкції, зібраної у горизонтальному положенні, необхідно припинити всі інші роботи в радіусі, що дорівнює довжині конструкції плюс 5 м.

Перед початком бурових чи палебійних робіт необхідно перевірити: справність звукових і світлових сигнальних пристроїв; справність усіх механізмів і металоконструкцій; справність пристроїв обмеження висоти піднімання вантажозахоплювального органа; стан канатів для піднімання

механізмів; стан вантажозахоплювальних пристроїв.

Під час роботи палебійних чи бурових машин особи, що безпосередньо не беруть участі у цих роботах, повинні перебувати на відстані не менше ніж 15 м. Перед початком огляду, змащування або чищення, усунення будь-яких несправностей бурової машини чи копра буровий інструмент чи палебійний механізм повинен бути опущений, поставлений у стійке положення, а двигун вимкнутий. Опускання та піднімання бурового інструменту чи палі виконується після подачі попереджувального сигналу. Під час піднімання або опускання бурового інструменту забороняється виконувати на копрі чи буровій машині роботи, що не стосуються зазначених процесів.

Піднімання палі (шпунта) та палебійного молота необхідно виконувати окремими гаками. За наявності на копрі тільки одного гака для встановлення палі палебійний молот необхідно зняти з гака і закріпити надійним стопорним болтом. Під час піднімання палі необхідно запобігати розгойдуванню і крутінню за допомогою розчалок. Одночасне піднімання палебійного молота і палі не допускається. Палі дозволяється підтягувати по прямій лінії у межах поля зору машиніста копра тільки через відвідний блок, закріплений в основі копра. Забороняється підтягувати копром палі на відстань більше ніж 10 м з відхиленням їх від поздовжньої осі. Встановлення паль і палебійного устаткування виконується без перерви до повного їх закріплення. Залишати їх у підвішеному стані не допускається. Перед різанням забитих у ґрунт паль необхідно вжити заходів, що унеможливлюють падіння частини палі, що зрізується. Інженерні мережі та комунікації, що розміщені ближче ніж 2,0 м від свердловини, на період виконання робіт з улаштування паль необхідно відключити.

5.1.1 Електробезпека

Живлення силового будівельного обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні,

так як роботи виконуються назовні приміщень.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [67, 68]:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту. Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками. Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої;

плакати і знаки безпеки.

Експлуатація ручного електроінструменту дозволяється у разі дотримання таких вимог: перед кожною видачею інструменту в роботу повинна бути перевірена його комплектність та надійність кріплення деталей, справність захисного кожуху, кабелю (рукава); перед початком роботи повинна бути перевірена справність вимикача та машини на холостому ходу; під час перерв у роботі, після закінчення роботи, під час змащування, очищення, заміни робочого елемента інструменту ручні машини необхідно вимкнути та від'єднати від електричної мережі; ручні машини, маса яких із розрахунку на руки працюючого, перевищує 10 кг, повинні мати пристрій для підвішування; під час роботи з ручними машинами на висоті необхідно використовувати засоби підмощування (помости); нагляд за експлуатацією ручних машин необхідно доручати спеціально призначеній для цього особі.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [69]. Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на постійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура,°С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	IIб	16-27	70 при 25°С	0,2-0,5
Холодний	IIб	15-21	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [70]: в холодну пору року використання калорифера; в літню пору застосування вентиляторів обдуву; провітрювання приміщення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та цемент, їх ГДК [69] наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м3		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4
Цемент	6		4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [70]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії; встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [71] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г» (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалент-ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природнє Ен пр	Суміс не Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	б	малий	середній	-	200	3	1,8

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати

головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» [72] (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньогеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні. Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи

випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці за [64]. Робота монтажника будівельних конструкцій потребує значних зусиль за показниками важкості та напруженості праці:

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – шкідливий 3.1 (важка):

- загальні енергозатрати організму (кг/м) – до 348;

- зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) - 18 000; при загальному навантажені (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) - 61 600;

- маса вантажу, що постійно підіймається – до 35 кг.

- стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук) - до 60 000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30 000;

- статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 140 000; за участю мязів тулуба та ніг – до 200 000.

- робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% до 50% часу зміни;

- нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 101-300 разів;

- переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 12.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

- зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

- сприймання інформації та їх оцінка - сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

- розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання;

- характер виконуваної роботи - робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності

Сенсорні навантаження:

- зосередження (%за зміну) - більше 75;

- щільність сигналів (звукові за1 год) - більше 300;

- навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження:

- ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи;

- ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

- ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

- тривалість робочого дня – 8 год;

- змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Розрахунок пальових фундаментів при сейсмічному навантаженні

Розрахунок виконується у припущенні, що сейсмічність території складає 6 балів. Аварійне сполучення навантажень: N_a = 1900 кН; M_a = 130 кНм; Q_a = 50 кН.

5.3.1 Визначення допустимого навантаження на палі

Для основного сполучення навантажень

Пальовий фундамент на основне сполучення навантажень підібраний у п. 4.2.4. Пальовий фундамент з паль С11-30 складається з 5 паль. Розрахункова схема паль наведена на рис. 4.3, 4.5. Допустиме навантаження на палю $N = F_d / \gamma_k = 752,5 / 1,4 = 537,5 \ \ (кН)$.

Для аварійного сполучення навантажень

При визначенні вертикальної складової навантаження на палю [44] додатково враховуються коефіцієнти γ_{eq1}, γ_{eq2}, γ_{eq3}.

За табл. Н.7.1 [44] при сейсмічності території 6 балів коефіцієнт умов роботи ґрунту під нижнім кінцем палі для глинистих ґрунтів з показником текучості $I_L = 0,31$ $\gamma_{eq1} = 0,95$; коефіцієнт умов роботи по боковій поверхні палі для глинистих ґрунтів з показником текучості $0 < I_L < 0,75$ $\gamma_{eq2} = 0,85$. $\gamma_{eq3} = 0,9$ (п.Н.7.1 [44]).

Коефіцієнт деформації α_ϵ при улаштуванні палі з бетону класу С16/20 знаходимо за формулою

$$\alpha_\epsilon = \sqrt[5]{\frac{Kb_p}{\gamma_c EI}} = \sqrt[5]{\frac{12500 \cdot 0,95}{3 \cdot 27,0 \cdot 10^6 \cdot 675 \cdot 10^{-6}}} = 0,737 \ (м^{-1}),$$

при умовній ширині палі $b_p = 1,5d+0,5 = 1,5 \cdot 0,3+0,5 = 0,95$ (м),

моменті інерції перерізу палі $I = d^4/12 = 0,3^4/12 = 0,000675$ ($м^4$),

коефіцієнт пропорційності за табл. Н.8.1 [44] для тугопластичного суглинку $K = 12500$ кН/$м^4$.

Розрахункова довжина палі, на якій не враховується опір ґрунту по боковій поверхні при сейсмічних впливах

$$h_{d.} = \frac{a_1(H + \alpha_\epsilon a_3 M)}{b_p\left(\frac{a_2}{\alpha_\epsilon}\gamma_I tg\phi_I + c_I\right)}. \qquad (6.1)$$

Приймаємо горизонтальне навантаження на одну палю

$H = Q_a/5 = 50/5 = 10$ (кН).

Значення характеристик міцності ґрунтів ІГЕ №3 $\varphi_I = 18^0$; $c_I = 16,7$ (кПа).

$\varphi_I=18^0-2=16^0$ (за п. Н.7.4 [44]), для низького ростверку $a_1 = 1,2$: $a_2 =1,2$; $a_3 =0$

$$h_d = \frac{a_1(H+\alpha_\epsilon a_3 M)}{b_p\left(\frac{a_2}{\alpha_\epsilon}\gamma_I tg\varphi_I + c_I\right)} = \frac{1,2\cdot 10}{0,95\left(\frac{1,2}{0,737}\cdot 18,1\cdot tg16^0 + 16,7\right)} = 0,502\ (м)$$

$$< 3/\alpha_\epsilon = 3/0,737 = 4,1\ (м).$$

Приймаємо $h_d = 0,502$ м.

Опір по боковій поверхні палі визначаємо в табличній формі (таблиця 5.5) за розрахунковою схемою рис. 4.3.

Тоді несуча здатність палі на вдавлюючі навантаження при сейсмічних впливах

$$F_{eq} = \gamma_C\left(\gamma_{cR}R\cdot A\cdot\gamma_{eq1}\cdot\gamma_{eq3} + u\cdot\sum_{h_d}^{l}\gamma_{eq2}\gamma_{cf}f_i h_i\right) = 1(1\cdot 3670\cdot 0,3^2\cdot 0,95\cdot 0,9 +$$

$$+1,2\cdot 289,9) = 282,4 + 347,9 = 630,3\ (кН).$$

Допустиме вертикальне навантаження на палю при аварійному сполученні N = 630,3/1,4 = 450,2 (кН).

Таблиця 5.5 - Розрахунок опору по бічній поверхні забивної палі при сейсмічних впливах

H_i, м	f_i, м	h_i, м	γ_{eq2}	γ_{eq2} $f_i\cdot h_i$, кН/м
2,63	0	0,5		0
3,63	23,5	1,5	0,85	30
5,38	27	2,0	0,85	45,9
7,38	28	2,0	0,85	47,6
9,23	41	1,7	0,85	59,2
10,93	43	1,7	0,85	62,1
12,28	53	1,0	0,85	45,1

Σ= 289,9

5.3.2 Розрахунок пальового фундамента на вертикальну і моментну складову навантажень

Потрібна кількість паль n = 1900·1,1/450,2 = 4,64 (шт.).

Залишаємо кущ із 5 паль, прийнятий за основним сполученням навантажень.

Виконаємо перевірку навантаження на палю з урахуванням фактичної ваги ростверку і паль та наявності згинального моменту. Вага палі $G_{палі}$ = $0{,}3^2 \cdot 10{,}4 \cdot 25{,}0 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 = 28{,}3$ (кН).

Вага ростверку з ґрунтом на його уступах $G_p = 1{,}8 \cdot 1{,}8 \cdot 1{,}3 \cdot 20 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 =$ $= 102{,}0$ (кН).

Загальне максимальне розрахункове навантаження на одну палю з урахуванням дії згинального моменту

$$N = \frac{N^d + G_p + G_{паль}}{n} \pm \frac{M_x y_{\max}}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_y x_{\max}}{\sum x_i^2} =$$

$$\frac{1900{,}0 + 102{,}0 + 28{,}3 \cdot 5}{5} \pm \frac{(50{,}0 \cdot 1{,}3 + 130{,}0) \cdot 0{,}65}{4 \cdot 0{,}65^2} =$$

$=428{,}7 + 75{,}0 = 503{,}7$ (кН) $< \cdot 1{,}2 \cdot 450{,}2 = 540{,}2$ (кН).

5.3.3 Розрахунок пальового фундаменту на горизонтальну складову навантажень

Розміщення паль багаторядне, жорстке з’єднання голови палі з ростверком.

Товщина l_m шарів ґрунту, що переважно визначають роботу палі на горизонтальне навантаження

$$l_m = 2(d + 1) = 2(0{,}3 + 1) = 2{,}6(м),$$

На глибину 2,6 м розміщений один ґрунт. Приймаємо осереджене значення коефіцієнту пропорційності за табл. Н.8.1 [44] K = 12500 кН/м^4.

Коефіцієнт деформації $\alpha_\epsilon = 0{,}737$ м$^{-1}$.

Приведена довжина палі

$$\overline{l} = l\alpha_\epsilon = 10{,}4 \cdot 0{,}737 = 7{,}66 > 4.$$

1. Розрахунок переміщення голови палі.

За табл. 5 дод.1 [44] для випадку обпирання паль на нескельний ґрунт і при $\overline{l} \geq 4$ коефіцієнти $A_0 = 2{,}441$; $B_0 = 1{,}621$; $C_0 = 1{,}751$.

Переміщення в рівні голови палі від одиничних навантажень

$$\epsilon_{HH} = \frac{1}{\alpha_\epsilon{}^3 EI} A_0 = \frac{1}{0,737^3 \cdot 27,0 \cdot 10^6 \cdot 675 \cdot 10^{-6}} \cdot 2,441 = 0,000335 = 3,35 \cdot 10^{-4} (м / кН);$$

$$\epsilon_{MH} = \frac{1}{\alpha_\epsilon{}^2 EI} B_0 = \frac{1}{0,737^2 \cdot 27,0 \cdot 10^6 \cdot 675 \cdot 10^{-6}} \cdot 1,621 = 0,000164 = 1,64 \cdot 10^{-4} (1 / кН);$$

$$\epsilon_{MM} = \frac{1}{\alpha_\epsilon EI} C_0 = \frac{1}{0,737 \cdot 27,0 \cdot 10^6 \cdot 675 \cdot 10^{-6}} \cdot 1,751 = 0,0001303 = 1,30 \cdot 10^{-4} (рад / кНм).$$

За умови жорсткого з'єднання голови палі з ростверком реактивний момент, що діє з боку ростверку на голову палі.

$$M_f = -\frac{\epsilon_{MH}}{\epsilon_{MM}} H = -\frac{1,64 \cdot 10^{-4}}{1,30 \cdot 10^{-4}} \cdot 10 = -12,6 \ (кНм).$$

Визначаємо переміщення голови палі

$$u_0 = H_0 \epsilon_{HH} + M_0 \epsilon_{HM} = 10,0 \cdot 3,35 \cdot 10^{-4} - 12,6 \cdot 1,64 \cdot 10^{-4} = 0,128 \cdot 10^{-2} (м) = 0,128 \ см < 1 \ см.$$

Поворот голови палі відсутній.

Переміщення палі не перевищує гранично допустиме.

2. Розрахунок стійкості ґрунту основи, що оточує палю

Оскільки $\overline{l} = 7,66 > 2,5$, тиск σ_z , що чинить бокова поверхня палі на ґрунт, визначаємо на глибині

$$z = 0,85 / \alpha_\epsilon = 0,85 / 0,737 = 1,15 \ (м).$$

За табл. 4 дод.1 [44] при $\overline{z} = 0,85$ коефіцієнти $A_1 = 0,997$; $B_1 = 0,799$; $C_1 = 0,320$; $D_1 = 0,085$.

Враховуючи, що $\psi_0 = 0$, обчислюємо тиск σ_z

$$\sigma_z = \frac{K}{\alpha_\epsilon} \cdot \overline{z} \left(u_0 A_1 + \frac{M_0}{\alpha_\epsilon{}^2 EI} C_1 + \frac{H_0}{\alpha_\epsilon{}^3 EI} D_1 \right) =$$

$$= \frac{12500}{0,737} \cdot 0,85 \left(0,00128 \cdot 0,997 - \frac{12,6}{0,737^2 \cdot 27,0 \cdot 675} \cdot 0,32 + \frac{10,0}{0,737^3 \cdot 27,0 \cdot 675} \cdot 0,085 \right) = 14,2 \ (кПа).$$

Переріз палі на глибині 1,15 м знаходиться у суглинку ІГЕ 3 з характеристиками ; γ_I=18,1 кН/м^3; c_I= 16,7 кПа; φ_I=18^0.

Пальовий фундамент з забивних паль не є опорою розпірної споруди, отже

$\xi = 0,6$; $\eta_1 = 1$.

Оскільки все горизонтальне навантаження спричинене змінними впливами, то $\eta_2 = 1$.

Визначимо граничний5 тиск, який може сприйняти ґрунт на глибині 1,15 м від низу ростверку

$$\sigma_u = \eta_1\eta_2 \frac{4}{\cos\varphi_I}(\gamma_I z \cdot tg\varphi_I + \xi c_I) = 1\cdot 1\cdot \frac{4}{\cos 18^0}(18{,}1\cdot 1{,}15\cdot tg18^0 + 0{,}6\cdot 16{,}7) = 70{,}6\ (кПа).$$

Умова стійкості ґрунту $\sigma_z < \sigma_u$ виконується.

Отже, пальовий фундамент, підібраний на основне сполучення навантажень, задовільняє умови стійкості при аварійному сполученні.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Розрахунок варіанту фундаменту з врахуванням результатів дослідження

В підрозділі 4.2 виконаний розрахунок пальового фундаменту з забивних паль С11-30, розрахованих, згідно з вказівками норм [44]. Потрібна кількість паль 5 штук. Розглянемо цей базовий традиційний варіант як варіант 1. Робоче креслення фундамента наведене на рис. 6.1.

Розглянемо для порівняння варіант з використанням комплексного фунламента: варіант 2 – фундамент з паль С11-30 у кількості 4 шт. з ростверком 1,8х1,8 м.

Розміщення паль С11-30 у ґрунті наведено на рис. 4.3. У п. 4.2.4 визначена несуча здатність такої палі і допустиме навантаження на неї N = 537,5 кН.

Виконаємо перерахунок несучої здатності фундамента у варіанті 2, враховуючи сумісну роботу паль і ростверку у складі пальового фундаменту.

Для паль з довжиною 11 м при кількості паль 4 шт. і розмірах ростверка 1,8х1,8 м (палі розміщені з кроком 1,3 м) реалізація несучої здатності палі може бути прийнята 0,815 (рис. 3.10, табл. 3.2), а реалізація тиску під підошвою ростверка складає 0,609 (рис. 3.13, табл. 3.2).

Осереднене значення питомої ваги грунту вище підошви ростверку:

$$\gamma'_{II} = 16,7 \frac{кН}{м^3}.$$

Розрахунковий опір ґрунту під підошвою ростверку:

$$R = \frac{1,2 \cdot 1,1}{1,1}(0,56 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 18,2 + 3,24 \cdot 1,38 \cdot 16,7 + 2,24 \cdot 1,08 \cdot 16,7 + 5,84 \cdot 25,0) = 335,3\ (кПа).$$

Навантаження, що може взяти на себе ростверк

$N_{роств}$ = 335,3х(1,8х1,8-0,09х4)х0,609х1,3 = 764,5 (кН).

Навантаження, яке можуть сприйняти палі

$N_{паль}$ = 537,5х4х0,815 = 1752,3 (кН).

Сумарна несуча здатність куща 2517 кН $\geq 2113,0 + 141,6 \cdot 4/5 + 102,0$= 2328 (кН).

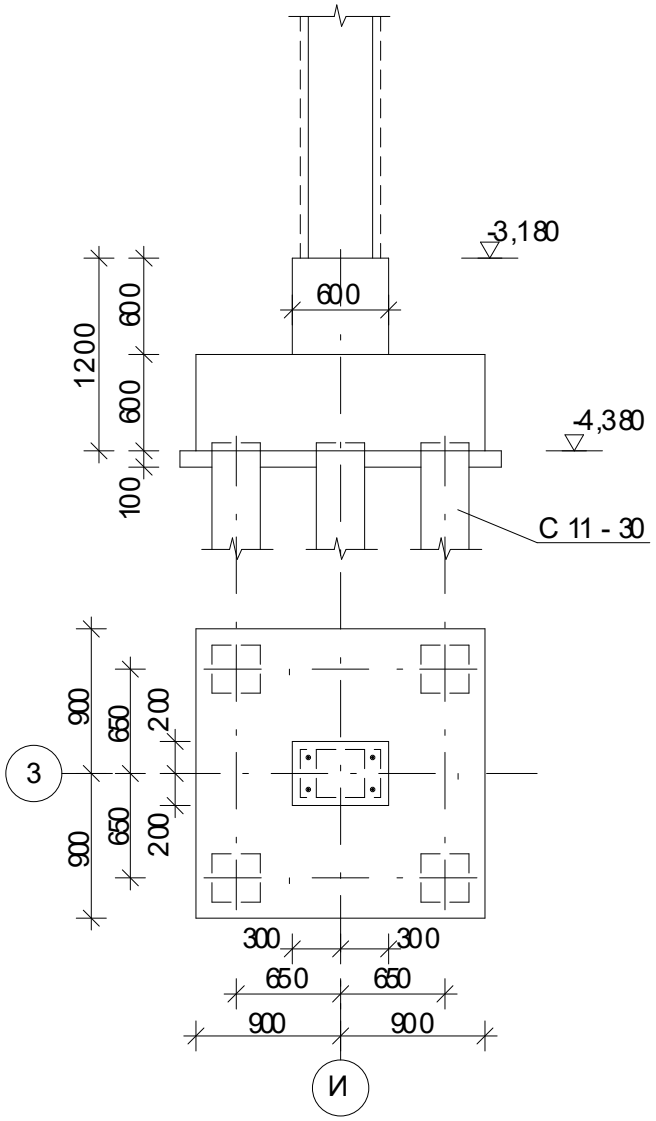


Рисунок 6.1 – Робоче креслення фундамента у варіанті 1 (базовий варіант, розрахований за вимогами норм

Розміщення паль у плані і розрахункова схема ростверку показана на рисунку 6.2.

Розрахунок ростверку пальового фундаменту за варіантом 2 з врахуванням сумісної роботи паль і ростверку за міцністю тіла.

В якості матеріалу ростверку використовуємо бетон класу С20/25 та арматуру А400С. Характеристики матеріалів наведені у п. 4.2.6.

Граничне розрахункове значення навантаження на фундамент N_m = 2113,0 кН.

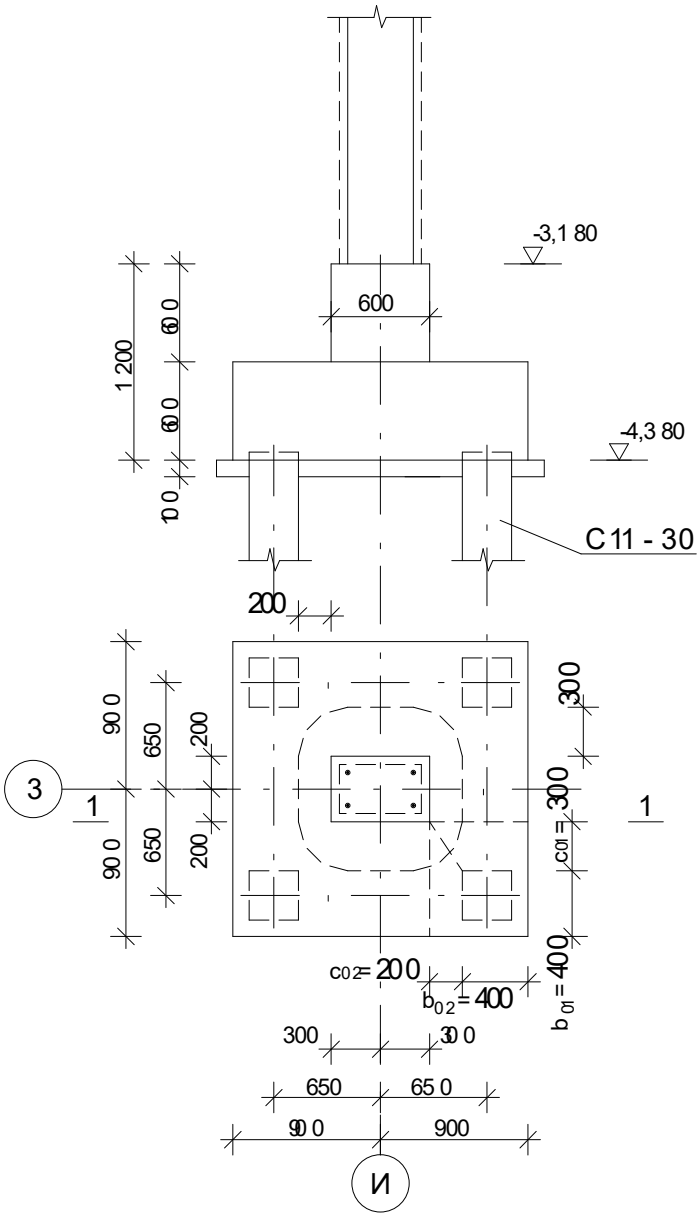


Рисунок 6.2 – Робоче креслення фундамента у варіанті 2 з врахуванням сумісної роботи паль і ростверку у кущі (комплексний фундамент)

Висота фундаменту $H_f = 1,2$ м; розміри підошви ростверка 1,8×1,8 м; розміри підколонника в плані h_c x $b_c = 0,4×0,6$ м;

висота плитної частини $h_1 = 600$ мм.

Перевірка міцності ростверка на продавлювання.

Розрахункове навантаження на палю без урахування ваги ростверку

$$F_1 = \frac{N_m}{n} + \frac{M_{xm} y_{\max}}{\sum y_i^2} = \frac{2113,0}{4} = 528,3\ (кН).$$

Розрахункове значення продавлювальної сили

$$V_{Ed} = 2 \cdot 2F_1 = 2 \cdot 2 \cdot 528,3 = 2113,0\,(кН).$$

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

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

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

$$V_{Ed,\sigma} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} = \frac{1,0 \cdot 2113,0}{(0,6+0,4) \cdot 2 \cdot 0,55} = 1920,9\,(кПа) < V_{Rd,\max} = 3625,3\,кПа.$$

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 підошвою ростверка в межах контрольного периметра

$V_{Ed} = N_m\, n_1/n = 2113,0 - (764,5/1,8^2)(0,6 \cdot 1,0 + 0,4 \cdot 0,6 + \pi \cdot 0,2^2) = 2113,0 - 227,8$ =1885,2 (кН),

$u = 2c_1 + 2c_2 + \pi \cdot 2c_1 = 2 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,4 + 0,4 + \pi \cdot 2 \cdot 0,2 = 3,656$ (м).

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,3} = 0,138; \qquad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 < 2.$$

Відсоток армування робочої арматури, який не перевищує 0,02

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{11,31}{180 \cdot 55,0} = 0,00114 < 0,02;$$

$$V_{\min} \frac{2d}{a} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \frac{2 \cdot 0,55}{0,3} = 0,035 \cdot 1,603^{3/2} 18,5^{1/2} \cdot 3,67 = 1,121(МПа).$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_i f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = 0,138 \cdot 1,603(100 \cdot 0,00107 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 3,67 =$$

$$= 1,019(МПа) < V_{\min} = 1,121(МПа).$$

Перевіряємо умову міцності на зріз при продавлюванні при відсутності поперечного армування

$$V_{Ed,\sigma} = \frac{\beta V_{Ed,red}}{ud} = \frac{1,0 \cdot 1885,2}{3,656 \cdot 0,55} = 937,5\,(кПа) < V_{Rd,c} = 1121\,кПа.$$

Отже, міцність на продавлювання забезпечена.

Розрахунок на продавлювання кутовою палею.

Вага ростверку з ґрунтом на його уступах $G_{р+гр.}$= 102,0 (кН).

Розрахункове навантаження на палю з урахуванням ваги ростверку

$$F_1 = \frac{N_{bot}}{n} + \frac{M_{xbot} y_{\max}}{\sum y_i^2} = \frac{2113,0 + 102,0}{4} = 553,8\,(кН).$$

Розрахункові параметри (позначення згідно з рис. 6.2):

b_{01} = 0,4 м; c_{01} = 0,3 м; b_{02} = 0,4 м; c_{02} = 0,2 м;

h_{01}/c_{01} = 550/300 = 1,83; h_{01}/c_{02} = 550/200 = 2,75,

Коефіцієнти β_1 = 0,89; β_2= 1.

Граничне навантаження на палю з умови продавлювання

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

$$= 1121 \cdot 0,55\left[0,89\left(0,4 + \frac{0,2}{2}\right) + 1,0 \cdot \left(0,4 + \frac{0,3}{2}\right)\right] = 613,5\,(кН) > F_1 = 553,8\,кН.$$

Міцність на продавлювання кутовою палею забезпечена.

Розрахунок міцності нахилених перерізів ростверку на дію поперечних сил.

Загальне максимальне розрахункове навантаження на одну палю з урахуванням ваги ростверка

$$V_{Ed} = 2F_1 = 2 \cdot 553,8 = 1107,6\,(кН).$$

Мінімальна ширина перерізу балки b_w = 1800 (мм).

Максимально допустиме значення поперечної сили, що може витримати переріз $V_{Rd.\max} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot 0,55 \cdot 0,556 \cdot 13,05 \cdot 10^3 = 3591,6\,(кН)$.

Перевіряємо умову міцності

$V_{Ed} = 1107,6\ кН < V_{Rd.\max} = 3591,6\ кН.$ Розміри перерізу достатні.

Визначимо необхідність розрахунку поперечних стержнів.

Відсоток армування робочої арматури

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{20,11}{180 \cdot 55,0} = 0,00203 < 0,02.$$

Визначаємо максимальну поперечну силу, що може витримати переріз без поперечного армування з урахуванням коефіцієнта $\beta = a/2d = 300/2 \cdot 550 = 0,273$

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

$$= 0,138 \cdot 1,603(100 \cdot 0,00203 \cdot 18,5)^{1/3} \cdot 1,8 \cdot 0,55 / 0,273 = 1,247\ (МН);$$

$$V_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,603^{3/2} 18,5^{1/2} = 0,305(МН).$$

$$V_{Rd,c} = (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}]b_w d / \beta = (0,305 + 0,15 \cdot 0)1,8 \cdot 0,55 / 0,3 = 1,006\ (МН).$$

Приймаємо більше значення $V_{Rd,c} = 1,247\ (МН)$.

$V_{Ed} = 1107,6\ кН < V_{Rd,c} = 1247\ кН$. Умова міцності на зріз від поперечної сили виконана.

Розрахунок ростверку на згин.

Визначаємо згинальні моменти, що діють в перерізі 1-1 (рис. 6.2).

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

Загальне максимальне розрахункове навантаження на одну палю

$F_1 = 553,8 \cdot 0,815 = 451,3\ (кН)$.

Згинальний момент від реакції палі біля грані підколонику

$$M = 2F_1(0,65 - 0,4/2) - \frac{(G_{p+гр.} - 764,5)(0,9 - 0,4/2)^2}{1,8 \cdot 2} = 2 \cdot 451,3 \cdot 0,45 - \frac{(102,0 - 764,5) \cdot 0,7^2}{1,8 \cdot 2} =$$

$$= 496,3\ (кНм).$$

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

Максимально можлива стиснута зона.

$$x_1 = x_{lu} = z_s \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{so}} = 0,55 \frac{3,1}{3,1+1,729} = 0,353\ (м);$$

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

Визначаємо розрахункове значення величини стиснутої зони x_1

$$x_1 = \frac{d \cdot q_c - \sqrt{d^2 \cdot {q_c}^2 - 4 k_\lambda q_c M}}{2 q_c k_\lambda},\ [м], \qquad (6.1)$$

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

$$q_c = \frac{1}{2} f_{cd} \cdot \gamma_{c1} \cdot b(1+\lambda) = \frac{1}{2} 13,05 \cdot 10^3 \cdot 1,8 \cdot 1,0(1+0,797) = 21,1 \cdot 10^3\ (кН/м);$$

$$x_1 = \frac{0,55 \cdot 21,1 \cdot 10^3 - \sqrt{0,55^2 \left(21,1 \cdot 10^3\right)^2 - 4 \cdot 0,451 \cdot 21,1 \cdot 10^3 \cdot 496,3}}{2 \cdot 0,451 \cdot 21,1 \cdot 10^3} =$$

$$= 0,0444\ (м).$$

Перевіряємо умову $x_1 \le x_{lu}$; $x_1 = 0,0444\ м \le x_{lu} = 0,353\ м.$

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

Знаходимо площу армування

$$A_s = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_1 (1+\lambda)}{2 f_{yd}} = \frac{13,05 \cdot 10^3 \cdot 1,8 \cdot 0,0444(1+0,797)}{2 \cdot 363 \cdot 10^3} = 0,00258(м^2) =$$

$$= 25,8\ (см^2).$$

В поперечному напрямку армування приймаємо як в поздовжньому 10Ø20 А400С $A_s = 31,42$ см^2.

6.2 Техніко-економічне порівняння варіантів фундаментів

При порівнянні варіантів фундаментів розглядаємо два варіанти конструктивного рішення фундаментів. Кількість фундаментів під середні колони складає 8 штук.

У таблиці 6.1 підраховані обсяги основних робіт на улаштування варіантів стовпчастих пальових фундаментів.

Таблиця 6.1 – Обсяги робіт з улаштування варіантів фундаментів

Обгрунтування (шифр норм)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість
1. Варіант фундаменту з 5 паль С11-30 (базовий)			
К1-17-1	1. Розробка ґрунту котловану екскаватором 14,2·2,5·8 = 284 м^3	1000 м^3	0,284
КБ5-3-5	2.Заглиблення дизель-молотом гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 11 м у грунти групи 1 0,09х11х5х8 м^3	м^3	39,6
С1411-139	3. Вартість паль марки С11-30 ГОСТ 19804.1-79 5х11х8	м	440
КБ6-1-1	4. Улаштування бетонної підготовки з бетону класу В7,5 (М100) товщиною 100 мм під ростверк 2,0·2,0·0,1·8=3,2 м^3	100 м^3	0,032
КБ6-1-2	5. Улаштування монолітних залізобетонних стовпчастих фундаментів під колони об’ємом до 3 м^3 (1,8·1,8·0,6+0,4·0,6·0,6)·8 = 2,088·8 = 16,7 (м^3) з бетону класу С20/25 (В25)	100 м^3	0,167
КБ9-75-2	6. Виготовлення металевого каркасу армування	т	1,50808
С124-24	6. Арматура для ростверків Ø16 А400С (А-III) 55,54·8 Ø36 А400С (А-III) 138,4··8 Ø8 А240С (А-I) 3,66·8	кг	 444,3 1107,2 29,3
КБ1-27-2	7. Зворотна засипка котловану 14,2·1,3·8 -3,2-16,7 =128 (м^3)	м^3	128
КБ1-134-1	8. Ущільнення ґрунту в пазухах котловану	м^3	128
2. Варіант фундаменту з 4 паль С11-30 (за результатами наукових досліджень)			
К1-17-1	1. Розробка ґрунту котловану екскаватором 14,2·2,5·8 = 284 м^3	1000 м^3	0,284
КБ5-3-5	2.Заглиблення дизель-молотом гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 11 м у грунти групи 1 0,09х11х4х8 м^3	м^3	31,7

Продовження таблиці 6.1

Найменування робіт і витрат		Одиниця виміру	Кількість
С1411-139	3. Вартість паль марки С11-30 ГОСТ 19804.1-79 4х11х8	м	352
КБ6-1-1	4. Улаштування бетонної підготовки з бетону класу В7,5 (М100) товщиною 100 мм під ростверк 2,0·2,0·0,1·8=3,2 м^3	100 м^3	0,032
КБ6-1-2	5. Улаштування монолітних залізобетонних стовпчастих фундаментів під колони об'ємом до 3 м^3 (1,8·1,8·0,6+0,4·0,6·0,6)·8 = 2,088·8 = 16,7 (м^3) з бетону класу С20/25 (В25)	100 м^3	0,167
КБ9-75-2	Виготовлення металевого каркасу армування	т	1,80309
С124-24	6. Арматура для ростверків Ø20 А400С (А-III) 86,8·8 Ø36 А400С (А-III) 138,4··8 Ø8 А240С (А-I) 3,66·8	кг	694,4 1107,2 29,3
	7. Зворотна засипка котловану 14,2·1,3·8 -3,2-16,7 =128 (м^3)	м^3	128
	8. Ущільнення ґрунту в пазухах котловану	м^3	128

Кошторисний розрахунок улаштування фундаменту під середню стіну за запропонованими варіантами виконуємо за допомогою програмного комплексу АВК (таблиця 6.2, 6.3).

Вони розроблялися на основі:

ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН, ДБН Д.2.2 - 99); збірника єдиних середніх кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 3 до ДСТУ Б Д.1.1 – 1 – 2013.

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітна плата будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загальновиробничих витрат..

Фундамент з 5 паль
База

Таблиця 6.2 Локальний кошторис на будівельні роботи №02-01-01

на Фундамент з 5 паль С11-30 (базовий)
Фундамент

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	608,624	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,75465	тис.люд.год.
Кошторисна заробітна плата	71,411	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,7	розряд

Складений за поточними цінами станом на “12 квітня” 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ1-17-1	Розроблення ґрунту котловану екскаватором	1000м3	0,284	30044,65	29348,94	8533	190	8335	9,3800	2,66
					667,29	6799,39			1931	66,5040	18,89
2	КБ5-3-5	Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 11 м у ґрунти групи 1	м3	39,6	2869,13	2440,44	113618	11707	96641	3,3900	134,24
					295,64	290,25			11494	2,6765	105,99
3	С1411-139 варіант 1	Вартість паль марки С11-30 ГОСТ 19804.1-79	м	440	665,22	-	292697	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
4	КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки бетон важкий В 7,5 (М 100), крупність заповнювача 20-40мм	100м3	0,032	293746,00	2494,01	9400	360	80	150,7000	4,82
					11246,74	1054,35			34	10,6641	0,34
5	КБ6-1-2	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення під колони об'ємом до 3 м3 бетон важкий В 25 (М 350), крупність заповнювача 20-40мм	100м3	0,16704	406688,43	9868,25	67933	6710	1648	495,0000	82,68
					40169,25	4161,88			695	42,1083	7,03
6	КБ9-75-2	Виготовлення зв'язок, кронштейнів, гальмових конструкцій та ін.	т	1,5808	21142,16	5268,67	33422	23972	8329	176,0000	278,22
					15164,16	408,11			645	4,1760	6,6
7	& С147-4-16-1	Стрижнева арматура А-III, А400С, діаметр 16 мм	кг	444,3	28,74	-	12769	-	-	-	-
					-	-			-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	& С147-4-36-1	Стрижнева арматура А-III, А400С, діаметр 36 мм	кг	1107,2	28,74 -	- -	31821	-	- -	- -	- -
9	& С147-4-16-2	Стрижнева арматура А-I, А240С, діаметр 8 мм	кг	29,3	27,42 -	- -	803	-	- -	- -	- -
10	КБ1-27-2	Зворотня засипка котловану	1000м3	0,128	8377,41 -	8377,41 1724,01	1072	-	1072 221	- 17,6730	- 2,26
11	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту	100м3	1,28	2974,34 1434,28	1540,06 440,95	3807	1836	1971 564	18,3600 5,1175	23,5 6,55
		Разом прямі витрати по кошторису					575875	44775	118076 15584		526,12 147,66
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та комплектів, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн. _ _ _ _

Фундамент з 4 паль
Дослідження

Таблиця 6.3 Локальний кошторис на будівельні роботи №02-01-01

на Фундамент з 4 паль С11-30 (базовий)
Фундамент

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	545,328	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,75146	тис.люд.год.
Кошторисна заробітна плата	70,630	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,7	розряд

Складений за поточними цінами станом на “12 квітня” 2024 р.

№ Ч.ч. .	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ1-17-1	Розроблення ґрунту котловану екскаватором	1000м3	0,284	30044,65	29348,94	8533	190	8335	9,3800	2,66
					667,29	6799,39			1931	66,5040	18,89
2	КБ5-3-5	Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 11 м у ґрунти групи 1	м3	31,7	2937,13	2440,44	93107	9372	77362	3,3900	107,46
					295,64	290,25			9201	2,6765	84,85
3	С1411-139 варіант 1	Вартість паль марки С11-30 ГОСТ 19804.1-79	м	352	665,22	-	234157	-	-	-	-
					-	-			-	-	-
4	КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки бетон важкий В 7,5 (М 100), крупність заповнювача 20-40мм	100м3	0,032	293746,00	2494,01	9400	360	80	150,7000	4,82
					11246,74	1054,35			34	10,6641	0,34
5	КБ6-1-2	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення під колони об'ємом до 3 м3 бетон важкий В 25 (М 350), крупність заповнювача 20-40мм	100м3	0,16704	406688,43	9868,25	67933	6710	1648	495,0000	82,68
					40169,25	4161,88			695	42,1083	7,03
6	КБ9-75-2	Виготовлення зв'язок, кронштейнів, гальмових конструкцій та ін.	т	1,8309	23070,63	5268,67	42240	27764	9646	176,0000	322,24
					15164,16	408,11			747	4,1760	7,65

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	& С147-4-16-1 варіант 1	Стрижнева арматура А-III, А400С, діаметр 20 мм	кг	694,4	28,74 -	- -	19957	-	- -	- -	- -
8	& С147-4-36-1	Стрижнева арматура А-III, А400С, діаметр 36 мм	кг	1107,2	28,74 -	- -	31821	-	- -	- -	- -
9	& С147-4-16-2	Стрижнева арматура А-I, А240С, діаметр 8 мм	кг	29,3	27,42 -	- -	803	-	- -	- -	- -
10	КБ1-27-2	Зворотня засипка котловану	1000м3	0,128	8377,41 -	8377,41 1724,01	1072	-	1072 221	- 17,6730	- 2,26
11	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту	100м3	1,28	2974,34 1434,28	1540,06 440,95	3807	1836	1971 564	18,3600 5,1175	23,5 6,55
		Разом прямі витрати по кошторису					512830	46232	100114 13393		543,36 127,57
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та комплектів, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн. – – – –

Результати порівняння варіантів стін наведені в таблиці 6.4.

Всі вищенаведені показники, окрім первісної вартості і-тої машини та нормативної тривалості роботи машини за рік, узяті з локальних кошторисів. При порівнянні варіантів приймається той варіант, який має мінімальне значення приведених витрат.

$$П_i = С_i + Ен \circledcirc К_i \rightarrow min, \quad (6.1)$$

Величина С і К прирівнюються за допомогою нормативного коефіцієнта ефективності капітальних вкладень $Е_н$, який є допустимим мінімумом зниження собівартості на одиницю додаткових капітальних вкладень, за якими вони визнаються ефективними.

Собівартість робіт визначається за формулою:

$$С = ПВ + ЗВВ, \quad (6.2)$$

де ПВ – прямі витрати, грн. Під прямими витратами розуміють витрати, пов'язані з виконанням будівельних робіт, які можна прямо та безпосередньо включити до собівартості конкретних будівельних робіт;

ЗВВ – кошторисна величина загальновиробничих витрат, грн.

ПВ та ЗВВ визначаємо із локального кошторису (таблиці 6.2 –6.4).

Капітальні вкладення у виробничі фонди:

$$К = К_{ОВФ.} + К_{обігові кошт}, \quad (6.3)$$

де $К_{ОВФ}$ – вартість основних виробничих фондів;

$К_{обігові кошти} = С_{см.}/К_{обор.}$ – обігові кошти,

де $С_{см.}$ – кошторисна вартість (всього по кошторису), грн.;

$К_{обор.}$= 3-4.

Основні виробничі фонди визначаються за формулою:

$$К_{ОВФ} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Ф_i \cdot Т_{i,об.}}{Т_{i,річн.}}, \quad (6.4)$$

де $Ф_i$ – первісна вартість і-тої машини, грн. (в даному випадку приймемо вартість експлуатації машин із кошторису);

$Т_i$ – тривалість роботи і-тої машини на об’єкті, год.;

$Т_{i,\ річн.}$ – нормативна тривалість роботи за рік, год.

Економічний ефект Е = П1 – П2

Таблиця 6.4 - Порівняння варіантів фундаментів

Показники	Варіант 1	Варіант 2
Прямі витрати, тис. грн.	575,875	512,830
Кошторисна трудомісткість, тис. люд.-год.	0,75465	0,75146
Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	71,411	70,630
Загальновиробничі витрати, тис. грн.	32,749	32,498
Усього за кошторисом, тис. грн.	608,624	545,328
Кошторисний прибуток, грн.		
Показники (обчислені)		
Кошторисна величина ЗВВ, тис. грн.	32,749	32,498
Собівартість робіт (С), тис. грн.	608,624	545,328
Обігові кошти, тис. грн.	202,874	181,776
Основні виробничі фонди, тис. грн.	102,492	86,721
Капіталовкладення в виробничі фонди,тис. грн.	305,366	268,497
Показник приведених витрат, тис. грн.	645,267	577,547
Економічний ефект, тис. грн.		67,720

Висновки

Порівнюючи кожний варіант фундаментів із таблиць 6.4 ми бачимо, що найбільш економічним є 2 Варіант фундамент з 4 паль С11-30. Кошторисна вартість становить – 545,328 тис. грн., кошторисна трудомісткість – 0,75146 тис. люд-год., приведені витрати - 577,547 тис. грн.

ВИСНОВКИ

1. В випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундамента в цілому, а також окремих його елементів підвищується.

2. Зменшення кількості паль у 4-5 разів у межах постійної площі ростверка призводить до зменшення навантаження, яке сприймає кущ, лише у 1,23-1,54 разів для триметрових паль і у 1,37-1,76 разів для десятиметрових. Це свідчить про більш ефективне використання паль при застосуванні комбінованого варіанта пальового фундамента.

3. За рахунок збільшення площі ростверка можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 раза (для коротких паль цей ефект більший, він також більший для піщаного ґрунту у порівнянні з глинистим).

4. При незмінній кількості паль збільшення площі ростверка призводить до збільшення його частки у навантаженні на кущ, досягаючи доволі великих значень 50-70%.
5. Аналіз результатів моделювання показує більшу ефективність розміщення паль у комбінованому фундаменті по периметру куща, ніж у його центральній частині.
6. При великій кількості паль ступінь реалізації їх несучої здатності коливається в діапазоні 0,3-0,6, при незначній кількості відповідно в діапазоні 0,5-1,1. Довжина паль впливає на реалізацію їх несучої здатності неоднозначно. В глинистих ґрунтах краще реалізують себе довгі палі, а в піщаних ґрунтах – короткі. При сталій кількості паль площа ростверка мало впливає на реалізацію їх несучої здатності.
7. При традиційному компактному розміщенні паль (групи дослідів 1, 2, 6) ступінь реалізації несучої здатності ростверку коливається в діапазоні 0,2-0,75, тоді як при розрідженому їх розміщенні в комбінованому фундаменті цей

діапазон 0,65-0,85. В глинистих ґрунтах ступінь реалізації тиску під ростверком нижче, ніж в піщаних.

8. При сталій кількості паль збільшення площі ростверка суттєво збільшує реалізацію його несучої здатності.
9. З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундамента.

Список використаних джерел

1. Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Zaheer Almani, Mujahid Ali, Fahid Aslam, Roman Fediuk, Sergey Klyuev, Alexander Klyuev, Linar Sabitov Numerical Analysis of Piled-Raft Foundations on Multi-Layer Soil Considering Settlement and Swelling. Buildings 2022, 12, 356. P.1-23.

2. Burland, J.; Burbidge, M.;Wilson, E.; Terzaghi, K. Settlement of Foundations on Sand and Gravel. Proc. Inst. Civ. Eng. 1985, 78, 1325–1381.

3. Ali, M.; Abbas, S.; Khan, M.I.; Gad, M.A.; Ammad, S.; Khan, A. Experimental Validation of Mander's Model for Low Strength Confined Concrete Under Axial Compression. In Proceedings of the 2020 Second International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs (51154), Sakheer, Bahrain, 11–12 November 2020; pp. 1–6.

4. Mandolini, A.; di Laora, R.; Mascarucci, Y. Rational Design of Piled Raft. Procedia Eng. 2013, 57, 45–52.

5. Кріпак В. Комплексний плитно-пальовий фундамент. Будівельні конструкції. Теорія і практика, 1(13). Київ : КНУБА, 2023. С. 30-40.

6. Кріпак В., Бакур Хасіб Особливості розрахунку і проектування фундаментної системи «З/б плита-грунтова основа-палі». *Праці Міжнародної ювілейної конференції з питань надійності будівельних констр. Полтава, 1997.*

7. Цимбал С. Й., Карцева С. Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку. Основи і фундаменти. Київ : КНУБА, 2004. Вип. 28. С. 121-130.

8. Седін В Л., Бікус Е. М., Дюльдев А. О., Мельник А. М. Впровадження комбінованого плитно-палевого фундаменту в Україні на прикладі будівництва підземного паркінгу в м. Одеса. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 3(38). Т.2. Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка. Полтава : 2013. С. 321-329.

9. Петренко В. Д., Крисан В. І., Крисан В. В., Чегодаєв І. С. Досвід спорудження пальово-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах. Збірник

наукових праць «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика». Український державний університет науки і технологій, №19. Дніпро : 2021. с. 78-84.

10. Самородов О. В. Метод оптимального проектування пальово-плитних фундаментів багатоповерхових будівель за гранично допустимими осіданнями. Науковий вісник будівництва. Вип. 1(79). Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. С. 96-100.

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

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

13. Ana Cláudia Frade de Faria Foundation solutions for large buildings using combined piled-raft foundations. Engineering, Environmental Science. Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, June 2017. 10 p.

14. Katzenbach R., Choudhury D. Combined Pile-Raft Foundation Guideline . *Darmstadt: ISSMGE - Technical University Darmstadt, 2013. 23 p.*

15. .Katzenbach, R., et al. (2009). "Instrumentationand Monitoring of a Piled Raft Foundation on Soft Soil." Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 1850-1853.

16. V. Balakumar, Min. J. Huang, Erwin Oh, Nilan S. Jayasiri, Richard Hwang, A. S. Balasubramaniam. Piled Raft on Sandy Soil - An Observational Study. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 52 No. 3 September 2021. P. 51-65.

17. Phung Duc Long Prediction of Piled Raft Foundation Settlement – A Case Study. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* Vol. 47 No. 1 March 2016. P. 1-6.

18. Wang, Y., et al. (2016). "Experimental Study on the Stress State of Piled Raft Foundation sunder Different Loading Conditions." Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering), pp. 1345-1356.

19. Бойко І. П., Підлуцький В. Л. Дослідження влаштування паль у фундаменті різної довжини. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), вип.4 (34), ПолтНТУ, 2012, с.42-48.

20. Elwakil A. Z., Azzam W. R. Experimental and numerical study of piled raft system. Alexandria Engineering Journal. Volume 55, Issue 1, March 2016, Pages 547-560.

21. Lua Thi Hoang, Tatsunori Matsumoto Long-term behavior of piled raft foundation models supported by jacked-in piles on saturated clay. Soils and Foundations, 60 (2020). P. 198–217.

22. Fekadu Melese Improved Performance of Raft Foundation Using Detached Pile Columns in Loose Subsoil Conditions. Advances in Civil Engineering. Volume 2022(11). 18 pages.

23. H. Rasouli, A. Saeedi Azizkandi, M.H. Baziar, M. Modarresi, H. Shahnazari Centrifuge modeling of non-connected piled raft system. International Journal of Civil Engineering, Vol. 13, No. 2, Transaction B: Geotechnical Engineering, June 2015. P. 115-123.

24. Irfan Jamil, Irshad Ahmad, Wali Ullah, Mahmood Ahmad, Mohanad Muayad Sabri Sabri, Ali Majdi Experimental Study on Lateral and Vertical Capacity of Piled Raft and Pile Group System in Sandy Soil. Applied Science. 2022, 12. P. 2-18.

25. Mostafa Elsawwaf, Marwan Shahien, Ahmed Nasr, and Alaaeldin Magdy The behavior of piled rafts in soft clay: Numerical investigation. Journal of the Mechanical Behavior of Materials 2022; 31: 426–434.

26. Srijit Bandyopadhyay, Aniruddha Sengupta, Y. M. Parulekar Behavior of a combined piled raft foundation in a multi-layered soil subjected to vertical loading. Geomechanics and Engineering, Vol. 21, No. 4 (2020) 379-390.

27. Жук В., Шульгач Б. Роль параметрів фундаментних конструкцій у формуванні напружено-деформованого стану фундаментів будинку. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип. 42. Київ : КНУБА, 2021. С. 19-29.

28. Ручківський В. Взаємодія ґрунтової основи та ґрупи паль, об'єднаних ростверком. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип. 43. Київ : КНУБА, 2021. С. 79-86.

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

30. Маєвська І. В. Попович М.М., Кремінська 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.

31. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Кремінська Ю. О. Особливості роботи пальових кущів з коротких паль за даними числового моделювання. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип.43. Київ : КНУБА, 2021. С.30-39.

32. Abdolrezayi A., Khayat N. Comparative Three-Dimensional Finite Element Analysis of Piled Raft Foundations. Computational Engineering and Physical Modeling 4-1 (2021) 19-36.

33. Hewitt P, Gue SS. Piled Raft Foundation in a weathered sedimentary formation. Proc Geotropica 1994:1–11.

34. Deb P, Pal S K. Numerical analysis of piled raft foundation under combined vertical and lateral loading. Ocean Eng 2019;190:106431.

35. Sinha A, Hanna A M. 3D numerical model for piled raft foundation. Int J Geomech 2017;17: Issue 2. https://ascelibrary.org/toc/ijgnai/17/2.

36. Shaktisinh Raol, Aakash Suthar A Review on Comparative Analysis of Raft Foundation, Raft with Drop & Pile Raft Foundation. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume: 11 Issue: 01 | Jan 2024/ P. 238-242.

37. Butterfield R, Banerjee PK. The elastic analysis of compressible piles and pile groups. Geotechnique 1971;21:43–60.

38. Sinha J, Poulos H G. Piled raft systems and free standing pile groups in expansive soils. Proc. 8th Aust. New Zeal. Conf. Geomech. Consol. Knowl., Australian Geomechanics Society; 1999, p. 207.

39. Моргун А. С., Меть І. М., Ніцевич А. В. Моделювання ефекту взаємодії паль пальового поля висотних будівель за методом граничних елементів: монографія. Вінниця : ВНТУ, 2015. 104 с.

40. Бойко І. П., Носенко В. С. Напружено-деформаваний стан пальових фундаментів багатосекційних будинків. «Будівельні конструкції», Том 2. Київ: НДІБК, 2011. № 75. С. 159-163.

41. Винников Ю. Л., Левченко В. П., Пащенко А. М. Математичне моделювання влаштування та роботи буроін'єкційних паль. «Будівельні конструкції», Том 2. Київ : НДІБК. 2011. № 75. С. 140-149.

42. 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.

43. 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.

44. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. [Чинний від 2012-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с. (Національні стандарти України).

45. ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94) Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Метод польових випробувань палями. [Чинний від 1996-04-01]. Київ : Мінрегіон України, 1994. 58 с. (Державний стандарт України).

46. Маєвська І. В., Блащук Н.В. Зміна перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту по мірі зростання навантаження. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип. 44. Київ : КНУБА, 2022. С. 55-66.

47. Саміленко В. В., Шмундяк О. Ю., Маєвська І. В. Практична доцільність переходу від довгих до коротких паль у стовпчастих пальових фундаментах. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України» – 2023, Вінниця, ВНТУ, 2023.
URL:https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19121

48. Ганущак Ю. В., Маєвська І. В. Математичне моделювання роботи комплексного стовпчастого пальового фундаменту. Збірник матеріалів LIII 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).

49. 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).

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

51. 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).

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

53. 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.

54. ДБН В.2.2-15-2019. Житлові будинки. Основні положення [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 44 с. (Будинки і споруди).

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

56. 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).

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

58. 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.

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

60. 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).

61. ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016 Настанова з виконання робіт із застосуванням сухих будівельних сумішей [чинний від 2017-04-01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 49 с. (національні стандарти України).

62. 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).

63. 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).

64. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.

65. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних

матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv-.

66. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

67. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

68. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/ rada/show/v0272203-01#Text.

69. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: http://mozdocs.kiev.ua/view. php?id=1972.

70. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

71. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

72. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html.

73. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99.

74. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2006. 109 с.

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

роботи: Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі

оботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

зділ кафедра БМГА, ФБЦЕІ
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

інальність 83,3 % Схожість 16,7 %

із звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд пертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

оба, відповідальна за перевірку (підпис) Блащук Н.В.
(прізвище, ініціали)

айомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо оти.

тор роботи (підпис) Ганущак Ю.В.
(прізвище, ініціали)

рівник роботи (підпис) Маєвська І.В.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б Відомість аркушів графічної частини

Аркуш	Найменування	Примітки
1	Мета і задачі дослідження «Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі»	Плакат 1
2	Програма моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту (додатково варіюється вид ґрунту)	Плакат 2
3	Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту, при довжині паль 10 м та 3 м	Плакат 3
4	Результати моделювання фундаменту з 16 паль з розмірами ростверка 3,2х3,2 м (група дослідів 2)	Плакат 4
5	Результати моделювання фундаменту з 16 паль з розмірами ростверка 3,2х3,2 м (група дослідів 2)	Плакат 5
6	Графіки залежності осідання від навантаження для пальових фундаментів за групами дослідів 1 – 5 при довжині паль 3 та 10 м	Плакат 6
7	Залежність загального навантаження на кущ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль	Плакат 7
8	Залежність загального навантаження на кущ від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль за умови сталої кількості паль в групі 4 шт.	Плакат 8
9	Вплив розмірів ростверка, довжини та кількості паль та виду ґрунту на частку ростверку у навантаженні, яке сприймає фундамент	Плакат 9
10	Залежність ступеню реалізації несучої здатності паль у складі пальового фундамента	Плакат 10
11	Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку	Плакат 11
12	Висновки за результатами досліджень	Плакат 12
13	Фасади секції 2 в осях 1-8, 8-1, паспорт оздоблення фасадів, фрагмент головного входу	
14	План першого поверху, план типового поверху, фрагмент генплану	
15	Розрізи 1-1, 2-2, план покрівлі, вузли 1, 2	
16	Геологічний розріз з варіантами фундаментів, робочі креслення фундаментів, сітки С-1, С-2, розріз 1-1, відомість деталей, специфікації	

Магістерська кваліфікаційна робота Ганущака Ю. В. на тему:

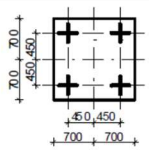
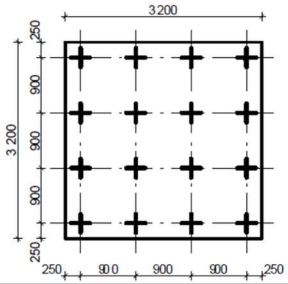
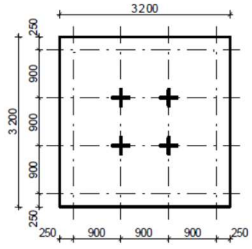
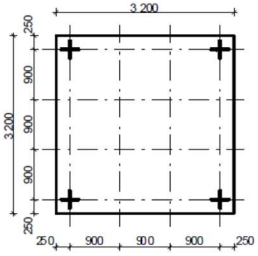
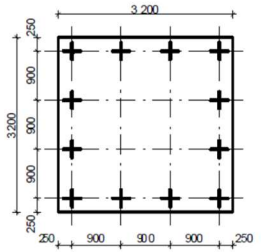
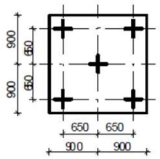
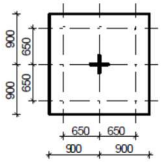
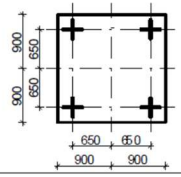
«Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі»

Мета дослідження. Дослідження ефективності використання комплексних пальових фундаментів, що містять зменшену кількість паль і розвинуті в плані ростверки.

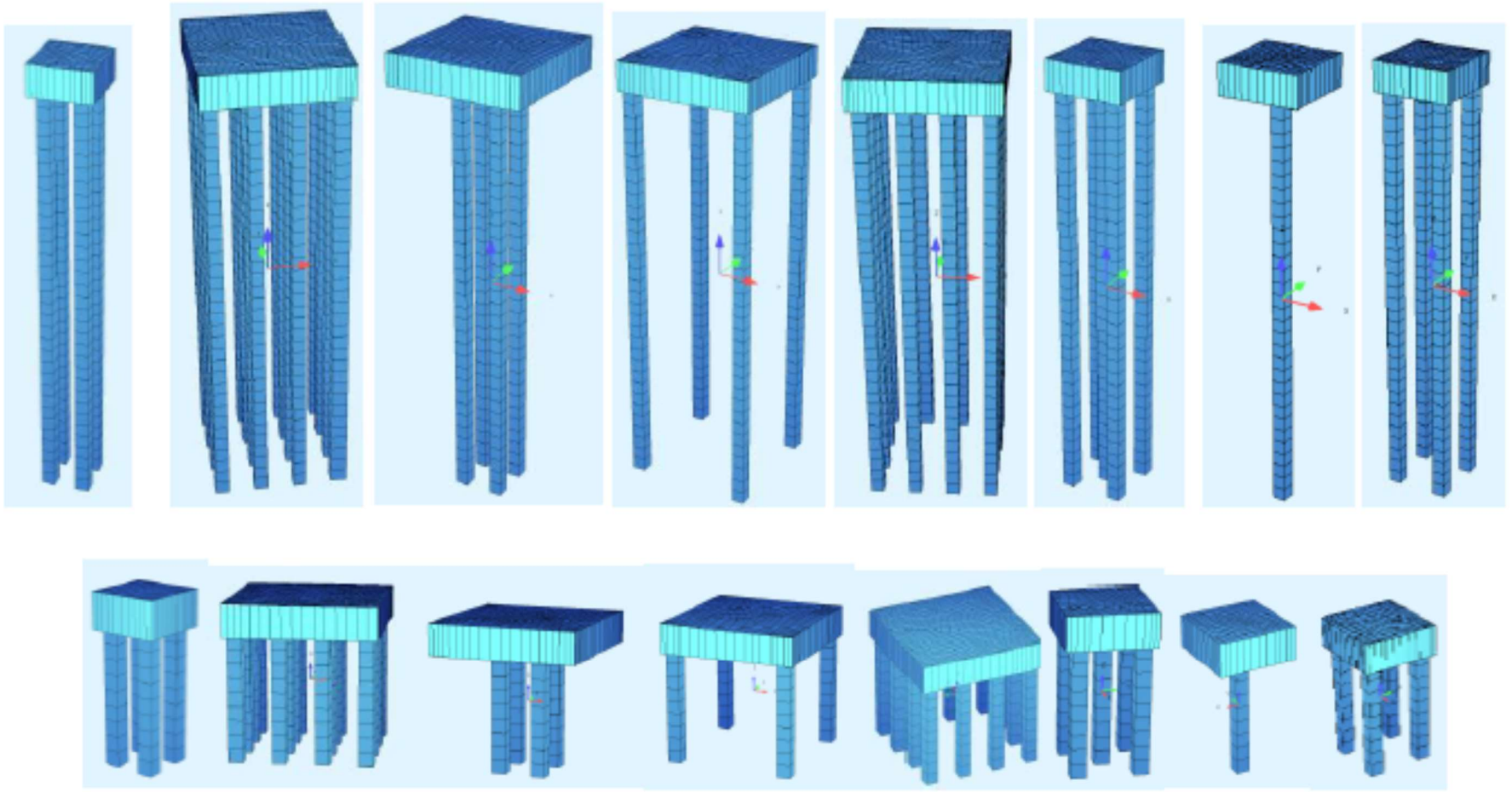
Задачі дослідження:

- опанування програмного комплексу SOFiSTiK, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів;
- побудова розрахункової схеми роботи забивних паль у ґрунті;
- планування чисельного експерименту з визначення впливу геометричних чинників та характеристик ґрунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундамента;
- чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик ґрунту основи;
- аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту.

Програма моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту (додатково варіюється вид ґрунту)

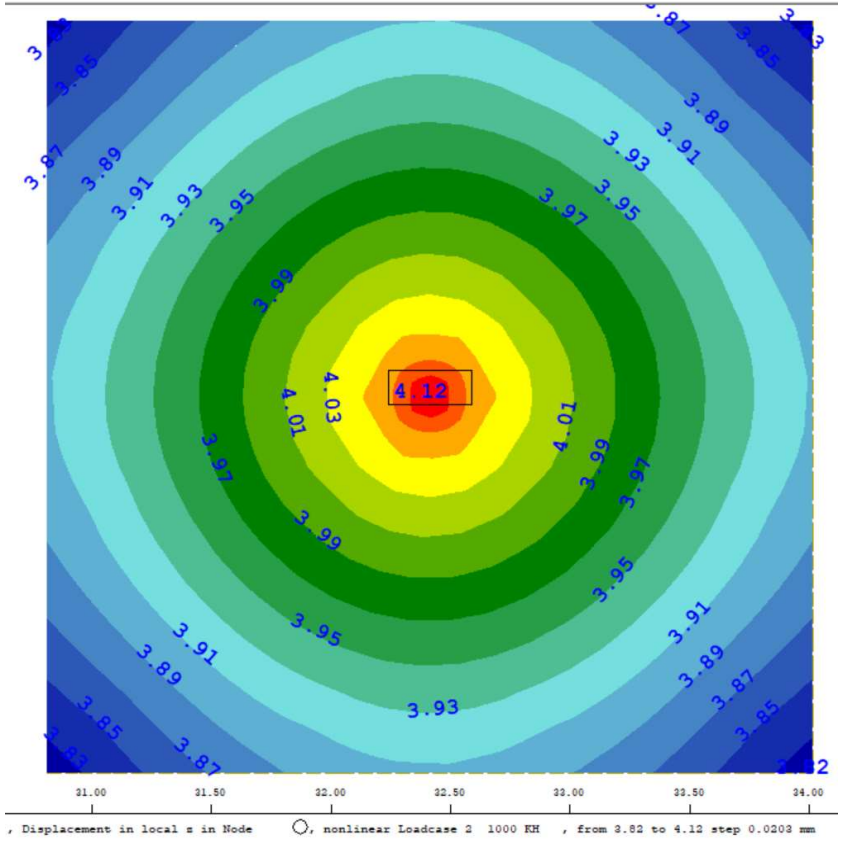
Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль
1	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
2	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
3	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
4	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
5	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
6	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
7	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
8	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	

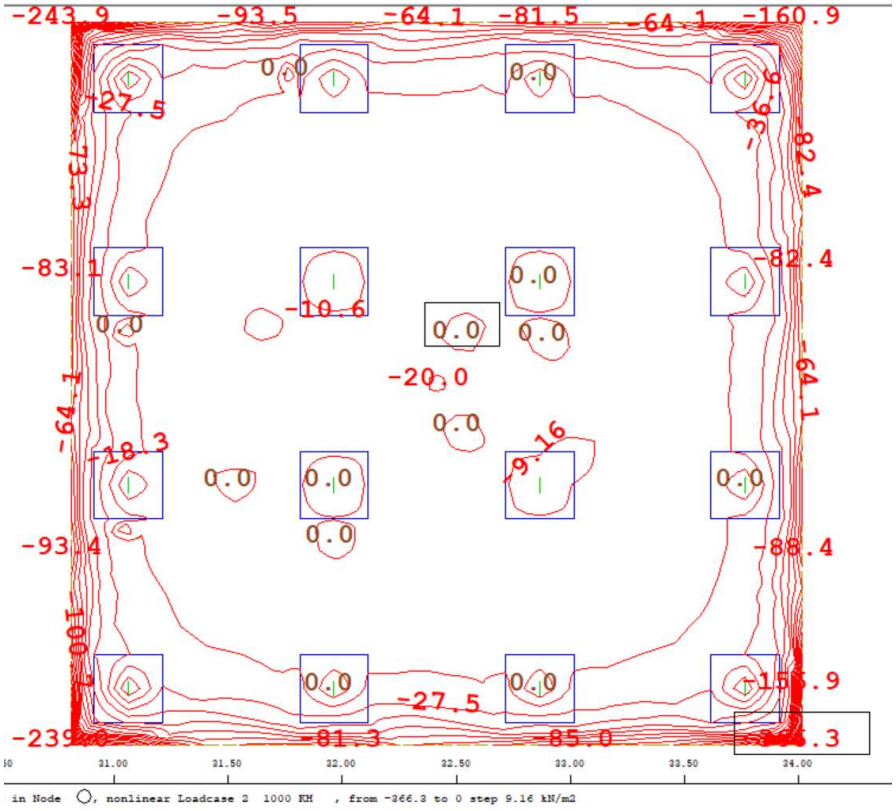
Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту при довжині паль 10 м та 3 м



Результати моделювання фундаменту з 16 паль з розмірами ростверка 3,2х3,2 м (група дослідів 2)

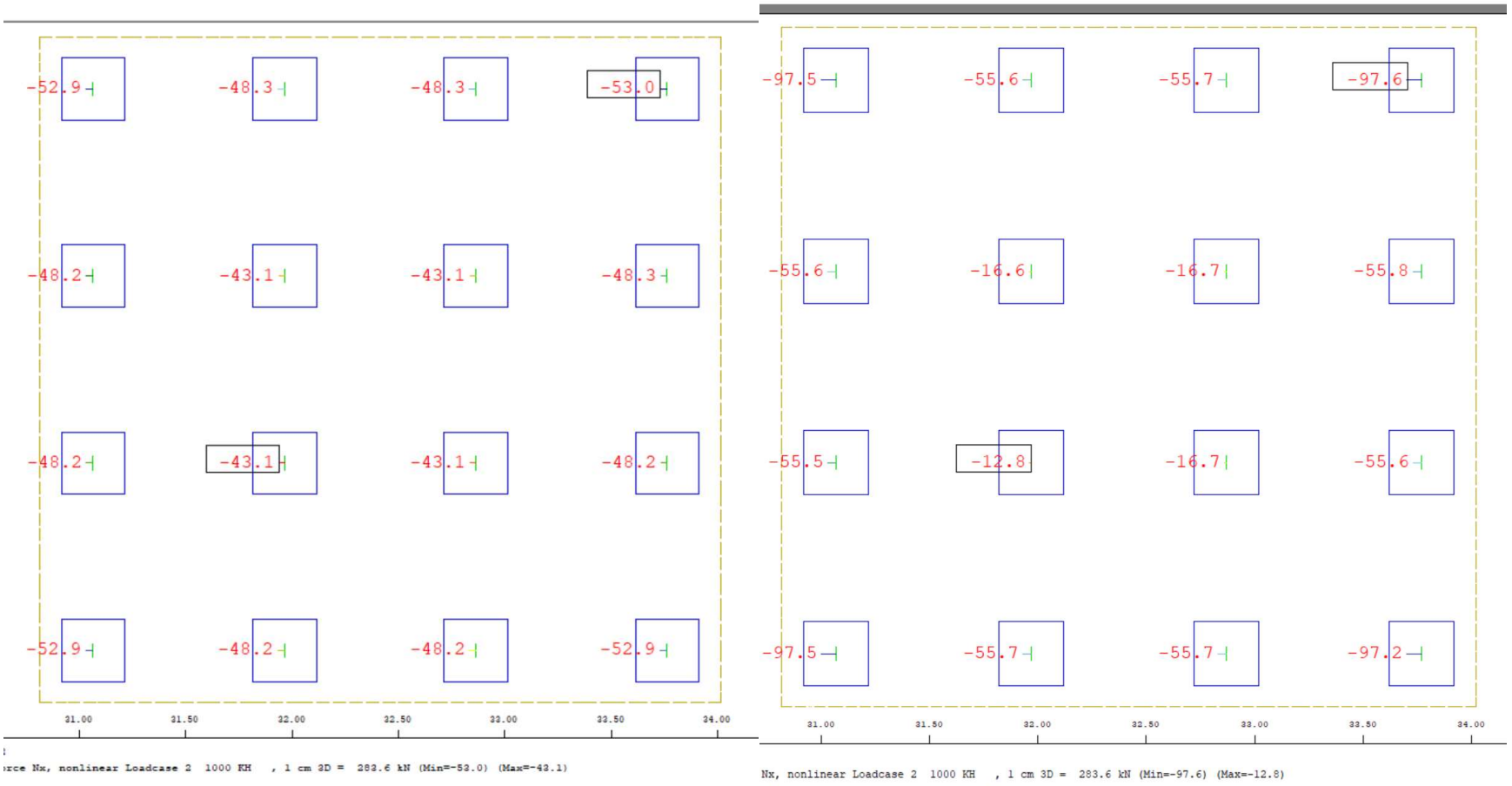
Осідання ростверка та напруження під підошвою ростверка



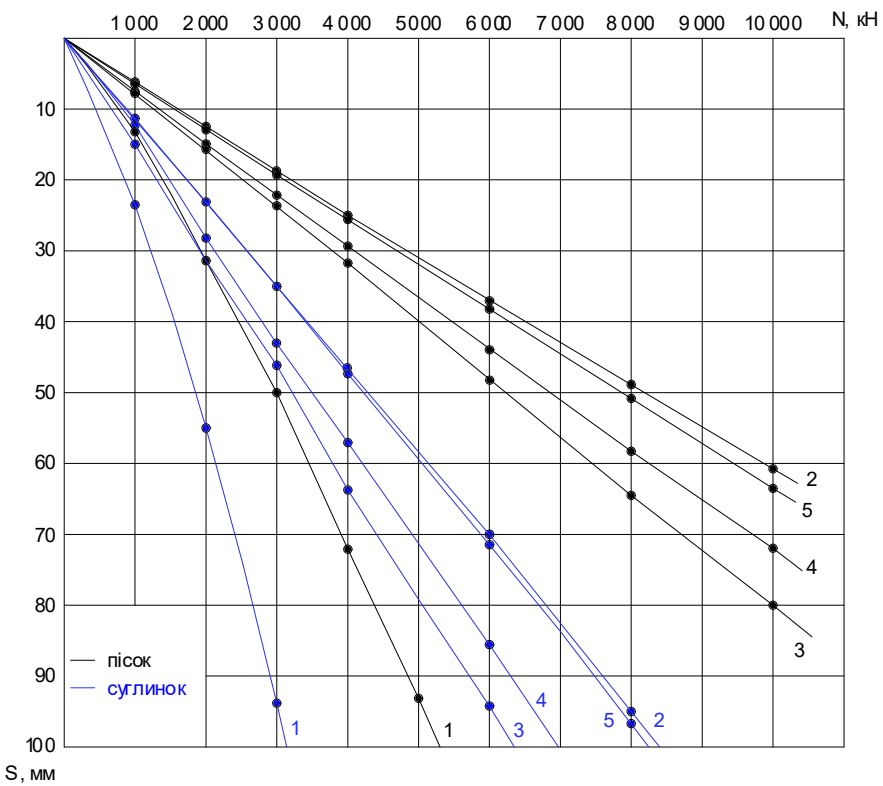


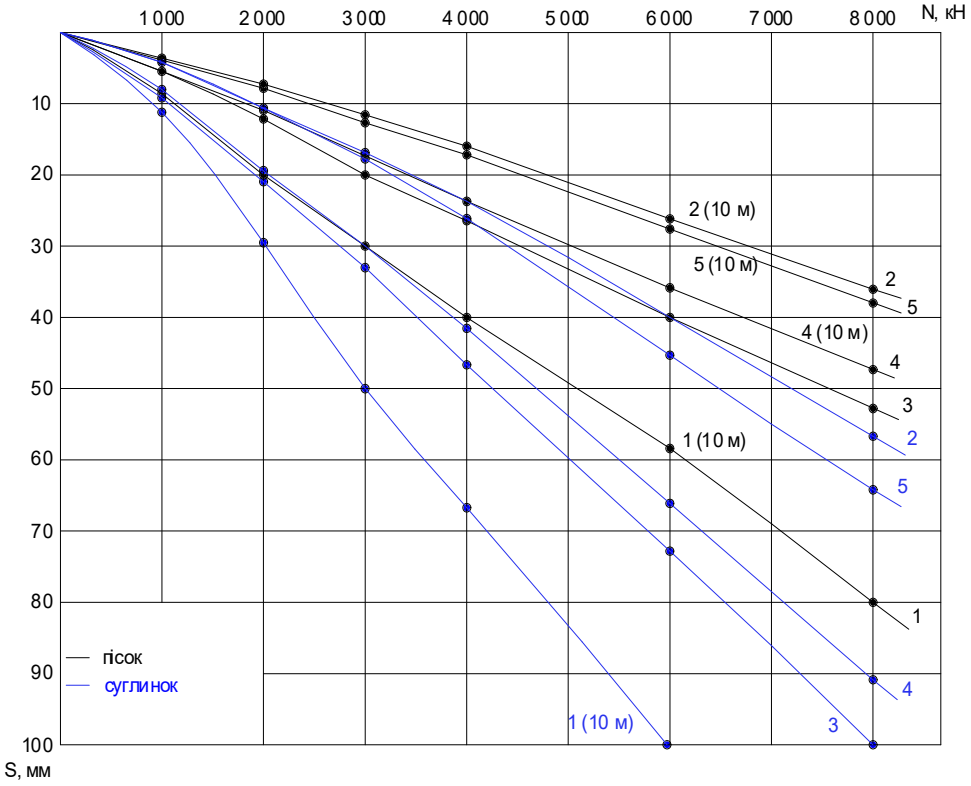
Результати моделювання фундаменту з 16 паль з розмірами ростверка 3,2х3,2 м (група дослідів 2)

Розподіл зусиль між палями для піщаного ґрунту та для глинистого ґрунту

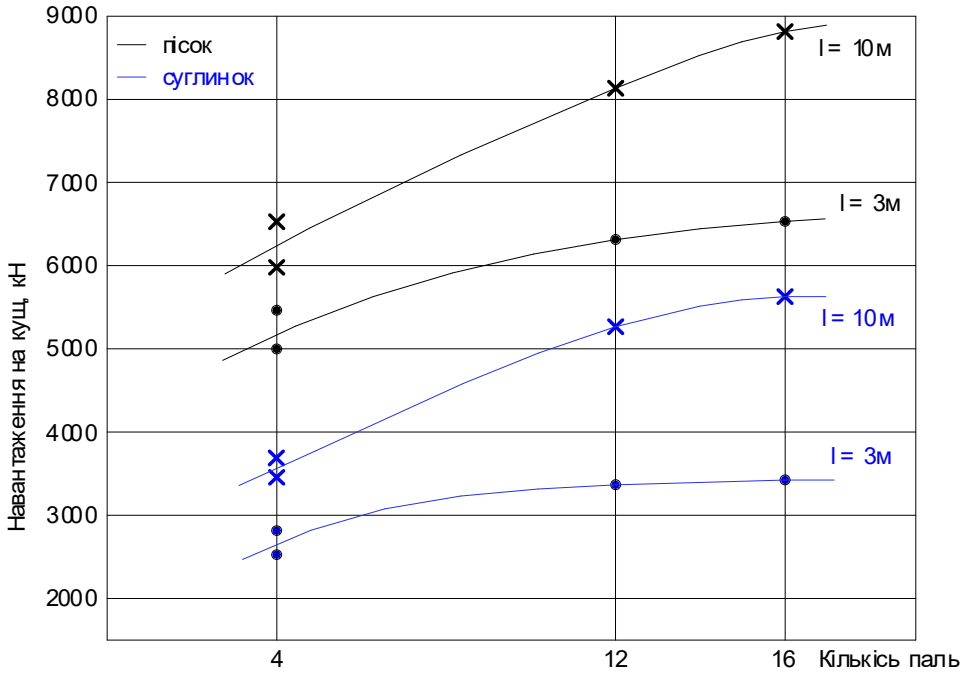


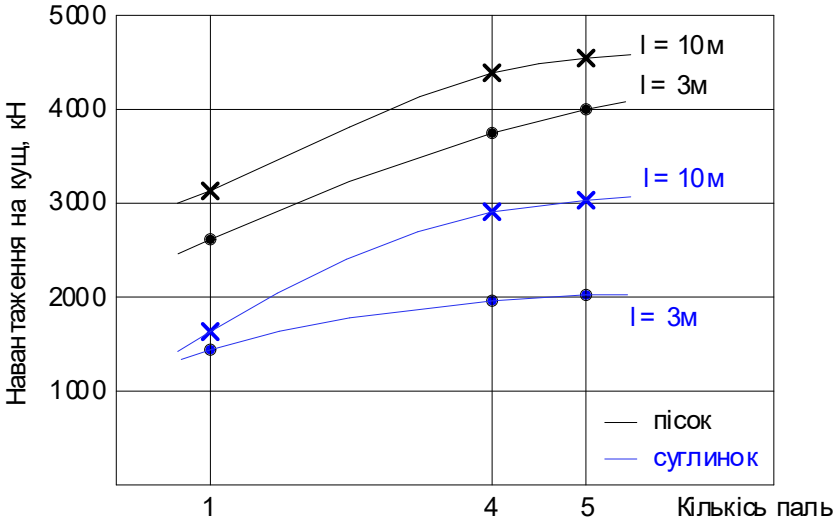
Графіки залежності осідання від навантаження для пальових фундаментів за групами дослідів 1 – 5 при довжині паль 3 та 10 м





Залежність загального навантаження на кущ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

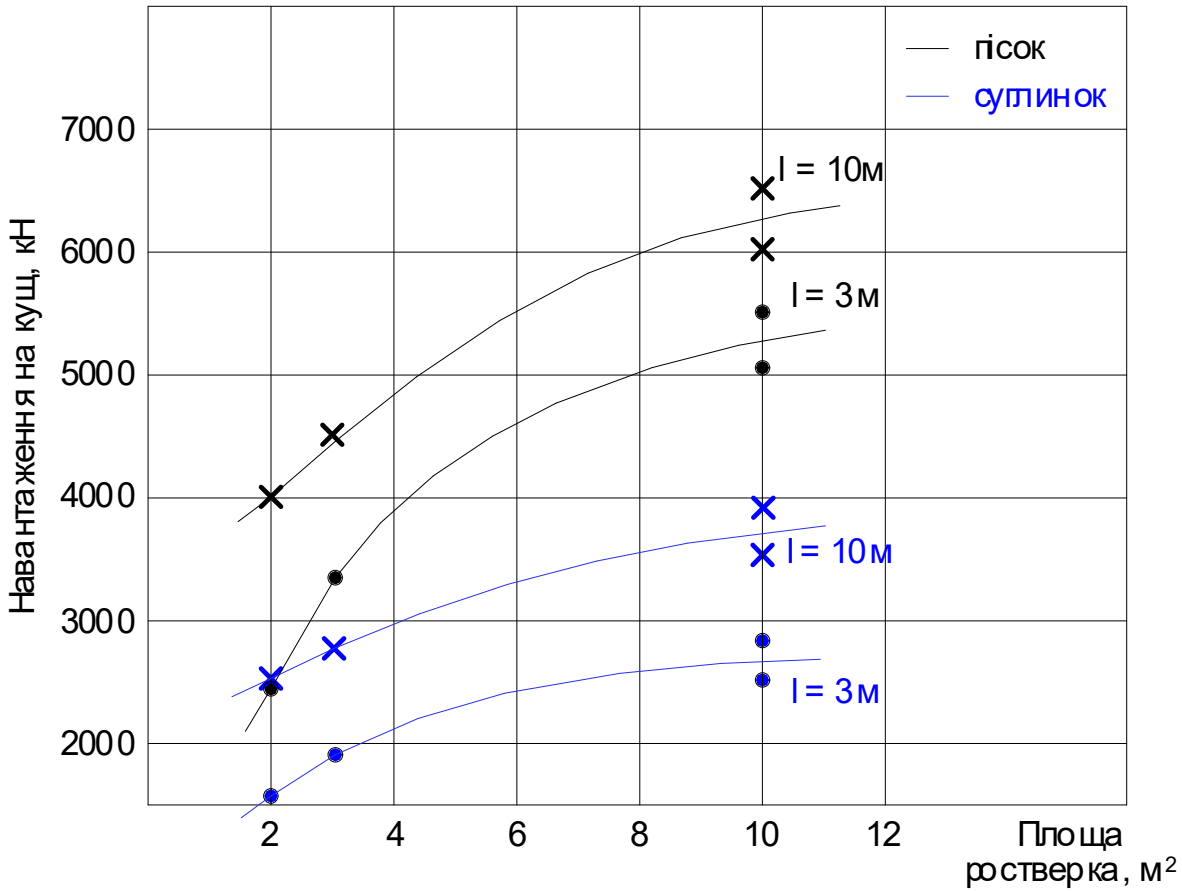




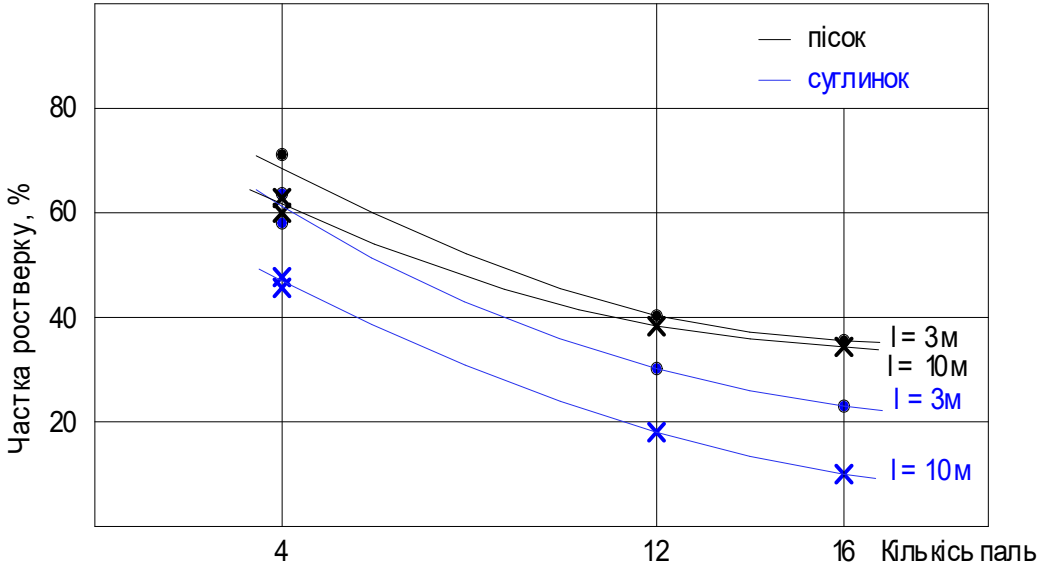
кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^2

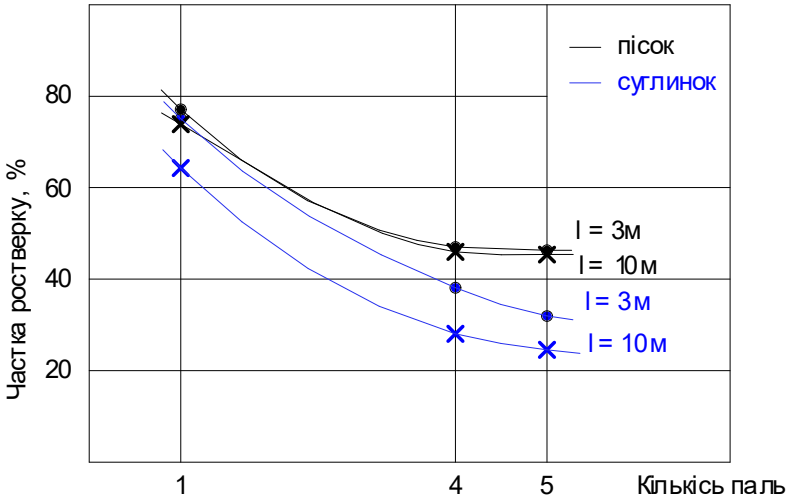
кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^2

Залежність загального навантаження на кущ від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль за умови сталої кількості паль в групі 4 шт.



Вплив розмірів ростверка, довжини та кількості паль та виду ґрунту на частку ростверку у навантаженні, яке сприймає фундамент

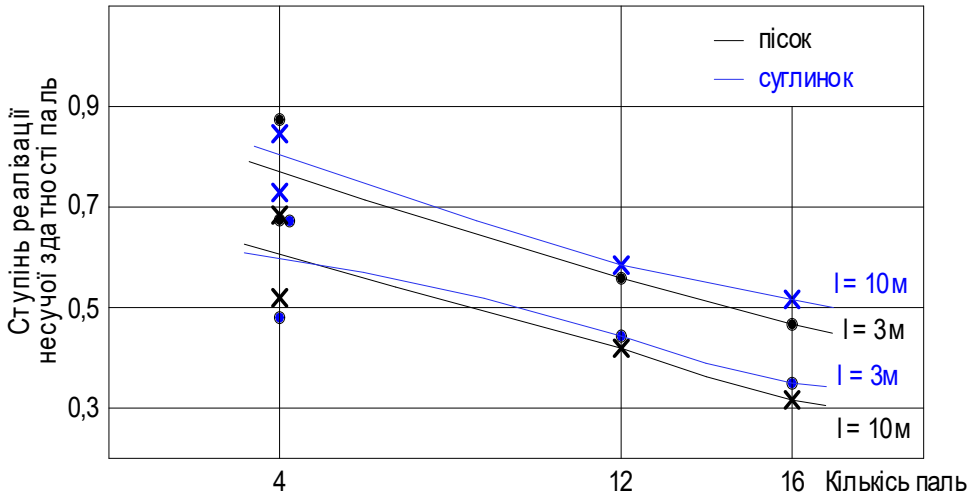




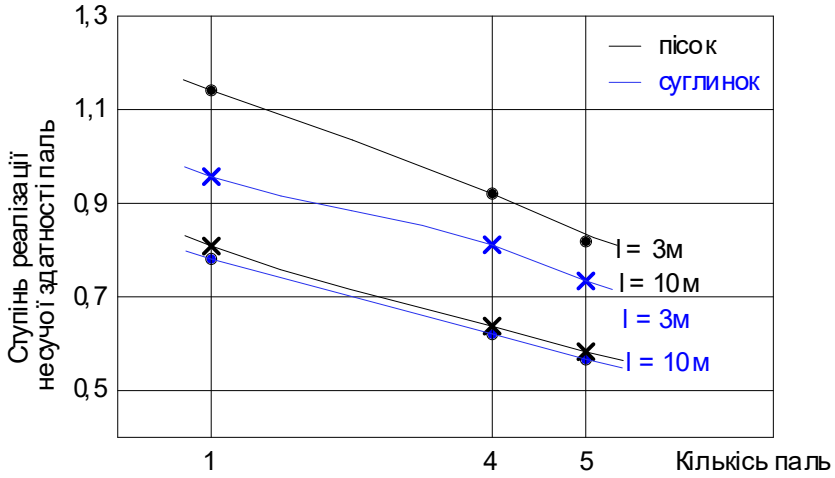
кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^2

кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^2

Залежність ступеню реалізації несучої здатності паль у складі пальового фундамента

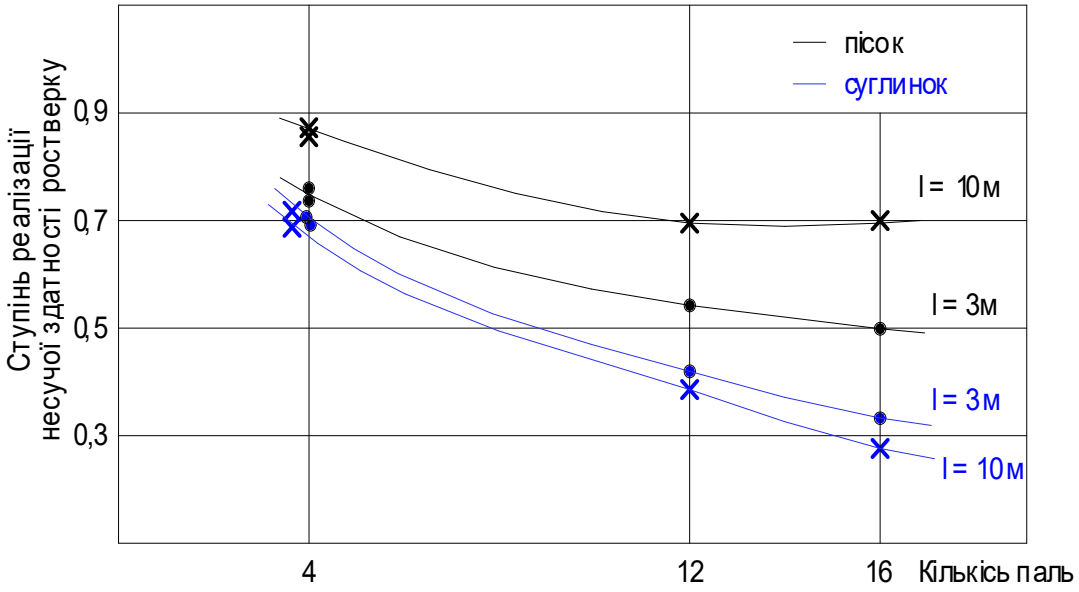


кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^2

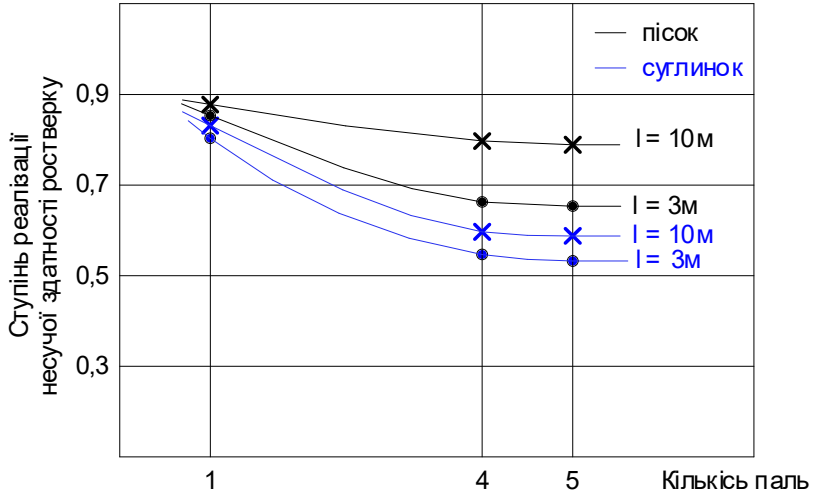


кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^2

Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку



кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^2

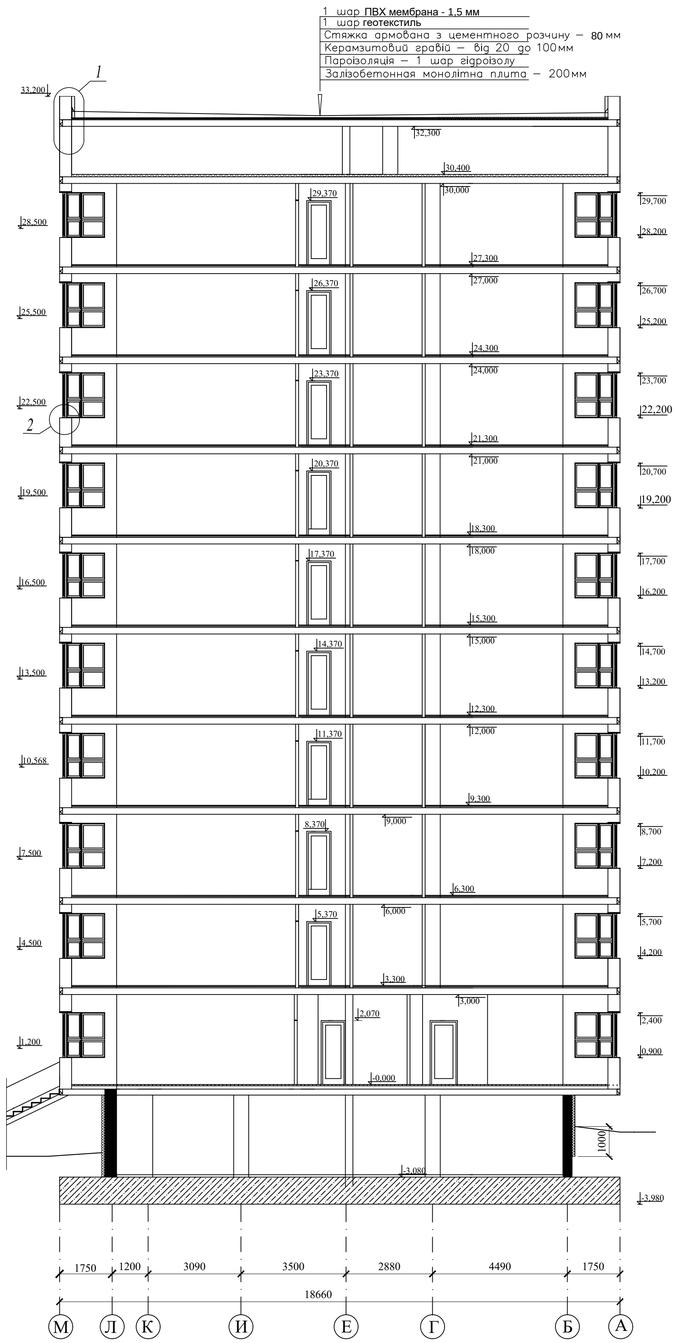


кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^2

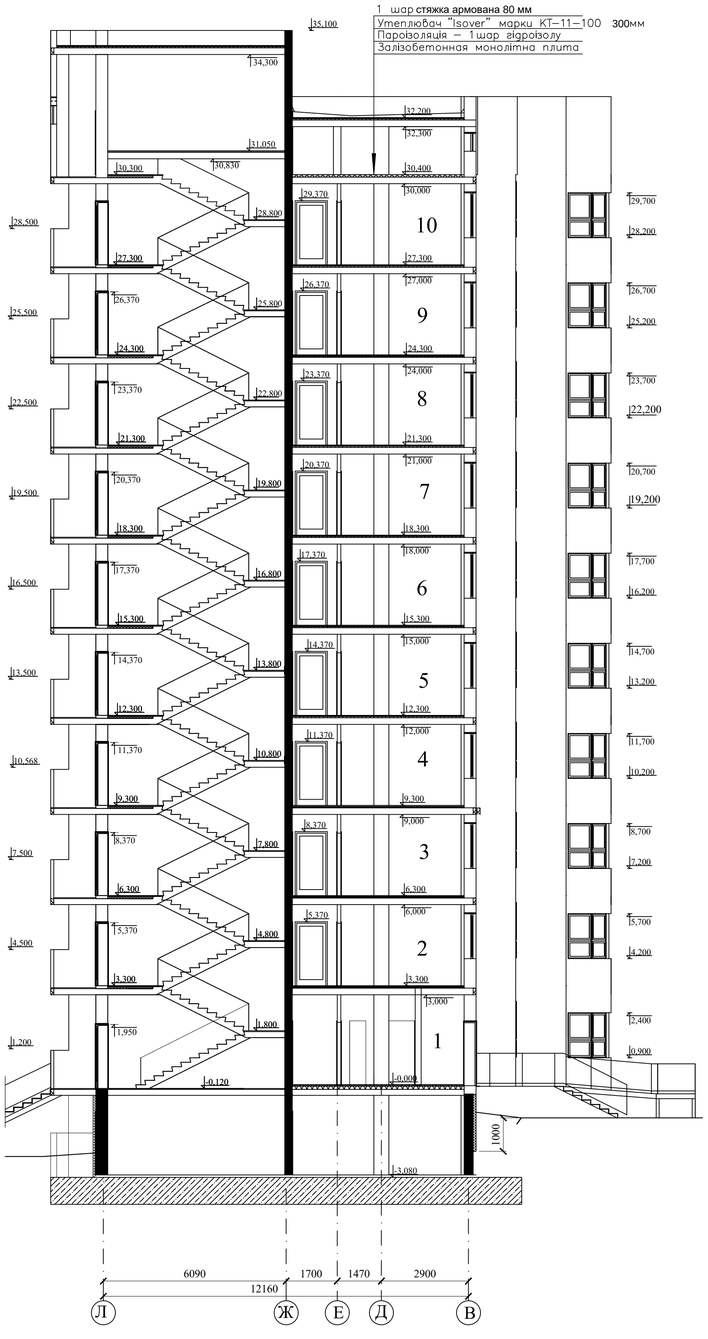
Висновки за результатами досліджень

1. В випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундамента в цілому, а також окремих його елементів підвищується.
2. Зменшення кількості паль у 4-5 разів у межах постійної площі ростверка призводить до зменшення навантаження, яке сприймає кущ, лише у 1,23-1,54 разів для триметрових паль і у 1,37-1,76 разів для десятиметрових. Це свідчить про більш ефективне використання паль при застосуванні комбінованого варіанта пальового фундамента.
3. За рахунок збільшення площі ростверка можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 раза (для коротких паль цей ефект більший, він також більший для піщаного ґрунту у порівнянні з глинистим).
4. При незмінній кількості паль збільшення площі ростверка призводить до збільшення його частки у навантаженні на кущ, досягаючи доволі великих значень 50-70%.
5. Аналіз результатів моделювання показує більшу ефективність розміщення паль у комбінованому фундаменті по периметру куща, ніж у його центральній частині.
6. При великій кількості паль ступінь реалізації їх несучої здатності коливається в діапазоні 0,3-0,6, при незначній кількості відповідно в діапазоні 0,5-1,1. Довжина паль впливає на реалізацію їх несучої здатності неоднозначно. В глинистих ґрунтах краще реалізують себе довгі палі, а в піщаних ґрунтах – короткі. При сталій кількості паль площа ростверка мало впливає на реалізацію їх несучої здатності.
7. При традиційному компактному розміщенні паль (групи дослідів 1, 2, 6) ступінь реалізації несучої здатності ростверку коливається в діапазоні 0,2-0,75, тоді як при розрідженому їх розміщенні в комбінованому фундаменті цей діапазон 0,65-0,85. В глинистих ґрунтах ступінь реалізації тиску під ростверком нижче, ніж в піщаних.
8. При сталій кількості паль збільшення площі ростверка суттєво збільшує реалізацію його несучої здатності.
9. З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундамента.

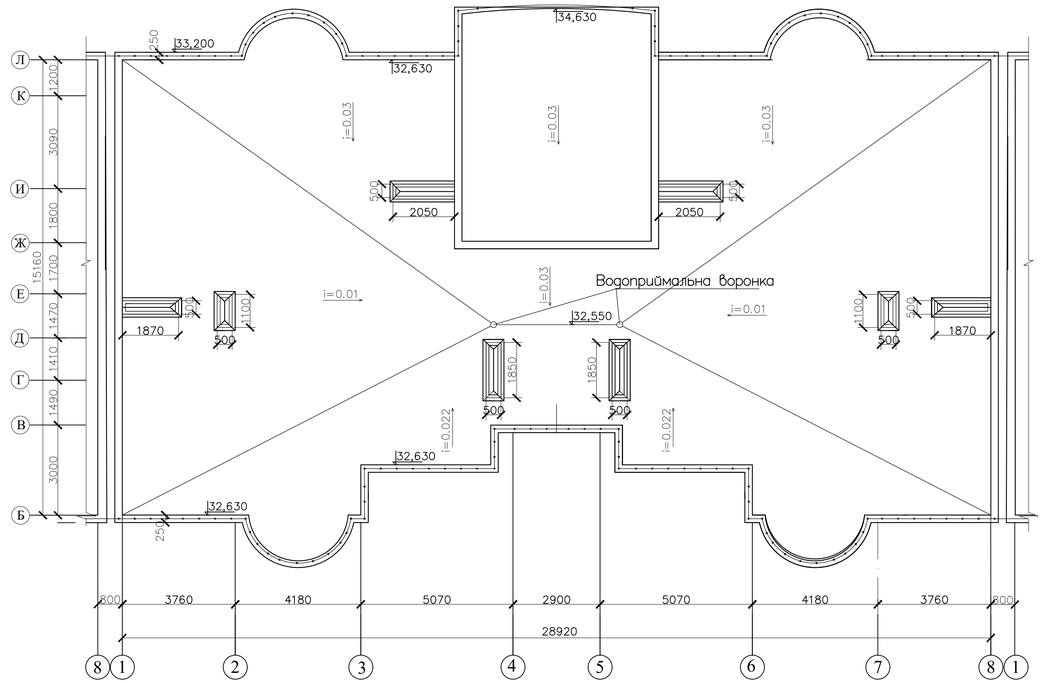
Розріз 1–1



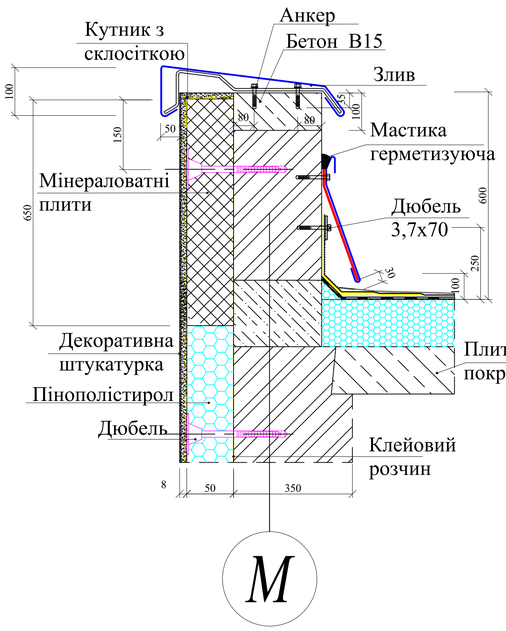
Розріз 2–2



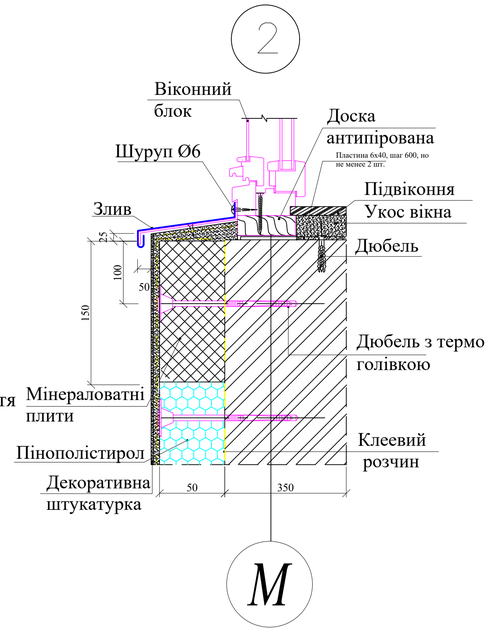
План покрівлі



1

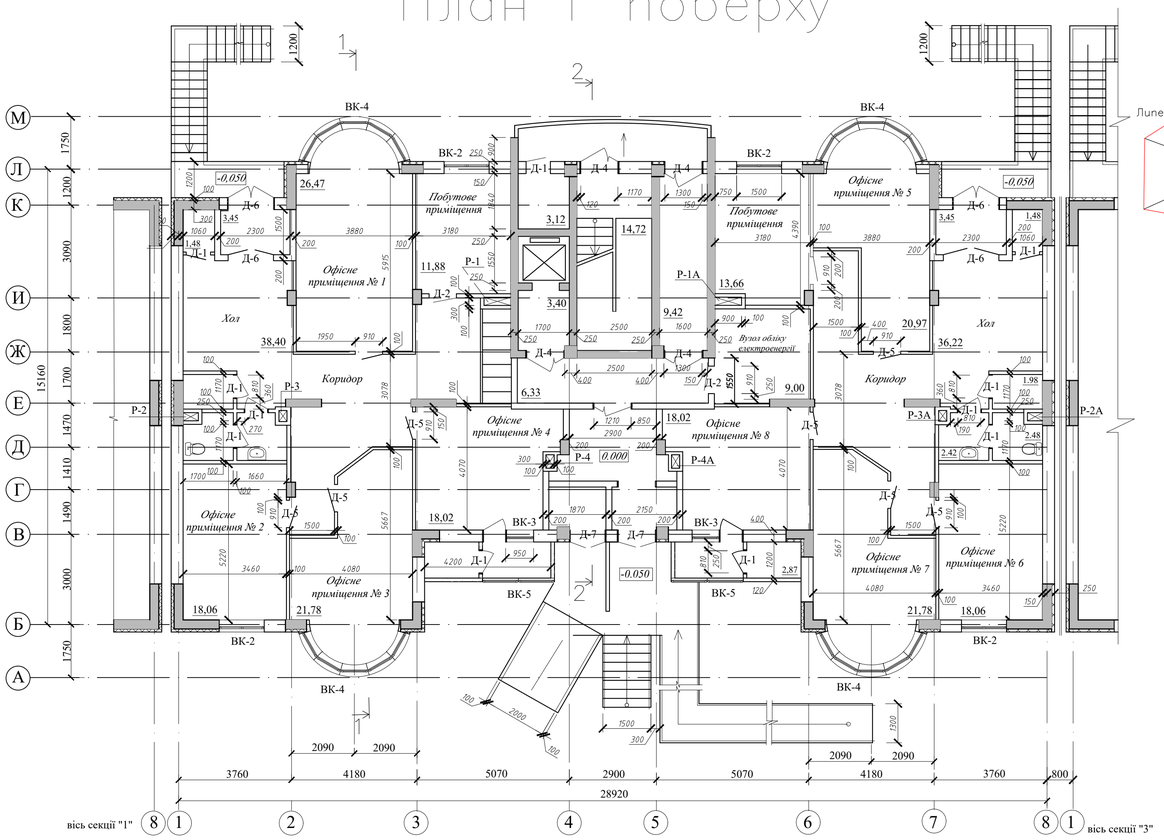


2

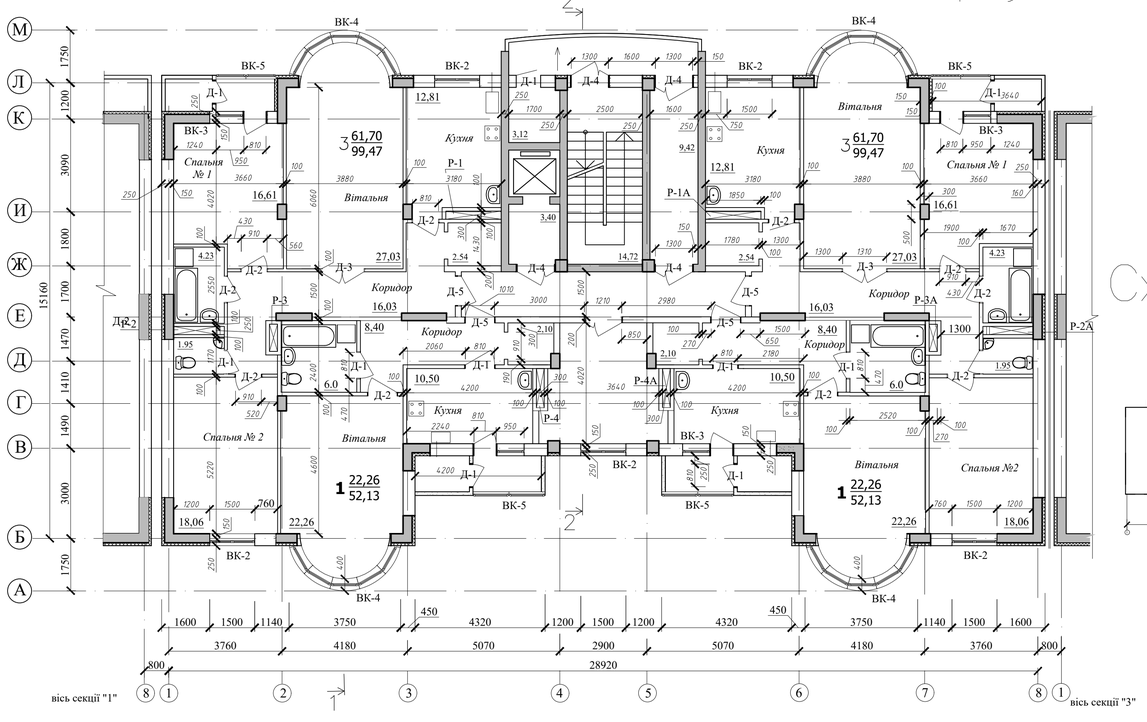


							08-11.МКР.002 - АР
							Каркасно-монолітний житловий будинок на 36 квартир в місті Вінниця
Зм.	Кільк.	Лист	№ док	Підпис	Дата		
Розробив		Ганущак Ю.В.				Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі	Стадія: П; Аркуш; Аркушів
Перевірив		Смоляк В. В.					
Керівник		Маєвська І.В.				Розрізи 1 - 1, 2 - 2, план покрівлі, вузли 1, 2	ВНТУ, гр. Б-22мз
Норм. контроль		Маєвська І.В.					
Опонент							
Затвердив		Швець В. В.					

План 1 поверху



План типового поверху

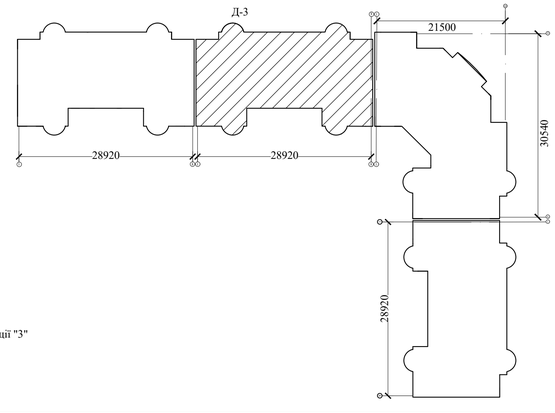


Фрагмент генплану

Умовні позначення

	Будинок, що проектується		Клумби		Автомобільні дороги
	Існуючі будівлі, та споруди		Елементи благоустрою		Тратуари та пішеходні доріжки

Схема розташування секцій

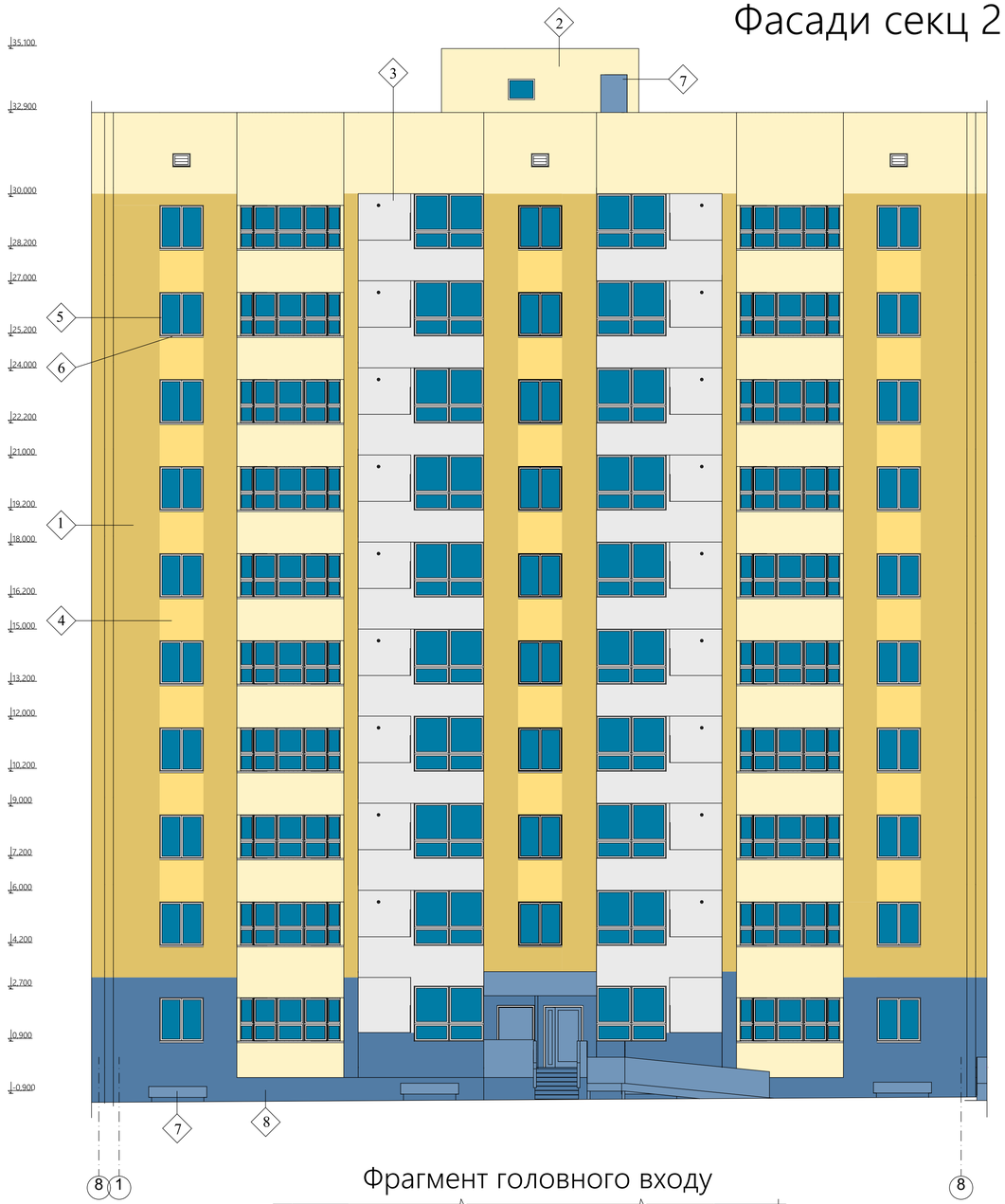


Експлікація будівель і споруд

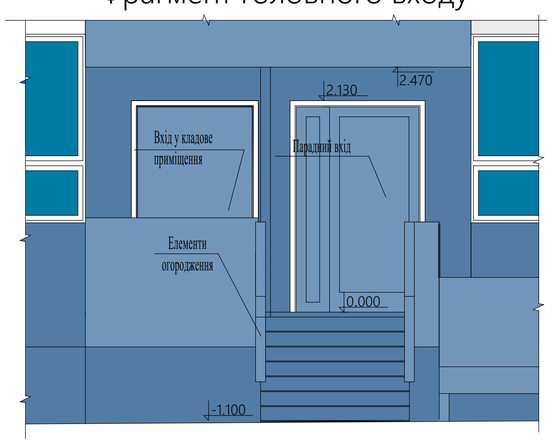
№ по ГП	Найменування будівлі (споруди)	Площа забудови м2	Примітка
1	Секція №1 на 36 квартир	452	Проект.
2	Секція №2 на 36 квартир	452	Проект.
3	Секція №3 на 36 квартир	471	Проект.
4	Секція №4 на 36 квартир	452	Проект.
5	Майданчик для відпочинку дорослих	255	Проект.
6	Майданчик для ігор дітей до 6 років	82	Проект.
7	Майданчик для настольних ігор	120	Проект.
8	Майданчик відпочинку дітей 7–14 років	149	Проект.
9	Майданчик для сушки білизни	72	Проект.

							08-11.МКР.002 - АР
							Каркасно-монолітний житловий будинок на 36 квартир в місті Вінниця
Зм.	Кільк.	Лист	№ док.	Підпис	Дата		
Розробив		Ганущак Ю.В.				Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі	Стадія: П; Аркуш; Аркушів
Перевірив		Смоляк В.В.					
Керівник		Маєвська І.В.				План першого поверху, план типового поверху, фрагмент генплану	ВНТУ, гр. Б-22мз
Норм. контроль		Маєвська І.В.					
Опонент							
Затвердив		Швець В. В.					

Фасади секц 2 в осях1-8, 8-1



Фрагмент головного входу

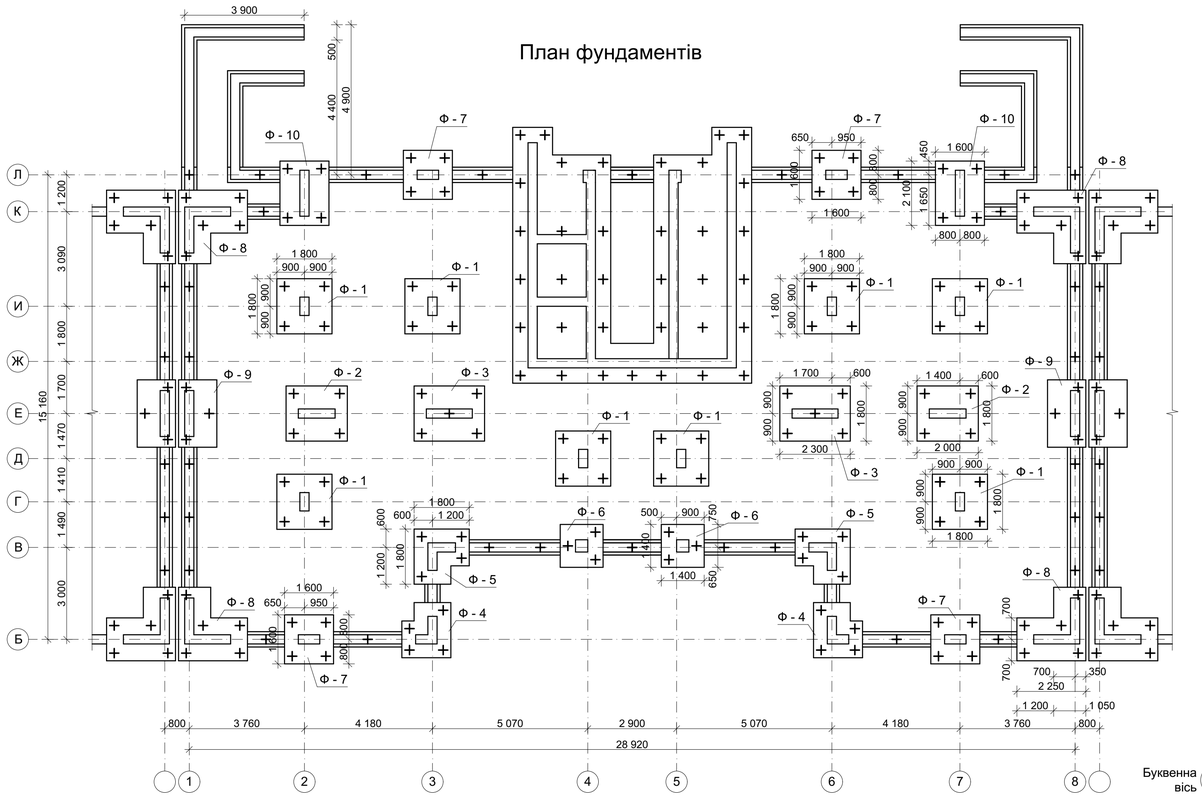


Паспорт кольорового опорядження фасадв

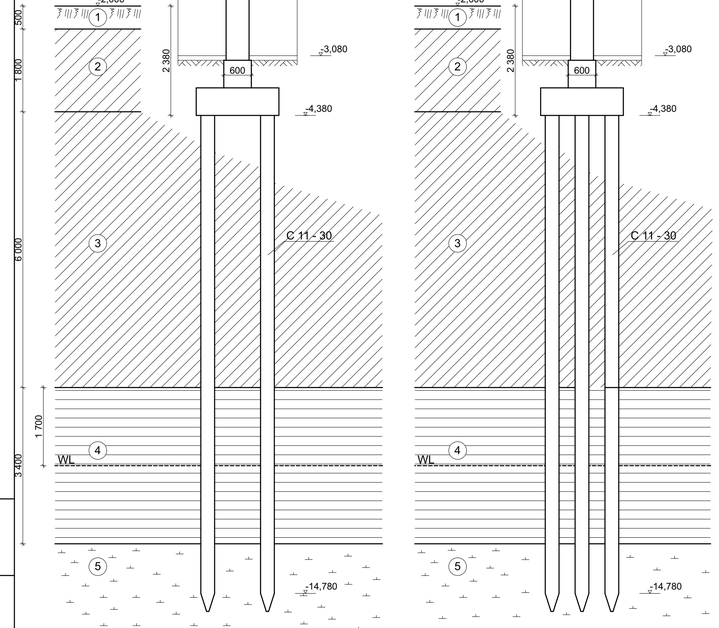
Марка поз.	Колір	Найменування		
1		Зовнішні стіни	фарбування	фарба для зовн робіт силікатна з добавленням пігменту.
2		Зовнішні стіни	фарбування	фарба для зовн робіт силікатна з добавленням пігменту.
3		Зовнішні стіни	фарбування	фарба для зовн робіт силікатна з добавленням пігменту.
4		Зовнішні стіни	фарбування	фарба для зовн робіт силікатна з добавленням пігменту.
5		Вікна	металопластикові	"Новолакс"
6		Відливи	металеві	"Новолакс"
7		Двері - металеві та металеві елементи	фарбування	фарбування емалевою фарбою за 2 рази
8		Цоколь	облицювання	Керамічна плитка

							08-11.МКР.002 - АР
							Каркасно-монолітний житловий будинок на 36 квартир в місті Вінниця
Зм.	Кільк.	Лист	№ док	Підпис	Дата		
Розробив		Ганущак Ю.В.				Робота комплексного фундамента з паль та ростверку підвищеної площі	Стадія: П; Аркуш; Аркушів
Перевірив		Смоляк В.В.					
Керівник		Маєвська І.В.					
Норм. контроль		Маєвська І.В.				Фасади секції 2 в осях 1-8, 8-1, паспорт озодблення фасадів, фрагмент головного входу	ВНТУ, гр. Б-22мз
Опонент							
Затвердив		Швець В.В.					

План фундаментів



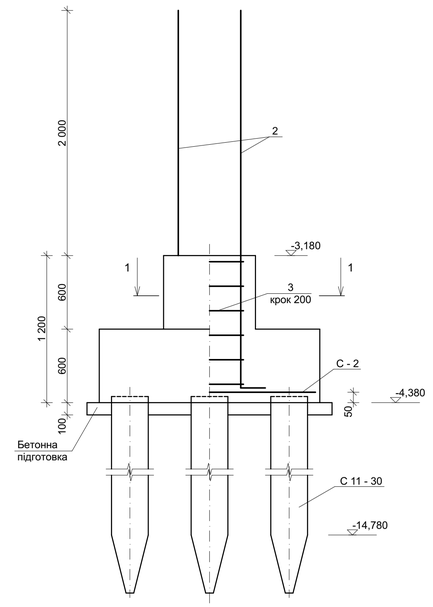
Геологічний розріз з варіантами фундаментів



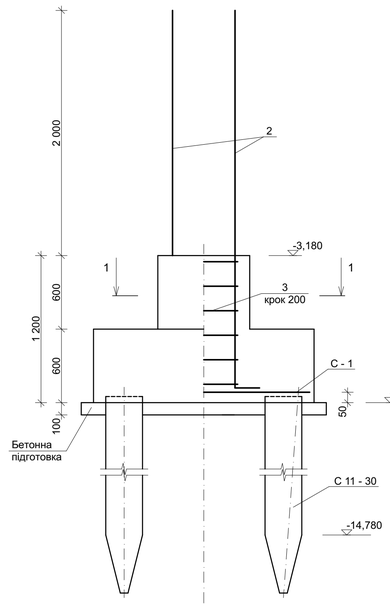
Умовні позначення

1 — Чорнозем
2 — Суглинок жовтобурий
3 — Суглинок жовтий
4 — Глина червонобура
5 — Каолін тугопластичний

Фундамент Ф - 1 (базовий варіант)



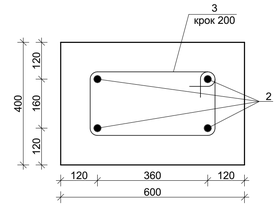
Фундамент Ф - 1 за результатами наукового дослідження



Відомість деталей

Поз.	Ескіз
2	3 130; 200
3	560; 210; 560; 210

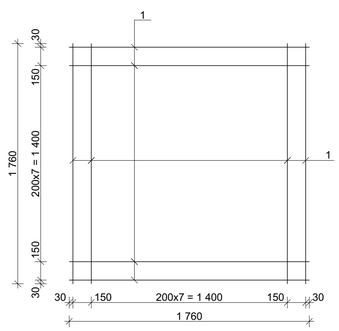
1 - 1



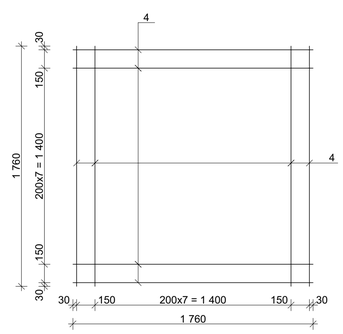
Відомість витрати сталі, кг

Марка елементу	Вироби арматурні						Всього
	Арматура класу А 400 С ДСТУ 3760:2006				Арматура класу А 240 С ДСТУ 3760:2006		
	Ø16	Ø20	Ø36	Всього	Ø8	Всього	
Фундамент Ф - 1 за результатами наукового дослідження	-	86,8	106,44	193,24	3,66	3,66	196,9
Фундамент Ф - 1 (базовий варіант)	55,6	-	106,44	162,04	3,66	3,66	165,7

С - 1



С - 2



Специфікація на арматурну сітку

Марка виробу	Поз. дет.	Найменування	Кіл.	Маса од. кг.	Маса виробу. кг.
С - 1	1	Ø20 А 400 С l = 1 760	20	4,34	86,8
С - 2	4	Ø16 А 400 С l = 1 760	20	2,78	55,6

Специфікація

Марка поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Маса од, кг	Примітки
Фундамент Ф - 1 за результатами наукового дослідження					
		Складальні одиниці			
С - 1		Сітка С - 1	1		86,8
		Деталі			
2	ДСТУ 3760:2006	Ø36 А400С L = 3 330	4	26,61	106,44
3	ДСТУ 3760:2006	Ø8 А240С L = 1 540	6	0,61	3,66
		Матеріали			
		Бетон С16/20			2,09 м3
Фундамент Ф - 1 (базовий варіант)					
		Складальні одиниці			
С - 2		Сітка С - 2	1		55,6
		Деталі			
2	ДСТУ 3760:2006	Ø36 А400С L = 3 330	4	26,61	106,44
3	ДСТУ 3760:2006	Ø8 А240С L = 1 540	6	0,61	3,66
		Матеріали			
		Бетон С16/20			2,09 м3

Зм.	Кільк.	Лист	№ док	Підпис	Дата
Розробив		Ганущак Ю.В.			
Перевірив		Маєвська І.В.			
Керівник		Маєвська І.В.			
Норм. контроль		Маєвська І.В.			
Опонент					
Затвердив		Швець В.В.			

08-11.МКР.002 - КБ

Каркасно-монолітний житловий будинок на 36 квартир в місті Вінниця

Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі

Стадія	Аркуш	Аркушів
П		

Геологічний розріз з варіантами фундаментів, робочі креслення фундаментів, сітки С - 1, С - 2, розріз 1 - 1, відомість деталей, специфікації

ВНТУ, гр. Б - 22мз

Інв. № оф. | Підпис і дата | Зам. інв. №

ВІДГУК
керівника магістерської кваліфікаційної роботи

студента (ки) Ганущака Юрія Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі

Питання підвищення ефективності конструктивного рішення фундаментів завжди залишається актуальним. У даній магістерській кваліфікаційній роботі пропонується використати ідею комплексного фундамента не для плитного, а для стовпчастого фундамента. Якщо розмістити палі на значній відстані одна від одної або компактно розмістити їх під колоною, але розміри ростверка прийняти доволі значними, це може компенсувати незначну кількість паль включенням у роботу ростверка.

Аналіз результатів дослідження показує, що в випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундамента в цілому, а також окремих його елементів підвищується. При сталій кількості паль збільшення площі ростверка суттєво збільшує реалізацію його несучої здатності.

Робота відповідає виданому завданню і вимогах до магістерських кваліфікаційних робіт.

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

Магістерська робота містить розділи, присвячені аналізу стану питання та математичному моделюванню за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK. При математичному моделюванні перевірявся вплив довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик ґрунту основи на несучу здатність пальового куща.

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

Під час роботи студент 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 LIII науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, проведеній у березні 2024 р. у ВНТУ, і за результатами доповіді опубліковані тези.

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

По роботі слід відзначити такі недоліки:

1. Не висвітлена область використання комплексних кущових пальових фундаментів (обмеження по ґрунту і навантаженням).
2. При математичному моделюванні бажано б було розглянути більшу кількість типів ґрунтів.

Підготовка студента Ганушака Ю. В. відповідає вимогам освітньої програми.

Магістерська кваліфікаційна робота заслуговує на оцінку «А», а студент 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) _____ (підпис) І. В. Маєвська (ініціали, прізвище)

Відгук
на магістерську кваліфікаційну роботи

магістранта Ганущака Юрія Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: «Робота комплексного фундамента з паль та ростверка підвищеної площі»

Робота магістранта полягала в дослідженні ефективності використання комплексних пальових фундаментів, що містять зменшену кількість паль і розвинуті в плані ростверки.

Робота Ганущака Ю. В. 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 із пояснювальної записки, яка містить шість розділів та креслення. При виконанні роботи було використано програмний комплексу SOFiSTiK, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів, проведено чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик ґрунту основи.

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

До недоліків можна віднести неточності в оформленні пояснювальної записки.

Проте магістерська кваліфікаційна робота Ганущака Ю. В. виконана на високому рівні та заслуговує оцінки « відмінно».

Опонент

доцент кафедри ІСБ, к. т. н. (підпис) Н. М. Слободян
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (ініціали, прізвище)