

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вишого 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:

ЧИСЛОВІ ПІДХОДИ В ЗАДАЧАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО НЕСУЧУ
ПРОМОЖНІСТЬ КОМБІНОВАНИХ ПАЛЬОВИХ І ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ
БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

Виконав: студент 2-го курсу, групи Б-23м
за спеціальністю 192 - «Будівництво та цивільна
інженерія» Д. Д. Степанюк

(підпис, ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., професор каф. БМГА

Моргун А.С.

(науковий ступінь, вчене звання, ініціали та прізвище)

« 18 » 12 2024 р.

(підпис)

Опонент к.т.н., доцент Слободян Н. М.
(науковий ступінь, вчене звання, ініціали та прізвище)

« 18 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри БМГА

д.т.н., доц. В. В. Швець

(ініціали та прізвище)

« 18 » грудня 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво
Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво


ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
БМГА
Швець В. В.
"18" березня 2024 року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

Степанюку Дмитру Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Числові підходи в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатопверхових будівель

керівник роботи

Моргун А. С., д.т.н., професор

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "17" вересня 2024 року №310.

2. Строк подання магістрантом роботи 30.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Фрагмент ситуаційного плану, карта місцевості, нормативна література

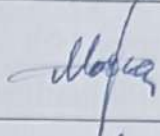
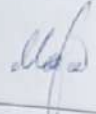
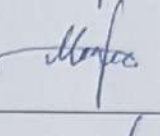
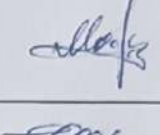
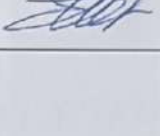
4. Зміст текстової частини: Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація). Розділ 1 Аналіз стану питання (Основи комбінованих пальових і плитних фундаментів багатопверхових будівель. Визначення несучої здатності паль. Висновки за розділом 1). Розділ 2 моделювання плитно-пальових фундаментів. Моделювання взаємодії системи паля-ростверк-основа. Висновки за розділом 2). Розділ 3. Аналіз методом скінчених елементів (МСЕ). Аналіз методом граничних елементів (МГЕ). Генеральний план забудови. Архітектурно-планувальні рішення. Зовнішнє та внутрішнє оздоблення. Приклади розрахунку пальово-плитного фундаменту. Висновки за розділом 3). Розділ 4 Технічна частина (Архітектурно-будівельні рішення. Організаційно-технологічні рішення). Розділ 5 Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік ілюстративно-графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Науково-дослідний розділ – 8 арк. (плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи: актуальність, мета завдання, практична цінність наукової роботи)

2. Архітектурно-будівельні рішення – 3 арк. (архітектурно-будівельні рішення).

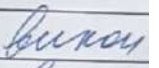
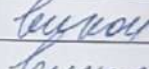
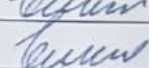
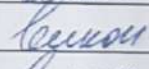
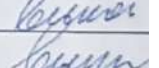
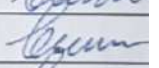
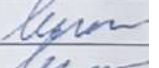
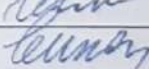
3. Організаційно-технологічні рішення – 4 арк. (Технологічно-організаційні рішення зведення будівельного об'єкту).

6. Консультанти розділів роботи

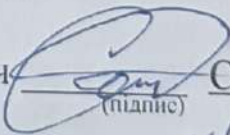
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Вступ, науковий розділ 1-3	Моргун А. С., д.т.н., професор кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Архітектурно-будівельні рішення	Моргун А. С., д.т.н., професор кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Організаційно-технологічні рішення	Моргун А. С., д.т.н., професор кафедри БМГА		
Розділ 5. Економічна частина	Лялюк О. Г., к.т.н., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 12.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Складання технічного завдання та вступу до МКР	11.10-16.10.24	
2	Науково-дослідна частина	02.09-13.10.24	
3	Архітектурно-будівельні рішення	16.10-31.10.24	
4	Організаційно-технологічні рішення	01.11-10.11.24	
5	Охорона праці та цивільний захист	11.11-17.11.24	
6	Економічна частина	18.11-24.11.24	
7	Оформлення МКР	25.11-28.11.24	
8	Подання МКР на кафедру для перевірки	29.11-30.11.24	
9	Попередній захист	01.12-03.12.24	
10	Опонування	04.12-12.12.24	
11	Захист МКР	13.12-21.12.24	

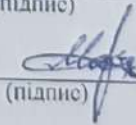
Здобувач



Степанюк Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



Моргун А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 691

Степанюк Д.Д. Числові підходи в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2024. 115 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 50 назв; 25 рис., 8 табл, 12 арк. граф. частини.

У магістерській кваліфікаційній роботі висвітлено тему: «Підходи у прийнятті рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель». Проаналізовано наукові дослідження по даній темі.

У даній магістерській роботі є спорудження висотних новобудов в умовах стисливої забудови, на земельних ділянках із несприятливими інженерно-геологічними умовами. Будівництво потребує значних затрат ресурсів та засобів. Потреба у зниженні цих витрат призводить до все більш широкого запровадження нових ефективних конструкцій пальових – плитних фундаментів.

Основна мета дослідження – виконати експеримент за різними методиками (МСЕ та МГЕ) і рекомендаціями та провести оцінку їх результатів. Магістерська кваліфікаційна робота містить в собі графічну та текстову частини, 25 рисунків, 8 таблиць та 5 додатків. Текстова частина складається з п'яти розділів пояснювальної записки, що описує стан питання у даний час на території України, дослідження спрямовані на рішення проблем, та шляхи їх вирішення, висвітлені у роботі.

Ключові слова: паля, фундамент, основи, метод граничних елементів, метод скінченний елементів, розрахунок фундаментів, пальово-плитний фундамент, ґрунт.

ANNOTATION

UDC 691

Stepanuk D.D. Numerical approaches in the problems of decision-making about the failure of combined pile and slab foundations of multi-story buildings. Master's qualification thesis on specialty 192 - "Construction and civil engineering". Vinnytsia: VNTU, 2024. 115 p

The master's qualification work emphasizes numerical approaches to decision-making issues regarding the bearing capacity of combined pile and slab foundations in multi-story buildings. It also examines scientific studies related to this topic.

This master's thesis deals with the construction of new high-rise buildings in the conditions of compact construction, on land plots with unfavorable engineering and geological conditions. Such a construction requires significant expenditure of resources and means. The need to reduce these costs leads to the increasingly widespread introduction of new efficient foundation designs.

The main goal of the research is to perform a numerical experiment using various methods and recommendations and evaluate their results.

The master's thesis comprises both a graphic and a textual component 25 figures, 8 tables and 5 appendices. The textual section features five parts of the explanatory note, which outlines the current state of the issue in Ukraine, the research conducted to address these problems, and the proposed solutions presented in the project.

Key words: pile, foundation, MGE, MSE, calculation of foundations, pile-slab foundation, soil.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1. Основи комбінованих пальових і плитних фундаменті багатоповерхових будівель.....	8
1.2. Визначення несучої здатності паль.....	15
1.3. Висновки до розділу 1.	19
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДИКА МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПАЛЬОВИХ І ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ.....	20
2.1 Моделювання плитно – пальових фундаментів	21
2.2 Моделювання взаємодії системи «основа - пальово-плитний фунда- мент - будівля» з використанням різних моделей ґрунтової основи.....	30
2.3 Моделювання системи «паля – ростверк - основа».....	36
2.4 Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3	
АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ПАЛЬ ТА ПАЛЬОВО – ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТУ З ҐРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	39
3.1. Аналіз методом скінчених елементів (МСЕ).....	39
3.2. Аналіз методом граничних елементів (МГЕ)	44
3.3. Висновки до розділу 3.....	45
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	46
4.1. . Архітектурно – будівельні рішення.....	46
4.1.1 Вихідні дані.....	46
4.1.2. Генеральний план та організація рельєфу.....	47
4.1.3 Архітектурно – планувальні рішення.....	48
4.1.4. Архітектурно – конструктивні рішення.....	49
4.1.5 Зовнішнє та внутрішнє оздоблення.....	54
4.2. Приклад розрахунку пальово – плитного фундаменту.....	57
4.3 Висновки до розділу 4.....	66

5 РОЗДІЛ ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	67
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
ДОДАТКИ.....	85
Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	86
Додаток Б Відомість графічної частини.....	87
Додаток В Фрагмент генплану та першого та типового поверхів.....	100
Додаток Г План перекриття та армування плити.....	101
Додаток Д Геологічний розріз ґрунту та план фундаменту.....	102

ВСТУП

Актуальність теми. У даний час проблемами містобудування України є - спорудження багатоповерхівок в умовах щільної забудови, на земельних

ділянках із несприятливими інженерно-геологічними умовами. На даний вид будівництва мають виділятися значні затрати ресурсів та засобів. Потреба у зниженні цих витрат штовхає нас до створення нових ефективних та результативних конструкцій пальово - плитних фундаментів.

Вартість фундаменту становить в середньому 12% від вартості усієї споруди, а тривалість будівництва фундаментів близько 20% часу будівництва усієї будівлі. Під час спорудження заглиблених частин будівель, а також під час будівництва у складних інженерно-геологічних умовах дані показники значно збільшуються. Правильне удосконалення проектних та технологічних рішень в галузі фундаментобудування призведе до економії матеріальних та трудових ресурсів, що сприятиме скороченню термінів будівництва будівель та споруд.

Об'єкт дослідження - пальові і плитні фундаменти багатоповерхових будівель.

Метою роботи є створення та розрахунок проектування ефективних пальових і плитних фундаментів. Дослідження та проектування нових конструктивних рішень фундаментів, методів їх розрахунку та моделювання у будівництві.

Задля досягнення мети було поставлено такі ключові завдання:

- аналіз нормативних документів та наукових робіт в області гео - техніки, окреслення ключових аспектів проблеми при проектуванні пальових і плитних фундаментів, їх розрахунку та моделювання;
- дослідження та застосування пальових та плитних фундаментів у будівництві багатоповерхівок;
- визначення основних особливостей проектування і влаштування фундаментів у висотних будівлях;
- дослідження основних факторів, котрі впливають на вибір виду фундаменту висотної будівлі;
- за допомогою чисельних моделювань, котрі містять у собі пружно-пластичну модель ґрунту, методом скінчених елементів (МСЕ) дослідити напружено-деформований стан систем «висотна будівля – фундамент – основа» та «ростверк – палі – основа» при різних кроках паль.

Практичне значення одержаних результатів.

Застосування регламентуючих документів (ДБН, ДСТУ тощо) із проектування плитних та комбінованих пальових фундаментів. Способи випробування паль та методів визначення їх несучої здатності, кількісної оцінки ефективності проектних рішень у проектно-вишукувальних структурах.

На етапі проектування фундаментів безпосередньо приймають участь більше десятка тисяч інженерів, які пов'язані із проведенням пошукових робіт для будівництва, підготовкою основ, будівництвом фундаментів, підземних та заглиблених споруд. Кожен інженер незалежно від профілю його діяльності повинен чітко уявляти собі взаємозв'язок споруди та основи, вміти оцінювати їх вплив один на одного. Тому можна зробити висновок, про важливість вивчення проблем, які пов'язані з будівництвом фундаментів, під час підготовки спеціалістів даного напрямку для запобігання проблем при спорудженні будівель.

Апробація результатів дослідження. За результатами магістерської кваліфікаційної роботи було опубліковано 1-у тезу.

Структура та обсяг магістерської кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, додатків та 10 листів графічної частини. Загальний обсяг роботи становить 93 сторінок, у тому числі основного тексту, 25 рисунків, 8 таблиць та 5 додатків.

Публікації.

Степанюк Д.Д. Числові підходи в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)
<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/mn2025/paper/view/22717>

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Основи комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель

Палі – форма, яка найширше застосовується в рішеннях фундаментних конструкцій, що дозволяють у різних ґрунтових умовах створювати оптимальні варіанти фундаментобудування більшості будинків і споруд ефективних з технічної й економічної точок зору (при значних діапазонах зміни величини навантажень, переданих цими спорудами на ґрунт).

Надважливою складовою на етапі проектування фундаментів є розрахунок основи та визначення виду ґрунту. При проектуванні необхідно розглядати фундамент та основу, як єдину конструктивну систему.

Для розрахунку фундаментів повинні бути проведені комплексні дослідження ґрунтів і визначення їх виду та основи з ціллю визначення розрахункового опору ґрунту, який повинен перевищувати тиск, що передається на основу ($R_{\text{ср}} \geq R$), як обов’язкова умова забезпечення нормальної роботи його під навантаженням, аби не допустити деформації споруди.

Дисперсний ґрунт, використовують як основу під фундаменти будівель і споруд, що є складним та вкрай важливим середовищем.

Для достовірної та повноцінної будівельної оцінки ґрунту, яка є основою, в процесі досліджень необхідно отримати більше десяти показників. А на практиці, під час проектування будинків кількість цих показників у кілька разів буде менша.

У галузі будівництва багатоповерхових будівель при значних навантаженнях по підшві фундаментів і заляганні в основі нескільних ґрунтів, як правило, застосовують найбільш поширений - пальовий фундамент, аби знизити деформацію з виконанням вимог нормативного документа [68] за гранично допустимими осіданнями. Також це стосується і наявності в верхніх шарах ґрунтового масиву структурно-нестійких і слабких геологічних відкладень, в тому числі, з нерівномірною потужністю.

Вагомий внесок у вивчення роботи паль і паль-оболонки на вертикальні навантаження внесли багато вітчизняних і зарубіжних учених серед яких: В.Є. Абрамов, І.В. Андріанов, П.А. Аббасов, А.О. Бартоломей, Б.В. Бахолдін, В.Г. Березанцев, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, С.В. Гдалін, М.М. В.М. Голубков, М.Н. Гольдштейн, Б.В. Гончаров, А.О. Григорян, Б.І. Далматов, Н.М. Дорошкевич,

А.Ж. Жусупбеков, В.В. Знаменський, М.Л. Зоценко, В.О. Ільчов, М.В. Корнієнко, В.В. Конюшков, В.І. Крутов, І.Я. Лучковський, Р.А. Мангушев, І.В. Матвєєв, В.М. Морозов, М.С. Метелюк, В.М. Митинський, А.С. Моргун, М.І. Нікітенко, Н.Г. Новожилов, О.В. Новський, Є.М. Перлей, О.О. Петраков, О.В. Пілягин, В.А. Поліщук, А.І. Работніков, В.Л. Сєдін, Г.М. Сміренський, С.Н. Сотников, З.Г. Тер-Мартirosян, Ю.Г. Трофіменков, Ю.Ф. Тугаєнко, В.М. Улицький, В.Г. Федоровський, П.Г. Чижиков, Д.М. Шапіро, В.Б. Швець, О.В. Школа, П.І. Яковлєв, Н. Brandl, В.А. Casagrande, K. Fleming, R. Katzenbach, A. Mondolini, J.O. Osterberg, D. Pati, L. Prandtl, M. Randolph, K.Soga, M. Stosker, J. Yang та багато інших [1, 4, 11-13, 15, 21, 27, 28, 33, 37, 41, 43, 51].

Сьогодні одним з найбільш актуальних наукових напрямків у галузі геотехніки є включення в роботу плити ростверку при збільшенні кратності кроку між осями паль $n \geq 6$ - конструювання так званих комбінованих пальово-плитних фундаментів [23]. Серед науковців та вчених пропонуються різні способи зведення плитно-пальових фундаментів [2, 26], що передбачають зазори між плитою й палями з метою або ущільнення «слабких» ґрунтів під плитою, або попереднім навантаженням одиночних паль і наступним об'єднанням плити ростверку з палями.

У статті В.В. Знаменського і А.М. Рузаєва наводяться дані відомих фахівців-геотехніків з ряду зарубіжних країн, які допускають істотну (35-50%) участь роботи низького ростверку в передачі навантаження на ґрунт у пальово-плитному фундаменті.

За останні тридцять років при будівництві багатоповерхових й висотних будівель значна увага приділяється питанням взаємодії пальово-плитних фундаментів з ґрунтовими основами, що відображено в дослідженнях В.Ф. Александровича, В.В. Бабанова, В.О. Барвашова, А.О. Бартоломея, В. Бахолдіна, І.П. Бойка, В.М. Голубкова, Н.З. Готмана, А.Ж. Жусупбекова, В.В. Знаменського, І.В. Колибіна, Р.А. Мангушева, І.Т. Мірсаяпова, М.І. Нікітенка, Ю.Р. Оржеховського, В.П. Петрухіна, О.В. Пілягіна, А.М. Рузаєва, В.О. Сахарова, З.Г. Тер-Мартirosяна, Ю.Ф. Тугаєнка, В.М. Улицького та інших [6, 7, 9, 12, 16, 18, 27, 30, 43, 51, 65].

Обчислення системи «багатошарова основа - пальово-плитний фундамент -

споруда» залежить від ряду факторів, серед яких: інженерно-геологічні умови, вид паль і крок між ними, жорсткість плити, основа та її фізико-механічні характеристики, характер взаємодії між палями, плитою і ґрунтом. Тому використовуються чисельні методи, що реалізовані в сучасних розрахункових комплексах типу ЛІРА, ABAQUS, ANSYS, Plaxis, SOFISTIK з модулем WinTUBE, FEMmodels, VESNA та ін. Проте чисельні розрахунки, як правило, дозволяють робити лише окремі висновки та рекомендації, при цьому в них «закладені» індивідуальні підходи й припущення наукових шкіл на підставі власних лабораторних і натурних експериментальних досліджень.

Проектування пальово-плитних фундаментів здійснюється згідно чинно діючих будівельних норм, посиляючись на які, виконують розрахунки основ за деформаціями та несучою здатністю, у тому числі під час зведення споруд у складних інженерно-геологічних умовах. Відразу розраховується глибина закладання фундаментів, геометричні розміри, а також глибину майбутнього осідання у зв'язку з ущільненням ґрунтів під навантаженням. У випадку дії великих горизонтальних навантажень на фундаменти здійснюють розрахунки, направлені на забезпечення міцності та стійкості основ. У разі збільшення рівня підземних вод у ґрунтових масивах з часом може змінюватися значення механічних та фізичних характеристик ґрунтів, Тому дані процеси потрібно враховувати під час проектування фундаментів.

Спершу при проектуванні визначається категорія складності інженерно-геологічних умов на території будівництва.

Застосування крупнорозмірних пальово-плитних фундаментів для висотних та багатотоперхових будівель, згідно положень сучасних регламентуючих документів [69,], не дозволяє одночасно задовольняти умовам за граничним навантаженням на одиночну палю F_u і значними допустимими осіданнями s_u для споруд та будівель [68].

Це відбувається через те, що поетапність розрахунку та проектування пальового фундаменту йде від часткового до загального: від визначення несучої здатності одиночної палі за ґрунтом F_u з різними коефіцієнтами надійності (γ_g і γ_k) до проектування пальового поля з обмеженням мінімальних відступів між палями при недопущенні перевищення розрахункового навантаження на палю N :

$$N \leq \frac{F_u}{\gamma_g \cdot \gamma_k}, \quad (1.1)$$

й осідання s умовного фундаменту:

$$s \leq s_u, \quad (1.2)$$

при цьому, потрібно формальне задоволення умові розрахунку при осідання та використанні моделі лінійно-деформованого середовища та обмеженням тиску p в рівні підшви паль величиною розрахункового опору ґрунту R , для плитного варіанту крупнорозмірного фундаменту без паль практично завжди виконується:

$$p \leq R \quad (1.3)$$

Згідно з регламентуючим документом ДСТУ [51], прототипом яких є відповідний розділ радянського СНиП, осідання s пальового фундаменту складе:

$$s = \xi \cdot \Delta, \quad (1.4)$$

де Δ - стабілізоване осідання одиночної палі при статичних випробуваннях,

Варто зауважити, що в радянських нормах даний підхід був повністю виправданий, тому що при масовому застосуванні забивних паль квадратного поперечного перерізу 30х30см максимальне осідання такого фундаменту становить близько $s^{норм} \approx 7,5\text{см}$, що майже дорівнювало максимально допустимому осіданню 8,0 см, що розраховувалось за формулами (1.4 і 1.6), тобто граничне навантаження F_u на одиночну палю відповідало гранично допустимому осіданню, переважно, стрічкових пальових фундаментів s_u .

Ідентично з методикою визначення осідань (1.5) здійснюється нормативний перехід від граничного опору одиночної палі F_u до величини несучої здатності пальового фундаменту, що залежить від кількості паль n з умовним коефіцієнтом переходу, який дорівнює одиниці:

$$F_{max}^{норм} = 1 \sum_{i=1}^n \frac{F_u}{\gamma_g \cdot \gamma_k} \quad (1.6)$$

при обмеженні мінімальної відстані в осях між деякими типами паль – $3d$. Хоча в чинних нормативних документах у галузі будівництва (ДБН) з проектування пальових фундаментів [69] норми про відстані між палями відсутні, що для пальових куців при близькому розташуванні паль $<3d$ може призвести до завищення максимального навантаження за формулою (1.6). Тут варто зауважити, що мінімальна величина $2 \div 3d$ була введена в перші радянські норми з проектування саме забивних дерев'яних і залізобетонних паль ще в 1961 році і ґрунтувалася на виробничому досвіді, оскільки при менших відстанях через переущільнення навколопального масиву ґрунту поруч розташовані палі при забиванні мали вихід вгору, що сьогодні враховується актуалізованою редакцією російських норм. Однак для інших видів висячих паль постійного поперечного перерізу проектувальниками «за інерцією».

приймається величина $3d$, яка не залежить ні від довжини паль, ні від механічних властивостей ґрунтів, що не є обґрунтованим.

Протиріччя нормативних положень виникають через те, що на сьогоднішній день існує не вірний підхід до оцінки деформацій і міцності основи пальово-плитного фундаменту. При випробуванні одиночної палі визначаються місцеві деформація та стійкість ґрунтової основи, а пальово-плитно-ґрунтовий масив має загальні деформації відносно початкової поверхні планування, а також несучу здатність, яка значно більша від усього граничного опору одиночних паль (1.6). Схематично на рис. 1.1 показано невірні підходи щодо проектування, як суцільних плитних, так і пальово-плитних фундаментів, виходячи з випробувань їх елементів.

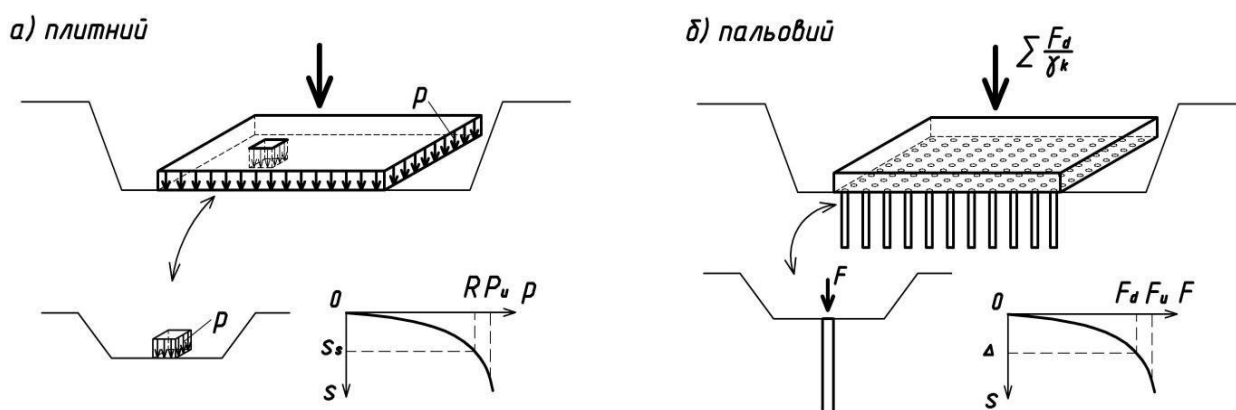


Рис. 1.1. Невірні підходи до проектування крупнорозмірних плитних і пальово-плитних (з регулярним розміщенням паль) фундаментів.

На рис. 1.1, для плитних фундаментів не застосовується такий підхід до проектування, тоді як для пальово-плитних - є нормативним, що призводить до неефективних конструктивних рішень фундаментів при виконанні основних нормативних обмежень (1.1) і (1.2).

Для оцінки ефективності комбінованого пальово-плитного фундаменту проф. Р. Катценбахом запропонована область ефективних значень, що представлена на графіку рис. 1.2.

Через те, що у процесі росту навантаження утворюються «нестійкі» зони, зароджуючись під краями фундаменту, поступово заглиблюючись в

підфундаментну область, виникає проблема визначення осідань фундаментів, що тісно переплелася з оцінкою стійкості і міцності основ, що чудово висвітлюється у працях В.Г. Березанцева [22], М.І. Горбунова- Посадова [48], М.В. Малишева [133] та інших учених.

Для порівняння максимальних меж розвитку «нестійких» зон під фундаментами, що допускаються в стадії експлуатації будівель і споруд методами різних авторів, представимо їх графічно на рис. 1.3, де використані відомі рішення, що моделюють фундамент із гнучким смуговим навантаженням: а) Н.П. Пузиревського ; б) СНиП II-Б.1-62 ; в) М.М. Маслова ; г) І.Я. Лучковського .

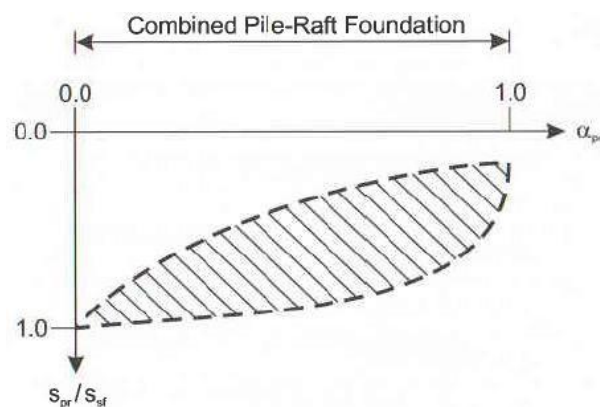


Рис. 1.2. Область ефективного застосування комбінованого пальово-плитного фундаменту

$$\text{де } \alpha = \frac{\sum R_{pile}}{R_{tot}},$$

$\sum R_{pile}$ - сумарна реакція всіх паль, кН;

R_{tot} - загальне навантаження на плиту, кН;

s_{pr} - осідання комбінованого пальово-плитного фундаменту, см;

s_{sf} - осідання плитного фундаменту, см

1.2. Визначення несучої здатності паль

У сучасному будівництві стали широко застосовуватись пальово – плитні фундаменти. Даний вид фундаментів ефективно використовується, як при міцних ґрунтах, так і неспроможних (глинистих, пухких, торф'яних тощо).

Палі занурюють методом вібраційного, ударного та гідравлічного занурення, також застосовують метод обертання. Даний метод полягає в обертанні палі в ґрунті для її занурення. Ця операція здійснюється за допомогою спеціального вертлюга або гвинтових паль. Палі використовують із загостреним кінцем які обертаються і проникають у ґрунт, не пошкоджуючи його. Палі виконують функцію передачі навантаження від споруди на – основу (ґрунт). Палі котрі, об'єднані зверху (по головах паль) розподільною плитою - ростверком, утворюють палевий фундамент.

Тому, питання призначення несучої здатності паль є актуальним як для проектувальників - у плані надійності прийнятих рішень, так і для інвесторів - в економічному аспекті.

У діючих українських нормативних документах [23], що основані на попередньому радянському «СНІП 2.02.03-85. Свайні фундаменти», немає врахування спрямованості вертикального навантаження (вдавлююче чи висмикуюче) при розрахуванні несучої здатності по бічній поверхні паль. З урахуванням коефіцієнтів умов роботи палі в ґрунті γ_c , співвідношення несучих здатностей за рахунок сил опору по бічній поверхні f при вдавлюванні й висмикуванні буде дорівнювати $F_{d,f}/F_{du,f}=1,25$.

Палі-стійки застосовують для забезпечення надійної опори на нестабільних або слабких ґрунтах, де традиційний фундамент може не дати потрібної стійкості. Вони добре підходять для високих будівель або складних умов будівництва. Палі пронизують усю товщу слабких ґрунтів і спираються на майже нестискувані шари ґрунту (скельні, галька, великоуламкові ґрунти, напівскельні, гравій тощо) (рис. 1.3).

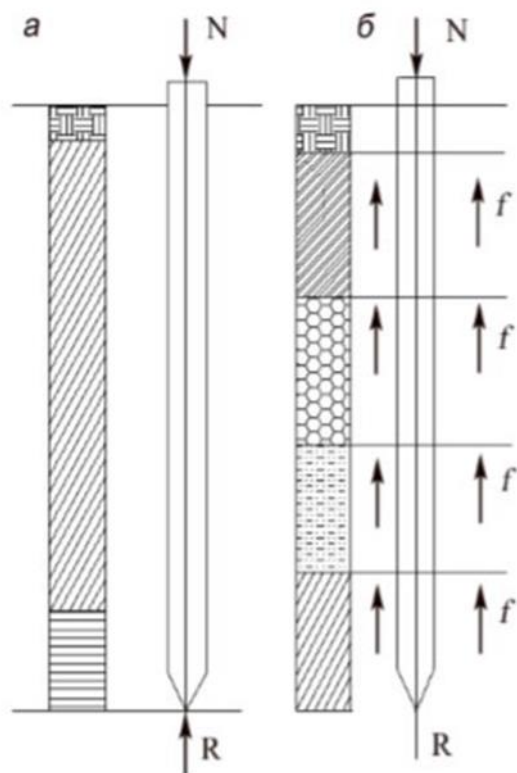


Рисунок 1.3 –Робота паль у ґрунті: а – паля-стійка; б – паля тертя

Аналітичним рішенням В.Н. Морозовим виконані експерименти [15] з додатковим привантаженням на поверхні, котре у десятки разів перевищує тиск по глибині дослідних паль (рис. 1.3), що і забезпечує основний тиск на бічну поверхню палі, але не має сенсу в області дослідження несучої здатності ґрунтової основи на дію різноспрямованих навантажень на палі.

Експериментальним вивченням сил опору, дотичних сил тертя по бічній поверхні паль і їх розподілом по глибині займалися в різні роки відомі вчені: В.М. Голубков, С.І. Цимбал, Ю.Н. Койпиш, А. Кезді, А.І. Єгоров, Н.В. Канчелі, А.Ю. Василенко, Г.М. Петренко.

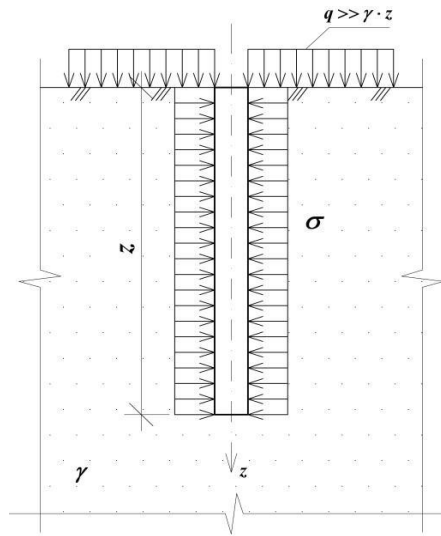


Рис. 1.4. Розрахункова схема формування тиску на бічну поверхню палі в експериментах В.Н. Морозова.

Особливо можна відзначити застосування тензопаль у спробах визначення опорів по бічній поверхні палі. У роботах А.О. Григорян [54, 56] і в співавторстві з І.І. Хабібুলіним [55] наводяться дані про розподіл опорів по бічній поверхні палі, отримані при випробуваннях набивної 18-метрової тензопалі на дослідному майданчику м. Вологодонська. Так, у міру навантаження палі відбувається трансформація епюри дотичних напружень по стволу палі за рахунок поступового включення в роботу сил опору по бічній поверхні в напрямку зверху вниз. За даними А.О. Григорян, при критичному навантаженні настає зрив палі, а епюра сил опору набуває обрису, близького до прямокутного (рис. 1.4). Також при відсутності зовнішнього навантаження тензопалі, що використовувались для визначення розподілу по глибині опорів по бічній поверхні палі, виявилися неефективними.

У книзі Б.І. Далматова, Ф.К. Лапшина, Ю.В. Россихіна [59] відзначається, що на підставі чисельних матеріалів польових випробувань встановлено, що в однорідному ґрунті сили тертя розподіляються по параболі. Такий підхід прийнятий для роботи палі, що і представлено в таблицях сучасних норм [69] з визначення розрахункового опору по бічній поверхні палі.

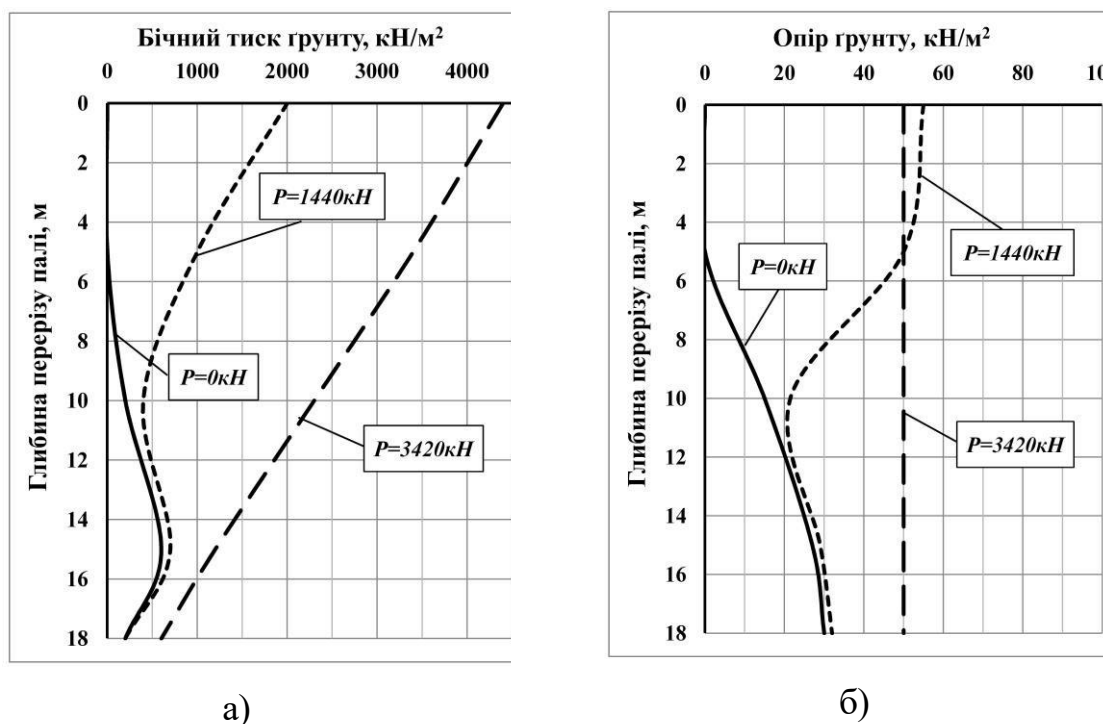


Рис. 1.5. Епюри напружень у поперечних перерізах по довжині ствола палі і сил опору по бічній поверхні

Авторами також зазначається, що опір ґрунту по бічній поверхні при вдавлюванні й висмикуванні різний. При вдавлюванні палі опір зумовлюється дією зчеплення ґрунту і сил бічного обтиснення, а при висмикуванні палі в ґрунті створюється інший напружений стан, до того ж разом з палею з масиву виринається певний об'єм ґрунту.

Нам відома велика кількість різновидів паль, які відрізняються між собою матеріалами, формою поздовжнього та поперечного перерізу, конструкцією, способом виготовлення та зануренням.

Враховуючи характер та величину передачі навантаження від будівлі - визначають несучу здатність пального фундаменту. З врахуванням цих факторів здійснюється підбір довжини паль, кількість і характер їхнього розташування в плані спорудження багатоквартирних будинків.



Рисунок 1.6 – Види паль: а – бетонні та залізобетонні; б – дерев'яні; в, г – металеві

Фундаменти з одиночних паль застосовують при будівництві малоповерхових будівель, коли навантаження від стику панелей або колони несе одна паля. Інколи палі є колонами будівлі. Дані конструкції називаються палями-колонами.

За матеріалом палі бувають: бетонні, залізобетонні, дерев'яні, металеві, комбіновані, ґрунтові та інші.

Висновки до розділу 1

Пальові фундаменти - це довгі, тонкі елементи, які виготовляють зі сталі або залізобетону, що об'єднують поверху ростверком. Ростверк слугує для сприйняття навантаження від споруди та передачу його між палями. Палі у свою чергу передають навантаження через стиснутий, слабкий ґрунт на більш ущільнений, більш жорсткий або гірську породу, що пролягає на більшій глибині.

Вирізняють кілька типів пальових фундаментів в залежності від способу їх

укладання:

- пальовий фундамент на забивних палях - коли палі забиваються в ґрунт за допомогою молота або вібратора.
- пальовий фундамент на бурових палях - палі встановлюються після буріння отвору, який потім заповнюється бетонною сумішшю або іншими матеріалами.
- гвинтові палі - палі, що вкручуються в ґрунт за допомогою спеціальних машин, часто використовуються на слабких ґрунтах.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПАЛЬОВИХ І

ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ

У сучасних умовах, з урахуванням розвитку багатоповерхової забудови, надзвичайно важливим є забезпечення правильного проектування фундаменту. Одним із найвідповідальніших і найскладніших етапів у цій сфері є створення пальових фундаментів. Найбільш перспективним, а іноді й єдиним можливим методом зміцнення пальового фундаменту є влаштування фундаментної плити, що дозволяє перетворити пальовий фундамент на пальово-плитний. Згідно вимог, врахування роботи ростверку в складі плитно-пального фундаменту дозволяється лише під час нового будівництва.

У програмному комплексі «ЛІРА САПР» можна моделювати взаємодію паль між собою, з ґрунтом і плитою в нелінійній постановці. Для цього необхідно врахувати такі фактори:

- залежність між навантаженням на палі і загальним навантаженням на будівлю, зокрема: відстань між палями, умови ґрунту, рівень навантаження, що діє на фундамент, довжина паль та інші параметри.

- відсутність прошарку слабкого ґрунту в просторі між палями, тобто ґрунту, що має модуль деформації нижчий за модуль деформації ґрунту під подошвою ростверку.

При використанні системи ГРУНТ програмного комплексу «ЛІРА САПР» є можливість створення об'ємного ґрунтового масиву, що дозволяє більш точно врахувати навантаження, яке передається на групи паль та суцільний плитний ростверк. Цей підхід забезпечує детальне моделювання взаємодії ґрунту з фундаментом, що сприяє підвищенню точності розрахунків та дозволяє врахувати вплив різних факторів, таких як характеристики ґрунтів та розподіл навантаження.

2.1 Моделювання плитно - пальових фундаментів

На основі попереднього досвіду [2] у даний час розроблені такі рекомендації для проектування групи стовпчастих пальових фундаментів з суцільним плитним ростверком:

- використовувати кілька довгих паль замість великої кількості коротких;
- розташовувати палі в зоні впливу навантаження;
- при розрахунку несучої здатності паль за матеріалом і їх конструюванні враховувати перевантаженість кутових паль порівняно з центральними.;
- заходи щодо збереження природного стану ґрунту під плитою повинні бути основною частиною проекту;
- між плитною частиною ростверку і палями виконувати зазор, який після включення фундаментної плити в роботу буде замонолічений. Кількість паль, їх довжина та розташування в пальовому полі визначаються на основі чисельного моделювання в об'ємній постановці. Виконується розрахунок як для одиночної палі, так і для всього пальового поля. Ці розрахунки дають змогу вибрати оптимальний діаметр і довжину паль, а також визначити коефіцієнт жорсткості.

Під час розрахунку стовпчастих пальових фундаментів із суцільним плитним ростверком необхідно враховувати одночасну роботу палі та плити. Виключення становлять конструкції фундаментів, де між верхом палі та плитною частиною ростверку залишено зазор. Для включення плити в роботу достатньо незначного переміщення (осідання) фундаменту, при цьому паля вже долає граничний опір по боковій поверхні. Такий розрахунок можна виконувати враховуючи ці умови взаємодії елементів фундаменту. в різних програмних комплексах: «ЛИРА САПР», «Plaxis 3D Foundation», «SCAD Office». Наприклад, в програмному комплексі «SCAD Office» розрахунок можна здійснювати як в лінійній, так і в нелінійній постановці, що має суттєвий вплив на армування фундаментної плити. Однак лінійна модель не дозволяє адекватно врахувати вплив паль на несучу здатність пальового плитного фундаменту. Тому при виборі цієї програми для розрахунків доцільніше використовувати нелінійну постановку.

Проаналізувавши можливості процесу підсилення групи пальових фундаментів суцільним плитним ростверком, можна зробити висновок, що

використання таких програмних комплексів, як «ЛІРА САПР», дозволяє змодельовати цей процес з урахуванням навантажень, які прикладаються до будівлі, модуля деформації ґрунту під ростверком та нижнім кінцем паль. Основним завданням подальших досліджень є вивчення фактичного напружено-деформованого стану групи паль та плитного ростверку, а також аналіз нелінійних (пружно-пластичних) властивостей ґрунту для розрахунку несучої здатності і осідань цього типу фундаменту. Крім того, необхідно визначити оптимальні параметри, такі як довжина і крок паль, а також жорсткість плити.

Одним із важливих і перспективних напрямків дослідження напружено-деформованого стану (НДС) системи «паля – ростверк – основа» є застосування математичного моделювання з використанням чисельних методів. Найбільш поширеним методом є метод скінчених елементів (МСЕ), який лежить в основі сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, а також для аналізу фундаментів і основ. На базі цього методу були розроблені спеціалізовані програми для розрахунків у відповідних сферах І. П. Бойком [6, 7], Ю. Л. Винниковим та М. Л. Зоценком [10, 14, 15], А. Л. Готманом, Н. З. Готман (2003), О. О. Петраковим [32], В. Г. Федоровським (2000 – 2003), Я. Й. Червинським [40], Д. М. Шапіро [41], J. S. Pressley, H. G. Poulos [55], B. B. Sheil, B. A. McCabe [61], S. Alturi, D. Druker, J. Duncan, M. Kimura, R. Lewis та іншими вченими різних країн світу.

На теперішній час для вирішення геотехнічних задач найбільш часто використовуються наступні програмні комплекси: ЛІРА [17, 19, 31], Scad, VSEM, АСНД VESNA [6], PRIZ-Pile [9, 10], ANSYS та інші [39] котрі дозволяють аналізувати сумісну роботу фундаментних конструкцій та ґрунтової основи, роблячи різні моделі ґрунтового середовища. Існуючі програмні комплекси відрізняються інтерфейсом, бібліотеками скінчених елементів, функціональними можливостями та орієнтуванням на певний клас задач. Для визначення НДС системи «паля – ростверк – основа» найбільш широко застосовують Plaxis [15, 19, 29], ANSYS [1], ЛІРА [17, 24], PRIZPile [9, 10], АСНД VESNA [6]. Особливістю сучасного використання методу (МСЕ) при

проектуванні пальових фундаментів є чисельне моделювання, яке дозволяє вивчати поведінку конструкцій під навантаженням в електронному вигляді. Цей підхід має кілька вагомих переваг порівняно з фізичними моделями, крупномасштабними експериментами та натурними дослідженнями. Використання МСЕ дає змогу оцінити напружено-деформований стан (НДС) системи на будь-якому етапі її роботи, а також спостерігати за динамікою розподілу напружень і деформацій.

Основною проблемою застосування методу є відсутність простої, але водночас точної моделі ґрунтової основи, яка адекватно відображає поведінку ґрунту під навантаженням. Хоча натурні дослідження забезпечують більш точні результати, їх вартість є значною. Складність моделювання зумовлена неоднорідністю та анізотропністю ґрунту, а також складними фізико-механічними процесами, що відбуваються під час передачі навантаження від наземних конструкцій до ґрунту. На сьогодні вченими розроблено численні моделі, які в різному ступені враховують такі фактори, як повзучість ґрунту, нелінійна стисливість, пружно-пластичні деформації та інші.

Основним недоліком цих моделей є потреба у точному знанні специфічних характеристик ґрунту, а також обмежений діапазон застосування програмних комплексів, що містять ці моделі. Це означає, що такі програми можуть бути ефективними лише в певних умовах і не завжди підходять для всіх типів ґрунтів чи конструкцій.

Ця програма дозволяє враховувати геологічні умови на будівельному майданчику, що є важливим для аналізу взаємодії між спорудою та ґрунтом. Задані геологічні умови автоматично використовуються для створення моделі ґрунту, що забезпечує точніше відтворення поведінки ґрунтової основи під навантаженням від проектного будинку, за яким виконуються розрахунки коефіцієнтів постелі плитних фундаментів, а також жорсткостей та несучих здатності палі. Реалізовано можливість перетворення реактивного взаємодії ґрунту на навантаження на ґрунт для точного розрахунку коефіцієнтів постелі плитних фундаментів та паль. Редактор ґрунту та редактор формування розрахункової моделі тісно пов'язані між собою. У редакторі формування

розрахункової моделі створюється кінцево-елементна модель фундаменту, в якій навантаження задається лише на рівні підшви фундаменту (P_z). Це навантаження на кожен елемент, що моделює фундаментну плиту, передається до Редактора ґрунту. Типи елементів, на які може призначатися P_z , можуть бути або стрижневими, або пластинчастими. У Редакторі ґрунту задається вся необхідна інформація, що стосується інженерно-геологічних умов будівельного майданчика: властивості ґрунтів, розташування свердловин, а також навантаження від сусідніх фундаментів. Задаються параметри та нормативні розрахунки, які визначають характеристики ґрунтової основи. Результати роботи Редактора ґрунту автоматично передаються до редактора формування розрахункової моделі. Для контролю заданих параметрів використовується геологічний розріз, який будується на основі даних про майданчик будівництва. Розрахунок коефіцієнтів постелі здійснюється на основі моделі лінійного пружного напівпростору, що застосовується для обчислення осідання основи, а також за допомогою моделей основи, розроблених Вінклером-Фуссом і Пастернаком. Результати розрахунків можуть бути представлені як у графічному, так і в табличному вигляді, що дає змогу зручно аналізувати та інтерпретувати отримані дані.

Пропоную розглянути три варіанти моделювання плитно-пального фундаменту:

1. Спрощений варіант. Даний варіант моделювання передбачає, що плита представлена скінченним числом елементів, при цьому враховується вплив ґрунтової основи. Ґрунтова основа характеризується двома коефіцієнтами постелі, які визначаються за допомогою осідання, що обчислюється методом пошарового додавання. Палі моделюються точковими елементами (рис. 2.1, а), які мають жорсткість та осідання. Жорсткість цих елементів визначається через пропорцію між несучою здатністю та осіданням.

Основний недолік цього підходу полягає в тому, що враховується лише частина плити, що припадає на площу поперечного перерізу палі, що може призвести до стрибків моментів в елементах плити.

2. Наступний варіант аналогічний до попереднього, але в цьому

випадку зона палі в плиті замінюється жорсткою плитою (рис. 2.1, б).

Перевагою цього підходу є те, що враховується реальна робота палі, що дозволяє зменшити піки моментів, які можуть виникати при попередньому варіанті моделювання.

3. Найбільш точний варіант розрахунку передбачає, що палею надається елемент плити, який має свої власні коефіцієнти постелі (рис. 2.1, в). У цьому випадку несуча здатність палі визначається як добуток реактивного тиску основи палі на площу поперечного перерізу палі, що дає змогу отримати більш точну оцінку її взаємодії з ґрунтовою основою.

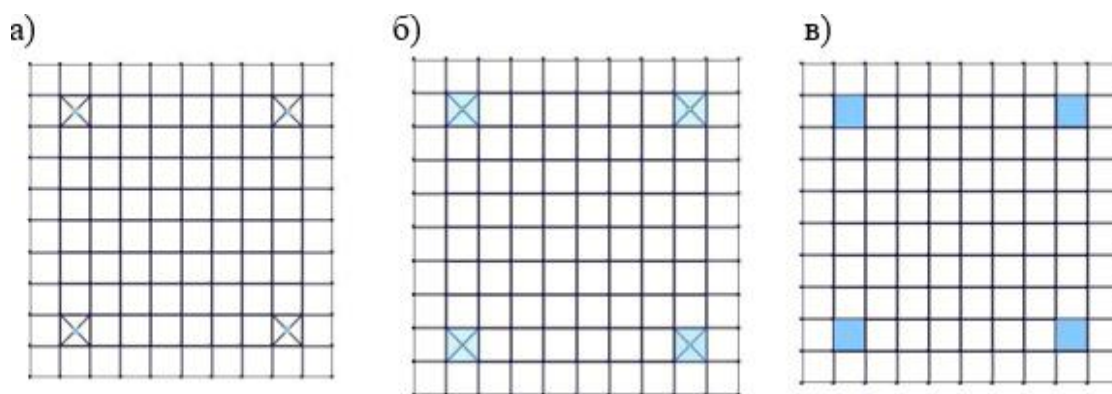


Рис.2.1 Варіанти моделювання плитно-пального фундаменту:

А) перший Б) другий В) третій

Для розрахунку необхідні такі вихідні дані:

1. Загальне навантаження на будівлю та фундамент з урахуванням ваги паль. Це включає сумарне навантаження, яке передається на фундамент, а також додається вага паль, що може впливати на загальний розподіл навантаження по основі.

2. Несуча здатність та характеристика паль, які включають:

- навантаження на палею — максимальне навантаження, яке паля здатна витримати без руйнування чи перевищення допустимих деформацій.

- осідання палі при допустимому навантаженні — величина осідання, яка виникає під дією заданого навантаження, що повинно відповідати нормативним вимогам для безпечної експлуатації фундаменту.

Згідно з програмою «Ліра САПР» було проведено три варіанти розрахунку плитно-пального фундаменту:

1. Розрахунок паль за діючими нормами (за стандартами [7]), де ростверк розглядається як плита. Плита вважається висячою, тобто такою, що не контактує з ґрунтом. У цьому варіанті пальовий фундамент розраховується, враховуючи лише взаємодію паль із ростверком, без безпосереднього контакту з ґрунтовою основою.

2. Розрахунок за досвідом та працями іноземних вчених, із застосуванням регіональних норм, що дозволяють точніше враховувати особливості місцевих умов. У цьому випадку фундамент розраховується за деформаціями, де основою є суміщений розгляд жорсткостей паль і плити.

3. Розрахунок проводиться на основі взаємодії навантаження (P) і осідання (S), що дозволяє оцінити вплив деформацій на загальний стан конструкції.

Ці варіанти дозволяють порівняти різні підходи до розрахунку плитно-пального фундаменту та врахувати специфічні умови проектування та експлуатації конструкцій.

Жорсткість групи паль визначається за формулою, наведеною нижче.

$$K_p = K_1 \eta_w n_1, \quad (1)$$

де K_1 – жорсткість однієї палі;

η_w – коефіцієнт ефективності роботи палі в паловому полі;

Осідання комбінованного плитно-пального фундаменту визначається за формулою:

$$S_f = \frac{\sum P}{K_f}, \quad (2)$$

де $\sum P$ – загальне навантаження на фундамент;

K_f – загальна жорсткість фундаменту.

Визначення числа паль виконується на основі аналізу двох факторів:

а) безпосереднього урахування несучої здатності вибраної для фундаменту палі за формулою

$$n = \frac{\sum P}{F_k}, \quad (3)$$

На основі двох факторів та аналізу, можна визначити число паль :

а) безпосереднього урахування несучої здатності вибраної для фундаменту палі за формулою

де F_k – допустиме навантаження на палю;

б) вибору технічно і економічно обґрунтованої відстані між палями (а) в групі, яке на основі отриманого досвіду слід приймати рівному 5-7 діаметрів палі;

$$n = \frac{BL}{a^2} \quad (4)$$

де B , L – відповідно ширина і довжина фундаменту;

a – відстань між палями.

В ідеальному випадку навантаження на палі близьке до допустимого на палю, а напруження ґрунту під плитою близьке до розрахункового опору R_0 , при цьому осідання плитно-пального фундаменту в межах допустимих діючими нормами [8]. При цьому на практиці більш можливі такі випадки будівництва та застосування:

- 1) осідання палей настільки мале, що плита практично не приймає участі у роботі;
- 2) при дуже слабких ґрунтах, палі мають велике осідання, і тягнучи плиту вниз спричиняють те, що майже все навантаження сприймає плита.
3. Вчені та науковці пропонують методику, яка зможе розраховувати всі ці випадки. В результаті розрахунку необхідно отримати комбінований плитно-пальовий фундамент, в якому палі осідають настільки, що плита несе значну частину навантаження.

Суть даного запропонованого розрахунку зводиться до виконання умов:

- навантаження на палю менше несучої здатності палі;
- середній тиск під подошвою плити менший розрахункового опору ґрунту;
- осідання будівлі менше допустимого, що за діючими нормами для багатопверхових будівель з залізобетонним каркасом (висотні будівлі саме такої конструктивної схеми) становить 8 см.

Послідовність дій така:

- 1) Потрібно визначити осідання палі при допустимому навантаженні.
- 2) Задаємо жорсткість і визначаємо коефіцієнт постелі плити. В результаті

розрахунку іноді виявляємо, що навантаження на палю перевищує допустиме, а плита недонавантажена.

3) Попередньо збільшуємо осідання палі приблизно на 20%.

Для моделювання було використано програмний комплекс «Ліра САПР» (див. рис. 2).

Несуча здатність палі $F_d = 30$ т, осідання палі визначене при цьому $s = 1$ см. Інженерно-геологічні умови такі:

$E = 14$ Мпа, суглинок напівтвердий.

Розглянемо плиту $3,0$ м х $2,4$ м, товщиною 40 см, переріз паль $0,3$ м х $0,3$ м. Ми скористались 2-им варіантом моделювання, палю представили як елемент КЭ51, задавши погонну жорсткість $Z = 3000$ тс/м. Навантаження на фундамент без власної ваги приймаємо 250 т- $27,7$ т/м².

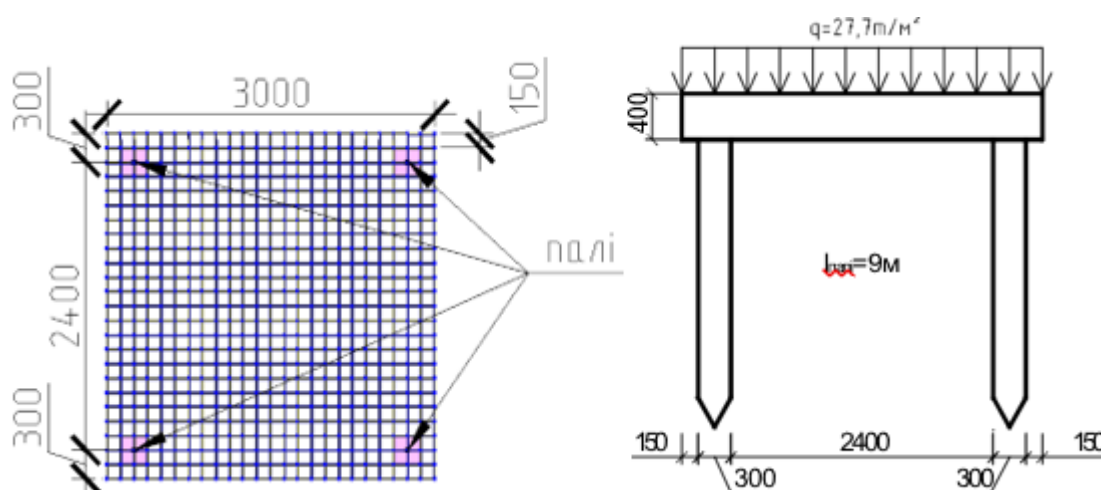


Рис. 2.2 Розрахункова схема плитно-пального фундаменту

Задавши усі параметри та жорсткості, проводимо розрахунок і отримуємо: середній тиск під подошвою плити – $5,5$ т/м², епюра на рис. 2.3; реактивний тиск за даних геологічних умов становить:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\gamma_s k_z}{k} [M_{\gamma} k_z b_{\gamma_s} + M_q d_1 \gamma_{II}] = \frac{1,25 \cdot 1,2}{1} \times \\
 &= [0,61 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 185 + 3,44 \cdot 1,5 \cdot 185 + (3,44 - 1) \cdot 0 \cdot 185 + 6,04 \cdot 23] = \\
 &= 337 \text{ т/м}^2 (33,7 \text{ т/м}^2)
 \end{aligned}$$

Отже, умова виконується: P (середній тиск під подошвою фундаменту) менший за R (реактивний тиск ґрунту). Максимальне осідання плити (рис. 2.4) отримали $17,6$ мм, що менше допустимого за діючими нормами – 8 см.

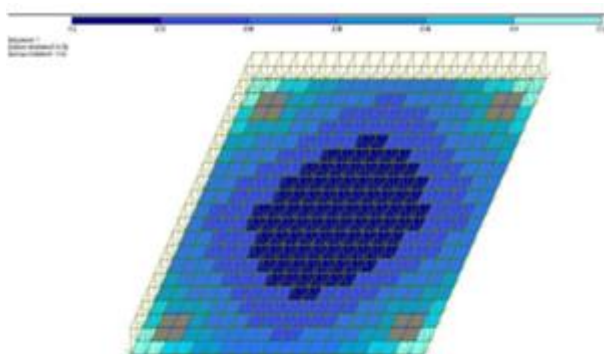


Рис.2.3 Епюра середнього тиску під підшовою плити

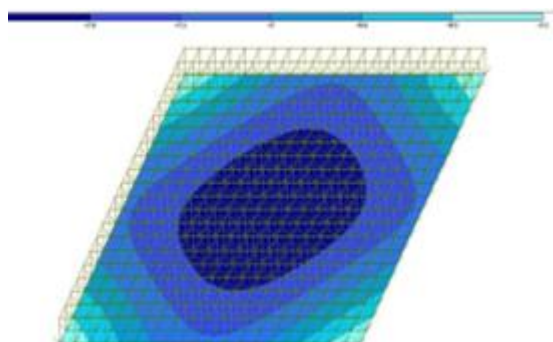


Рис. 2.4. Епюра осідання плити

Тоді як напруги в палі становлять 50,3 т, а осідання паль – 15,9 мм.

За першим варіантом розрахунку необхідно додавати додаткові палі, оскільки напруги в них перевищують допустимі, і їх кількість є недостатньою. Однак, ми спостерігаємо, що плита має мінімальний вплив на роботу плитно-пального фундаменту. За нашим методом ми змінюємо жорсткість паль і збільшуємо їх осідання, що дозволяє активніше залучити плиту до роботи.

З упевненістю можна стверджувати, що цей фундамент повністю задовольняє усі вимоги та працює на «повну потужність».

Завдяки вищезгаданим ітераціям та використаним критеріям, ми змоделювали таке осідання фундаменту, яке дозволило плиті увійти в роботу, а палі працюють на максимальну несучу здатність.

Завдяки цьому методу ми досягаємо економії матеріалів, зокрема паль. Ми не збільшували їх кількість одразу, а лише після отримання первинного результату, при цьому «поглиблюючи» палі більше, щоб активувати плиту, оскільки в першому варіанті вона мала мінімальний вплив на роботу.

Варіюючи характеристики паль, ми не перевищуємо допустимі осідання та реактивний тиск ґрунту, тому можна стверджувати, що небезпеки немає.

Даний приклад моделювання за програмою «Ліра Сапр» показує саму суть плитно-пального фундаменту і яка частина навантаження сприймається плитою, інша частина – палями.

На підставі даного моделювання можна зробити наступні висновки:

Плитно-пальові фундаменти є перспективними та економічними рішеннями. Вони застосовуються для масивних багатопверхових будівель, які планується зводити на територіях з близьким заляганням слабких ґрунтів, де плитний фундамент не може витримати деформацій. Оскільки цей тип пальово-плитного фундаменту не входить до чинних державних норм, ми скористалися досвідом закордонних досліджень у галузі будівництва.

Ми запропонували три варіанти моделювання плитно-пальових фундаментів та дослідили можливі підходи до їх розрахунку. Працюючи з методами розрахунку і використовуючи дослідження тегеранських вчених, ми змоделювали різні ситуації. Було виявлено, що можна ефективно залучити плиту до роботи, моделюючи значне осідання паль. Це показує, що використання цього методу дозволяє суттєво зекономити, оскільки, за традиційними методами, нам довелося б збільшувати кількість паль.

Тому за допомогою цього методу можна значно зекономити на витратах на будівництво. Адже на спорудження та облаштування фундаментів припадає близько 35% від загальних витрат на зведення об'єкта. Тому запропонований метод є актуальним і має великий потенціал для широкого використання.

2.2 Моделювання взаємодії системи «основа - пальово-плитний фундамент - будівля» з використанням різних моделей ґрунтової основи

В магістерській роботі розглядаються крупнорозмірні пальово-плитні фундаменти з регулярним розміщенням паль. При закладені тиск у рівні їх не має перевищення розрахункового опору ґрунту основи, тому, правомірно застосування

моделей лінійно-деформованого середовища, що було запропоновано ще В. А. Флоріним і допускається існуючими нормами державного ДБН [62].

Всі розрахунки системи «основа - пальово-плитний фундамент - будівля», що виконані методом скінченних елементів, і засновані на рішеннях теорії пружності за допомогою розрахункових програмних комплексів «SOFISTIK» і «Ліра Сапр».

Особливості моделювання «фундамент-будівля» в програмі «SOFISTIK». Розрахункова схема моделі включає в себе такі конструктивні елементи:

- конструктивні точки задаються в просторі і застосовуються для моделювання пружних зв'язків скінченної жорсткості;
- конструктивні лінії, які з'єднують дві конструктивні точки (конструктивними параметрами є параметри опор і вид поперечного перерізу), застосовуються для моделювання колон;
- конструктивні площі задаються набором об'єднаних внутрішніх і зовнішніх криволінійних меж і можуть бути описані на основі геометричної поверхні. Конструктивними параметрами є товщина, матеріал та ін. Застосовуються для моделювання плит перекриттів і стін.

Зазначається просторова розрахункова схема (3D), згідно з чим автоматично призначаються типи скінченних елементів і виконується тріангуляція моделі.

Особливості моделювання системи «фундамент-будівля» в програмі «Ліра».

Для моделювання паль використовуються шарнірні стержневі елементи типу 4 з модулем пружності, що відповідає бетону класу C25/30.

Розбивка пластинчастих конструкцій проводиться на скінченні елементи з кроком 1,5м.

Середня лінія вузлів фундаментної плити вздовж осі X загальної системи координат закріплена від зміщення вздовж осі Y . Середня лінія вузлів фундаментної плити вздовж осі Y загальної системи координат закріплена від зміщення вздовж осі X .

У моделі здійснений перехід до напружень уздовж заданого напрямку для пластин за наступною схемою: для вертикальних пластин - уздовж осі Z загальної

системи координат, для горизонтальних пластин - уздовж осі X загальної системи координат.

Таблиця 2.1 Характеристика елементів розрахункової моделі

<i>Назва елемента</i>	<i>Тип скінченного елемента</i>
Плита пальового ростверку	42, 44 (трикутний і чотирикутний КЕ оболонки)
Плити міжповерхового перекриття, покриття	42, 44 (трикутний і чотирикутний КЕ оболонки)
Стіни	42, 44 (трикутний і чотирикутний КЕ оболонки)
Діафрагми	42, 44 (трикутний і чотирикутний КЕ оболонки)
Колони прямокутні	10 (універ. простор. стержень)
Колони круглі	10 (універ. простор. стержень)

При використанні різних моделей ґрунтової основи у вигляді лінійно-деформованого середовища, робимо такий аналіз напруженого стану пальового ростверку :

а) особливості моделювання та розрахунки, виконані в комплексі «**SOFISTIK**»:

- **модель Фусса-Вінклера ($G=10400\text{кН/м}$):** у місцях поєднання паль з ростверком вводяться зв'язки скінченної жорсткості (конструктивні точки моделі), значення якої береться постійним ($G=10400\text{кН/м}$) як відношення навантаження на палю до осідання суцільного умовного фундаменту, що отримано нормативним методом;

- **модель півпростору (півпростір):** пружний півпростір моделюється об'ємними елементами модулем Hase. Багатошарова основа задається за інженерно-геологічними свердловинами з відповідними фіз.-механічними характеристиками (див. рис. 2.3 та табл. 2.4), що автоматично інтерполюється (екстраполюється) на весь ґрунтовий масив;

б) особливості моделювання та розрахунки виконані в комплексі «Ліра»:

для моделювання пружного шару скінченної ширини використовується підсистема для автоматизованого створення моделі ґрунту «ГРУНТ». Формування моделі ґрунтової основи виконується з використанням методів інтерполяції та екстраполяції. Для згладжування «крайових» ефектів розміри моделі ґрунтової основи перевищують розміри будівлі в плані на ≈ 40 м по осях X та Y . За глибиною нижче підшви паль ґрунтовий масив розбивається на 4 яруси. Вузли по периметру масиву ґрунту вздовж осі X загальної системи координат закріплені від зсуву вздовж осі Y , вузли вздовж осі Y загальної системи координат закріплені від зсуву вздовж осі X , вузли нижньої межі масиву закріплені від переміщень по осі Z .

- *класична модель лінійно-деформованого шару скінченної ширини (пружний шар)*: вводяться модуль деформації ґрунту $E=25000$ кПа та коефіцієнт Пуассона ґрунту $\nu=0,3$ деякої області багатошарової основи по глибині в межах стисливої товщі $H=16,0$ м та в плані, в тому числі за межами навантаженої області не менше, ніж на величину $H=16,0$ м, на межах якої вводяться жорсткі зв'язки (див. рис. 2.4). При цьому взаємодія паль по бічній поверхні з ґрунтовим масивом не враховується;

- *параметрична модель лінійно-деформованого шару скінченної ширини (параметричний шар)*: вводяться усереднений параметричний модуль деформації ґрунтової основи $E_0=7280$ кПа й усереднений коефіцієнт Пуассона $\nu=0,3$ деякої області багатошарової основи по глибині в межах параметричної стисливої товщі $H_0=4,7$ м при середньому тиску $p_{cp}=240$ кПа в основі нижніх кінців паль, а в плані - за межами навантаженої області не менше, ніж на величину реальної стисливої товщі H , на межах якої вводяться жорсткі зв'язки. При цьому взаємодія паль по бічній поверхні з ґрунтовим масивом не враховується.

Варто зазначити, що для порівняння чисельних рішень, одержаних в різних програмних комплексах «SOFISTIK» та «Ліра», були проведені дублюючі розрахунки з використанням моделі Фусса-Вінклера ($G=10400\text{кН/м}$), які показали співпадаючі результати НДС системи.

Для наочності на рис. 2.3-2.4 показуємо загальний вигляд моделі будівлі на пальово-плитному фундаменті (в програмі «Софістік») та деформована схема фундаменту.



Рис. 2.5. Загальний вигляд моделі багатоквартирного будинку (програма «SOFISTIK»)

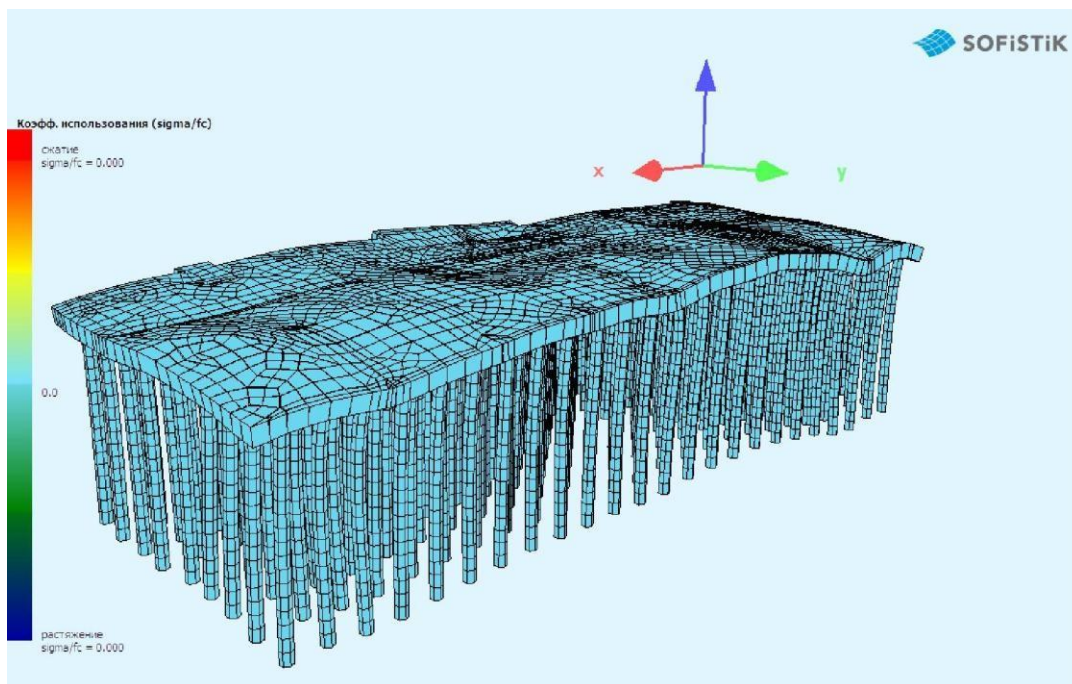


Рис. 2.6. Деформована схема фундаменту (программа «SOFISTIK»)

Розроблено загальний вигляд моделі будівлі на пальово-плитному фундаменті в програмі

«Ліра» з використанням моделі шару скінченної ширини показаний на рис. 2.7.

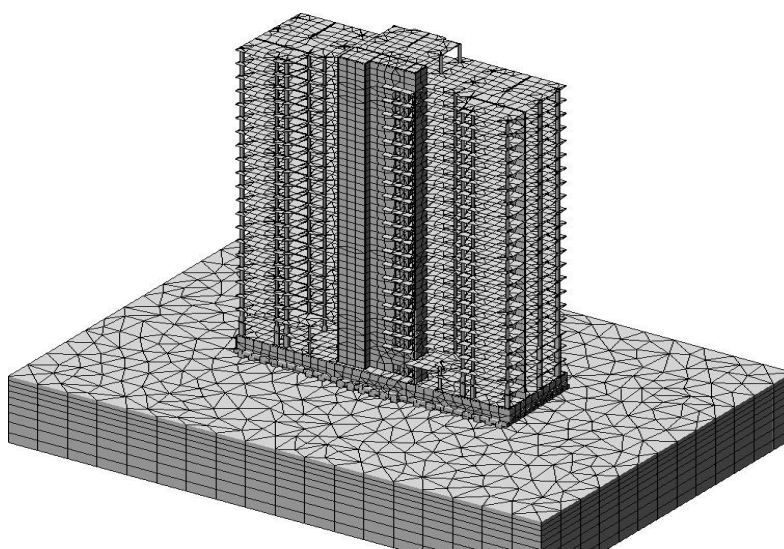


Рис. 2.7. Загальний вигляд моделі багатоповерхівки (программа «Ліра»)

2.3 Моделювання системи «паля – ростверк - основа»

Перспективним напрямком досліджень напружено-деформованого стану системи «паля – ростверк - основа» є використання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. На сьогодні найпоширенішим є метод скінчених елементів (МСЕ), який покладений в основу сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, будівель і споруд. МСЕ найбільш підходить для задач з розвиненою неоднорідністю характеристик міцності. Якщо порівняти, класичні методи, то МСЕ є більш гнучким і алгоритмічнішим при заданні геометричних параметрів та граничних умов, наочний та універсальний для широкого кола задач механіки.

Для розв'язання геотехнічних задач можна виділити такі переваги методу скінчених елементів:

- простота отримання конкретних рішень;
- можливість згущення сітки скінчених елементів в місцях концентрації напружень;
- можливість реалізації в програмах довільних характеристик жорсткості матеріалу, будь-якої послідовності навантаження;
- можливість розрахунку систем «основа - фундамент надземна частина» без поділу на незалежні розрахунки за двома групами граничних станів тощо.

Є можливість обирати різні моделі ґрунту для рішення поставленої задачі. Нормативні документи, що чинні в Україні на теперішній час [69,70], рекомендують виконувати розрахунки за допомогою програмних комплексів, в яких закладений метод скінчених елементів.

Ще в 90-ті роки 20 сторіччя для розрахунку будівельних конструкцій, основ та фундаментів уже ефективно застосовувався МСЕ. При цьому можна було моделювати основу об'ємними скінченими елементами і виконувати розрахунки з врахуванням нелінійної роботи ґрунту. Програми для будівництва розроблені на базі методу скінчених елементів таким вченими та науковцями як:

І. П. Бойко, Ю. Л. Винниковим, А. Л. Готманом, Н. З. Готман, М. М. Дубиною, Ю. К. Зарецьким, М. Л. Зоценком, О. О. Петраковим, С. Б. Уховим, О. Б. Фадєєвим, В. Г. Федоровським, Д. М. Шапіро, В. Г. Шаповалом, S. Alturi, D. Druker, J. Duncan, M. Kimura, R. Lewis та іншими вченими різних країн світу.

Для вирішення геотехнічних задач на теперішній час найбільш часто використовуються наступні програмні комплекси: ЛИРА, Scad, VSEM, АСНД VESNA, PRIZ-Pile, ANSYS, NASTRAN, CivilFEM, Plaxis, та інші, які дають можливість аналізувати сумісну роботу фундаментних конструкцій та ґрунтової основи, використовуючи різні моделі ґрунтового середовища.

Перераховані програмні комплекси відрізняються інтерфейсом, бібліотеками скінчених елементів, функціональними можливостями та орієнтуванням на певний клас задач.

При застосуванні розрахункових програмних комплексів, що базуються на методі скінчених елементів, для розв'язання конкретної задачі потрібне проведення аналізу використання різних моделей ґрунту, для виявлення таких наближених значень, що відповідають даним експериментальних досліджень.

Для визначення НДС системи «паля – ростверк - основа» найбільш широко застосовують «Ліра сапр» та «Плаксис».

Великою особливістю та зручністю є те, що сучасного застосування МСЕ при проектуванні пальових фундаментів є проведення віртуальних досліджень. Моделювання роботи тих чи інших конструкцій під навантаженням. Такий вид досліджень має ряд суттєвих переваг у порівнянні з модельними, крупномасштабними та натурними дослідженнями. Моделювання МСЕ дозволяє оцінити напружено-деформований стан (НДС) системи на будь-якій стадії роботи, показати в динаміці розподіл напружень та деформацій.

Основною перевагою є те, що порівняльна оцінка матеріальних витрат та витрат часу на проведення досліджень. Головною проблемою вважається широке застосування методу - це відсутність порівняно простої моделі ґрунтової основи, яка з достатньою точністю моделює поведінку ґрунту під навантаженням.

Натурні експериментальні дослідження дають більш точні результати, але їх вартість значно вища, дуже великі затрати на такі дослідження.

Числовими дослідженнями вчених та науковців було підтверджено дані експериментальних досліджень про те, що частина зовнішнього навантаження передається на основу через підшву ростверку. Відносна роль ростверку за результатами числового моделювання для комбінованих плитно-пальових

фундаментів може досягати 40% за умови контакту ростверку з ґрунтом основи. Дослідженням розподілу навантаження між палями і плитою в плитно-пальовому фундаменті за допомогою ПК «ANSYS» займались А. С. Береснев, А. Ю. Большаков та інші.

Основна проблема розвитку методу скінчених елементів це відсутність скінченого елемента, що повністю моделює роботу ґрунту. Складність моделювання викликана неоднорідністю та анізотропністю ґрунту, а також складними фізико-механічними процесами, що відбуваються при передачі навантаження від наземної конструкції на ґрунт. На сьогоднішній день в сучасному світі запропоновано багато моделей, що в тій чи іншій мірі враховують такі фактори, як:

- повзучість ґрунту,
- нелінійна стисливість ґрунту,
- пружно-пластичні деформації.

Основним недоліком цих моделей є необхідність знання особливих характеристик ґрунту.

Програмні комплекси, що містять дані моделі, але мають вузький діапазон застосування.

Висновки до розділу 2

На реальному прикладі проаналізовано напружено-деформований стан пальово-плитного фундаменту багатопверхового будинку при застосуванні різних моделей основи у вигляді лінійно-деформованого середовища, яке отримано на підставі чисельного розрахунку методом скінчених елементів системи «ОФС» за допомогою програмних комплексів «SOFISTIK» і «Ліра».

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ПАЛЬ І ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ З ҐРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Аналіз методом скінченних елементів (МКЕ)

Основним методом сучасної будівельної техніки є метод кінцевих елементів (МСЕ) - що лежить в основі переважної більшості сучасних програмних комплексів, призначених для виконання розрахунків будівельних конструкцій на ЕОМ.

Важливий внесок у розробку методу скінченних елементів (МКЕ) зробив Іоанніс Аргіріс — один із засновників цього методу. Він вперше запропонував загальне матричне формулювання розрахунку стрижневих систем, використовуючи основні енергетичні принципи, визначив матрицю податливості та ввів поняття матриці жорсткості як оберненої матриці податливості. У 1956 році його теоретичні розробки були застосовані під час будівництва Боїнга-747. Публікації Аргіріса і його колег, які виходили в період з 1954 по 1960 роки, стали основою для матричного формулювання відомих чисельних методів і використання електронних обчислювальних машин у розрахунках конструкцій. Перша робота, в якій була викладена сучасна концепція методу скінченних елементів, датується 1956 роком. Американські вчені М. Тернер, Р. Клафф, Г. Мартін та Л. Топп, вирішуючи плоску задачу теорії пружності, ввели трикутний елемент, для якого була сформована матриця жорсткості та вектор вузлових сил. У 1960 році термін "метод кінцевих елементів" вперше було введено Р. Клаффом.

Перспективним напрямком досліджень напружено-деформованого стану системи «паля – ростверк - основа» є застосування методів математичного моделювання на базі чисельних методів аналізу. Найпоширенішим на сьогоднішній день є метод скінчених елементів (МСЕ), який лягає в основу сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, будівель і споруд. МСЕ є найбільш придатним для задач з розвиненою неоднорідністю характеристик міцності. У порівнянні з класичними варіаційними методами, МСЕ є більш гнучким і алгоритмічним при визначенні геометричних параметрів та граничних умов, а також є наочним та універсальним для широкого кола задач механіки. Переваги МСЕ для вирішення геотехнічних задач включають: простоту отримання конкретних рішень; можливість згущення сітки скінчених елементів в зонах концентрації напружень; реалізацію в програмах довільних характеристик

жорсткості матеріалу та будь-якої послідовності навантаження; можливість розрахунку систем «основа - фундамент надземна частина» без поділу на незалежні розрахунки за двома групами граничних станів тощо. При цьому існує можливість вибору різних моделей ґрунту для розв'язання поставленої задачі [68]. Нормативні документи, що діють в Україні на даний момент.

LIRA-FEM (ЛІРА-САПР) - це сучасніша програма для розрахунку конструкцій по методу скінченних елементів (МКЕ). У програмному комплексі LIRA-FEM метод скінченних елементів реалізований у формі переміщень – МСЕ розглядається для випадків, коли шуканою вирішальною функцією служить переміщення. Вибір розрахункової схеми для МСЕ в переміщеннях легко піддається алгоритмізації, а практичне використання МСЕ неможливе без застосування сучасних комп'ютерів. При застосуванні розрахункових програмних комплексів, що базуються на методі скінчених елементів, для розв'язання конкретної задачі потрібне проведення аналізу використання різних моделей ґрунту, для виявлення таких наближених значень, що відповідають даним експериментальних досліджень.

Для визначення НДС системи «паля – ростверк - основа» найбільш широко застосовують ЛІРА.

Метод скінченних елементів (МКЕ) заснований на уявленні суцільного тіла у вигляді сукупності окремих скінченних елементів, що взаємодіють між собою в кінцевому числі точок, які в МКЕ називають вузлами.

ЛІРА САПР має тісний зв'язок з архітектурними програмами ArchiCAD, Revit, Allplan . Та постійно розвиває самостійний потужний інструментарій формоутворення і побудови різних аналітичних моделей.

Розрахунок будівельних конструкцій з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) є представлення пружних систем у вигляді набору елементів з кінцевим числом ступенів свободи, які з'єднуються між собою у вузлових точках (вузлах). Таке представлення заданої системи призводить до повної формалізації всіх етапів розрахунку. Підхід до розв'язання задачі є єдиним як для стержневих систем, так і для пластин, оболонок, об'ємних тіл і т.п.

Для проектування ґрунту були використані такі типи скінчених елементів, що

використовуються в ПЗ «ЛІРА САПР»:

- тип 271 – фізично нелінійний об'ємний скінчений елемент ґрунту в формі паралелепіпеда;
- тип 276 – фізично нелінійний об'ємний 8-вузловий ізопараметричний скінчений елемент ґрунту;
- тип 273 – фізично нелінійний об'ємний скінчений елемент ґрунту в формі трикутної призми;
- тип 274 – фізично нелінійний об'ємний 6-вузловий ізопараметричний скінчений елемент ґрунту.

Чисельне моделювання виконувалось в ПК «ЛІРА-САПР» з метою встановлення коефіцієнту впливу K_b (відношення зусиль у кутових і крайніх паль до центральних) відповідно при різному крок паль d . Згідно рекомендацій різних авторів несуча здатність палі в складі пального поля повинна визначатись на основі моделювання в просторовій постановці.

Жорсткість об'ємних елементів ґрунту задано наступними характеристиками: модуль деформації ґрунту по гілці первинного завантаження – E , т/м²; коефіцієнт Пуассона ν ; щільність ґрунту в природному стані – ρ_0 , т/м³; коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по гілці вторинного завантаження – k_e ; граничне напруження – R_t , т/м²; питоме зчеплення частинок ґрунту – c , т/м²; кут внутрішнього тертя – φ , град.

За ґрунтову основу взято пісок мілкий середньої щільності.

Вказаний ґрунт залягає під підошвою ростверку, а в міжпальовому просторі та в основі нижніх кінців паль.

Характеристики піску прийняті наступні:

- кут внутрішнього тертя - $\varphi_I=30^\circ$, $\varphi_{II}=33^\circ$;
- питоме зчеплення - $c_I=c_{II}=0$ кПа; - модуль загальної деформації – $E=30$ МПа; - питома вага - $\gamma_I=\gamma_{II}=17$ кН/м³.

Моделювались буронабивні палі діаметром $\varnothing 600$ мм та довжиною $L=12$ м. Допустиме розрахункове вертикальне навантаження на палю складає 682 кН, при рівні підземних вод на 1м від поверхні планування.

Розташування паль в плані прийнято по квадратній схемі з кроком 3d, 4d, 5d, 6d

Тіло палі було змодельовано універсальним скінченим елементом в формі паралелепіпеда (тип 39 – універсальний просторовий 8-вузловий ізопараметричний скінчений елемент) з характеристиками жорсткості як для залізобетонного елемента.

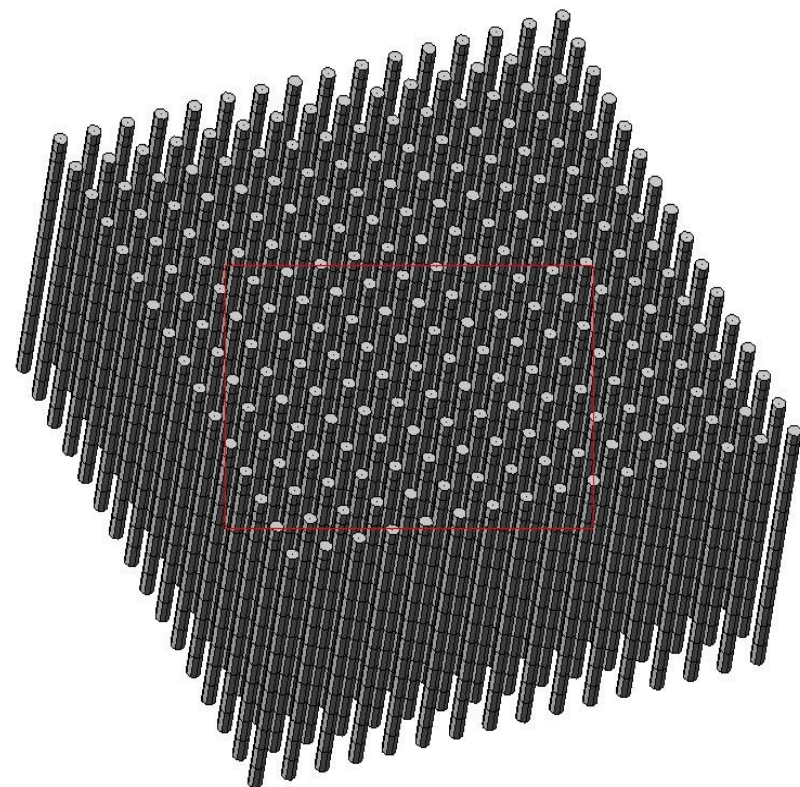


Рисунок 3.1 – Фрагмент пального поля при кроці 6d

При дослідженні були прийняті розміри ростверку як для будівлі технічної частини.

Методика чисельного моделювання дає змогу виявити перерозподіл внутрішніх зусиль між надземними та фундаментними конструкціями. Навантаження на ростверк визначалось на основі статичного розрахунку просторової моделі висотної будівлі (використано будівлю з технічної частини при збільшенні поверховості). Загальний вид розрахункової моделі наведено на рис. 3.2. Потім визначенні навантаження (рис. 3.2) прикладались до моделі фундаменту (окреме моделювання).

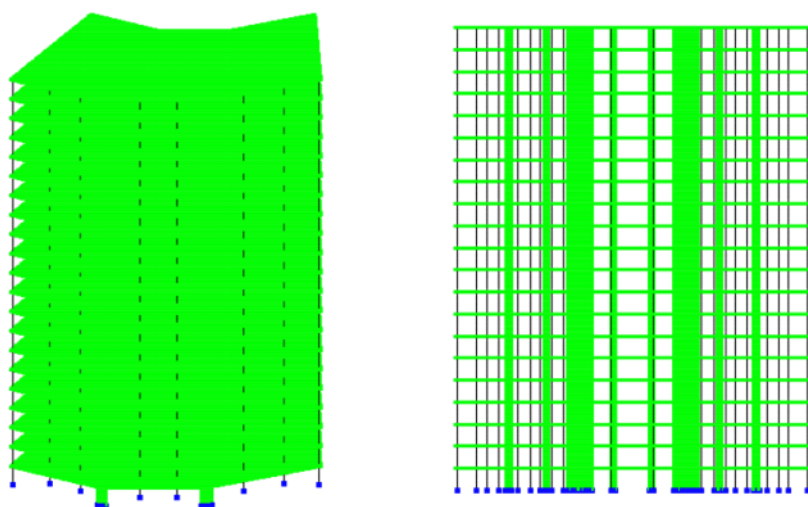


Рисунок 3.2 – Розрахункова модель висотної будівлі (просторова модель і розріз)

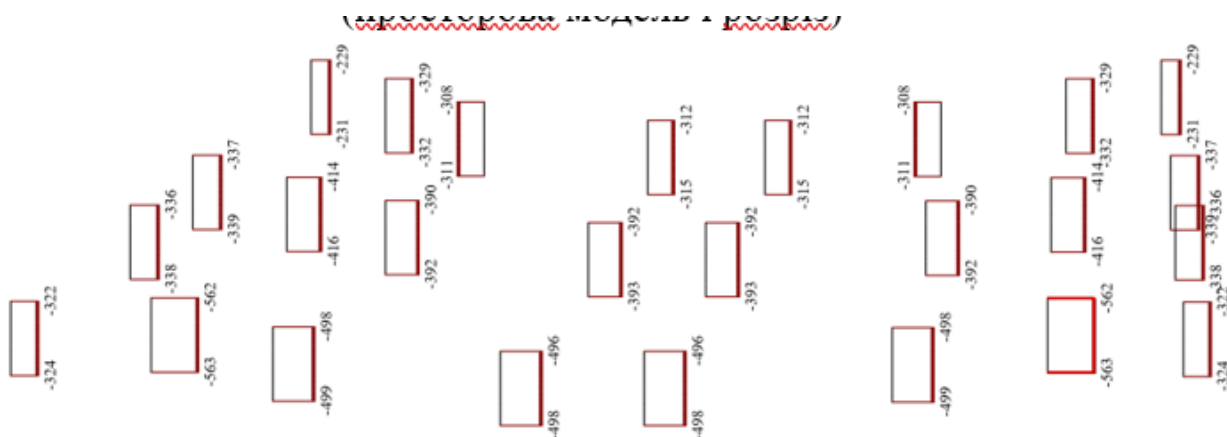


Рисунок 3.3 – Вертикальні навантаження на фундамент за результатами статичного розрахунку в ПК «ЛИРА-САПР»

Для моделювання роботи ґрунту під ростверком використовувались коефіцієнти постелі, що були порашовані за допомогою підпрограми «ГРУНТ» ПК «ЛИРА-САПР».

За результатами чисельного моделювання побудовано графік залежності коефіцієнту впливу K_v від кроку паль для крайніх паль: периметральної та кутової.

Максимальні значення K_v отримані при кроці паль 3d, надалі при збільшенні кроку між палями він зменшується. Варто зауважити, що при більшому кроці паль коефіцієнт взаємовпливу паль менший, тобто при використанні паль однакової довжини у складі пальово-плитного фундаменту раціональним буде крок 6d.

3.2 Аналіз методом граничних елементів (МГЕ)

Найбільш з важливих областей прикладання МГЕ – це задачі математичної фізики, розрахункові рівняння стану яких є класичні задачі Лапласа чи Пуассона, що описують сталу потенціальну течію.

Розрахунки даним методом дозволяють отримувати лише часткові висновки і рекомендації, адже в них закладені індивідуальні підходи і допуски наукових шкіл на основі власних лабораторних і натурних експериментальних досліджень для визначення їх осідань і оцінки ефективності проектних рішень.

Математичним описом проектувальних об'єктів є диференційні рівняння в частинних похідних, точний розв'язок яких вдається отримати лише в обмеженій кількості випадків. Тому для аналізу НДС розробляються наближені методи розв'язання системи диференційних рівнянь (рівняння рівноваги + геометричні рівняння + фізичні рівняння + граничні умови), що базуються на варіаційному численні (МСЕ) або інтегральних рівняннях (МГЕ).

У рамках МГЕ система диференціальних рівнянь трансформується в інтегральне рівняння, яке вимагає дискретизації лише межі, що значно скорочує кількість вузлових точок. Числовий МГЕ вимагає використання електронних обчислювальних машин і, як і для всіх наближених числових методів, спрощує розрахункові рівняння.

К. Бреббія [3] звів цю систему диференційних рівнянь до інтегрального рівняння:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij,j} + b_j = 0 \quad \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$C_{ij}(\xi)u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x)u_j(x)d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x)p_j(x)d\Gamma(x), \quad (1.2)$$

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\varepsilon_{kl}$$

При розгляді нелінійної задачі інтегральне рівняння, отримане К. Бреббія [3,4], набуває вигляду:

$$c_{ij} \cdot u_j + \int_{\Gamma} p_{ij}^* u_j d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{ij}^* p_j d\Gamma + \int_{\Omega} \dot{\sigma}^* \dot{\varepsilon}_{jk}^p d\Omega, \quad (1.3)$$

де, u – заданий вектор переміщень на границі фундаментної конструкції;

p – шуканий вектор напружень на границі;

u^* , p^* , σ^* – ядра граничного рівняння (1.2) – рішення Р. Міндліна для переміщень, напружень та похідних від напружень, що відповідають одиничним взбуджуючим впливам ($P=1$) в півпросторі [34,4];

Сучасний розвиток ЕОМ дозволяє досліджувати НДС системи «основа-фундамент» за допомогою числово-математичного моделювання. Ґрунтова основа є ключовою складовою цієї системи і найбільш вразливим її елементом. Саме стан ґрунтової основи є причиною 90% аварій споруд.

Висновки до розділу 3

Модельні дослідження надають можливість отримати досить точну та якісну інформацію про поведінку пальових фундаментів під навантаженням. Їхня перевага полягає у можливості широкого варіювання різними параметрами паль та піщаного ґрунту, а також у можливості багаторазового повторення.

Важливим є всебічне вивчення та дослідження на всіх етапах будівництва, а також після його завершення до моменту стабілізації деформацій, разом із науково-технічним супроводом проектування та будівництва.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Архітектурно-будівельні рішення

4.1.1 Вихідні дані

Проектувальник і забудовник будинку по вул. Ключківській, на перетині з пров. Деркачівським у м. Харкові – ТДВ «Житлобуд-2».

Ширина будівлі - 19,8м. Довжина будівлі - 40,3м. Висота - 54,0м.

Об'єктом спостереження є шістнадцятиповерховий житловий будинок з тех-поверхом і цокольним поверхом. Будівля має монолітний залізобетонний повний каркас, що складається з безбалкових перекриттів, колон, ядер і діафрагм жорсткості. (Додаток В)

Фундамент - пальово-плитний. Палі буроін'єкційні діаметром 630мм розташовані по регулярній сітці й об'єднані монолітним залізобетонним плитним ростверком товщиною 800мм.

Просторова стійкість будівлі забезпечується діафрагмами і ядрами жорсткості, що зв'язані жорсткими дисками перекриттів.

Елементи каркасу прийняті з бетону класу С20/25, ростверк з бетону класу С25/30, повздовжня арматура класів А400С, А500С, а поперечна арматура класу А240С.

Діафрагми і стіни ядер жорсткості прийняті перерізом 200мм.

Колони монолітні залізобетонні перерізом 350х600мм, 300х500мм, а також круглого перерізу діаметром 500мм.

Перекриття монолітні залізобетонні безбалкові товщиною 200мм.

Власна вага залізобетонних конструкцій прийнята відповідно до їх геометричних характеристик. Об'ємна вага залізобетонних конструкцій прийнята 25кН/м³.

Клас відповідальності будівлі - СС2. Категорія складності - ІІІ. Категорія відповідальності конструкцій - А.

Термін експлуатації будівлі - 100 років.

Розміри конструктивних елементів будівлі прийняті відповідно до проектною документації, наданої ТДВ «Житлобуд-2» (м. Харків):

- товщина міжповерхових перекриттів и покриття прийнята 200мм;
- товщина підвального перекриття прийнята 220мм;

- товщини несучих стін остова - 240мм і 250мм;
- товщини діафрагм і пілонів - 300мм і 400мм;
- товщина плити пальового ростверку - 900мм.

Для елементів каркаса прийняті бетони класу C32/40 і C25/30 (колони), C20/25 (стіни та плити перекриття), робоча арматура класів A400C і A500C і поперечна арматура класу A240C.

Фундамент будівлі, що досліджується - пальово-плитний. Палі буроін'єкційні діаметром 630мм і довжиною 11м, об'єднані монолітним залізобетонним плитним ростверком товщиною 900мм. Основою паль служать ґрунти ПЕ-7 - піски пилюваті, щільні, однорідні, насичені водою. Фізико-механічні характеристики ґрунтів майданчика будівництва представлені в табл. 4.1.

Розташування паль у ґрунтовому масиві представлено на рис. 4.1, а на рис. 4.2 показано взаємне розташування паль, контуру плити ростверку з ділянками з'єднання вертикальних несучих залізобетонних конструкцій каркаса.

4.1.2 Генеральний план та організація рельєфу

Елементами благоустрою є насаджені дерева, кущі, газони. Також були використані малі архітектурні форми (МАФ-и). (Додаток В)

Поверхневі води відводяться з доріг та майданчиків на прилеглі ділянки території.

Підземні інженерні мережі прокладаються вздовж проїздів у смузі між проїзною частиною та забудовою.

Для забезпечення безпечного руху транспортних засобів та пішоходів було передбачено влаштування тротуарного покриття.

Під час сезонних опадів буде відсутнє скупчення води та затоплення території, адже було продумане водовідведення, яке проходить по проїжджій частині у вигляді лотків з ухилом в $i=0,04\%$.

Вертикальне планування території гарантує відведення поверхневих вод та створює оптимальні умови для розміщення будівель, проїздів та майданчиків. [18].

Рельєф ділянки пологий, розтин горизонталей становить 0,2 (м) у межах від 97,80 до 99,00 (м) [18].

Рельєф ділянки сформовано за допомогою проектних горизонталей з урахуванням природних умов, організації стоку поверхневих вод та розташування під'їзних шляхів.

4.1.3 Архітектурно-планувальні рішення

Принципи архітектурно-планувальних рішень прийняті відповідно до умов майданчика будівництва.

Будівельний майданчик характеризується наявністю спокійного рельєфу зі схилами.

Будівля, що представлена до розгляду являє собою офісний центр з паркінгом. В плані має складну форму з розмірами в осях (1 - 10) 49,2 метра, (А – К) – 44,6 метрів, останній технічний поверх частини будівлі знаходиться на відмітці +57,0м. З метою раціонального використання корисної площі забудови на відмітці –4,3м і –7,6м знаходяться два поверхи паркінгу, які відносяться до першої категорії. Заїзд до паркінгу здійснюється по рампах, що мають гвинтову траєкторію зі сторони висотної частини будівлі, а виїзд – з цієї ж сторони. Рампи прийняті з одностороннім рухом автомобілів й обладнані захисними бар'єрами висотою й шириною 0,2м. Пропускну здатність однієї смуги визначаємо з розрахунку 400 автомобілів за годину. В паркінгах також передбачені приміщення тільки для зберігання автомобілів, вони відділені вогнестійкими стінами (в межах вогнестійкості не менше 1 год.) на секції, не більше ніж по 100 автомобілів з окремими евакуаційними виходами для людей.

Схема раціонального розміщення автомобілів виконана відповідно до

ДБН В.2.3-15:2007 «Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів».

На останньому поверсі з відміткою +57,0 м розміщений технічний поверх, де знаходяться техніка, устаткування, необхідні для обслуговування даної споруди.

4.1.4 Архітектурно-конструктивні рішення

Конструктивна схема даної споруди є каркасна. Головними несучими конструктивними елементами є колони прямокутного поперечного перерізу розміром 800х600 мм.

Монолітні стіни, що знаходяться в підземній частині товщиною 800мм. з використанням тепло- і гідроізоляційних матеріалів, оскільки не виключена можливість впливу різного роду агресивних чинників. У приміщеннях паркінгу стіни, двері й ворота виконані з протипожежних матеріалів, так як в приміщеннях такого роду можливі пожежі та вибухи. Паркінг звичайно обладнаний природними й штучними системами вентиляції.

Зовнішні стіни, починаючи з першого поверху надземної частини виконані з газобетонних блоків і мають товщину 370 мм, які відповідають теплотехнічному розрахунку. Міцність стіни забезпечується від власної ваги, так як стіни в даному випадку самонесучі.

Планувальні рішення споруди виконані за допомогою стін із газоблоків розміром 200 мм, деякі внутрішні перегородки виконані з газоблоків розміром 120 мм й оштукатурені, стіни сходових кліток монолітні товщиною 200мм.

Міжповерхове перекриття відповідно до конструктивних вимог монолітне товщиною 300 мм з паро- і гідроізоляцією, цементно-піщаною стяжкою й покриттям підлоги з керамічної плитки.

Плоска частина покрівлі споруди складається з монолітної з/б плити товщиною 200мм, шару пароізоляції, керамзиту, утеплювача товщиною 100мм, вирівнюючої стяжки з легкого бетону товщиною 50мм і рулонної покрівлі з руберойду, укладеного на бітумній мастиці в 2 шари, гідроізоляційний килим покритий двома шарами світлого гравію з крупністю зерен 5-15 мм, втоплених в покрівельну мастику. Стікаюча по покрівлі (уклон покрівлі $i=0,03$) вода збирається й відводиться через водостічні воронки в ливневу каналізацію по стояках [18].

На рис. 4.1 представлений план розташування буроін'єкційних паль діаметром 630мм і довжиною 12,5м, а на рис. 4.2. - їх розташування на інж.-геологічному розрізі. Фізико-механічні характеристики ґрунтів представлені в табл. 4.1.

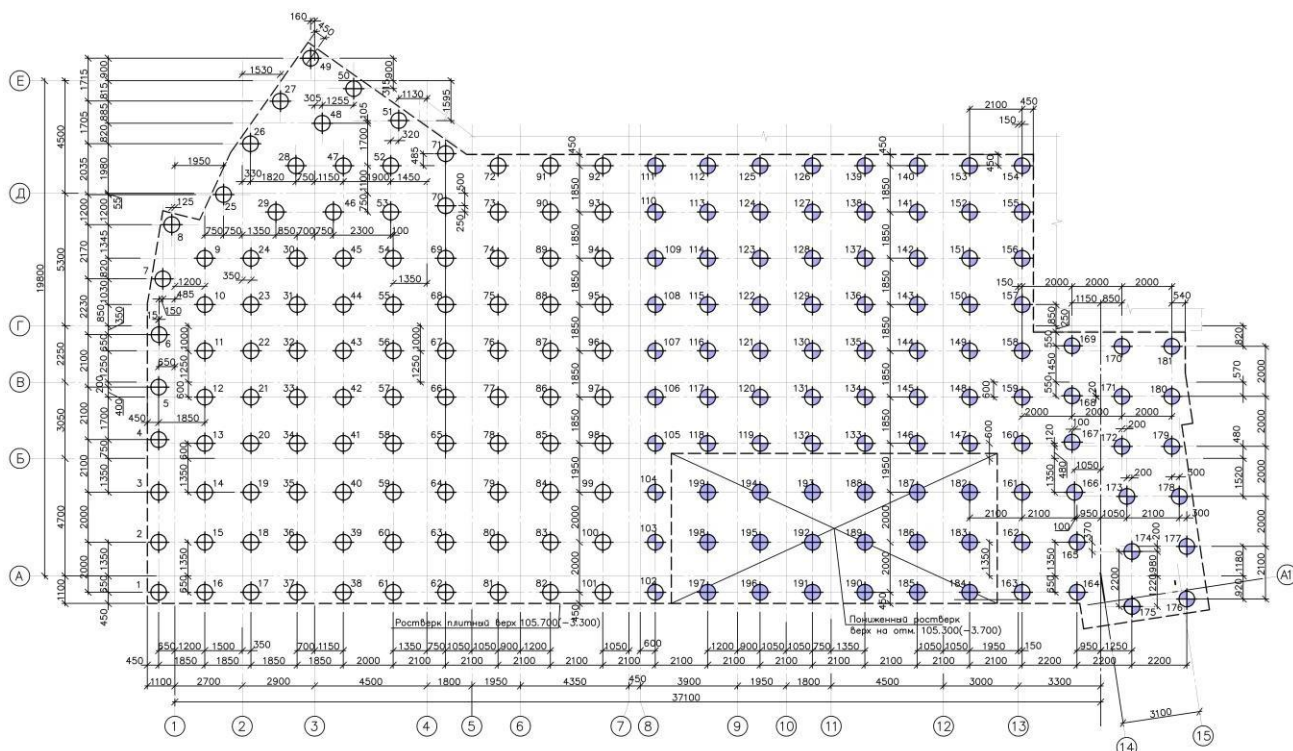


Рис. 4.1. План розташування паль

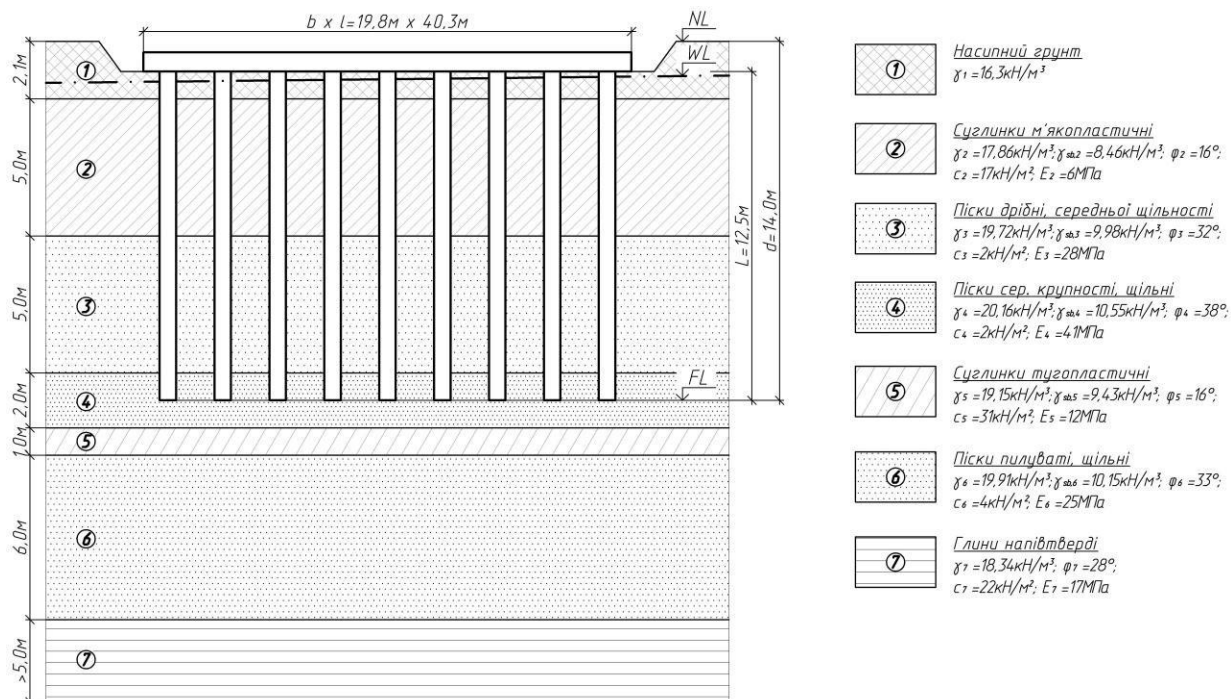


Рис. 4.2. Розташування паль на інж.-геологічному розрізі

Таблиця 4.1 Фізико-механічні характеристики ґрунтів

Найменування	Ум.	Од. вим.	Шар						
			1 – насипний ґрунт	2 – суглинки м'якопластич	3 – піски дрібні,	4 – піски середн.	5 – суглинки тугопластичн	6 – піски пилув., піщ.	7 – глини алевр., напівтверд
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пит. вага ґрунту	γ	кН/м ³	16,3	17,86	19,72	20,16	19,15	19,91	18,34
Пит. вага водонас. гр.	γ_{sat}	кН/м ³	-	17,91	19,72	20,16	19,15	19,91	18,35
Пит. вага часток ґрунту	γ_s	кН/м ³	-	24,89	26,09	26,17	25,11	26,0	25,87
Пит. вага зваж. у воді гр.	γ_{sb}	кН/м ³	-	8,46	9,98	10,55	9,43	10,15	8,90
Природна вологість	w	д.од.	-	0,28	0,24	0,19	0,22	0,21	0,28
Коеф. пористості	e	д.од.	-	0,76	0,64	0,53	0,59	0,58	0,78
Пит. зчепл. ґрунту	c	кПа	-	17	2	2	31	4	22
Кут внутр.тертя	ν	град.	-	16	32	38	16	33	28
Модуль деформації	E	МПа	-	6	28	41	12	25	17
Показник текуч.	I_L	д.од.	-	0,49	-	-	0,31	-	0,09
Число пласт.	I_p	д.од.	-	0,15	-	-	0,13	-	0,11

У період 2014-2015 рр. проводились спостереження за осіданнями в процесі будівництва 17-поверхового житлового будинку (див. рис. 4.3).



Рис. 4.3. Загальний вигляд будинку, що зводився

На рис. 4.4 наведені графіки, а в табл. 4.2 - значення теоретичних осідань будинку від контрольованих реальних навантажень у процесі будівництва й усереднена залежність осідань 2-х натурних одиночних паль при випробуванні дослідними навантаженнями, що отримана на стадії вишукувальних робіт [153].

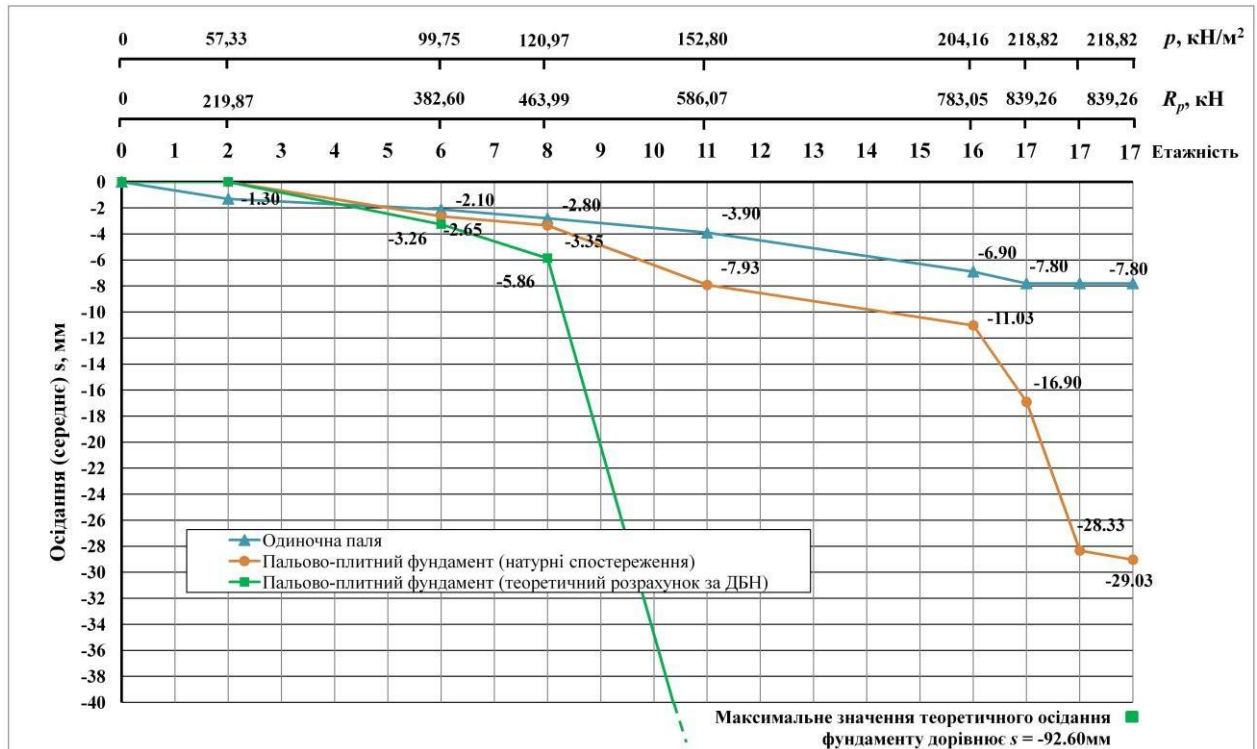


Рис. 4.4. Графіки залежностей осідань від навантаження

Таблиця 4.2. Порівняння фактичних і розрахункових значень

Пальово-плитний фундамент (натурні спостереження)			Один оч-на паля	Пальово-плитний фундамент (теоретичний розрахунок за ДБН)				
Дата замірювання	Поверховість	Середнє значення осідань будівлі	Натурні випробування	Реакції в палях		Тиск під підшовною умовного фундаменту	Стислива товща	Середнє осідання
мм/рр	N	s, мм	s, мм	R_p , кН	ΣR_p , кН	p , кН/м ²	H, м	s, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
04/2014	2	0.00	-1.30	219.87	43754.54	57.33	0.00	0.00
05/2014	6	-2.65	-2.10	382.60	76137.38	99.75	5.20	-3.26

06/2014	8	-3.35	-2.80	463.9 9	92333.40	120.97	7.70	-5.86
07/2014	11	-7.93	-3.90	586.0 7	116627.5 1	152.80	10.20	-49.22
09/2014	16	-11.03	-6.90	783.0 5	155827.0 4	204.16	12.70	-81.88
10/2014	17	-16.90	-7.80	839.2 6	167012.0 1	218.82	13.40	-92.60
12/2014	17	-28.33	-7.80	839.2 6	167012.0 1	218.82	13.40	-92.60
03/2015	17	-29.03	-7.80	839.2 6	167012.0 1	218.82	13.40	-92.60

4.1.5 Зовнішнє та внутрішнє оздоблення

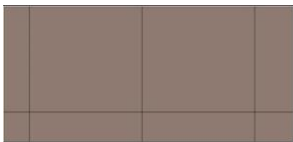
В оздоблені фасадів передбачено використання утеплених вентильованих фасадних систем з застосуванням дзеркального скла, металевих фасадних касет «ТПК» на 1-му і 2-му поверсі, а також облицювання фасадною керамічною плиткою і декоративною штукатуркою з 3-го по 18-й поверх. Також було використано багатокамерні металопластикові профілі з 3-х камерними склопакетами. (Додаток Г)

Цоколь будівлі облицюється штучним каменем, шви фарбуються у будь-який колір, по бажанню замовника.

Вікна та зовнішні двері будівлі білого кольору. Застосування фасадного скла надає фасаду будівлі більш сучасного вигляду та забезпечує приміщення магазину природнім світлом.

Обробка поверхні внутрішніх стін і перегородок складається з високоякісного шпаклювання за 3 рази, фарбування водоемульсійною фарбою за 2 рази. Поверхня стін та підлоги у санвузлі обробляється керамічною плиткою. Вона слугує свого роду гідроізоляцією стін, котра необхідна через підвищену вологість у даному приміщенні, та до того ж плитка легко миється, що дозволяє підтримувати чистоту у даному приміщенні.

Таблиця 4.3 – Кольори опорядження фасадів

Поз. маркування	Елемент фасаду	Матеріал оздоблення	№, код або зразок кольору
1	Цоколь	Облицювання штучним каменем	
2	Ганок входу, пандус	Облицювання керамогранітною плиткою	
3	Стіни	Утеплені вентилявані фасадні системи з застосуванням	
4	Ділянки стін	Металеві касети «ТПК»	
5	Стіни	Облицювання керамічною плиткою	
6	Ділянки стін	«Eurogres» Декоративна штукатурка	
7	Ділянки стін	Декоративна штукатурка	
8	Вікна, двері	З метало пластикового профілю з 2-х камерними	

В приміщеннях використовуються підвісні стелі типу «ARMSTRONG». Виключенням являється електрощитова, насосна, дизель електростанція, машинне відділення та опалювальний пункт, де стеля фарбується водоемульсійною чи масляною фарбою. Інтер'єр будівлі - визначає внутрішнє оздоблення, котре може бути виконано у будь-якому існуючому стилі, який обере замовник.

За результатами моделювання в ПК «ЛИРА САПР» запроектовано ще два варіанти пальово -плитного фундаменту: товщиною 0,9 м та 1,2 м (рис. 4.5).

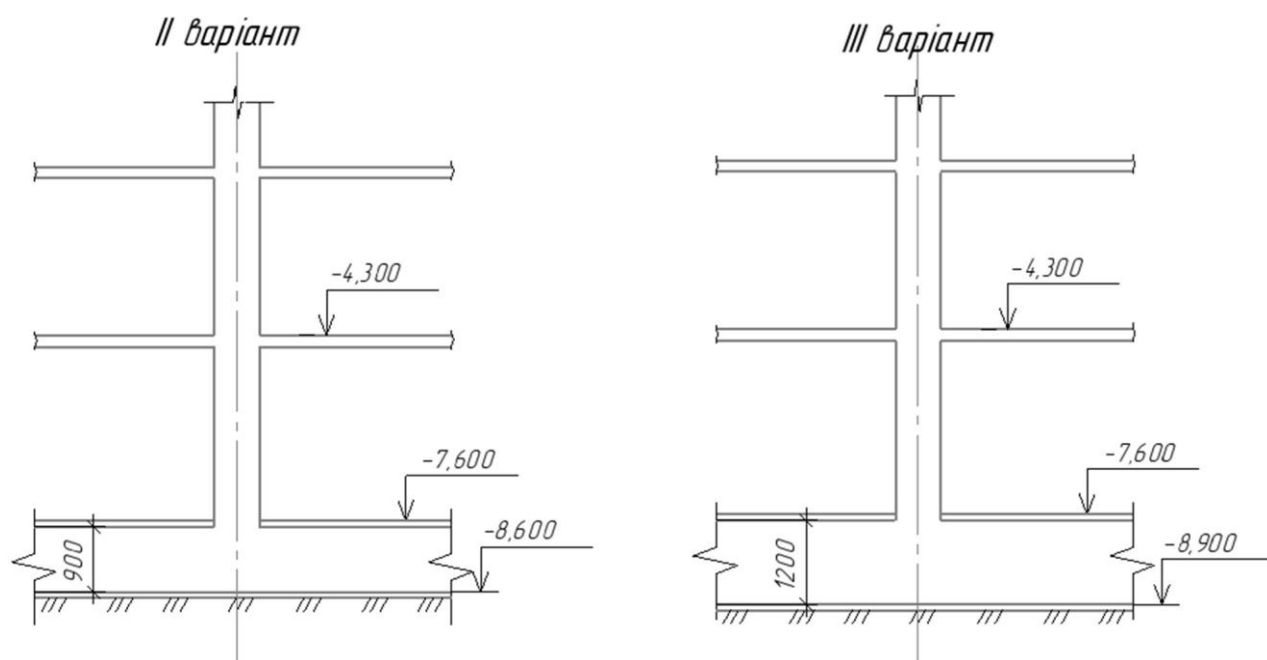


Рисунок 4.5 – Варіанти плитного фундаменту за результатами моделювання в ПК «ЛИРА САПР» .

4.2 Приклад розрахунку пальово-плитного фундаменту

На конкретному прикладі розглянемо можливість оптимального проектування пальово-плитного фундаменту 16-поверхової будівлі з повним монолітним залізобетонним каркасом у м. Харків. (Додаток Д) з наступними даними:

- розміри плити в плані $b \times l = 35 \times 35$ м;
 - середній тиск під подошвою плити дорівнює $p = 450$ кПа;
 - середня питома вага ґрунту $\gamma = 20$ кН/м³;
 - допустиме осідання з урахуванням підвищувальних коефіцієнтів $s_u = 27,0$ см = 0,27м;
- інші величини наведені на розрахунковій схемі рис. 4.6.

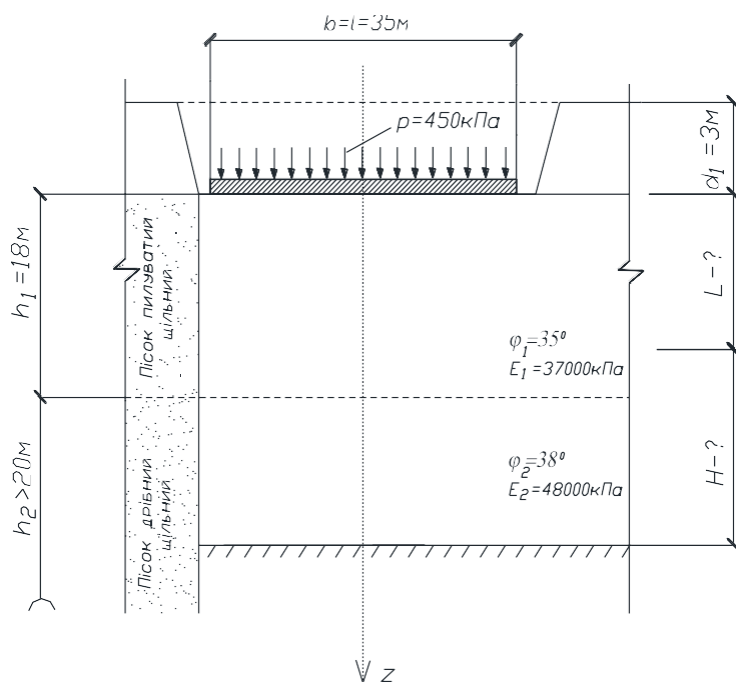


Рис. 4.6. Схема закладання плити ростверку на інженерно-геологічному розрізі

Розрахунковий опір ґрунтової основи для плитного фундаменту складатиме $R \approx 850 \text{ кПа}$.

На рис. 4.7 розглянемо 1-й варіант закладання підшви паль у першому несучому шарі (ІГЕ-1).

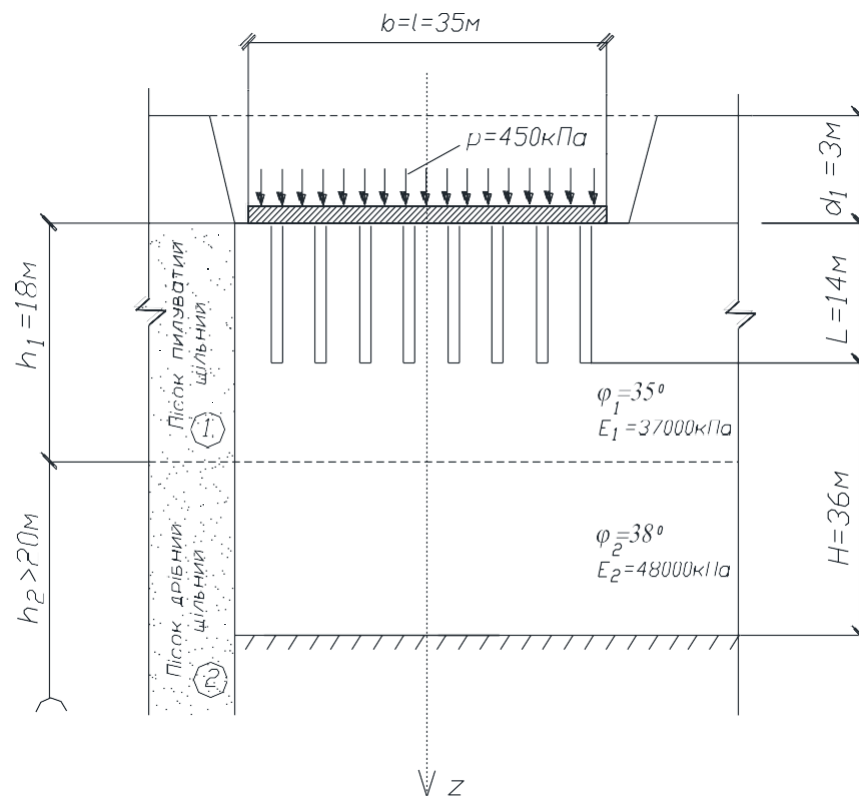


Рис. 4.7. Варіант 1 закладання пально-плитного фундаменту в ІГЕ-1

Розрахунковий опір ґрунтової основи для пального фундаменту складатиме $R \approx 2150 \text{ кПа}$.

Візьмемо діаметр паль $d=1\text{м}$;

Знайдемо раціональні параметри довжини і кроку паль:

$$H = \frac{0,27 \cdot 37000}{0,8 \cdot 450} = 28 \text{ м}; \quad L = \frac{45}{0,5 \cdot 20} - 3 - 28 = 14 \text{ м}; \quad a = 2 \cdot 14 \cdot \text{tg} \frac{35}{4} + 1 = 5,3 \text{ м}.$$

Визначимо

кількість

паль:

$$x = \frac{b \cdot l}{a^2} + l$$

$$= \frac{35 \cdot 3}{\frac{35}{5,3^2} + 5,3} =$$

50

шт.,

а розрахункове навантаження на палю має дорівнювати

$$N = \frac{450 \cdot 35 \cdot 35}{50} = 11025 \text{ кН}.$$

На рис. 4.8 розглянемо 2-й варіант закладання підшви паль у другому несучому шарі (ІГЕ-2).

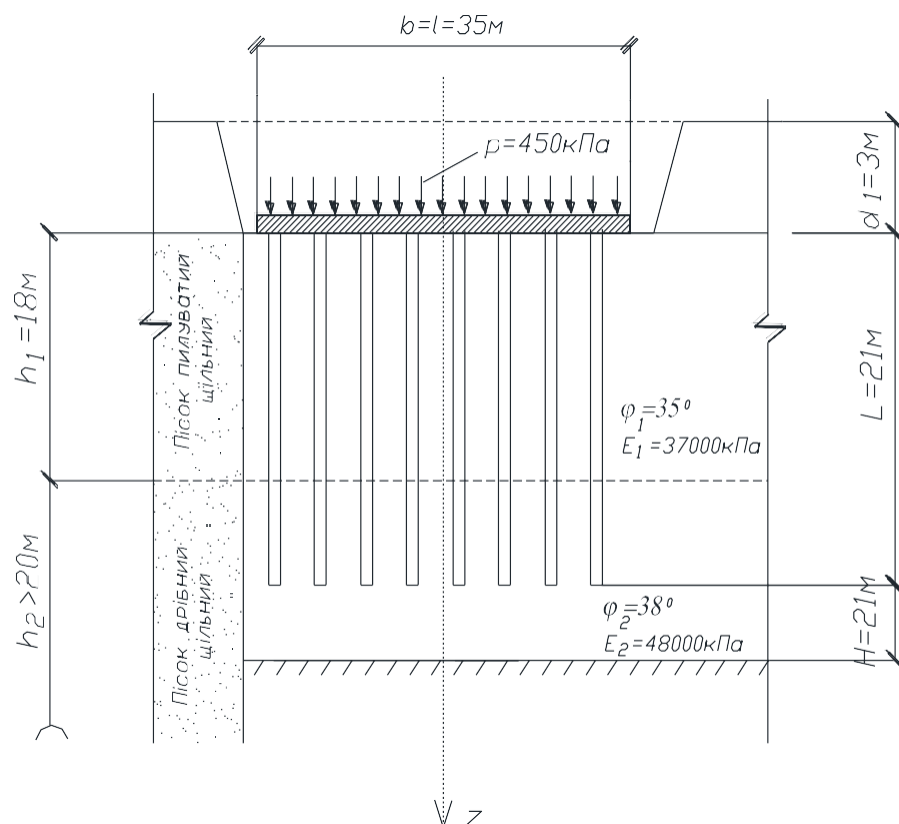


Рис. 4.8. Варіант 2 закладання пальово-плитного фундаменту в ІГЕ-2

У даному випадку, спочатку задаємося довжиною $L = 21\text{м}$, при цьому палі оптимальний крок палі буде дорівнювати:

$$a = 2 \cdot \frac{3 - 21}{4} = 21\text{м}$$

$$21 \cdot \tan^{35,4} + 1 = 7,5\text{ м.}$$

при цьому, звичайно, буде виконуватися умова за осіданнями споруди:

$$s = 0,8 \frac{450 \cdot 21}{48000} = 0,15\text{м} \leq 0,27\text{м}.$$

Кількість палі буде дорівнювати

$$n = \frac{35 \cdot 35}{7,5^2} \approx 27 \text{ шт.},$$

а несуча здатність палі має забезпечити розрахункове навантаження, що дорівнює величині

$$N = \frac{450 \cdot 35 \cdot 35}{27} = 20417\text{кН}.$$

З прикладу видно, що для проектування пально-плитного фундаменту за граничними деформаціями s_u число палі незначне, тому підвищується розрахункове навантаження на палі, що для забезпечення міцності бетонного перерізу палі вимагає збільшення їх діаметрів до $d=1,2\text{м}$ (для 1-го варіанту, див. рис. 3.4) і до

$d=1,6\text{м}$ (для 2-го варіанту, див. рис. 3.5), що практично не позначиться на параметрах пальового поля, а кратність кроку між осями паль буде в реальних проектних межах: $n=4\div 5$.

На розглянутому реальному майданчику будівництва в проекті обґрунтовано прийняті буроін'єкційні палі діаметром $d=0,63\text{м}$ і довжиною $L=21\text{м}$ в кількості 169 шт., при цьому на підставі статичних випробувань розрахункове навантаження на палі склало 2700кН , а також прийняте допущення про сприйняття «плитою» навантаження близько 15%.

Якщо критерієм ефективності взяти загальні витрати бетону V на пальове поле, то отримуємо зниження витрат на 28% (без урахування включення в роботу плити ростверку) для 1-го варіанта фундаменту в порівнянні з сучасними підходами проектування комбінованих пальово-плитних фундаментів.

Для 2-го порівняльного варіанта об'єм бетону для паль практично не змінився.

Як було досліджено у розділі 1, підхід проф. Р. Катценбаха до оцінки ефективності комбінованих пальово-плитних фундаментів (див. рис. 1.10) враховує лише часткове включення в роботу плитної частини фундаменту, тому є недосконалим і, як буде показано нижче, призводить до парадоксальних результатів.

Пропоную розглянути універсального методу оцінки ефективності комбінованих пальових і плитних фундаментів уведемо 4 поняття й умови їх виконання: ***коефіцієнт використання несучої здатності (розрахункового опору) основи:***

$$\alpha_s = \frac{s}{s_u} \leq 1, \quad (3.21)$$

де s – середнє осідання фундаменту споруди, м;

s_u – гранично припустиме осідання фундаменту споруди, м,

коефіцієнт використання міцності перерізу палі:

$$\alpha_R = \frac{R_{pile}}{R_A} \leq 1, \quad (3.22)$$

коефіцієнт підвищення несучої здатності одиночної палі за ґрунтом:

$$\alpha_{F_u} = \frac{R_{pile}}{F_u} \geq 1, \quad (3.23)$$

де R_{pile} – середня реакція на палі в складі фундаменту, кН;

R_A – розрахунковий опір перерізу одиночної палі за матеріалом, кН;

F_u – граничний опір одиночної палі за ґрунтом, кН.

Ефективність комбінованого пальового і плитного фундаменту включає 2 критерії:

- загальна вартість фундаменту, яка передбачає, в тому числі, й армування фундаменту, і будівельно-монтажні роботи та ін, V , у.о.

$$V \rightarrow \min; \quad (3.24)$$

- ступінь використання несучої здатності й деформативності паль та ґрунтової основи, що представлено у вигляді коефіцієнтів α_{psR} і α_F , які дорівнюють:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{psR} = \alpha_p + \alpha_s + \alpha_R \rightarrow \rightarrow \max, \\ \alpha_F \end{array} \right. \quad (3.25)$$

з областю оптимальних значень коефіцієнта α_{psR} , що знаходиться в межах:

$$2,0 \leq \alpha_{psR} \leq 3,0. \quad (3.26)$$

4.3 Приклад оцінки ефективності комбінованих пальових і плитних фундаментів

Для прикладу оцінки ефективності розглянемо 3 варіанти фундаментів, для яких були виконані розрахунки (пп. 3.1.1 та 3.2.1) при прийнятих інженерно-геологічних умовах (див. рис. 3.3):

- пальново-плитний фундамент «ППлтФ-0%» (рис. 3.4) - без включення в роботу плити ростверку;

- плитно-пальовий фундамент «ПлтПФ-50%» (рис. 3.1) - реальне сприйняття 50% загального навантаження плитою ростверку;

- комбінований пальново-плитний фундамент «КППФ-15%» (проектний варіант, описаний вище) - умовне сприйняття 15% загального навантаження плитою ростверку.

На рис. 4.9 представлені результати розрахунку вартості і α^{psR} - коефіцієнта

ступеня використання міцності та деформативності паль і ґрунтової основи. При цьому, в даному випадку, розрахункові навантаження на палі практично дорівнюють

міцності їх бетонного перерізу, тобто $\alpha = \frac{R_{pile}}{R} \approx 1$, а для спрощення й коефіцієнт

наочності результатів у якості вартісті умовно прийнятий відносний обсяг бетону пального поля, який дорівнює

$$V = \frac{V}{V_{\text{КППФ}}}$$

V – об'єм бетону паль різних варіантів фундаменту, м³;

$V_{\text{КППФ}}$ – об'єм бетону паль проектного варіанта комбінованого пальново-плитного фундаменту, м³.

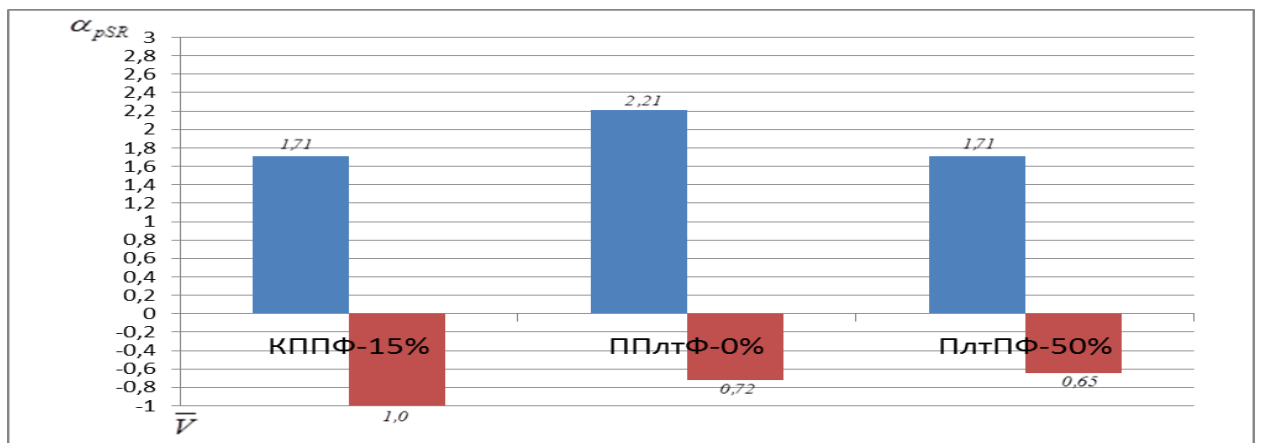


Рис. 4.9. Ефективність застосування різних варіантів комбінованих палових і плитних фундаментів

Порівняльний аналіз результатів на рис. 4.9 демонструє, що при інших рівних умовах запропоновані конструкції комбінованих палових і плитних фундаментів - «ППлтФ-0%» і «ПлтПФ-50%» мають практично однакову вартість, але ступінь використання пальново-плитним фундаментом «ППлтФ-0%» механічних можливостей основи значно вищий і входить у межі оптимальних значень коефіцієнта $\alpha_{psr} = 2,21$

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Локальний кошторис розробляється на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН, ДБН); кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції, загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка Настанови.

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.

Прямі витрати (ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Для розрахунку загальновиробничі витрати групуються в три блоки: а) засоби на заробітну плату робітників; б) відрахування на соціальні заходи; в) інші статті загально - виробничих витрат.

Для визначення кошторисної вартості фундаментів складені локальні кошториси за допомогою програмного комплексу АВК для кожного варіанту порівняння (таблиці 5.1-5.2).

- Для розрахунку загальновиробничі витрати групуються в три блоки:
- а) засоби на заробітну плату робітників;
 - б) відрахування на соціальні заходи;
 - в) інші статті загально - виробничих витрат.

Таблиця 5.1 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 1

на

Пальові фундаменти

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)		Кошторисна вартість		5710.393 тис. грн.
ОСНОВА:		Кошторисна трудомісткість		8.29956 тис. люд.-год
креслення(специфікації)№		Кошторисна заробітна плата		598.228 тис. грн.

Середній розряд робіт 2.7 розряд

Складений в поточних цінах станом на 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. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати					
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ1-203-3	Зрізування рідкого чагарника і дрібнолісся у ґрунтах природного залягання кущорізами на тракторі потужністю 79 кВт [108 к.с.]	1 га	0.0225	1979.72	1979.72	45		45		
					-	313.80			7	3.3813	0.08
2	КБ1-13-2	Розроблення ґрунту у відвал екскаваторами 'драглайн' або 'зворотна лопата' з ковшом місткістю 0,4 [0,3-0,45] м3, група ґрунтів 2	1000 м3 ґрунту	5.571	26606.46	25878.57	148225	4055	144170	12.3100	68.58
					727.89	6336.57			35301	76.0410	423.62
3	КБ1-164-1	Розробка ґрунту вручну в траншеях глибиною до 2 м без кріплень з укосами, група ґрунтів 1	100м3 ґрунту	11.84	11598.69		137328	137328		200.6000	2375.10
4	С311-10	Перевезення ґрунту до 10 км	т		11598.69						
							4103				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	KB4-38-1	Улаштування з/б буроін'єкційних паль довжиною 20 м з використанням розрядноімпульсної технології	100 м буріння свердловини	10.8	15520.09	1666.63	167617	31598	18000	37.6300	406.40
					2925.73	415.06			4483	6.3971	69.09
6	KB5-61-1	Установлення у свердловину арматурного каркаса	1 свердловина	54.0	3321.70	2918.63	179372	15391	157606	3.9800	214.92
			1м3		285.01	556.54			30053	6.0393	326.12
7	KB5-62-1	Бетонування паль конструктивного об'єму палі	м3	296.0	2017.24	204.68	597103	16570	60585	0.8000	236.80
					55.98	60.22			17825	0.6517	192.90
8	C1424-11596	Суміші бетонні готові важкі, клас бетону В3,5 [M50], крупність заповнювача більше 40 мм		296.0	2334.99		691157				
9	C147-2-14	Стрижнева арматура А-ІІ, діаметр 14 мм	100кг	148.21	3071.36		455206				
10	KB6-1-16 C147-2-12	Улаштування залізобетонних ростверків	100м3 бетону, бутобетону і залізо-бетону в ділі	5.63	302979.58	7454.23	1705775	94712	41967	249.4100	1404.18
					16822.70	2667.77			15020	32.7235	184.23
11		Стрижнева арматура А-ІІ, діаметр 12 мм	100кг	309.36	3071.36		950156				
12	KB8-3-2	Гідроізоляція стін, фундаментів горизонтальна обклеювальна в 1 шар	100 м2 поверхні, що ізолюється	16.79	17406.00		292247	32660		28.1300	472.30
					1945.19						
13	KB1-27-2	Засипка траншей і котлованів бульдозерами потужністю 59 кВт [80 к.с.] з переміщенням ґрунту до 5 м, група ґрунтів 2	1000 м3 ґрунту	1.291	8181.78	8181.78	10563		10563		
						1432.88			1850	17.6730	22.82
14	KB1-134-1	Ущільнення ґрунту пневматичними трамбівками, група ґрунтів 1, 2	100 м3 ущільненого ґрунту				35275	15390			
15	KB1-166-2	Ущільнення ґрунту вручну траншей, пазах котлованів і ям, група ґрунтів 2	100м3 ґрунту				40458	40458			

Разом прямих витрат по кошторису						5414630	388162	456924	6125.84			
Разом прямі витрати						грн.		109716	1290.43			
						5414630						
в тому числі:												
вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.						
						4569544						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		вартість ЕММ					456924					
						грн.						
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.	109716					
		заробітна плата робітників				грн.	388162					
		всього заробітна плата				грн.	497878					
		Загальновиробничі витрати				грн.	295763					
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г						883.29
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.	100350					
Всього по кошторису				грн.	5710393							
Кошторисна трудоємність				люд-г		8299.56						
Кошторисна заробітна плата				грн.	598228							

Таблиця 5.2 - Локальний кошторис на будівельні роботи № 1 на влаштування монолітного плитного фундаменту

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 2,564 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0,01 тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата 0,203 тис. грн.
Середній розряд робіт 3,3 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2022 р.

№ п/п	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	E1-17-1	Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ході з ковшем місткістю 1 [1-1, 2] м3	1000м3	0,0073	<u>6217,86</u> 157,87	<u>6053,90</u> 1912,64	45	1	<u>44</u> 14	<u>9,38</u> 66,504	0,07 0,49
2	E6-1-1	Улаштування бетонної підготовки	100м3	0,001	<u>69945,46</u> 3294,47	<u>1898,95</u> 520,67	70	3	<u>2</u> 1	<u>195,75</u> 25,4989	0,2 0,03
3	ЕД6-50-15	Збирання і розбирання дерев'яної щитової опалубки	100м3	0,009	<u>15580,67</u>	<u>420,30</u>	140	72	<u>4</u>	<u>417,87</u>	3,76

з щитів опалубки площею до 1 м2 для улаштування монолітного плитного фундаменту товщиною 1, 5м

8018,93

130,88

1

6,9921

0,06

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	ЕД6-62-3	Встановлення арматури окремими стрижнями із зварюванням вузлів з арматурою у вигляді плоских сіток в масиві, окремі фундаменти і плитні основи, діаметр арматури, мм понад 8 до 12	т	0,13984	<u>11553,50</u> 436,01	<u>100,74</u> 23,53	1616	61	<u>14</u> 3	<u>22,44</u> 1,4234	3,14 0,2
5	ЕД6-66-2	Укладання бетонної суміші в конструкції монолітного плитного фундаменту товщиною 1, 5м бетононасосами.	100м3	0,009	<u>61814,36</u> 1004,88	<u>1946,55</u> 497,99	556	9	<u>18</u> 4	<u>53</u> 23,56	0,48 0,21
		Разом прямі витрати по кошторису					2427	146	<u>82</u> 23		7,65 0,99
		Разом будівельні роботи, грн.					2427				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					2199				
		всього заробітна плата, грн.					169				
		Загальновиробничі витрати, грн.					137				
		трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.					1,02				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					34				
		Всього будівельні роботи, грн.					2564				

		Всього по кошторису					2564				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					10				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					203				

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.

$$\Pi_i = C_i + E_n \cdot K_i \rightarrow \min, \quad (5.1)$$

Величина C і K прирівнюються за допомогою коефіцієнта дисконтування E_n , який приводить усі витрати до моменту вкладання коштів.

Собівартість робіт визначається за формулою:

$$C = PB + ZBB, \quad (5.2)$$

де PB – 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;

ZBB – кошторисна величина загальновиробничих витрат, грн.

PB та ZBB визначаємо із локального кошторису (таблиці 5.1 – 5.2).

Капітальні вкладення у виробничі фонди:

$$K = K_{ОВФ} + K_{обігові\ кошт}, \quad (5.3)$$

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

$K_{обігові\ кошт} = C_{см.} / K_{обор.}$ – обігові кошти, де $C_{см.}$ – кошторисна вартість (всього по кошторису), грн.;

$$K_{обор.} = 3-4.$$

Основні виробничі фонди визначаються за формулою:

$$K_{ОВФ} = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_i \cdot T_{i,об.}}{T_{i,річн.}}, \quad (5.4) \text{ де } \Phi_i - \text{первісна}$$

вартість і-тої машини, грн. (в даному випадку прий-
memo вартість експлуатації машин із кошторису);

T_i – тривалість роботи і-тої машини на об'єкті, год.; $T_{i, річн.}$ –
нормативна тривалість роботи за рік, год.

$$\text{Економічний ефект } E = \Pi_1 - \Pi_2$$

Таблиця 5.3 - Показники ефективності будівельного об'єкту

Показники	Пальові фундаменти	Плитні фундаменти
Прямі витрати, тис. грн.	5414,63	2,427
Кошторисна трудомісткість, тис. люд.-год.	8,29956	0,01
Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	598,228	0,203
Загальновиробничі витрати, тис. грн.	295,763	37,579
Усього за кошторисом, тис. грн.	5710,393	2,564
Показники (обчислені)		
Кошторисна величина ЗВВ, тис. грн.	295,763	2,564
Собівартість робіт (С), тис. грн.	5710,39	2,56
Обігові кошти, тис. грн.	1903,46	0,85
Основні виробничі фонди, тис. грн.	347,208	0,059
Капіталовкладення в виробничі фонди, тис. грн.	2250,67	0,91
Показник приведених витрат П, тис. грн.	5980,47	2,67
Економічний ефект, тис. грн.	4322,62	

Економічний ефект: $E = П1 - П2$

ВИСНОВКИ

При проектуванні фундаментів висотних будинків необхідно враховувати особливості інженерно-геологічних вишукувань, розрахунків і проектування.

У зв'язку з високою «чутливістю» висотних будівель до крену при розрахунку фундаментів важливим є врахування механічної анізотропії, початкового напружено-деформованого стану і консолідації ґрунту, а також вплив огорожувальної конструкції котловану.

Розрахунки пальово-плитних і пальових фундаментів рекомендовано виконувати за допомогою програмних комплексів, в яких реалізовано метод скінчених елементів. До виконання розрахунків пальових фундаментів рекомендується уточнювати механічні характеристики ґрунту за результатами випробувань паль і тестувати обрану модель розрахунку.

При розрахунку пальових і пальово-плитних фундаментів слід враховувати взаємовплив паль один на одного, перевантаженість кутових і периметральних паль щодо центральних, при проектуванні з допомогою конструктивних і технологічних заходів вирівнювати зусилля в палях.

Врахування перерозподілу навантаження між палями в пальовому полі дозволяє досягнути більш економічних рішень при проектуванні і влаштуванні фундаментів висотних будівель.

Беручи до уваги унікальність висотних будівель слід зазначити, що важливим є проведення всебічного моніторингу на всіх етапах будівництва та після його завершення до стабілізації деформацій і науково-технічного супроводу проектування та будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Швець В.Б., Бойко І.П., Вінников Ю.Л., Зоценко М.Л. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: навч. посіб. Дніпропетровськ: «Пороги», 2012. 196 с.

2. Бікус К.М. Вплив попереднього навантаження паль на зниження їх осідань : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 .Дніпропетровськ, 2015. 210 с.
3. Бойко І.П. Дослідження перерозподілу зусиль у фундаменті при різних варіантах розташування паль / І.П. Бойко, В.Л. Підлущкий // Основи та фундаменти: Між- відомчий науково-технічний збірник. Вип. 37 / За загальною редакцією І.П. Бойка. К.: КНУБА. 2015. 64-73с.
4. Вінников Ю.Л. Особливості визначення показників міцності ґрунтів при використанні альтернативного методу розрахунку несучої здатності паль тертя / Ю.Л. Вінников, В.С. Яковлев, Б.І. Завалій // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-во-технічний збірник.К.: ДП НДІБК, 2008. Вип. 71. 135–144с.
5. Вінников Ю.Л. Моделювання процесів ущільнення ґрунту при вісесиметричному напружено–деформованому стані основ: дис. ... докт. техн. наук : спец.05.23.02. Київ. 2005. 468 с.
6. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. К.: Мінрегіонбуд України. 2009. 104 с.
7. ДБН В.2.1-10-2009 Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіонбуд України. 2011.55 с.
8. ДСТУ Б В.2.1-1-95. Ґрунти. Методи польових випробувань палями. Київ: Укрархбудінформ, 1997. 58 с.
9. ДСТУ Б В.2.1-27:2010. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 11 с.
10. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Ґрунти. Класифікація. / Державний комітет України у справах містобудування і архітектури. К., 1997. 47 с.
11. ДСТУ Б В.2.1-5-96. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 11 с.
12. ДСТУ Б В.2.1-7-2000 (ГОСТ 20276-99) Методи польового визначення характеристик міцності і деформованості ґрунтів, 2001. 81 с.
13. ДБН А.2.1-1-2014 Інженерні вишукування для будівництва / Мінрегіонбуд України. К.: 2014. 78 с.
14. Звіт з науково-дослідної роботи: «Дослідження осідань у рамках науково-технічного супроводу будівництва житлового будинку по вул. Гвардійців Ширини-нців у Московському районі м. Харкова (в районі будинку №28а)» / О.В. Самородов,

Т.А. Наливайко, С.В. Табачніков; під керівництвом к.т.н. О.В. Самородова. – Харків: ХНУБА, 2015. 28 с.

15. Звіт з науково-дослідної роботи: «Дослідження осідань у рамках науково-технічного супроводу будівництва житлового будинку по вул. Клочківській, кут пров. Деркачевського у м. Харкові» / О.В. Самородов, Т.А. Наливайко, С.В. Табачніков. під керівництвом к.т.н. О.В. Самородова. Харків: ХНУБА, 2015. 28 с.

16. Звіт з науково-дослідної роботи: «Дослідження осідань у рамках науково-технічного супроводу об'єкта будівництва житлового комплексу (1-а черга будівництва, 1-й пусковий комплекс) по вул. Клочківській, 117 у м. Харкові» / О.В. Самородов, Т.А. Наливайко, С.В. Табачніков; під керівництвом к.т.н. О.В. Самородова. – Харків: ХНУБА, 2016. 28 с.

17. Звіт з науково-дослідної роботи: «Дослідження осідань у рамках науково-технічного супроводу будівництва житлового комплексу (1-а черга будівництва, 2-й пусковий комплекс) по вул. Клочківській, 117 у м. Харкові» / О.В. Самородов, Т.А. Наливайко, С.В. Табачніков; під керівництвом к.т.н. О.В. Самородова. Харків: ХНУБА

18. Звіт з науково-дослідної роботи: «Дослідження осідань у рамках науково-технічного супроводу будівництва житлового будинку №1 по вул. Целіноградській (у районі житлових будинків №54-56) у м. Харкові» / О.В. Самородов, Т.А. Наливайко, С.В. Табачніков; під керівництвом к.т.н. О.В. Самородова. Харків: ХНУБА, 2016. 28 с.

19. Зоценко М.Л. Вплив повторного навантаження на деформативність основ вда- влених паль / М.Л. Зоценко, В.Л. Сєдін, К.М. Бікус // Сучасні технології, матеріали і

конструкції в будівництві : наук.-техн. зб. / Вінниц. нац. техн. ун-т. Вінниця, 2014. №2(17). 68-74с .

20. Козачок Л.Д. Визначення несучої здатності збірно-монолітних залізобетонних кущових фундаментів під опори мостів / Л.Д. Козачок, Ю.М. Фабрика // Вісник Львівського територіального відділення Академії будівництва України : [до 15-річчя Львівського відділення Академії будівництва України] / Академія будівництва України, Львівське територіальне відділення. Львів, 2010. № 5/10. С.132-137.

21. Корнієнко М.В. Несуча здатність буронабивних паль з розширенням в лесових ґрунтах за результатами статичних випробувань / М.В. Корнієнко, Д.А. Карпенко // Основи і фундаменти : міжвід. наук.-техн. зб. / Київ. нац.ун-т буд-ва та архітектури. Київ, 2008. Вип. 31. С. 25-34.

22. Корнієнко М.В. Визначення несучої здатності палі великого діаметру за результатами статичних випробувань і за нормативними документами / М.В. Корнієнко І.Ю. Заварзіна // Основи і фундаменти : міжвід. наук.-техн. зб. / Київ. нац.ун-т буд-ва та архітектури. Київ, 2014. Вип. 35. С. 54-59.

23. Корнієнко М.В. Про особливості використання методу Остерберга при випробуванні паль великого діаметра / М.В. Корнієнко, С.О. Дворнік, І.Ю. Заварзіна // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 4 (34). Т2 2012. ПолтНТУ. С. 115-122.

24. Лебеда О.Ф. Оцінка результатів розрахунку несучої здатності та статичних випробувань буроін'єкційних паль великого діаметру / О.Ф. Лебеда, В.О. Мовчан // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник.. К.: КНУБА, 2006. Вип. 30. С. 59–67.

25. Левченко В.П. Напружено-деформований стан системи «буроін'єкційна паля – основа»: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / В.П. Левченко; ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка. Полтава, 2011.185 с.

26. Маєвська І.В. Аналіз достовірності визначення несучої здатності буроін'єкційних паль за діючими методиками СНіП / І.В. Маєвська, А.В. Романенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2011. Вип. 75, кн.2. С. 164–169.

27. Маєвська І.В. Чисельне моделювання роботи буроін'єкційної палі у

піщаних ґрунтах / І.В. Маєвська, А.В. Романенко // Наук.-техн. Збірник «Сучасні техно-логії, матеріали і конструкції в будівництві». Вінниця: ВНТУ, 2011. №1. С. 67

28. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Романов С. В. Вдосконалення методики визначення несучої здатності бурових паль. Будівельні конструкції. Міжвідомчий н/т збірник. Київ : НДІБК. 2016. Вип. 83. С. 616

29. Науково-технічний звіт дослідження несучої здатності двох буроін'єкційних паль вертикальним статичним навантаженням на ділянці будівництва житлового будинку по вул. Клочківській, кут пер. Деркачевського у м. Харкові. Самородов А.В. Харків, 2013. 36 с.

30. Біпірамідальна паля: пат. 146970 Україна. №202006998; заявл. 02.11.2020; опубл. 31.03.2021. Бюл. №13/2021, с.4

31. Методичні вказівки для визначення економічної ефективності витрат науково-дослідної частини в магістерських роботах студентів будівельних спеціальностей / Уклад. О. Г. Лялюк. Вінниця : ВНТУ, 2011. 41 с.

32. Посібник з проектування та влаштування паль у пробитих свердловинах / [М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, А. М. Павліков та ін.]; ПолтНТУ, ДП НДІБК. Київ, 2014. 70 с.

33. Пресняков О.Б. Несуча здатність вдавлюваних паль у піщаних та глинистих ґрунтах: автореф. дис.... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 "Основи і фундаменти" / О.Б. Пресняков; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2005.24 с.

34. Романенко А.В. Аналіз достовірності визначення несучої здатності буроін'єкційних паль за діючими методиками СНіП / А.В. Романенко, І.В. Маєвська // Будівельні конструкції. Випуск 75 : Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування: міжвід. наук.-техн. зб. наук. пр. / Н.-д. ін.-т буд. конструкцій (НДІБК). Київ, 2011. Кн. 2. С. 164-169.

35. Седін В.Л. Вплив здавлюваного навантаження на деформативність основ буроін'єкційних паль / В.Л. Седін, К.М. Бікус, А.М. Мельник // Основи і фундаменти: Межвідомчий наук.-техн. збірник. К.: КНУБА, 2014. Вип. 35. С. 9–20.

36. Сєдін В.Л. Особливості влаштування буроін'єкційних паль великого діаметру в багатошарових глинистих ґрунтах / В.Л. Сєдін, А.М. Мельник, К.М. Бікус, К.А. Шикотюк // Збірник науких праць. Серія : Галузеве, машинобудування, будів- ництво / Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Полтава, 2015. Вип. 1(43). С. 214-221.

37. Спосіб визначення несучої здатності палі по бічній поверхні : Пат. на винахід 107613 Україна, МПК E02D 1/00 33/00 / заявники і власники: В.Л. Сєдін, В.І. Крисан, В.В. Крисан, К.М. Бікус. №а 2013 07368: публ. 26.01.2015, Бюл. № 2. 4 с.

38. Тімченко Р.О. Взаємодія фундаментних плит з основою, що нерівномірно де- формується, при складному навантаженні: автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.23.02 / Р.О. Тімченко. Дніпропетровськ: ДВНЗ «ПДАБА», 2009. 36 с.

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

40. Яковлєв В.С. Прогноз несучої здатності паль тертя аналітичним методом / В.С. Яковлєв // Світ геотехніки. 2007. № 4. С. 24–29.

41. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009.[Чинний від 2009-07-01].К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 90 с. (Національні стандарти України).

42. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009 Зміна №1. [Чинний від 2011-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 58 с. (Національні стандарти України).

43. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Маєвський Г. В. Оптимізація плитних фундаментів за витратами матеріалів / Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип.37. К.: КНУБА, 2015. С.352-362.

44. Тімченко Р.О. Взаємодія фундаментних плит з основою, що нерівномірно де- формується, при складному навантаженні: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.02 / Р.О. Тімченко. Дніпропетровськ: ДВНЗ «ПДАБА», 2009. 36 с.

45. Моргун А.С. Моделювання дилатансійного середовища ґрунту системи

"паля- основа" за методом граничних елементів / А. С. Моргун // Основи і фундаменти. К. 2002. Вип. 27.С.84-90.

46. Маєвська І.В. Аналіз достовірності визначення несучої здатності буроін'єкційних паль за діючими методиками СНіП / І.В. Маєвська, А.В. Романенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2011. Вип. 75, кн.2. С. 164–169.

47. Лебеда О.Ф. Оцінка результатів розрахунку несучої здатності та статичних випробувань буроін'єкційних паль великого діаметру / О.Ф. Лебеда, В.О. Мовчан // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник.. К.: КНУБА, 2006. Вип. 30. С. 59.

48. Подолян Д.Є, Попович М.М. Експериментальні дослідження посилення ґрунтової основи пальових фундаментів. LI Науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2022). URL:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2022/paper/view/15521>

(дата звернення: 25.05. 2024).

49. Маєвська, І. В. Автоматизований розрахунок пальових фундаментів : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Маєвська І. В., Попович М. М., Блащук Н. В. Вінниця : ВНТУ, 2023.155 с.

50. Заценко М. Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти / М. Л. Заценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлєв, В. Б. Швець, С. В. Біда .Полтава, 2004. 562 с.

51. Моргун А. С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів. Вінниця, ВНТУ. 2013.108 с.

52. Маєвська І. В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів : монографія / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук. Вінниця : ВНТУ, 2013.168 с.

53. Патент «Спосіб оцінки несучої здатності пальових фундаментів з урахуванням впливу ростверку і елемент ростверку для його реалізації», Бартоломей А.А.,

Бартоломей Л.А., Кузнецов А.Г., 2004. Електронний ресурс. Режим доступу до

джерела: <http://www.freepatent.ru/patents/2238367>

54. Патент «Спосіб контролю несучої здатності забивних паль», Карпенко Ж.Г. ; Попов В.П. ; Гончаров Б.В., 1995. Електронний ресурс. Режим доступу до джерела: <http://www.freepatent.ru/patents/2049858>

55. Патент «Спосіб статичних випробувань елемента свайно-плитних і плитнопальових фундаментів і елемент для його здійснення». Ладиженський Й. Г., Сергієнко О. В. 2016. Електронний ресурс. Режим доступу до джерела: <http://www.freepatent.ru/patents/2594026>

56. Винников Ю.Л., Харчук О.М., Муха В.А. Числове моделювання роботи набивних паль у пробитих свердловинах// Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник, вип..53, кн..Київ, НДІБК, 2000.С.359-364.

57. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2006.[Чинний від 2007-01-01].К. : Міністерство будівництва України. 2006. 75 с.

58. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 [Чинний від 2011-06-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с. (Національні стандарти України).

59. Посібник з розробки проектів організації будівництва і проектів виконання робіт (до ДБН А.3.1-5-96 „Організація будівельного виробництва”. Частина1. Технологічна та виконавча документація.К.,ДКУСМА, 1996.

60. Кремінська Ю. О., Маєвська І. В. Особливості роботи пальових куців з коротких паль. Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)»), Вінниця, ВНТУ, 2022 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14240>.

61. Кремінська Ю. О., Маєвська І. В. Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту. І науково-технічна конференція факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання: збірн. доповідей, м. Вінниця, 10-12 березня 2021 р. Вінниця, 2021. С. 1912-1921. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/index/pages/view/zbirn2021>

62. Кремінська Ю. О., Маєвська І. В. Фізичне моделювання пальових кущів з короткими та довгими палями. Енергоефективність в галузях економіки України-2021: міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листопад 2021 р. Вінниця, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egou/egou2021/paper/view/13939>

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

64. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 168 с.

65. 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. Київ, КНУБА, 2021. Вип.43. С. 30-39.

ДОДАТКИ

Додаток А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Числові підходи в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра БМГА, ФБЦЕІ
(кафедра, факультет)

Керівник Моргун А.С., професор
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність, %	80
Загальна схожість, %	20

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 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 експертної комісії кафедри.
- ☐ 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.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор _____
(підпис)

Степанюк Д.Д.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота прийнята перевіркою на
плагіат і допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку _____

[Підпис]
(підпис)

Блацук Н.В.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б

Графічна частина

Відомість графічної частини

№ Аркуша	Найменування	Примітки
1	Тема роботи	Плакат 1
2	Мета, задачі досліджень, об'єкт, досліджень	Плакат 2
3	Визначення плитно-пальові фундаменти	Плакат 3
4	Ряд особливостей при будівництві фундаментів	Плакат 4
5	Робота паль у ґрунті	Плакат 5
6	Види паль	Плакат 6
7	Загальний вигляд моделі багатоповерхівки в ПЗ «ЛІРА САПР»	Плакат 7
8	Три варіанти моделювання пальово - плитних фундаментів	Плакат 8
9	Результати дослідження	Плакат 9
10	План розташування паль	Плакат 10
11	Висновки	Плакат 11

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**ЧИСЛОВІ ПІДХОДИ В ЗАДАЧАХ ПРИЙНЯТТЯ
РІШЕНЬ ПРО НЕСУЧУ СПРОМОЖНІСТЬ
КОМБІНОВАНИХ ПАЛЬОВИХ І ПЛИТНИХ
ФУНДАМЕНТІВ БАГАТОПОВЕРХОВИХ
БУДІВЕЛЬ**

Виконав: студент 2-го курсу, групи Б-23м
за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»
Д.Д. Степанюк

Мета і задачі дослідження. Метою цієї роботи є дослідження взаємодії паль у складі пальово-плитного фундаменту висотної будівлі.

Задачі дослідження:

- встановити основні особливості проектування і влаштування фундаментів висотних будівель;
- оцінити основні фактори, які впливають на вибір типу фундаменту висотної будівлі;
- шляхом чисельного моделювання, в якому використовується пружно-пластична модель ґрунту, методом скінчених елементів (МСЕ) проаналізувати напружено-деформований стан систем «висотна будівля – фундамент – основа» та «ростверк – палі – основа».

Об'єкт дослідження - пальові і плитні фундаменти багатоповерхових будівель.

Предметом дослідження в даній роботі є оптимальний крок паль у складі пальово-плитного фундаменту висотної будівлі.

Методи дослідження – чисельний метод скінчених елементів у фізично й геометрично нелінійній постановці для моделювання напружено-деформованого стану ґрунтових основ.

Плитно-пальові фундаменти

найбільш перспективний та найбільш економічний вид фундаментів, що широко застосовуються під час спорудження висотних будівель, забезпечуючи незначне осідання та малу ймовірність появи креону споруди. Концепція плитно-пального фундаменту передбачає передачу частини навантаження від будівлі по підшві плитного розтверку, а частину – через палі.

При будівництві і проектуванні фундаментів висотних будівель виникає ряд особливостей, які необхідно враховувати :

1. Тиск по підшві фундаменту висотних будівель може бути на порядок вище, ніж для будинків висотою до 75 м.

2. Особливості інженерно-геологічних вишукувань.

3. Діючі норми поширюються на розрахунок несучої здатності палі довжиною 35 м (опір нижнього кінця палі) і 40 м (опір по бічній поверхні), що може бути недостатньо для проектування фундаментів висотних будівель.

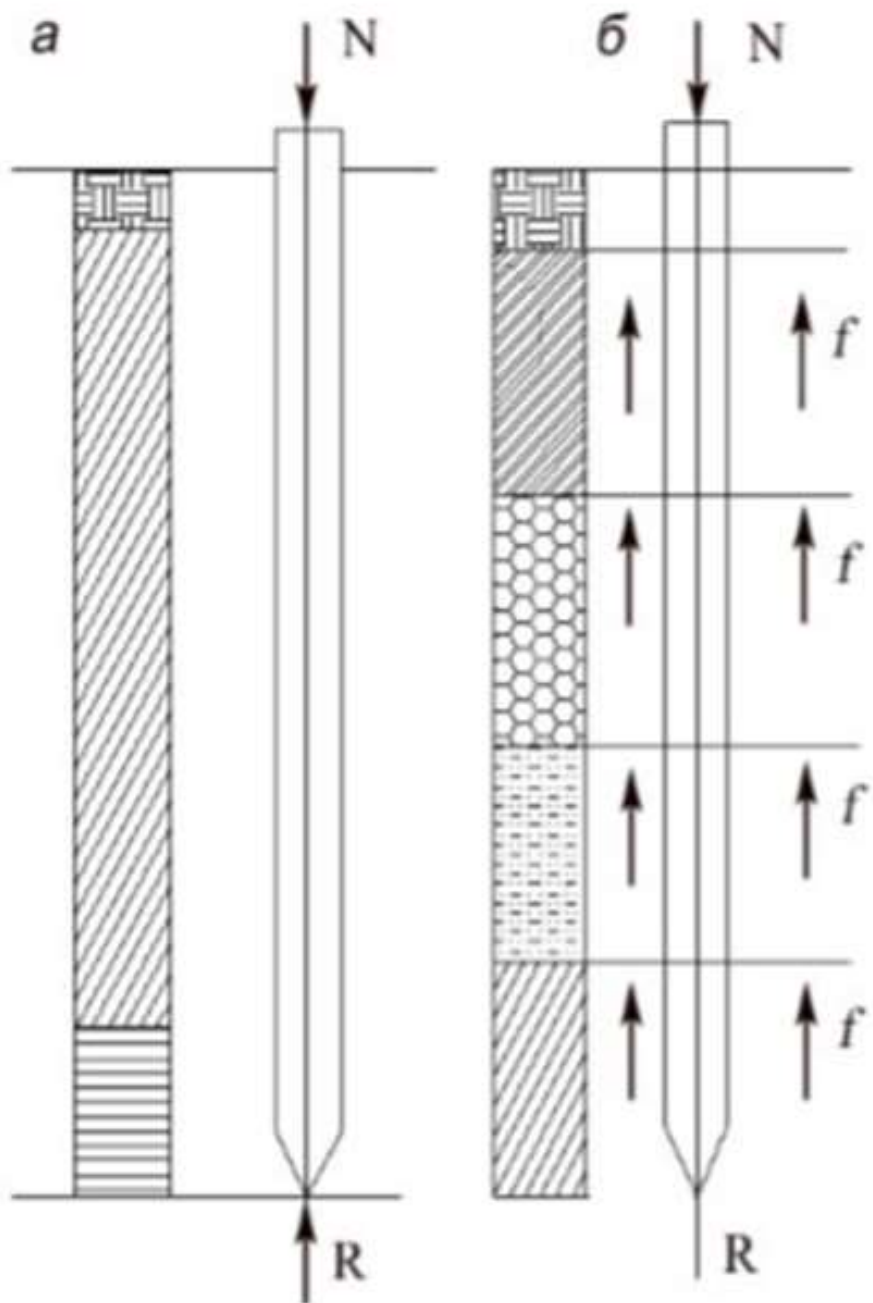
4. Великі навантаження (1-2 МПа), передаються на ґрунт основи, вимагають враховувати в розрахунку міцнісні і деформаційні характеристики скельних і нескельних ґрунтів з $E > 100$ МПа, що вважаються у відповідності з діючими нормами нестискаємими, а також збільшену зону розподілу напружень у ґрунті в плані і по глибині, що може призвести до збільшення шарів ґрунту, що сприймають навантаження від фундаменту, особливо при нерівномірному заляганні шарів.

5. Збільшення розмірів (глибини і ширини) стисливої товщі масиву ґрунту призводить до збільшення термінів завершення консолідації ґрунту і розтягування процесу осідання у часі.

6. У разі якщо основа складена ґрунтами з різними коефіцієнтами консолідації, необхідно враховувати можливість виникнення в результаті такого нерівномірного напружено-деформованого стану ґрунту неодноразового закінчення процесів консолідації різних видів ґрунтів і, як наслідок цього, виникнення крену будівлі, що перевищує граничні значення.

7. Висока чутливість до крену.

8. Збільшення розмірів деформованої області ґрунту основи призводить до створення більшого впливу на оточуючі будівлі і споруди, в тому числі водонесучі комунікації, що необхідно враховувати в розрахунку.



Робота паль у ґрунті:
а – паля-стійка; б – паля тертя

A)



Б)



В)

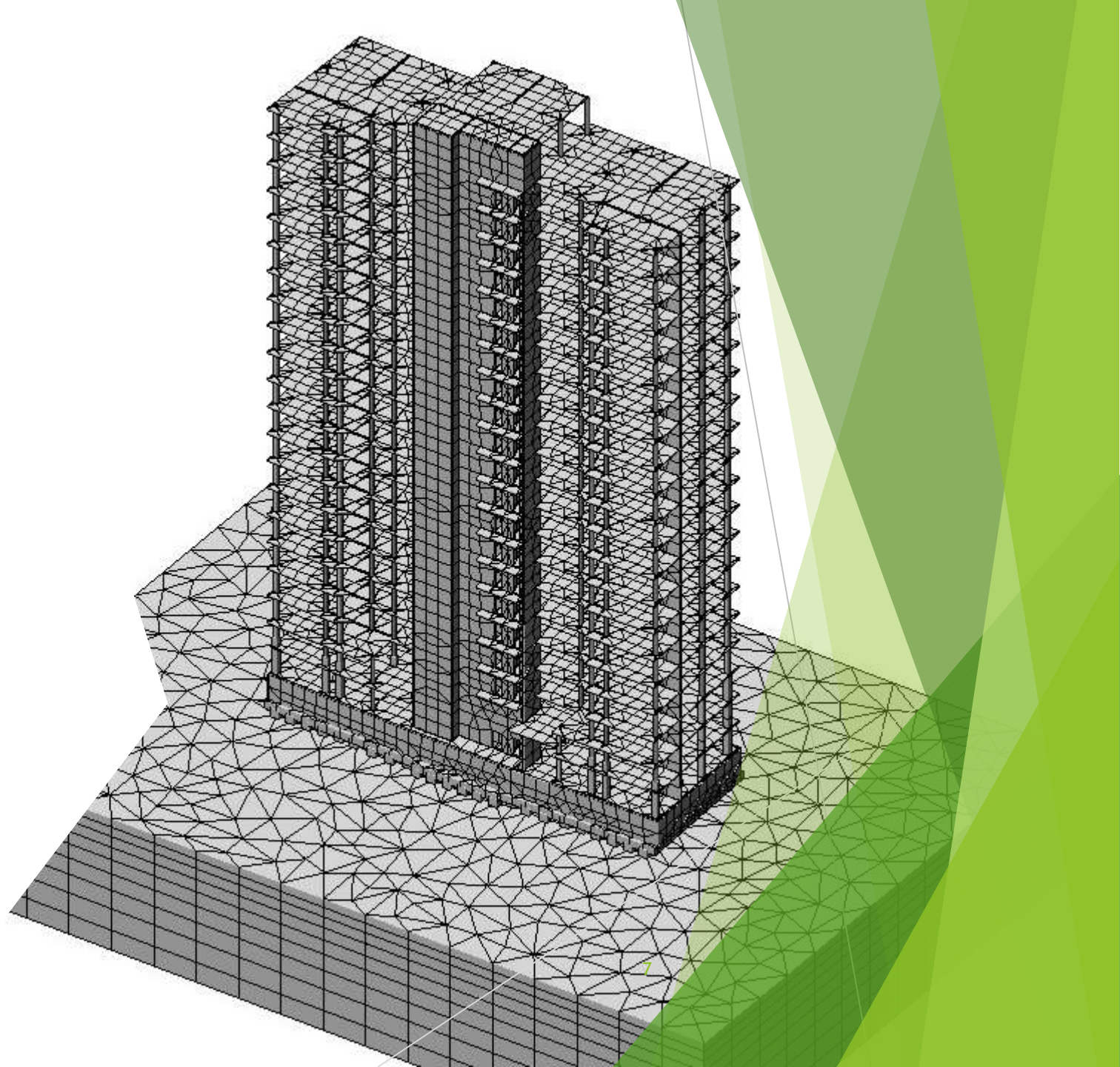


Г)



Види палів: а – бетонні та залізобетонні; б – дерев'яні; в, г – металеві

► Загальний вигляд
моделі
багатоповерхівки
(програма «Ліра»)



Пропоную розглянути три варіанти моделювання плитно-пального фундаменту:

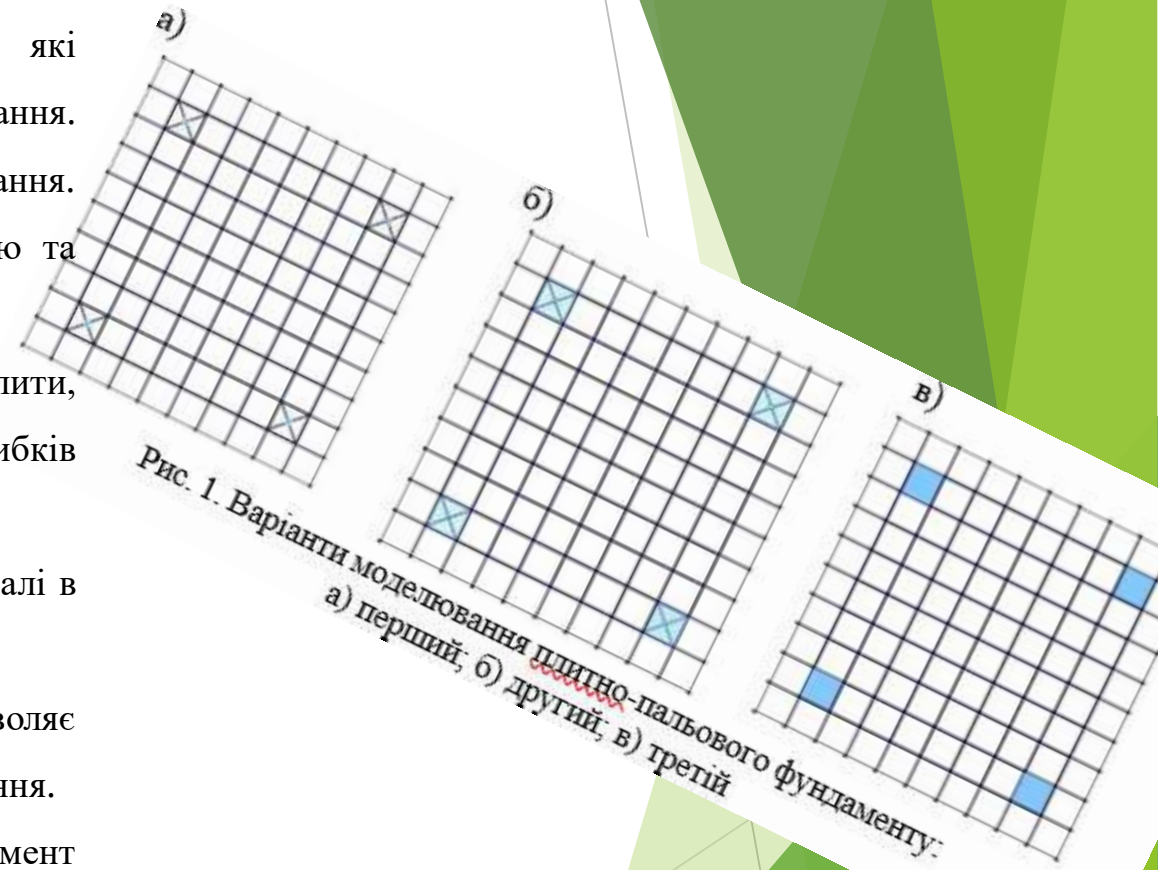
1. Спрощений варіант. Даний варіант моделювання передбачає, що плита представлена скінченним числом елементів, при цьому враховується вплив ґрунтової основи. Ґрунтова основа характеризується двома коефіцієнтами постелі, які визначаються за допомогою осідання, що обчислюється методом пошарового додавання. Палі моделюються точковими елементами (рис. 2.1, а), які мають жорсткість та осідання. Жорсткість цих елементів визначається через пропорцію між несучою здатністю та осіданням.

Основний недолік цього підходу полягає в тому, що враховується лише частина плити, що припадає на площу поперечного перерізу палі, що може призвести до стрибків моментів в елементах плити.

2. Наступний варіант аналогічний до попереднього, але в цьому випадку зона палі в плиті замінюється жорсткою плитою (рис. 2.1, б).

Перевагою цього підходу є те, що враховується реальна робота палі, що дозволяє зменшити піки моментів, які можуть виникати при попередньому варіанті моделювання.

3. Найбільш точний варіант розрахунку передбачає, що палею надається елемент плити, який має свої власні коефіцієнти постелі (рис. 2.1, в). У цьому випадку несуча здатність палі визначається як добуток реактивного тиску основи палі на площу поперечного перерізу палі, що дає змогу отримати більш точну оцінку її взаємодії з ґрунтовою основою.



Результати дослідження

На підставі проведеного даного моделювання можна зробити наступні висновки:

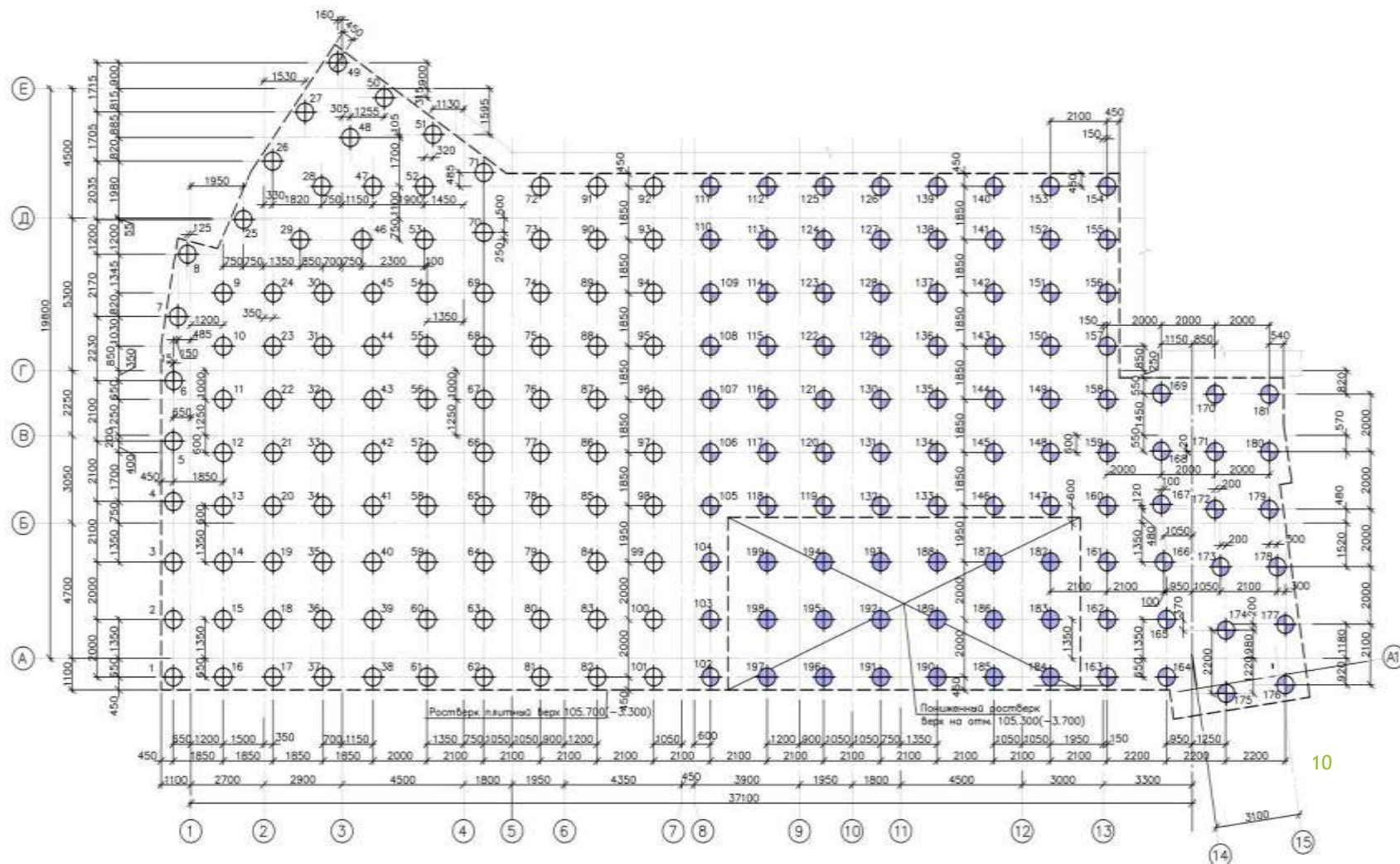
Плитно-пальові фундаменти є перспективними та економічними рішеннями. Вони застосовуються для масивних багатоповерхових будівель, які планується зводити на територіях з близьким заляганням слабких ґрунтів, де плитний фундамент не може витримати деформацій. Оскільки цей тип пальово-плитного фундаменту не входить до чинних державних норм, ми скористалися досвідом закордонних досліджень у галузі будівництва.

Ми запропонували три варіанти моделювання плитно-пальових фундаментів та дослідили можливі підходи до їх розрахунку. Працюючи з методами розрахунку і використовуючи дослідження тегеранських вчених, ми змоделювали різні ситуації. Було виявлено, що можна ефективно залучити плиту до роботи, моделюючи значне осідання паль. Це показує, що використання цього методу дозволяє суттєво зекономити, оскільки, за традиційними методами, нам довелося б збільшувати кількість паль.

Тому за допомогою цих методів можна значно зекономити на витратах на будівництво. Адже на спорудження та облаштування фундаментів припадає близько 35% від загальних витрат на зведення об'єкта. Тому запропоновані методи є актуальними і мають великий потенціал для широкого використання.

Технічна частина

План розташування паль



Висновки

При проектуванні фундаментів висотних будинків необхідно враховувати особливості інженерно-геологічних вишукувань, розрахунків і проектування.

У зв'язку з високою «чутливістю» висотних будівель до крену при розрахунку фундаментів важливим є врахування механічної анізотропії, початкового напружено-деформованого стану і консолідації ґрунту, а також вплив огорожувальної конструкції котловану.

Розрахунки пальово-плитних і пальових фундаментів рекомендовано виконувати за допомогою програмних комплексів, в яких реалізовано метод скінчених елементів. До виконання розрахунків пальових фундаментів рекомендується уточнювати механічні характеристики ґрунту за результатами випробувань паль і тестувати обрану модель розрахунку.

При розрахунку пальових і пальово-плитних фундаментів слід враховувати взаємовплив паль один на одного, перевантаженість кутових і периметральних паль щодо центральних, при проектуванні з допомогою конструктивних і технологічних заходів вирівнювати зусилля в палях.

Врахування перерозподілу навантаження між палями в пальовому полі дозволяє досягнути більш економічних рішень при проектуванні і влаштуванні фундаментів висотних будівель.

Беручи до уваги унікальність висотних будівель слід зазначити, що важливим є проведення всебічного моніторингу на всіх етапах будівництва та після його завершення до стабілізації деформацій і науково-технічного супроводу проектування та будівництва.

ВІДГУК
керівника магістерської кваліфікаційної роботи

здобувача Степанюка Дмитра Дмитровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Числові підходи в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено актуальне питання удосконалення числових підходів в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель. Тема магістерської кваліфікаційної роботи відповідає виданому завданню. Здобувач вищої освіти Дмитро Степанюк самостійно і відповідально виконував поставлені завдання наукового дослідження, вдало систематизував дані з інформаційних джерел, фахової літератури, знання нормативної бази.

У ході роботи магістрант успішно застосовував програмні комплекси для обробки графіко-аналітичного матеріалу. У підготовці роботи проявив старанність та наполегливість.

Результати наукових досліджень, що викладені у магістерській роботі пройшли апробування на міжнародній науково-технічній конференції ВНТУ.

Магістерська кваліфікаційна робота оформлена якісно.

Усі проектні рішення достатньо обґрунтовані, креслення оформлені згідно норм та стандартів.

До основних недоліків роботи слід віднести:

- варто було більше уваги приділити моделюванню несучої спроможності пальових фундаментів для висотних будівель;
- наявні недоліки в підборі інженерного обладнання житлової будівлі;
- не на всі нормативні джерела є посилання по тексту пояснювальної записки.

Проте вказані недоліки не знижують наукову цінність та практичну корисність роботи.

Отже: якість підготовки здобувача Степанюка Дмитра Дмитровича на тему «Числові підходи в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель» відповідає вимогам освітньої програми підготовки «Промислове та цивільне будівництво» за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» і магістрант заслуговує присвоєння ступеня магістра та на оцінку «С» 75 балів.

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи

д.т.н., професор



А. С. Моргун

ВІДГУК ОПОНЕНТА
на магістерську кваліфікаційну роботу
здобувача Степанюка Дмитра Дмитровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Числові підходи в задачах прийняття рішень про несучу спроможність комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель

Магістерська кваліфікаційна робота, що подана на опонування виконана вчасно та в повному обсязі. У даній магістерській роботі є спорудження висотних новобудов в умовах стисливої забудови, на земельних ділянках із несприятливими інженерно-геологічними умовами. Будівництво потребує значних затрат ресурсів та засобів. Потреба у зниженні цих витрат призводить до все більш широкого запровадження нових ефективних конструкцій пальових – плитних фундаментів.

Магістерська робота складається з п'яти основних розділів пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка та графічний матеріал магістерської кваліфікаційної роботи виконана з дотриманням вимог та стандартів щодо оформлення.

Виявлені такі недоліки:

- на будівельному генеральному плані не наведено тимчасові будівлі та споруди;
- в графічній частині не наведено листа з результатами моделювання пальових фундаментів висотної будівлі;
- наявні незначні стилістичні та орфографічні помилки.

Проте вказані недоліки не впливають на позитивне враження від роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота в цілому виконана на достатньому рівні та у відповідності з завданням із дотриманням всіх вимог. Робота заслуговує оцінки «С» (75), а її автор Степанюк Дмитро Дмитрович – присвоєння кваліфікації «магістра будівництва» за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія», згідно освітньої програми «Промислове та цивільне будівництво».

Доцент кафедри ІСБ, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Н. М. Слободян
(ініціали, прізвище)

