

Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

«Допустити до захисту»  
Завідувач кафедри БДМБ,  
кандидат технічних наук, професор

Владислав НАСТОЯЩИЙ  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

Кваліфікаційна робота магістра  
на тему: "Дослідження особливостей проектування і конструювання  
фундаментів висотних будівель"

Виконав: здобувач освіти групи БІ-23М-2  
спеціальності 192  
«Будівництво та цивільна інженерія»

Володимир ТКАЧЕНКО  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи магістра:  
кандидат технічних наук, доцент

Сергій КАРПУШИН  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

Кропивницький – 2025 рік

## Анотація

Магістерська робота ґрунтується на результатах експериментальних лабораторних досліджень, що виконані В.В. Ковба, та спрямована на огляд, аналіз, узагальнення інформації та власну інтерпретацію щодо урахування ефекту виникнення «від’ємного тертя» при традиційному способі навантаження пальово-розтвіркового фундаменту висотних будівель.

В роботі виконано огляд і логічне обґрунтування щодо нормативного забезпечення на етапах проектування, будівництва та експлуатації висотних будівель. Також виконано огляд та глибокий аналіз результатів експериментальних лабораторних досліджень щодо встановлення геотехнічно можливих способів, конструктивних і технологічних особливостей передачі навантаження від висотної будівлі через класичні елементи пальового фундаменту. Описано стендове, лабораторне експериментальне обладнання для проведення експерименту даного напрямку.

## Annotation

The master's thesis is based on the results of experimental laboratory studies performed by V.V. Kovba, and is aimed at the review, analysis, generalization of information and own interpretation regarding the consideration of the effect of "negative friction" in the traditional method of loading the pile-slotted foundation of high-rise buildings. The work includes an overview and logical justification of regulatory support at the stages of design, construction and operation of high-rise buildings. Also, a review and in-depth analysis of the results of experimental laboratory studies on establishing geotechnically possible methods, structural and technological features of load transfer from a high-rise building through classical elements of a pile foundation was performed. Bench, laboratory experimental equipment for carrying out experiments in this direction is described.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

Освітній рівень магістр

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри будівельних,  
дорожніх машин і будівництва

\_\_\_\_\_ проф. Настоящий В.А.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

ЗАВДАННЯ  
на магістерську роботу студентіві

Ткаченко Володимир Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження особливостей проектування і конструювання  
фундаментів висотних будівель

керівник проекту (роботи) Карпушин Сергій Олександрович, канд. техн. наук, доцент

затверджена наказом по університету від " 07 " серпня 2024р. № 34-13

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 01 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

1. Житловий 16-ти поверховий будинок.

2. Розміри в плані х м.,

3. Кліматичні умови м. Дніпро Дніпропетровська обл., інженерно-геологічні умови будмайданчика.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) \_  
Вступ (Кваліфікаційні ознаки дослідження) 1. Архітектурний розділ.

2. Дослідницький розділ. 3. Організаційно-технологічний розділ.

4. Розділ з охорони праці. Висновки. Список використаної літератури. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_  
Мультимедійна презентація – 22 слайди:

Всього: 22 слайди

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ                        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|-------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                               |                                           | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Архітектурний                 | доцент Яцун Вол. Вол.                     |                |                  |
| Дослідницький                 | доцент Карпушин С.О.                      |                |                  |
| Організаційно – технологічний | доцент Скриннік І.О.                      |                |                  |
| Охорона праці                 | доцент Дарієнко В.В.                      |                |                  |

7. Дата видачі завдання 07 серпня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № п/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                                                                      | Строк виконання<br>Етапів проекту<br>(роботи) | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| 1     | Архітектурний розділ                                                                                                          | 10.08.24-10.09.24                             |          |
| 2     | Огляд і аналіз досліджень щодо проблем та напрямків поліпшення будівництва висотних будівель і споруд                         | 11.09.-28.09.24                               |          |
| 3     | Знайомство з конструктивними і технологічними особливостями процесів влаштування підземної частини висотних будівель і споруд | 29.09.-12.10.24                               |          |
| 4     | Організаційно-технологічний розділ                                                                                            | 13.10.-09.11.24                               |          |
| 5     | Розробка заходів з охорони праці                                                                                              | 10.11.-30.11.24                               |          |
| 6     | Висновки                                                                                                                      | 01.12.-09.12.24                               |          |
| 7     | Розробка графічно-демонстраційних матеріалів                                                                                  | 10.12.-30.12.24                               |          |
| 8     | Рецензування                                                                                                                  | 01.01.-07.01.25                               |          |

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

| Формат    | Зона | Позначення    | Позначення       | Найменування                       | Кількість                                                                                                             | Примітки |
|-----------|------|---------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|           |      |               |                  | Документація загальна              |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | Знову розроблена                   |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
| A4        |      |               | KMP.2319237.ПЗ   | Пояснювальна записка               |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | <u>Документація з</u>              |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | <u>архітектурно – будівельного</u> |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | <u>розділу</u>                     |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | Знову розроблена                   |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
| A1        |      |               | KMP.2319237.AБ01 | Генеральний план (1:400)           | 1                                                                                                                     |          |
| A1        |      |               | KMP.2319237.AБ02 | Фасад 1-17                         | 1                                                                                                                     |          |
| A1        |      |               | KMP.2319237.AБ03 | План поверхів, план даху,          | 1                                                                                                                     |          |
|           |      |               |                  | елементи                           |                                                                                                                       |          |
| A1        |      |               | KMP.2319237.AБ04 | Розріз 1-1; схеми розташування     | 1                                                                                                                     |          |
|           |      |               |                  | фундаментів, плит перекриття       |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | <u>Документація з</u>              |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | <u>Дослідницького розділу</u>      |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  | Знову розроблена                   |                                                                                                                       |          |
| A1        |      |               | KMP.2319237.ДЧ01 | Дослідницька частина               | 1                                                                                                                     |          |
| A1        |      |               | KMP.2319237.ДЧ02 | Дослідницька частина               | 1                                                                                                                     |          |
|           |      |               |                  | KMP.2319237.ВП                     |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
| Зм        | Лист | № документа   | Підпис           | Дата                               | Дослідження особливостей проектування і конструювання фундаментів висотних будівель<br>Відомість магістерської роботи |          |
| Розробив  |      | Ткаченко ВС   |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
| Перевірив |      | Карпушин С.О. |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
|           |      |               |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
| Н. контр. |      | Яцун В.В.     |                  |                                    |                                                                                                                       |          |
| Затвердив |      | Настоящий ВА  |                  |                                    | ЦНТУ<br>зр. БІ-23М-2                                                                                                  |          |

| Формат | Зона | Позначення | Позначення       | Найменування                   | Кількість | Примітки |
|--------|------|------------|------------------|--------------------------------|-----------|----------|
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  | Документація з                 |           |          |
|        |      |            |                  | організаційно-технологічного   |           |          |
|        |      |            |                  | розділу                        |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  | Знову розроблена               |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
| A1     |      |            | KMP.2319237.TБ01 | Технологічна карта на цегляну  | 1         |          |
|        |      |            |                  | кладку стін                    |           |          |
| A1     |      |            | KMP.2319237.TБ03 | Технологічна карта на поліпше- | 1         |          |
|        |      |            |                  | ну штукатурку                  |           |          |
| A1     |      |            | KMP.2319237.ОБ01 | Календарний план               | 1         |          |
| A1     |      |            | KMP.2319237.ОБ02 | Будженплан                     | 1         |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |
|        |      |            |                  |                                |           |          |

## ВСТУП

Економія матеріальних ресурсів і відповідно фінансових активів в будівельній галузі може бути досягнена шляхом досягнення оптимальних об'ємно-планувальних рішень будівель і споруд, раціональним вибором нових будівельних матеріалів, застосуванням нових і прогресивних сучасних технологій, що призводить до можливості будувати більш функціональні зручні, екологічні та довговічні споруди. Тут таки варто зауважити, що серед економічних резервів у містобудуванні залишається ефективне використання площ земельних ділянок, що відведені під будівництво. Для ефективного будівництва потрібно максимально повне використання, як підземного, так і надземного (висотного) просторів. У зв'язку з цим, будівництво висотних будинків у сучасних умовах є і найближчими роками буде пріоритетним. У економічно розвинених закордонних країнах відбувається ріст мегаполісів, де кількість висотних будівель зростає в нелінійній пропорції. Це явище, що окрім відомих факторів щодо високої вартості землі, бажання будувати, купувати, продавати, здавати в оренду об'єкт в центрі міста, має ще декілька логічних пояснень. Висотне будівництво обумовлює значну потребу в розвитку підземного простору, що частково вирішує проблеми з паркуванням, укриттями від дії аварійних ситуацій, тощо. Це в свою чергу робить дуже актуальними геотехнічні питання щодо проектування фундаментів для висотних будівель. Фундаментів, які передбачають можливість усунення крену будівлі в процесі експлуатації, убезпечення будівлі від різних інших аварійних процесів, як то наслідки надзвичайних ситуацій, техногенні катастрофи. Окрім того, залишається не вирішеними ряд питань щодо розтірко-пальових типів фундаментів, як переважного типу фундаментів для висотних будівель до 100м висотою. Проблемними, та не до кінця вивченими є питання утворення ефекту негативного тертя на палях висячого типу, що мають жорстке з'єднання з розтірками.

Виникнення ефекту «негативного тертя» додатково навантажує палі та може призвести до відриву паль з розтірка і утворення додаткових осідань перевантаженої ґрунтової основи.

Магістерська робота спрямована на огляд, аналіз і узагальнення інформації щодо урахування довантажувальних сил тертя палі та перерозподілу зусиль при послідовному навантаженні складових елементів пальових фундаментів. В роботі виконано власний аналіз та інтерпретацію, отриманих Ковбою В.В. в роботі [ ] експериментальних даних, розроблених методик досліджень, застосованого експериментального лабораторного обладнання.

Метою магістерської роботи є – огляд та глибокий аналіз результатів експериментальних лабораторних досліджень щодо встановлення геотехнічних можливих способів, конструктивних і технологічних особливостей передачі навантаження від висотної будівлі через класичні елементи пальового фундаменту.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення ряду наступних задач:

- виконати огляд і аналіз стану питання щодо можливих конструкцій пальових фундаментів з можливістю варіювання послідовності їх навантаження, довантаження, розвантаження, тощо;
- виконати огляд і аналіз теоретичних досліджень щодо математичного опису, побудови розрахункових схем для логічно-почергової передачі навантаження на елементи пальового фундаменту;
- виконати глибокий аналіз результатів лабораторного експерименту з почерговим прикладанням навантажень до різних елементів пальового фундаменту;
- застосувати результати наукових досліджень до проектування висотного будинку;

- розробити заходи з охорони праці при зведенні, експлуатації та під час технічного обслуговування і ремонту висотної будівлі.

Об'єкт дослідження: – процеси взаємодії відокремлених один від одного елементів пальового фундаменту з ґрунтовою основою за умов почергового їх навантаження до визначеного значення, та продовження навантаження на них після об'єднання.

Предмет дослідження – НДС ґрунтової основи в умовах змінних в часі параметрів ґрунтового середовища в наслідок почергового прикладання навантажень на елементи пальового фундаменту.

Наукова новизна роботи:

- експериментально отримані дані щодо протікання геотехнічних процесів у ґрунтах основи висотної будівлі за умов зміни послідовності їх навантаження посередництвом пальового фундаменту;

- встановлені механізми протікання процесів деформування ґрунтової основи, «фізики процесу», за умов наявності, або відсутності зв'язків між палею та розтірком і за умов різної послідовності прикладання навантажень на ці елементи;

- встановлено, та експериментально обґрунтовано положення «нейтральної площини» в зоні стискуваної ґрунтової товщі.

Теоретична та практична значущість роботи:

- розроблено алгоритм раціонального конструктивного виконання пальово-розтіркового фундаменту для висотної будівлі;

- розроблено технологію почергового навантаження елементів пальово-розтвіркового фундаменту, що забезпечує меншу величину осідання фундаменту даного типу.

Методологія та методи дослідження: в роботі застосовані більшою мірою експериментально-теоретичні дослідження з використанням стандартних методик. В процесі наукового пізнання застосовувались такі методи і способи, як активне спостереження, збір і узагальнення оглядової інформації, аналіз, синтез, лабораторний експеримент, порівняння, співставлення, ...

Положення, що виносяться на захист:

- технологія почергового навантаження елементів пальово-розтвіркового фундаменту висотної споруди, що дає можливість досягти зменшення величини осідання на 20%;
- технічне рішення конструктивного виконання тимчасового незалежного існування і навантаження розтвірку і палі;
- методологія проведення експерименту з почерговим прикладанням навантаження на тимчасово-незалежні елементи пальового фундаменту;
- розроблене експериментальне обладнання, що дає змогу спостерігати за «фізикою процесу», та реалізувати безпосередньо сам процес незалежного, а потім залежного почергового навантаження пальового фундаменту.

Структура роботи: робота магістра вміщує титульний аркуш, анотації українською та англійською мовами, бланк технічного завдання, відомість, вступ (актуальність, кваліфікаційні ознаки роботи, структура роботи) архітектурний, дослідницький, технологічно-організаційний та розділ з охорони праці, висновки, перелік літератури, додатки, презентацію. Пояснювальна записка – 55 стор. + 46 стор. додатків, графічна частина (презентація) - 12 слайдів + 5(A1).

## 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1. Адміністративно-географічне положення

Запроектований будинок відноситься до громадсько-житлового багатоповерхового будинку.

Розробка проекту велась з урахуванням існуючої забудови в м. Дніпро. Майбутній будівельний майданчик знаходиться в Індустріальному районі і межує:

- з півночі - територія супермаркету "АТБ";
- з півдня – пр. ім. газети «Правда»;
- з півдня - 5-ти поверхова житлова прибудова;
- зі сходу - вул. Кропоткіна.

Територія передбаченого будівництва розташована в умовах існуючої житлової забудови.

На території майбутнього будівельного майданчика зараз розташований дитячий майданчик, що підлягає розбиранню і перенесенню, знаходяться дерева, що підлягають зрубанням.

Проектований об'єкт є 16-ти поверховим житловим будинком.

Структура запроектованого житлового будинку складається з офісних приміщень на 1-му поверсі, житловій частині (2-16 поверхи), технічних підпіл, технічного поверху і дахової котельні.

Проектований житловий будинок (перша черга будівництва) розташований на лінії забудови вул. Кропоткіна, його продовження (друга черга) припускає розвиток архітектурно-містобудівної композиції на вул. Космічній.

Проектом благоустрою території передбачений устрій під'їзду до проєктованого житлового будинку з покриттям з асфальтобетону з боку вул. Кропоткіна та пр. ім. «Правда», а також тротуарів з покриттям з піщаного асфальту і дрібних розмірів тротуарної плитки, дитячого майданчика з піщано-гравійним покриттям.

Будівництво житлового 16-ти поверхового будинку на вибраній ділянці розміром 60,0 x 47,3 м не суперечить детальному плануванню міста і обґрунтовується інтересами формування архітектурно-просторовою композицією забудов по вул. Кропоткіна та пр. ім. «Правда».

## 1.2. Розміри ділянки

Розміри ділянки під забудову 16-ти поверхового житлового будинку на розі вулиці Кропоткіна та пр. ім. «Правди» знаходяться в межах 60,0 x 47,3 м.

## 1.3. Ґрунти, основи

Ґрунтовою основою для майбутнього будівництва є земельні ділянка в м. Дніпро, що в своєму інженерно-геологічному розрізі налічує 7 інженерно-геологічних елементи (ІҒЕ). Ґрунтові умови складні, містять в своїй товщі просадкові шари, шари з включеннями органіки, водонасичені піщані шари, що мають гідравлічний зв'язок з рікою Дніпро. Нумерація ІҒЕ відповідає виділеним шарам.

ІҒЕ 1 - насипні ґрунти - представлені супіщано-суглинними ґрунтами з включенням будівельного сміття (бита цеглина, шлак, щебінь вапно) вмістом до 15-20 %. Утворені при плануванні території неорганізовані, без ущільнення,

неоднорідні по складу і щільності складання. До капілярної облямівки рівня підземних вод тверді, нижчі м'якопластичні.

ІГЕ 2 - суглинки сіро-жовті, від текучої до пластичної консистенції, мулисті, із вмістом органічних речовин до 5%.

ІГЕ 3 - піски чорні, з відносним вмістом органічних речовин до 6,5%, з болотяним запахом.

ІГЕ 4 - суглинки ясно-жовті, сірувато-жовті, пластичні.

ІГЕ 5 - суглинки буро-жовті, сірувато-жовті, бурі, м'якопластичні, з охристими плямами озалізнення, з рідкими прошарками і лінзами піску.

ІГЕ 6 - піски жовтуватого-сірого, пластичної консистенції, з прошарками супісків м'якопластичних, з плямами озалізнення.

ІГЕ 7 - піски кварцові сірувато-жовті, пилюваті, неоднорідні, середньої густини складання, водонасичені, в кривлі з малопотужними лінзами супісків пластичних, рідкий за суглинки і піски пилюваті.

#### 1.4. Рельєф, клімат

Рельєф ділянки має невеликий ухил у північно-західному напрямку. Проектом вертикального планування передбачається відвід поверхневих вод від будівлі у бік проїжджої частини по вул. Кропоткіна.

Дніпропетровська область та м. Дніпропетровськ розташовані в несеїсмічній зоні.

Клімат континентальний з жарким і сухим літом, малосніжною зимою з різкими коливаннями температури, поривчасті вітри ускладнюють проведення будівельно-монтажних робіт. Річна кількість опадів 600мм, більша частина з

яких випадає влітку. Середньорічна вологість зовнішнього повітря складає 68%.

М. Дніпро відноситься до III кліматичного району, кліматичного підрайону III В.

Район м. Дніпро відноситься до III –го району по сніговому навантаженню. Нормативне снігове навантаження складає до 1200 Па. За вітровим навантаженням це II вітровий район, де швидкісний тиск вітру рівний 450 Па.

Середня температура зовнішнього повітря по місяцям, °С:

Січень – 5,4; Лютий – 4,8; Березень – 0,4; Квітень + 9,0; Травень + 16,4; Червень +19,8; Липень + 22,3; Серпень + 21,3; Вересень + 15,7; Жовтень + 8,8; Листопад - 2,0; Грудень – 3,1.

Середньорічна температура + 8,5 °С.

Абсолютна мінімальна – 34 °С.

Абсолютна максимальна + 40 °С.

Середня максимальна найбільш спекотного місяця + 28,2 °С.

Найбільш холодної доби, забезпеченістю

0,98 - 34 °С

0,92 -32 °С

Найбільш холодної п`ятиденки, забезпеченістю

0,98 - 25 °С

0,92 -23 °С

Середня температура найбільш холодного періоду – 10 °С.

### 1.5. Місцеві будівельні матеріали

Зведення даного будинку характеризується використанням місцевих будівельних матеріалів, виробництво яких ґрунтується на власних мінерально-сировинних ресурсах Дніпропетровської та Харківської областей.

До місцевих будівельних матеріалів відносяться: пісок, глина, щебінь, бетон, залізобетонні вироби, скло, столярні вироби, цегла та ін., що

видобуваються в Дніпропетровській та сусідніх областях, та виготовлюються Дніпровськими підприємствами: домобудівельним, азбестоцементним комбінатами, “Дніпробудіндустрія”, “Дніпродорзалізобетон” та ін.

#### 1.6. Водопостачання, каналізація, енергопостачання.

Джерело теплопостачання – котельня в під даховому приміщенні. Система опалення вертикальна, однотрубна, проточна з вертикальним розведенням. Зворотні магістралі виходять з підвалу.

Вентиляція будинку - природна, через вентиляційні канали кухонь і санвузлів, приплив повітря неорганізований.

Водопровід. Водопровід господарчо-питний від двох уведень. Мережі водопостачання тупикові. Магістральні трубопроводи прокладаються над стелею підвалу й ізолюються.

Гаряче водопостачання - централізоване з циркуляцією по магістралям.

Каналізація. Каналізація побутова для відведення стічних вод від санітарно технічних приладів зі скиданням у загальноміську каналізаційну мережу.

Газопостачання. Газопостачання здійснюється природним газом, що підводиться до кухонних плит.

Електропостачання. Проектом електропостачання передбачається внутрішнє і зовнішнє освітлення, автоматизація ліфтового обладнання, систем задимлення та пожежогасіння.

Опис генплану, ТЕП генплану, конструктивні і об’ємно-планувальні рішення будинку, специфікації вікон, підлог, вибір і розрахунок зовнішніх огорожувальних конструкцій виконані і представлені в «додатку А».

## 2 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Нормативне та правове забезпечення висотного житлового будівництва.

Для проектування висотних будівель на території нашої країни головним нормативним документом є ДБН В.2.2'24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків» [ ]. Основою розробки для даного документу є практичний досвід будівництва та експлуатації висотних будівель в Україні, зокрема у м. Київ та Європі. Документ передбачає розробку індивідуальних технічних вимог щодо кожного висотного об'єкту, а загальний порядок та вміст корелює з ДБН В.2.2152005 «Житлові будинки. Основні положення» [ ] та ДБН В.2.2.999 «Громадські будинки і споруди. Основні положення» [ ]. При цьому, в даному документі значно більше уваги приділено пунктам з пожежної безпеки, конструктивної безпеки, безпеки експлуатації, інженерного обладнання, організації будівництва, захисту від шуму. Так, в даному документі передбачені пункти, мають відповідні додатки, що містять також інформацію довідкового характеру.

Досвідом практичного вітчизняного та закордонного будівництва у схожих кліматичних умовах, а також теоретичними розрахунками встановлено, що збільшення висоти висотної житлової будівлі більше ніж 100м. пов'язане з підвищенням капітальних витрат на будівництво та збільшенням вартості площі житла на 30..50%. При цьому також значно зростають експлуатаційні витрати на утримання житлової площі 22...26%, а також на 50% зменшується сама корисна площа житла у будинку. Проблемними питаннями є питання власності, відповідальності в процесі експлуатації, вартості обслуговування та ремонту, а також управління функціонуванням даного об'єкту. Обслуговування та ремонт висотних будівель взагалі мають невеликий практичний досвід. Для висотних житлових об'єктів вартість комунальних платежів буде прямо пов'язана з

висотою будинку і буде лише зростати зі збільшенням висоти. Перераховані проблемні питання призводять до обґрунтованого обмеження висоти висотних житлових будинків в 100м.

Одним з напрямків можливого розвитку багатоповерхового житлового будівництва - є так зване експериментальне будівництво, що раніше обов'язково супроводжувалось розробкою експериментальних програм. В даних умовах експериментальне будівництво регламентується вимогами ДБН В.1.25:2007 «Науковотехнічний супровід будівельних об'єктів» [ ]. У документі [ ] передбачено урахування усіх етапів існування будівельного об'єкту.

В контексті всього вище сказаного, варто зауважити, що ДБН В.1.22:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» [ ] містить норми для проектування будинків і споруд заввишки до 200 м.

Серед питань конструктивної безпеки висотної споруди варто виділити систему: «будова — фундамент — ґрунтова основа», що головним чином визначає надійність та конструктивну безпеку споруди. Нормативний документ, що регламентує питання конструктивної безпеки - ДБН В.1.214:2008 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ». Розділ, що присвячений конструктивній безпеці, має суттєве розширення новими особливостями та будівельними нормами щодо забезпечення конструктивної безпеки, як суттєво-великого об'єкта з врахуванням класу наслідків для даної споруди [ ].

Враховані в [ ] особливості:

- коефіцієнт надійності за відповідальністю споруди приймається рівним 1,1 за умови розробки проекту будівель висотою в межах 73,5...100м;
- нормативне обмеження співвідношення горизонтальних переміщень (амплітуди коливань) верхньої частини висотних будинків до їх висоти не більше 1/1000;
- відносна нерівномірність осідань протилежних фундаментів не повинна перевищувати - 0,002;

- прискорення коливань на рівні перекриття висотної споруди не повинно перевищувати -  $0,08 \text{ м/с}^2$  (значення обґрунтоване комфортними відчуттями у пересічних людей за умови перебування на висоті);

В м. Київ побудовано і вже певний проміжок часу (23-28 років) успішно існує близько десятка висотних житлових та офісних будівель з висотою понад 100м. Це дає можливість моніторити їх технічний стан, особливості експлуатації та обслуговування, а також саме головне – стан ґрунтової основи поблизу даних споруд та вплив на сусідні. Також успішне існування даних будівель підтверджує адекватність прийнятих положень нормативних документів, в тому числі і ДБН В. 1.2.....- 2006 «Навантаження і впливи», ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель і споруд. Основні положення. 2018р. За даними, що наведені в статті О.М. Галінського, А.А. Франівського, Т.В. Рунова «Нормативна база з висотного будівництва в Україні та напрями її вдосконалення» [ ] осідання даних будівель знаходиться в межах 15,4 мм, що є досить маленьким значенням. Увесь час існування даних будівель проводиться геотехнічний моніторинг прилеглої території та ґрунтів під фундаментами даних об'єктів за допомогою закладених тензодатчиків.

Так, дійсно, доцільним заходом для постійного моніторингу за осіданням висотної будівлі на пальовому фундаменті є практика закладання в конструкцію найбільш навантажених характерних і типових паль є встановлення в конструкцію паль тензодатчиків, що розташовані по глибині палі в межах шарів ґрунтів, що перетинає паля. Автори рекомендують унормувати цю вимогу в нормативному документі для висотних будівель і споруд в Україні.

Другим моментом, що потребує унормування - це величини допустимих додаткових осідань ґрунтової основи для випадків будівництва у щільній міській забудові та відносні різниці осідань для різних конструктивних схем сусідніх будівель.

Особливу увагу, також слід при цьому приділяти системам поверхневого водовідведення, системам пластового та глибинного дренажу, шпунтовим

огорожам котлованів, способам, методам та новим технологіям посилення ґрунтових основ під фундаментами сусідніх будівель і споруд, влаштування поясів жорсткості тощо.

Цікавим є багаторічний практичний досвід застосування системи «активного» моніторингу поведінки геосистеми і елементів фундаментів у режимі онлайн з використанням комп'ютерів, що успішно функціонує у висотних будівлях Громадського центру по вул. Шолуденка в м. Києві (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Висотні будівлі Громадського центру по вул. Шолуденка в м. Києві (висота 210 м).

Даний «активний моніторинг» проводиться постійно протягом 59 останніх років шляхом спостереження за усіма сусідніми будівлями і спорудами. Варто

відмітити, що стабілізація деформаційних процесів у ґрунтовій основі ще не настала.

Для висотних будівель розроблено та в Україні затверджено ряд головних контрольованих параметрів, що потребують розрахунку у відповідності до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Головні контрольовані під час обов’язкового моніторингу висотних будинків параметри системи «ґрунт-фундамент-будівля», що визначаються на стадії «Проект».

| №  | Найменування контрольних параметрів                                                                                   | Одиниця виміру   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1  | Періоди власних коливань,<br>1 форма<br>2 форма<br>3 форма                                                            | с                |
| 2  | Максимальне прискорення верхнього поверху будівлі,<br>$a$                                                             | м/с <sup>2</sup> |
| 3  | Горизонтальні переміщення вузлів будівлі,<br>$X(+,-)$<br>$Y(+,-)$                                                     | мм               |
| 4  | Розрахункові зусилля в плиті фундаменту, $M_x(+,-)$<br>$M_y(+,-)$                                                     | тм/м             |
| 5  | Максимальне стискальне зусилля в пазі, $N$                                                                            | (т)              |
| 6  | Максимальне стискальне зусилля в колонах нижнього поверху, $N$                                                        | (т)              |
| 7  | Згинальні моменти в колонах нижнього поверху,<br>$M_x(+,-)$<br>$M_y(+,-)$<br>$M_z(+,-)$                               | (тм)             |
| 8  | Поперечні сили в колонах нижнього поверху,<br>$Q_x(+,-)$<br>$Q_y(+,-)$                                                | (т)              |
| 9  | Згинальні моменти в колонах верхнього поверху,<br>$M_x(+,-)$<br>$M_y(+,-)$<br>$M_z(+,-)$                              | (тм)             |
| 10 | Поперечні сили в колонах верхнього поверху,<br>$Q_x(+,-)$<br>$Q_y(+,-)$                                               | (т)              |
| 11 | Сумарне розрахункове навантаження на основу від всіх (вертикальних постійних і тимчасових) навантажень,<br>$\Sigma P$ | т                |
| 12 | Відносна різниця осідань,<br>$\Delta_s/L$                                                                             |                  |
| 13 | Величина осідань існуючих споруд у зоні впливу нового будівництва,                                                    | мм               |

Отриманий практичний досвід підрахунку вище наведених параметрів свідчить про доцільність даних розрахунків та постійного моніторингу технічного стану висотної будівлі. Особливо цінним є паралельне незалежне

оцінювання двома незалежними групами експертів, що дозволяє отримати об'єктивні дані.

Одними із складних питань при будівництві висотних будівель є питання проектування, влаштування та обслуговування і ремонту інженерного обладнання. Це системи теплопостачання, водопостачання, електропостачання, вентиляції, зовнішнього та внутрішнього водовідведення, ліфтове господарство, системи телебачення, інтернету, сигналізації, ... За даними [ ] у сучасні багатоповерхові, висотні будинки налічують від 30-ти до 60-ти таких інженерних систем, які потребують значного штату обслуговуючого персоналу. Тому, з метою забезпечення функціонування технічно складного і унікального обладнання, будівельні норми зобов'язують розробку експлуатаційної документації (проекту експлуатації) для кожної конкретної висотної споруди на стадії «Робоча документація».

Деяка неузгодженість щодо послідовності розробки документації та процедури введення в експлуатацію на території України породжують проблемні ситуації з даними технічними інструкціями для обслуговуючого персоналу.

Окрім необхідності розробки експлуатаційної документації, що вже передбачена новим нормативним актом для висотних будівель [1], також вимагається удосконалення нормативно-технічної основи з цього питання. Зокрема, слід підготувати новий нормативний документ, який визначить типову структуру та зміст експлуатаційної документації, що включається до проектної документації, а також типові правила для технічної експлуатації і ремонту усього інженерного обладнання.

Додатково, для забезпечення безпеки, терміновим завданням для введених в експлуатацію висотних будинків є встановлення систем світло-маркування відповідно до чинних авіаційних норм, а також організація належного обслуговування цих систем через спеціалізовані організації, що займаються таким видом робіт.

Науково-технічний супровід висотних будівель на усіх етапах їх існування.

Відповідно до ДБН В.2.1.25:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів», висотні будівлі (понад 73,5 м) мають мати обов'язковий науково-технічний супровід, що передбачає наявність спец. програм. Ці програми розроблюються проектними організаціями і НДІ та узгоджуються із замовником. Це відома міжнародна практика, що ґрунтується на міжнародних стандартах. Розробка даних програм нормується ДБН В.1.25:2007 та ДБН В.2.224:2009, які ретельно передбачають усі етапи проектування, введення в експлуатацію, експлуатації, обслуговування, ремонту і інше. Ці етапи охоплюють проблеми, які недостатньо регламентовані в інших нормативних документах або не мають достатнього обґрунтування в проектних матеріалах і можуть виникнути на різних стадіях існування висотного будинку.

До головних функцій науково-технічного супроводу відносять: оптимізацію конструктивних схем; розробку конструктивних, технологічних та інженерних рішень; контроль якості будівельних матеріалів та процесу будівництва. Фокусуються на використанні новітніх технологій, способів та засобів. Окрім того, до складу робіт має входити моніторинг будівництва висотних будинків та окремих елементів (стану системи «ґрунт-фундамент-споруда»), результати якого аналізуються. Після чого повинно відбуватися дуже швидке реагування на будь-які виявлені негативні моменти, термінове усунення причин та їх наслідків. Ці заходи вкрай необхідні і обумовлюються високим класом відповідальності і ступенем технічної складності даних висотних споруд.

Ще одним суттєвим фактором. Що потребує унормування, є пожежна безпека висотних будівель.

Вивчення причин і наслідків пожеж у висотних будинках, які сталися останнім часом в світі, аналіз та моделювання різних можливих сценаріїв їх розвитку дозволяє сформулювати ряд ключових факторів, що призводять до збільшення ризиків щодо пожежної небезпеки саме у висотних будівлях. Це:

— створення умов для підвищеної тяги в наслідок високих вертикальних проходів (під'їзди, сходові клітини, шахти ліфтів, вентканали, канали для інших інженерних комунікацій, атріуми). Це сприяє поширенню пожежі через збільшену різницю тисків. Також дані умови сприятимуть більшому задимленню внутрішнього простору висотної будівлі токсичними продуктами згоряння;

— горючість матеріалів, які використовуються для облаштування фасадів та внутрішніх приміщень.

— висота висотної будівлі майже вдвічі перевищує технічні можливості пожежно-рятувального обладнання, що наявне в службах МНС та пожежних пунктах.

Тому для висотних будівель мають бути передбачені наступні обов'язкові заходи: розділення будівлі на незалежні протипожежні відсіки, застосування будівельних конструкцій з підвищеними характеристиками вогнестійкості, наявність протипожежної автоматичної системи пожежогасіння та протизадимлення, передбачення в проекті не менше двох евакуаційних виходів, сходових маршів та ще багато іншого.

З врахуванням перелічених ознак, забезпечення пожежної безпеки у висотних будівлях передбачається за допомогою внутрішніх протипожежних засобів. Обов'язки пожежників має виконувати обслуговуючий персонал у відповідності до розроблених для них інструкцій.

Підводячи підсумки, стає очевидним, що стан можливих протипожежних заходів та матеріально-технічне забезпечення і можливості щодо пожежної безпеки висотних будинків у даних умовах програють у порівнянні з будинками, що мають невелику кількість поверхів. Тут і організаційно-технічні причини, тримати в кожному висотному об'єкті групу професійних пожежників фінансово неможливо, а державні пожежні відділки не мають сучасного технічного забезпечення щодо практичного застосування у випадку пожежі з осередком вище ніж 75м. Застосування ж непрофесійних пожежників з числа

обслуговуючого персоналу, які мають виконувати широкий спектр робіт, що на них покладені – будуть далеко не панацеєю від вогняної стихії. Вирішення цього питання має бути узгоджено під час видачі дозволу на проектування та пуск в експлуатацію даної висотної будівлі. Зокрема це питання потребує вирішення на рівні профільних міністерств: Департаменту пожежної безпеки МНС України та Мінрегіонбуду України.

## 2.2. Дослідження системи «висотна будівля-фундамент-грунтова основа»

За основу для даного розділу використані результати модельних лабораторних випробувань, що проводилися Ковбою В.В. [ 1 ].

Створення оптимального фундаменту передбачає повне використання несучої можливості ґрунтової основи з усіма особливостями її нашарування, а також використання усіх можливих конструктивних особливостей елементів пальового фундаменту. Значна роль при цьому покладається і на плитну частину розтвірка.

Робочою гіпотезою даного дослідження, є передбачення, що послідовність навантаження складових елементів пальового фундаменту, як то палі і розтвірок, має значення, що може призвести до збільшення несучої здатності ґрунтової основи в наслідок раціонально-почергового включення даних елементів в роботу.

Логічно-почергове навантаження пальового фундаменту призводить до більш ефективної мобілізації несучої здатності ґрунту. При такому підході спостерігається більш рівномірний розподіл напружень у ґрунтовому масиві та зменшення деформацій осідання.

Для випадку класичного, не послідовного навантаження фундаменту через розтвірок, що жорстко з'єднаний з палями, процес супроводжується ефектом «негативного тертя». Ґрунтова основа під розтвірком деформується, утворюється вільний простір під розтвірком, а безпосередньо сам ґрунт деформується і

створює ефект «від'ємного тертя». Результатом є виведення з роботи плити розтвірка та незапроектване збільшення навантаження на палі, що призводить до загального спільного руху ґрунтового масиву разом з палями середньої частини пального поля в низ і призводить при цьому, навіть викидання паль з розтвірку.

Застосування ідеї почергового навантаження елементів пального фундаменту призведе до можливості незалежних переміщень елементів пального фундаменту та до збільшення опору ґрунту на всіх поверхнях складових конструкцій (уздовж бокових поверхонь паль, під нижнім торцем паль та під плитою ростверку).

Результатом моделювання НДС ґрунтової основи, що завантажена лише плитою ростверку, за умови відсутності жорсткого з'єднання з палями, є виявлений ефект переміщення ненавантаженої палі від дії довантажувальних сил тертя (негативного тертя) уздовж бічної поверхні палі.

Виконані дослідження демонструють, що запропонований метод навантаження дозволяє знизити величину осідань фундаменту приблизно на 20% у порівнянні з класичним методом (не розділене в часі і повне навантаження на жорстко-з'єднаний паливий фундамент). Крім того, було встановлено, що при почерговому навантаженні більш рівномірно розподіляються напруження в зоні контакту палі з ґрунтом.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації проектування паливих фундаментів, особливо в умовах обмеженої несучої здатності ґрунтів. Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка аналітичних моделей для оцінки ефективності запропонованого методу та його застосування для розрахунку фундаментів висотних будівель.

Для експериментального дослідження було використано методику моделювання елементів паливих фундаментів, що сприяло детальному вивченню НДС ґрунту та конструкцій при різних схемах і технологіях

навантаження. Випробування проводились на моделях, виконаних з матеріалів, що імітують властивості бетонних паль, розтірків та реальних ґрунтів.

З метою досягнення поставленої мети було розроблено фізичні моделі фрагментів палових фундаментів. Ці моделі піддавалися експериментальному навантаженню в лабораторних умовах за допомогою плоских та об'ємних зразків. Було проведено два типи випробувань: з одночасним навантаженням усієї моделі фундаменту та з логічно-почерговою передачею навантажень на окремі її елементи. Отримані результати, такі як величина осідання та несуча здатність, були детально проаналізовані та порівняні. Результати експериментів (величини навантаження і осідання) надають важливу інформацію для оцінки міцності та стійкості палових фундаментів за різних умов експлуатації.

Було розроблено спрощену модель палового фундаменту, що включає одну палу, для початкового етапу експериментів. Така модель дозволить виявити основні тенденції деформування та напружено-деформованого стану фундаменту при різних схемах навантаження. Надалі планується ускладнювати модель шляхом додавання більшої кількості паль.

У дослідницькій частині представлені експериментальні дані лабораторного експерименту, в тому числі пошукові експерименти палового фундаменту, що знаходиться під навантаженням статичної дії при типовому навантаженні і для порівняння за умови роздільного почергового навантаження (рис. 2.2).

І спосіб навантаження: вихідні умови: розтірок і палі не мають жорсткого з'єднання, початково навантаження повністю передається на розтірок (рис. 2.2, а), що поступово призводить до жорсткого з'єднання розтірку з палею (рис. 2.2, в). II спосіб передачі навантажень: навантаження передається на розтірок, що не має жорсткого зв'язку з палею (аналогічно див. рис. 2.2, а), після чого пала довантажується окремо за умови відсутності жорсткого зв'язку з розтірком (рис. 2.2, б), третій етап – відбувається об'єднання між розтірком і палею (рис. 2.2, в).



Рисунок 2.2 – Варіанти конструктивного виконання фундаментів та способів їх навантаження [ 10 ]: а – передача навантаження через розтвіроч пальово-розтвіркового фундаменту за відсутності жорсткого з'єднання розтвірку і палі; б – передача навантаження на палю; в – сумісна передача навантаження на розтвіроч і палю, що мають жорстке з'єднання.

Для оцінки ефективності послідовного навантаження пальових фундаментів були проведені лабораторні дослідження. Лабораторні випробування пальових фундаментів виконані за двома сценаріями: з традиційним жорстким з'єднанням палі та розтвірку (див. рис. 2.2, а), а також з імітацією послідовного залучення палі до роботи (див. рис. 2.2, в). У якості базового випадку було обрано традиційну схему з жорстким з'єднанням палі та розтвірку. Для моделювання послідовного залучення палі до роботи було використано зразок з отвором у розтвірку. В ході експериментів визначалося осідання конструкції за різних умов навантаження.

Експериментальні пошукові дослідження проводилися в плоскому лотку та об'ємному лотку.

Отримані результати дозволили порівняти ефективність двох схем і підтвердити робочу гіпотезу про поступове залучення палі до роботи

фундаменту. Результати досліджень показали, що осідання фундаменту при послідовному навантаженні відрізняється від традиційної схеми. Це підтверджує робочу гіпотезу про те, що паля спочатку працює як елемент армування ґрунту, а потім поступово включається в роботу як елемент несучої конструкції.

2.2.1. Опис та методологія проведення експериментальних пошукових досліджень з елементами пальового фундаменту в умовах плоского лотку.

Для проведення досліджень було виготовлено плоский лоток із сталевих каркаса. Стінки лотка зібрані з швелера та пластин заліза з елементами жорсткості з профільних трикутних нерівнополічних елементів 65 x 50мм. Передня стінка виготовлена з органічного скла, яке має товщину 12 мм для візуального спостереження за деформаціями ґрунту та фундаменту. Для забезпечення міцності конструкції та запобігання деформаціям органічного оглядового скла, використовувались сталеві кутники 50 x 32.

Лоток, що характеризується наступними внутрішніми розмірами 950x125x800 мм, встановлювався на сталеві опори (рис.2.3), а навантаження від гідравлічного домкрату передавалося через металеву платформу товщиною 14мм. Система опор та навантаження, що генерується гідравлічним домкратом, дозволяє створювати необхідні умови для моделювання роботи пальового фундаменту.

Конструкція плоского лотка забезпечувала можливість візуального спостереження за поведінкою ґрунту з попередньо влаштованими кольоровими маркерами в ґрунтовій модельованій основі, та деформаціями пальового фундаменту під час випробувань. Це дає можливість досліджувати та спостерігати за «фізикою процесу» деформації ґрунтової основи, що навантажувалась різними способами.

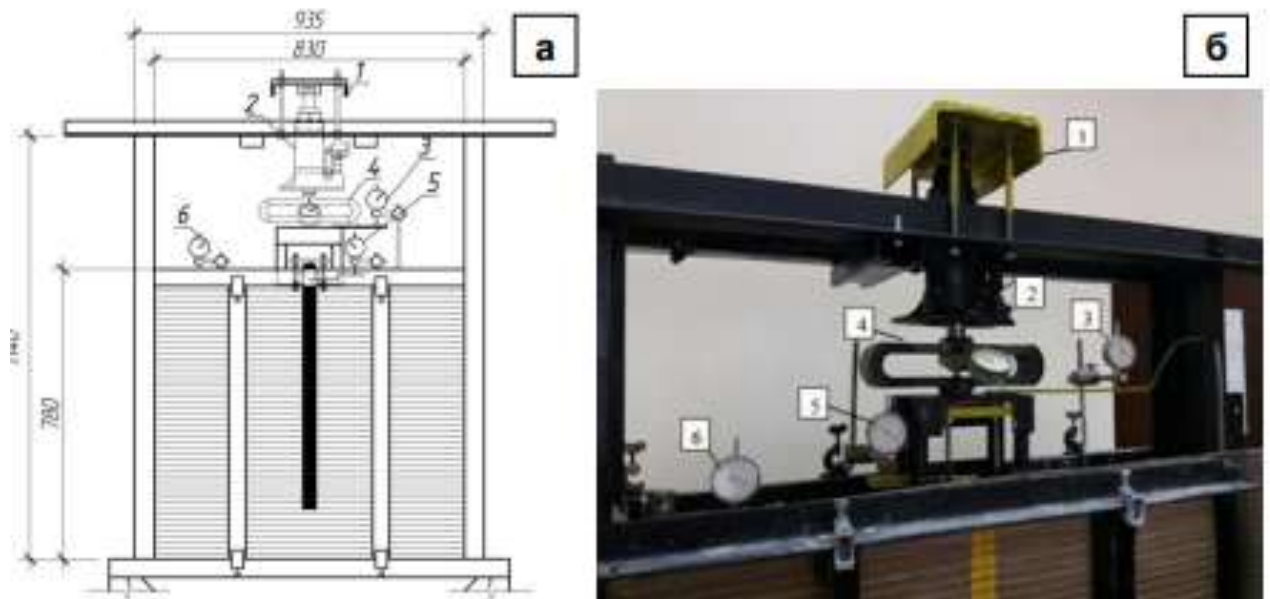


Рисунок 2.3 – Конструктивна схема та загальний вигляд стану у вигляді плоского лотка для спостереження за «фізикою процесу» деформації ґрунтової основи під пальово-розтвірковим фундаментом за умов різних схем навантаження [ ] а) – конструктивна схема; б) – фото загального виду плоского лотку; 1 – верхній упор для гідравлічного домкрату; 2 – домкрат гідравлічний із максимальним зусиллям - 5т.; 3 – індикатор годинникового типу, що фіксує переміщення/осідання розтвірку); 4 – прилад для фіксування величини навантаження; 5 – індикатор годинникового типу, що призначений для фіксування переміщень/осідань палі; 6 – індикатор годинникового типу, що призначений для фіксування переміщень/деформацій ґрунтової основи.

Встановлення гідравлічного домкрату на даному станді передбачено з можливістю адаптації під широкі межі проведення експерименту. Для цього передбачена система додаткових отворів в рамі (балці) та застосування різьбових шпильок довжиною 0,2м та з різьбою М12. Перераховані конструктивні особливості дозволяють проводити експериментальні дослідження в широкому діапазоні можливих переміщень та створення навантажень на окремі елементи модельованого фундаменту.

Також у порожнину лотка засипався і ущільнювався модельований ґрунт (за основу модельованого ґрунту приймався дрібнозернистий річковий пісок) з

наступними параметрами: щільність скелету ґрунту  $\rho_s = 2,66 \text{ г/см}^3$ , природня вологість  $W = 4,94\%$ . Модельоване ґрунтове середовище потрапляло в лабораторний плоский лоток насипом, рівномірно розподілялося пошарово і рівномірно ущільнювалося. При цьому повинні були виконуватися наступні умови: забезпечуватися однакова і рівномірна величина ущільнення; забезпечуватися однакова потужність шарів, що була прийнята рівною  $16 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ . Один шар від одного відділявся кольоровим прошарком дробленої однорідної за гранулометричним складом гашеного вапна. Пошарове ущільнення модельованих шарів ґрунтової основи виконували ручним трамбуванням за допомогою трамбувального дерев'яного бруска відповідної форми та розмірів (близьких до розмірів порожнини плоского лотка). Для забезпечення однакових значень щільності шарів ґрунту  $\rho_d = 1,50 \text{ г/см}^3$  кількість рухів трамбувального елемента рахувалась та була рівною. Щільність ґрунту додатково контролювалась наявними в експериментальній лабораторії засобами. Також під час моделювання ґрунтового середовища відбувався контроль показника пористості, що повинен був мати значення  $e = 0,79$ .

З метою підтвердження отриманих результатів спостереження за «фізикою процесу» деформування ґрунтової основи при різних способах навантаженні та різних конструктивних особливостях виконання фундаменту застосовувалось відеофіксація та фотофіксація. Відеофіксація слугувала для повторного перегляду та ґрунтового аналізу процесів, що відбуваються в ґрунтовій основі за умов різних сценаріїв навантаження та конструктивного виконання елементів фундаменту. Фотофіксація використана для представлення результатів наукових досліджень широкому загалу наукової аудиторії.

Отримані відеоматеріали та результати фотофіксації абсолютно ідентичні та відповідають одне одному, так, як при фотофіксуванні експериментальний процес навантаження і деформації ґрунтової основи не мав зупинок. Дані два процеси фіксування проводились паралельно. Кінцеві фото зроблені після стабілізації ґрунтового модельованого середовища.

В якості джерела зусилля, що прикладалося до розтвірку (див. рис.2.2) був гідравлічний домкрат з розмірами та - корисним ходом штока 220-480мм. Реєстрація і фіксація значени сили стискання відбувалася за допомогою динамометра ДЗСМ 3-5 (див. рис. 2.3). Також при допомозі цього приладу відбувався поділ навантаження на визначені програмою експерименту етапи. Моделлю палі для лабораторного експерименту був бетонний стержень квадратного перерізу з розмірами поперечного перерізу  $3,5 \times 3,5$  см, довжина стержня складала – 6,4 см. Розтвірок мав розміри, що більші за розміри поперечного перерізу моделі палі в п'ять і більше разів.

2.2.2 Методика проведення експериментів з моделлю пальового фундаменту, що навантажений традиційно.

З метою проведення аналогічних і однакових по вихідним умовам експериментів, результати яких можна порівнювати, модель пальового фундаменту встановлювалася в порожнину плоского лотку і лише потім пошарово засипалось модельоване ґрунтове середовище. Цей підхід забезпечує однаковість вихідних умов для порівнюваних технологій. Після цього навантаження, що створювалось гідравлічним домкратом, передавалось на розтвірок, що жорстко з'єднаний з моделлю палі. Навантаження збільшувалось східчасто, з приблизним кроком  $0,1 \dots 0,16$  кН. Для кожної східці навантаження отримано результати осідання ґрунтового модельованого середовища (табл. 2.2). Для виконання рівності умов проведення дослідів з метою обґрунтованого порівняння результатів способів прикладення навантажень, загальні максимальні значення навантажень прийняті рівними 0,66 кН для порівнюваних способів.

Фотограма деформації модельованого ґрунтового середовища з кольоровими горизонтальними маркерами під моделлю пальового фундаменту, що навантажений традиційно при ступенях навантаження 0, 0,38 і 0,66 кН наведено на рис. 2.4.

Таблиця 2.2 – Осідання моделі пальового фундаменту, що навантажений традиційно.

| № п. п. ступені завантаження | Осідання S, мм. | Величина навантаження P, к н |
|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 1                            | 9,72            | 0,16                         |
| 2                            | 17,41           | 0,28                         |
| 3                            | 22,72           | 0,38                         |
| 4                            | 30,16           | 0,47                         |
| 5                            | 51,14           | 0,66                         |

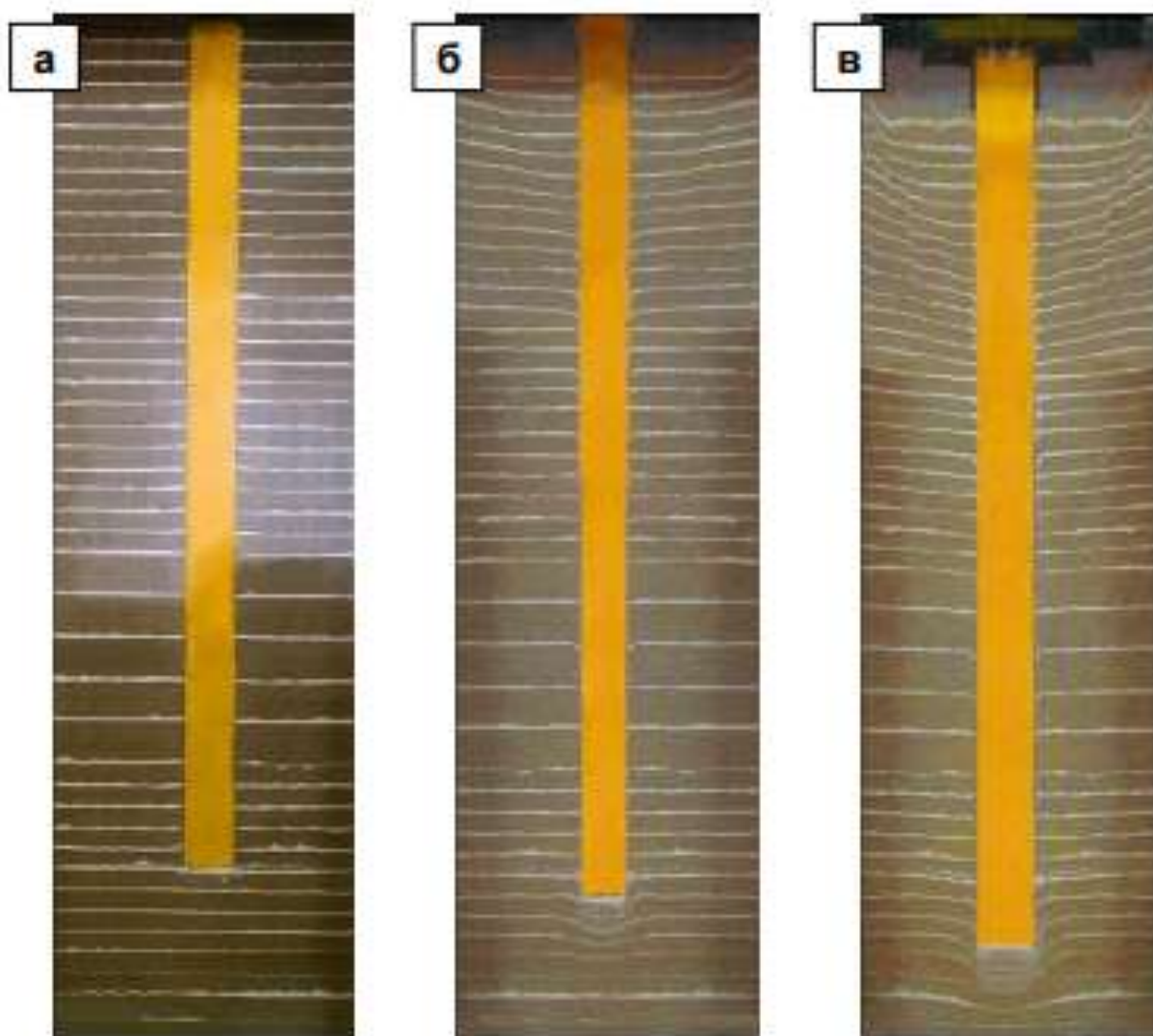


Рисунок 2.4 – Фотограма деформації модельованого ґрунтового середовища з кольоровими горизонтальними маркерами під моделлю пальового

фундаменту, що навантажений традиційно [    ]: а – стан ґрунтової основи до навантаження; б – стан модельованої ґрунтової основи при навантаженні фундаменту зусиллям в 0,38 кН; в – теж саме при максимальному навантаженні 0,66 кН.

Результати експерименту за даними табл. 2.2 представлені графічно у вигляді залежності осідання від навантаження  $S=f(P)$ , який наведено на рис. 2.5.

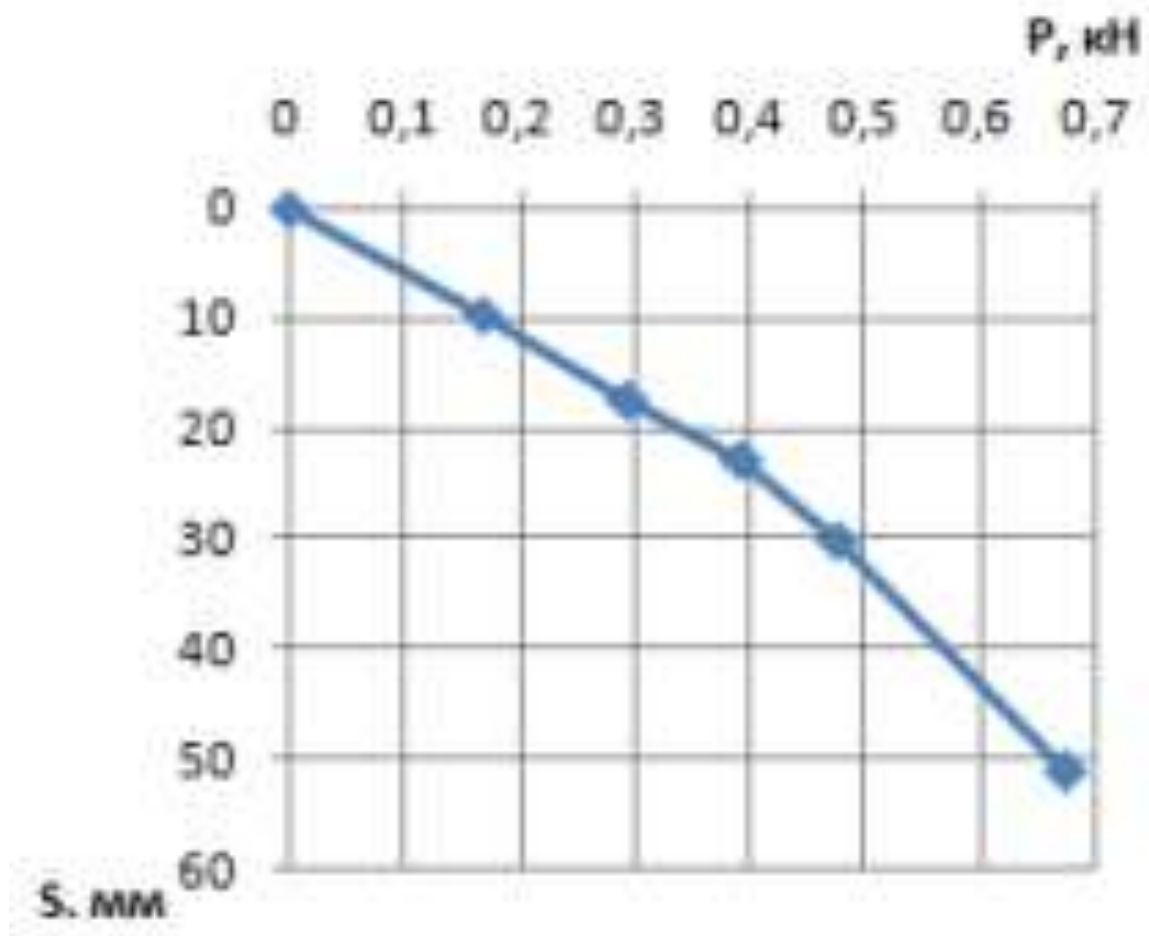


Рисунок 2.5 – Графічна залежність осідання від навантаження  $S=f(P)$  для класичного пальового фундаменту з жорстким з'єднанням розтвірка з палею за умов традиційного навантаження [    ].

2.2.3 Методика проведення експериментів з пальовим фундаментом при початковому прикладенні навантаження лише до розтвірку, а потім до розтвірку і палі.

Методика проведення експериментальних досліджень направлена на встановлення залежності осідань від навантажень, що прикладаються східчасто з кроком 0,1...0,16 кН до розтвірка, який не має жорсткого зв'язку з моделлю палі, що вже знаходиться в ґрунтовому середовищі і виконує фактично роль армувального елемента. Після досягнення деякої величини навантаження, що рівне - 0,54 кН, відбувається жорстке з'єднання розтвірка з моделлю палі і дана конструкції отримує нову серію східчастого навантаження. Причому максимальне значення навантаження не повинно перевищувати значення максимального навантаження для експерименту 1, де воно рівне 0,66 кН.

Результати лабораторного експерименту в плоскому лотку наведені в табличній формі (табл. 2.3), особливістю якої в порівнянні з 1 дослідом є окреме представлення осідань розтвірка і палі, а також їх сумісне осідання.

Таблиця 2.3 – Осідання моделі пального фундаменту, що навантажений почергово (першочергово – розтвірок, а потім разом розтвірок і паля).

| Черги | Ступені завантаження | Навантаження, Р роз, к Н | Осідання розтвірку, Sроз, мм | Навантаження палі Рп, кН | Осідання палі, Sp, мм |
|-------|----------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1-й   | 1                    | 0,14                     | 9,81                         | -                        | 0,18                  |
|       | 2                    | 0,28                     | 16,93                        | -                        | 0,42                  |
|       | 3                    | 0,42                     | 24,99                        | -                        | 1,62                  |
|       | 4                    | 0,54                     | 35,30                        | -                        | 2,63                  |
|       |                      | Рроз+п, кН               | Sроз+п, мм                   |                          | Sp, мм                |
| 2-й   | 5                    | 0,57                     | 36,6                         |                          | *3,92                 |
|       | 6                    | 0,62                     | 38,61                        |                          | *5,93                 |
|       | 7                    | 0,66                     | 45,16                        |                          | *12,48                |

- осідання палі після з'єднання з розтвірком.

Фотограма деформації модельованого ґрунтового середовища з кольоровими горизонтальними маркерами під моделлю пальового фундаменту, що навантажений почергово (першочергово навантажений розтвірком до значення 0,54 кН, потім паля до значення 0,66 кН) представлена на рис.2.6.

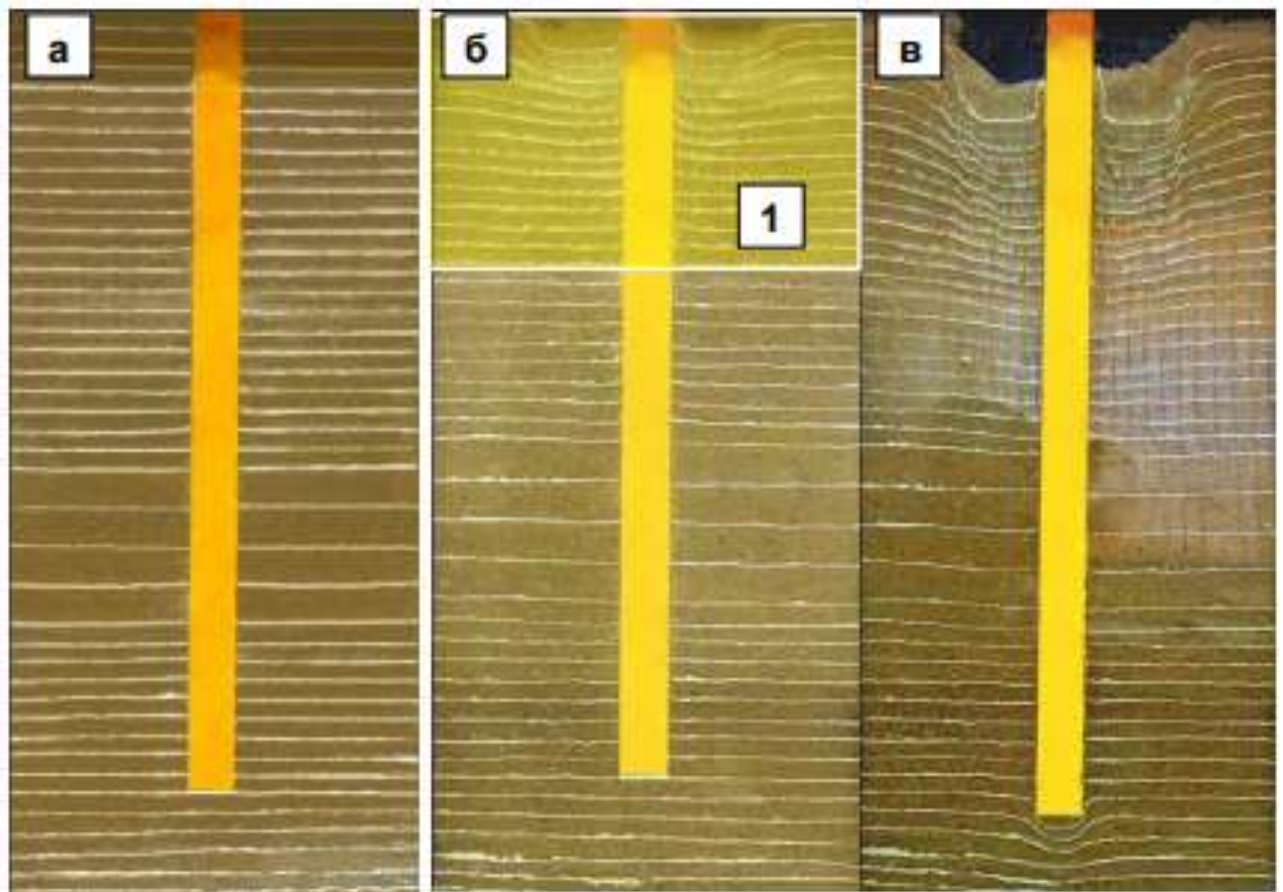


Рисунок 2.6 – Фотограма ґрунтової основи пальового фундаменту за умови почергового навантаження розтвірку, а потім палі [ 1 ]: а – до випробування; б – навантаження розтвірка до 0,54 кН; в – навантаження палі до 0,66 кН; 1 – зона дії сил тертя.

При навантаженні тільки розтвірка (див. рис. 2.6, б) зафіксовано деформацію ґрунтової основи на глибину  $1,2 \dots 1,8 \cdot b$  від ширини розтвірка. Це явище призводить до виникнення ущільненої зони навколо палі та призводить до виникнення додаткових сил тертя, що в якійсь мірі довантажує палю.

По результатам вимірювань (див. табл. 2.3) побудовані графічні залежності  $S=f(P)$  осідання окремих частин пальового фундаменту та усього пальового фундаменту після його з'єднання в одну конструкцію від навантаження. Дані графічні залежності  $S=f(P)$  наведені на рис. 2.7.

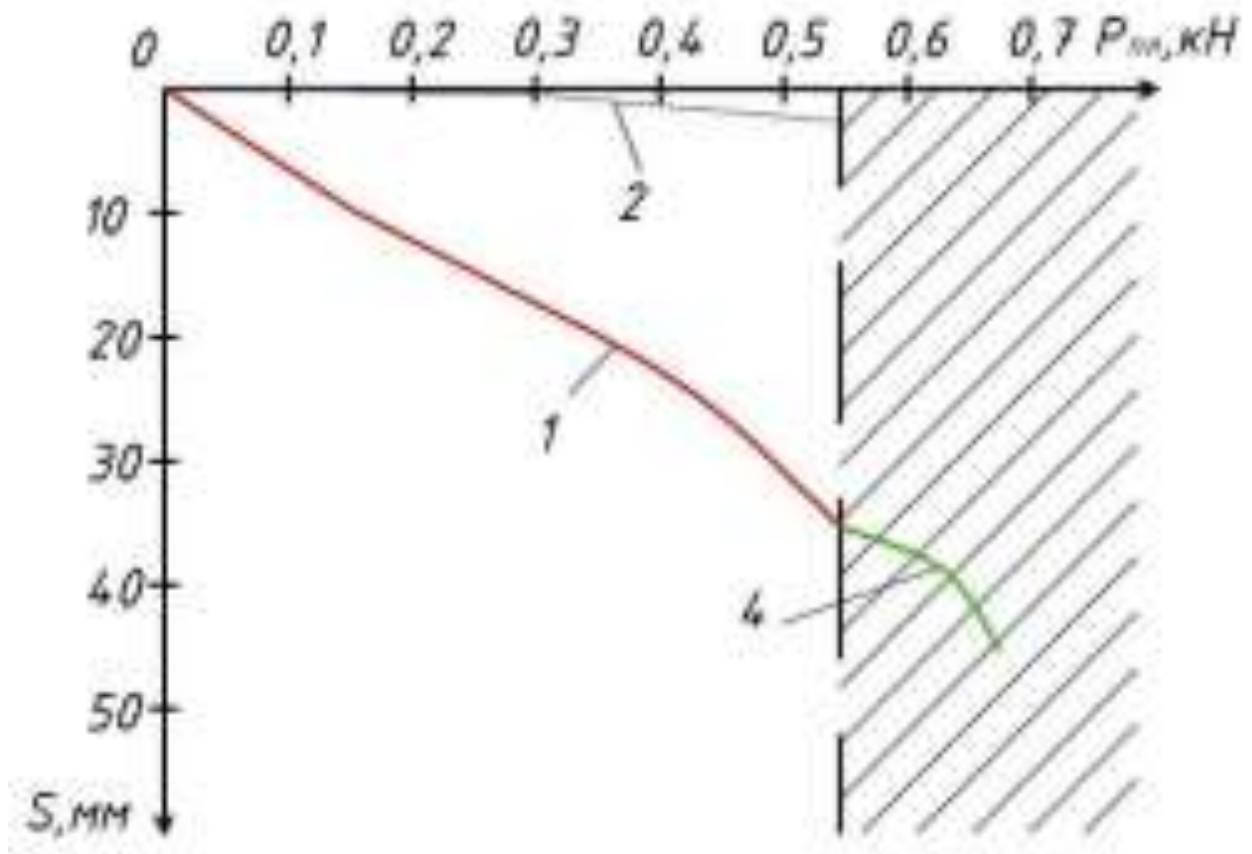


Рисунок 2.7 – Графік залежності  $S=f(P)$  за умови почергового і роздільного навантаження елементів пальового фундаменту [ 10 ]: 1 – осідання розтвірку; 2 – осідання палі, що не має жорсткого з'єднання з розтвірком; 4 – осідання усього пальового фундаменту за умови жорсткого з'єднання розтвірка і палі.

Частина графіку під позицією 1 характеризує осідання розтвірку під навантаженням до величини навантаження 0,54 кН, графічна залежність 2, це осідання палі, що не має зєднання з розтвірком та не навантажена будь-яким навантаженням. Паля в даному випадку є армувальним елементом в ґрунтовому масиві, що знаходиться в напружено-деформованому стані та має так звані

довантажувальні зусилля, які все ж таки переміщують палю. Таким чином навантаження одного з елементів пальового фундаменту обумовлює осідання іншого на 2,5 мм. Після досягнення величини навантаження 0,54 кН графічна залежність - 2 об'єднується в спільний графік 4. Графічна залежність 4 характеризує сумісні осідання усього жорсткоз'єданого пальового фундаменту (розтірок + палі).

2.2.4 Методика проведення експериментів з пальовим фундаментом при тристадійному прикладенні навантаження на різні елементи фундаменту.

Послідовність проведення експерименту наступна: початково навантаження ступінчасто прикладаються до розтірок за умови незалежного існування розтірок і палі; потім навантаження ступінчасто прикладаються до палі за умови незалежного існування палі і розтірок; кінцево відбувається жорстке з'єднання палі з розтірком і прикладення ступінчастого типу навантаження на увесь жорсткий паловий фундамент.

На початковому етапі навантаженню підлягав лише розтірок, що не має жорсткого зв'язку з палею до величини осідання розтірку  $S_{роз} \approx 2,16$  см. При цьому навантаження до палі не прикладається. На проміжному етапі, без розвантаження розтірку відбувається незалежне навантаження палі до досягнення нею осідання  $S_{п} \approx 2,14$  см. за умови її незалежного існування від розтірку (тобто, жорсткий зв'язок між палею і розтірком - відсутній). Процес збільшення навантаження на палю відбувався за умови стабільного навантаження на розтірок. Останнім етапом навантаження є жорстке об'єднання палі з розтірком при умові збереження стабільних значень навантажень на розтірок і на палю. Після чого прикладене загальне навантаження до всього пальового фундаменту.

Результати експериментальних досліджень за наведених вище умов зведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Осідання моделі пальового фундаменту, що навантажений почергово (першочергово – розтвірок, потім паля, потім разом розтвірок і паля).

| Черги | № п.п. | Осідання розтвірку, $S_{роз}$ , мм | Навантаження розтвірку, $P_{роз}$ , кН | Навантаження палі $P_{п}$ , кН | Осідання палі, $S_{п}$ , мм |
|-------|--------|------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1-й   | 1      | 9,6                                | 0,15                                   | -                              | 0,38                        |
|       | 2      | 18,17                              | 0,32                                   | -                              | 0,87                        |
|       | 3      | 21,66                              | 0,364                                  | -                              | 1,31                        |
| 2-й   | 4      | 21,66                              | 0,364                                  | 0,08                           | 10,77                       |
|       | 5      | 21,66                              | 0,364                                  | 0,18                           | 17,01                       |
|       | 6      | 21,66                              | 0,364                                  | 0,22                           | 21,5                        |
|       |        | $S_{роз}$ , мм                     | $P_{роз+п}$ , кН                       |                                | $S_{п}$ , мм                |
| 3-й   | 7      | 29,87                              | 0,581                                  |                                | *28,97                      |
|       | 8      | 32,7                               | 0,64                                   |                                | *31,8                       |
|       | 9      | 45,01                              | 0,692                                  |                                | *44,11                      |

- \* осідання палі після з'єднання палі і розтвірка.

Фотограма деформації модельованого ґрунтового середовища з кольоровими горизонтальними маркерами під моделлю пальового фундаменту, що навантажений почергово (навантажується незалежний розтвірок, потім навантажується незалежна паля, в умовах збереження навантажень на палю і на розтвірок відбувається жорстке з'єднання палі і розтвірка та відбувається кінцеве сумісне навантаження) наведено на рис. 2.8. На першому етапові навантаження незалежного розтвірка утворюється ущільнена зона ґрунту з ефектом від'ємного тертя для незалежної палі, що обумовлює часткове осідання самого ґрунту на глибину від  $1,2 \cdot b$  до  $1,8 \cdot b$  від ширини фрагменту розтвірка, а також осідання палі на 1,31 мм (див. табл. 2.4)

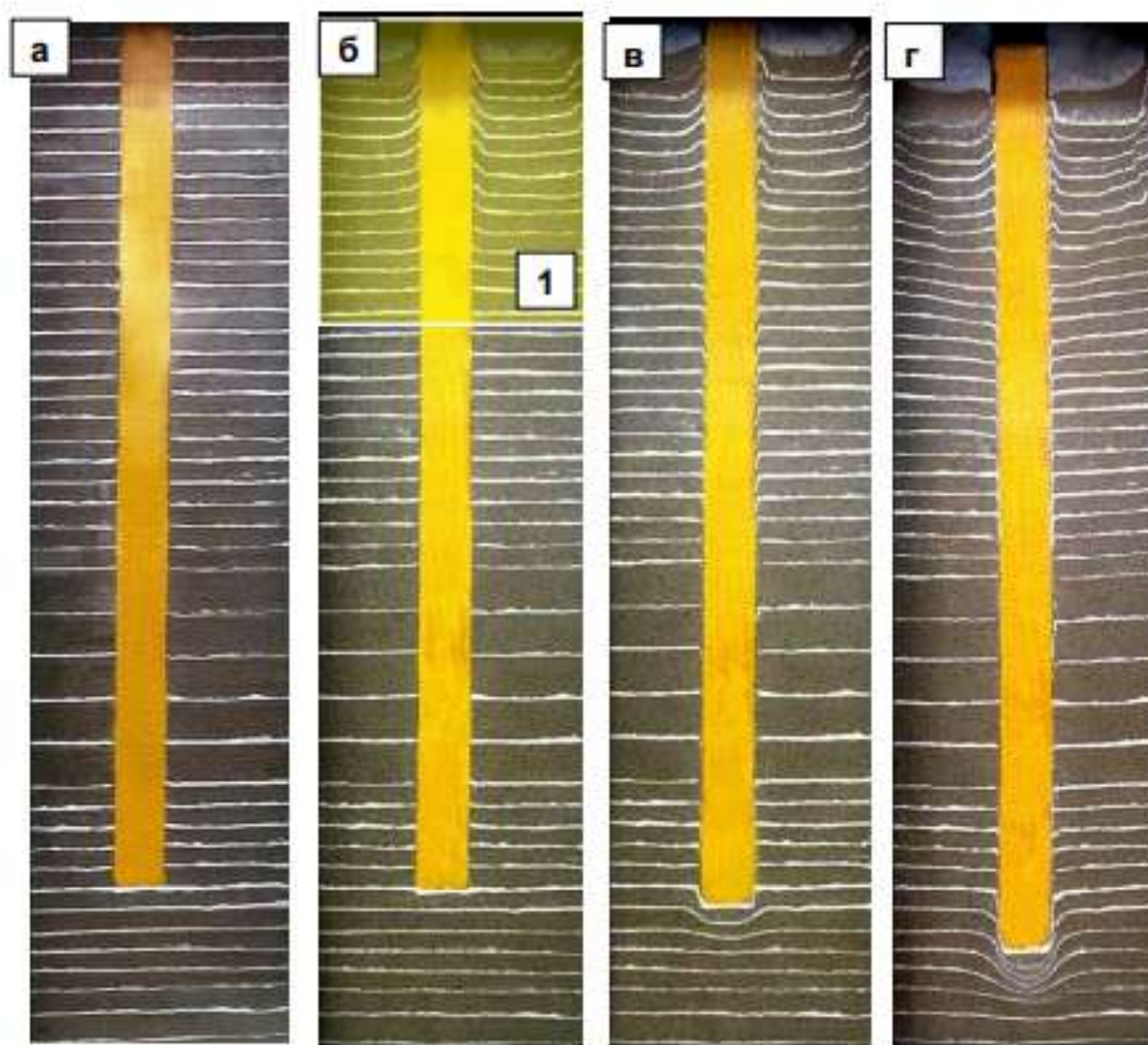


Рисунок 2.8 – Фотограма ґрунтової основи пальового фундаменту [ ] за умови почергового навантаження незалежного розтвірку, потім незалежної палі, потім об'єднаного розтвірку і палі разом: а – до випробування; б – навантаження незалежного розтвірку; в – навантаження незалежної палі; г – навантаження об'єднаних палі і розтвірка разом; 1 – зона дії від'ємних сил тертя.

У відповідності до результатів експерименту (див табл. 2.4) побудована і представлена на рис. 2.9 графічна залежність  $S=f(P)$  характеру зміни величини осідання від величини і черговості навантаження. Графік 1 характеризує характер осідань розтвірку (до навантаження 0,35 кН), графік 2 ілюструє характер осідання незалежної палі (до навантаження 0,35 кН), що відповідає

осіданням палі, що не має з'єднання з розтвірком (на 1,31 мм), що викликане впливом ефекту від'ємного тертя у стисненому і деформованому ґрунті. Графік 3 ілюструє осідання палі (після її статичного навантаження) при її безпосередньому навантаженні, а графік 4 – осідання усього пальового фундаменту, що об'єднаний в цільну жорстку конструкцію.

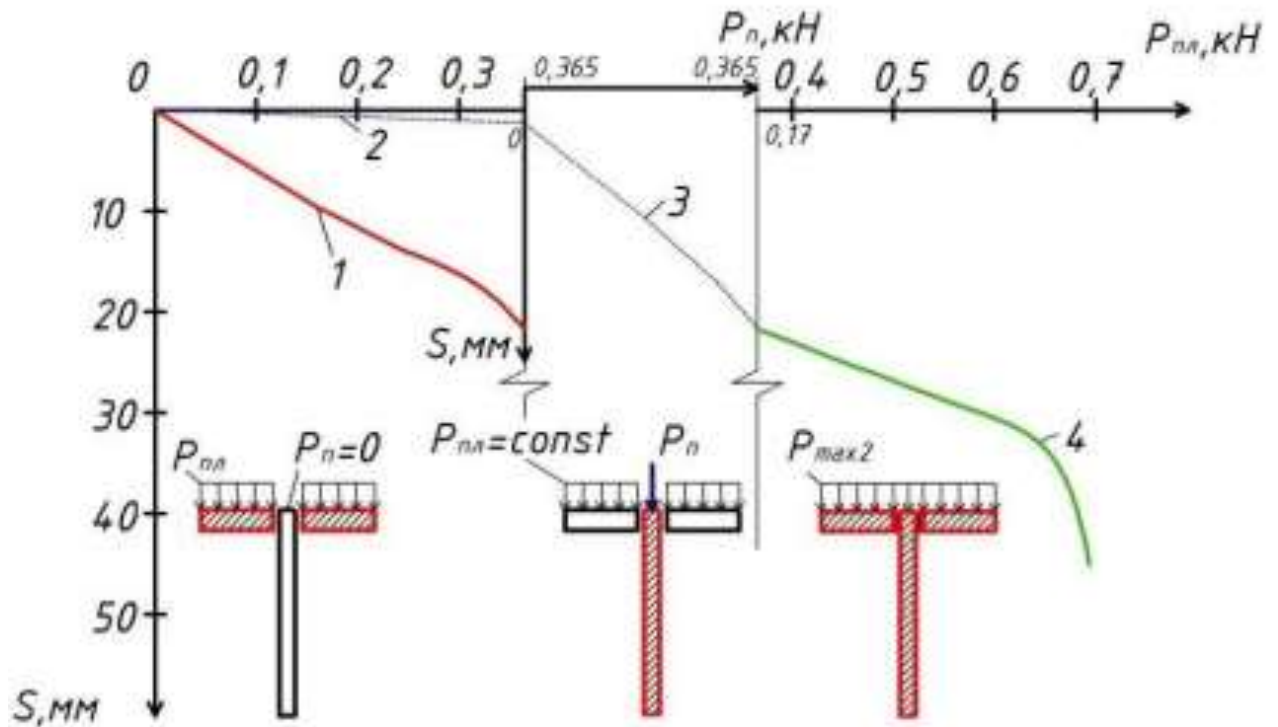


Рисунок 2.9 – Графік залежності  $S=f(P)$  пальового фундаменту [ ]: 1 – осідання розтвірка (1-а стадія); 2 – осідання незалежної палі; 3 – осідання палі за умов почергового навантаження (2-га стадія); 4 – осідання усього пальового фундаменту за умови жорсткого з'єднання палі і розтвірка, що перебували під навантаженнями.

Результати проведених експериментальних досліджень у плоскому лотку представлені в схематичному вигляді на рис. 2.10.

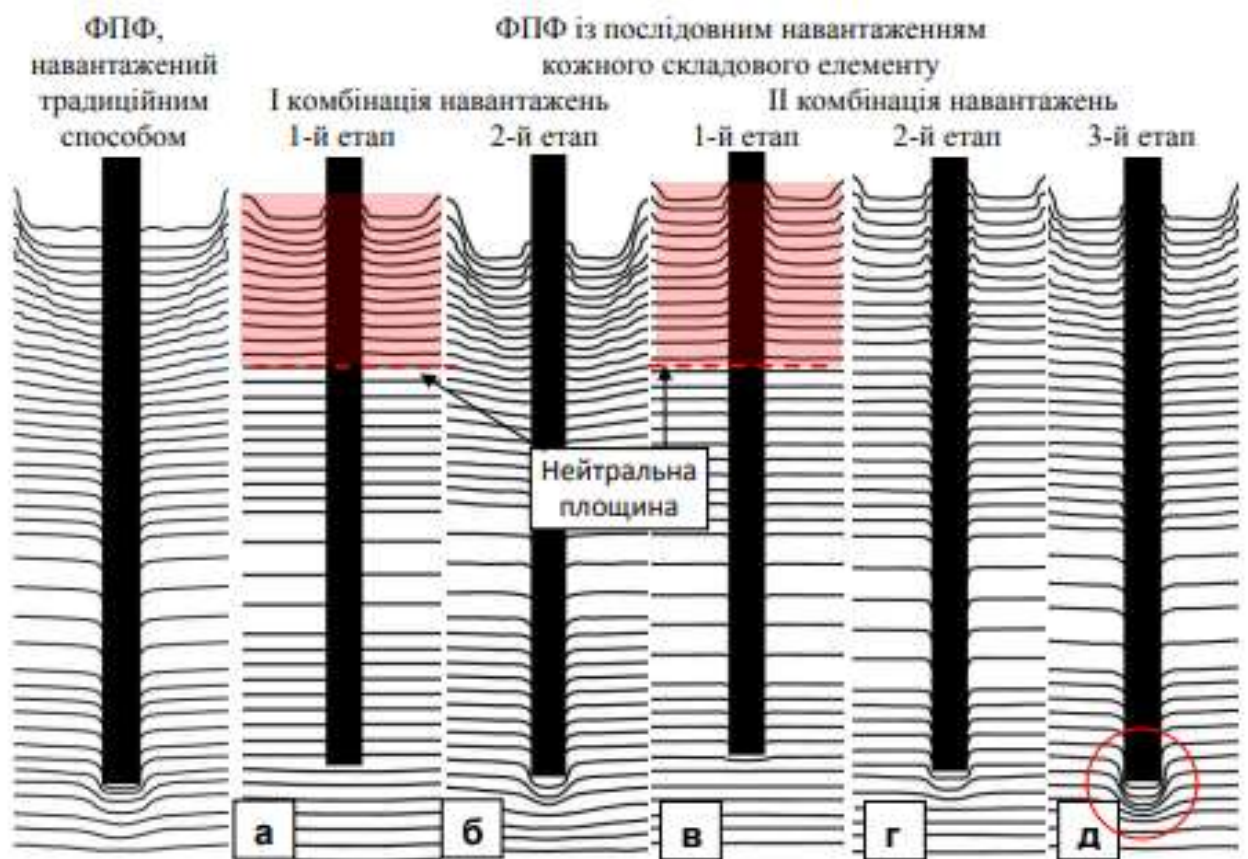


Рисунок 2.10 – Схема напружено-деформованого стану ґрунтової основи пальового фундаменту, навантаженого традиційним способом та з почерговим навантаженням елементів пальового фундаменту [ 1 ].

Проведені експерименти з навантаженням фрагмента розтвірка, що не пов'язаної з палею, виявили значний вплив на поведінку ґрунту в зоні палі. Було зафіксовано осідання палі, спричинене рухом ущільненого розтвірком ґрунту в зоні до 1,8 ширини розтвірка. Цей рух викликаний виникненням додаткових (від'ємних) сил тертя між палею та ґрунтовою основою.

Спостереження за «фізикою процесу» дозволили встановити ефект виникнення так званої нейтральної площини (див. рис.2.10, а, в), де напрямок сил тертя змінюється на протилежний. Положення цієї площини залежить від величини навантаження та послідовності і місця його прикладання.

При послідовному навантаженні елементів пальового фундаменту спостерігається ущільнення ґрунту під нижнім торцем палі, що призводить до

кращого залучення палі до роботи. Крім того, формується більш ущільнена зона під фрагментом розтвірка.

Таким чином, послідовне навантаження дозволяє ефективніше використовувати несучу здатність ґрунту. Це підтверджується результатами вимірювань максимальних осідань пальового фундаменту  $S_{\max}$ , що наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Значення величин максимальних осідань за умови максимальних навантажень для кожної стадії експерименту в умовах плоского лотка.

| Навантаження<br>пальового<br>фундаменту | Етапи навантаження<br>пальового фундаменту                              | Значення<br>максимальних<br>навантажень,<br>$R_{\max}$ , кН | Значення<br>максимальних<br>осідань, $S_{\max}$ ,<br>кН |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| традиційне                              | Пальовий фундамент<br>(розтвірок і паля жорстко<br>сполучені між собою) | 0,66                                                        | 51,15                                                   |
| Розтвірок +<br>паля+ розтвірок          | Розтвірок і паля<br>незалежні                                           | 0,62                                                        | 35,97                                                   |
|                                         | Розтвірок і паля<br>сполучені                                           | 0,66                                                        | 45,16                                                   |
| Розтвірок+паля+<br>розтвірок-паля       | Розтвірок і паля<br>незалежні                                           | 0,36                                                        | 20,67                                                   |
|                                         | Розтвірок і паля<br>незалежні                                           | 30,87                                                       | 0,52                                                    |
|                                         | Розтвірок і паля<br>сполучені                                           | 0,66                                                        | 40,7                                                    |

На основі результатів експериментальних досліджень будуємо графічні залежності  $S=f(P)$  функціонального зв'язку між величинами навантаження та осідання моделі пальового фундаменту та його частин (рис.2.11).

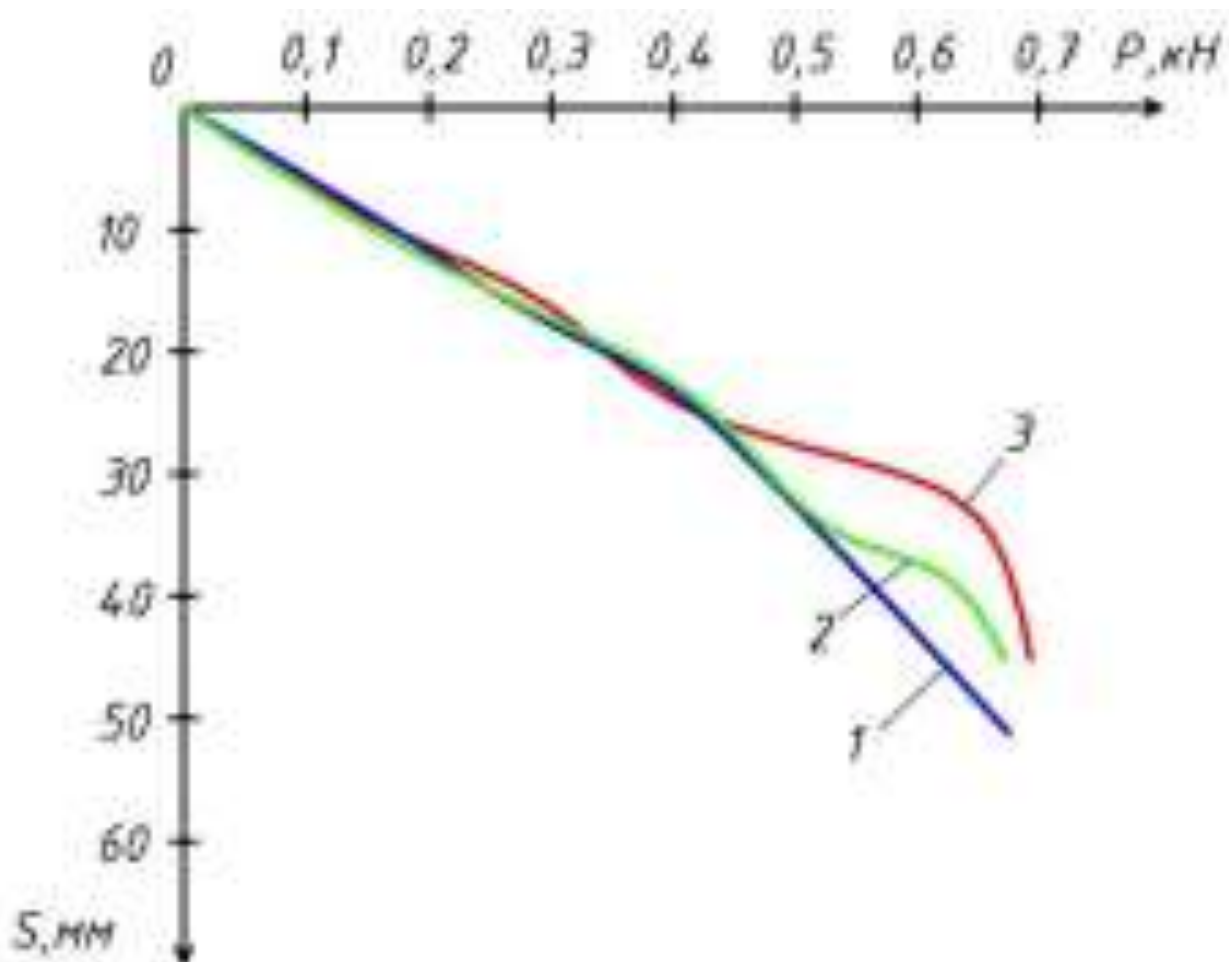


Рисунок 2.11 – Графічні залежності  $S=f(P)$  функціонального зв'язку між величинами навантаження та осідання моделі пальового фундаменту та його частин у плоскому лотку [ ]: 1 – традиційний спосіб навантаження; 2 – посереднє навантаження (спочатку на розтвірок, потім на об'єднані розтвірок і палю); 3 – посереднє навантаження (спочатку на розтвірок, потім на палю, потім на об'єднані розтвірок і палю).

Аналіз графічних залежностей з рис. 2.11 свідчить про підтвердження гіпотези, що посереднє завантаження елементів пальового фундаменту, що не має жорстких зв'язків, призводить до загального зменшення осідання ґрунтової

основи під пальовим фундаментом. Також, дані конструктивні і технологічні засоби, сприяють зменшенню внутрішніх напружень в конструкції фундаменту, зокрема в місці з'єднання розтірка з палею. Запропоновані конструктивні і технологічні особливості влаштування пальового фундаменту, у відповідності до табл. 2.5 і табл.2.6, забезпечують зниження величини осідання фундаменту до 20,4 %.

Таблиця 2.6 – Процентне співвідношення різниці осідань ФПФ у плоскому лотку

| Навантаження                                           | Традиційний спосіб | Почергове навантаження на розтірок, а потім на об'єднані розтірок і палю | Почергове навантаження на розтірок, а потім на палю, а потім на об'єднані розтірок і палю |
|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Значення максимальних осідань, пальового фундаменту мм | 51,15              | 45,16                                                                    | 40,7                                                                                      |
| Відсоткове співвідношення осідань                      | 100%               | менше на 11,7%                                                           | менше на 20,4%                                                                            |

2.3 Опис вихідних умов для проведення експериментальних досліджень пальового фундаменту за умови проведення дослідів в об'ємному лотку.

#### 2.2.1 Опис стенду для проведення досліджень.

Аналогом для плоского лотка є так званий об'ємний лоток. При проведенні аналогічних експериментальних досліджень з моделлю пальового фундаменту в умовах об'ємного лотка можна отримати більш об'єктивні дані. Але оглядовість за процесом, що досліджується в об'ємного лотка не передбачена його конструкцією. Тому, з метою отримання більш приближених до дійсності умов, і розроблено методологію проведення експериментальних досліджень в об'ємному лотку.

Об'ємний лоток представляє собою суцільну діжкоподібну розбірну ємність з металу (алюміній, конструкційна сталь, нержавіюча сталь). Це ємність циліндричної форми, що має в складі дві частини – два сектори, що утворюють трубоподібний елемент і дно з листового металу, що кріпиться до двох секторів. Внутрішній діаметр, що утворюється секторами, для умов проведення експериментальних дослідів, складав 502 мм., висота секторів дорівнювала 801 мм. Матеріалом для секторів і днища був листовий алюміній.

Об'ємний лоток представлений на фото (рис. 2.12, а). Представлені на фото: об'ємний лоток, гідравлічний домкрат, металоконструкції силового кронштейну з поличкою зі швелера, металеві довгомірні ригелі, моделі розтвірку та палі, індикатори годинникового типу ИЧ, з точністю вимірювання 0,01мм, кронштейни для закріплення індикаторів, модельоване ґрунтове середовище, ... представляють собою дослідницький стенд.

Модель палі прийнята круглою в поперечному перерізі і має діаметр  $d_n = 25$  мм, довжина моделі палі рівна 640 мм. Геометричне моделювання передбачало використання масштабного коефіцієнту 1:20.

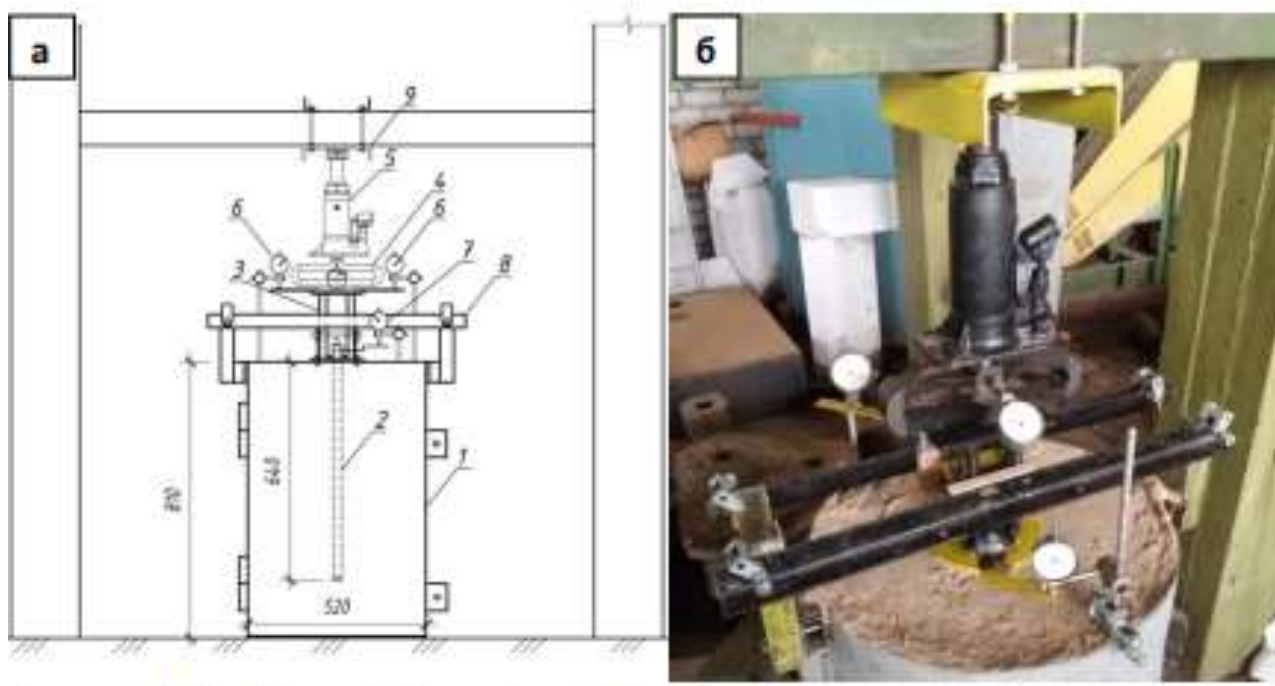


Рисунок 2.12 – Дослідницький стенд для моделювання процесу осідання пальового фундаменту висотної будівлі від конструктивних та технологічних особливостей навантаження на фундамент. а) – зображення конструктивної схеми стенду; б) - фото готового до проведення експерименту модельованого ґрунтового масиву, моделі пальового фундаменту з вимірювальними і допоміжними пристроями та приладами 1 – контейнер для модельованого ґрунтового середовища об'ємного типу. 2 – бетонний елемент, що моделює палю. 3 – металевий елемент, що моделює плитну частину розтвірка фундаменту. 4 – вимірювальний пристрій для фіксації величини силового впливу. 5 – джерело силового впливу - гідравлічний домкрат з максимальним зусиллям 49 кН. 6 – індикатори годинникового типу ІЧ (для реєстрації величини осідань плитної частини розтвірка). 7 – індикатор годинникового типу (для визначень осідань моделі палі). 8 – елементи для усунення ефекту перекошування моделі плити розтвірка; 9 – упор для домкрату.

З метою проведення експериментів, що аналогічні проведеним у плоскому прозорому лотку, був створений даний випробувальний стенд. З метою створення надійної упорної поверхні було використано листовий товстостінний

14мм. сталевий елемент. З метою усунення можливості перекосу при створенні зусилля домкратом передбачено систему напрямних кутиків.

Випробування проводилися у циліндричній, розбірній бочкоподібній ємності з алюмінію, яка була заповнена модельованим та ущільненим за власною методикою ґрунтовим середовищем. Ґрунт укладався шарами та ущільнювався вручну ручною трамбівкою, що мала вагу 3 кг. Досліди проводилися за умови підтримання постійних параметрів модельованого середовища, таких як щільність  $\rho_d=1,52 \text{ г/см}^3$  та вологість  $W=0,06$ . Передбачається, що модельованим ґрунтом є пісок з коефіцієнтом пористості  $e=0,74$ . Щоб забезпечити однорідність ґрунту, його щільність контролювалася за допомогою відбору зразків у різних точках лотка. Отримані дані про щільність та вологість ґрунту наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Основні фізико-механічні властивості модельованого ґрунтового середовища.

| Глибина відбору зразків від дна, м | Щільність ґрунту, $\rho$ , т/м <sup>3</sup> | Вологість ґрунту, W | Щільність скелету ґрунту, $\rho_d$ , т/м <sup>3</sup> |
|------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|
| 0,20                               | 1,61                                        | 0,052               | 1,53                                                  |
|                                    | 1,63                                        | 0,06                | 1,54                                                  |
|                                    | 1,6                                         | 0,058               | 1,51                                                  |
|                                    | 1,59                                        | 0,063               | 1,50                                                  |
| 0,40                               | 1,61                                        | 0,059               | 1,52                                                  |
|                                    | 1,62                                        | 0,061               | 1,53                                                  |
|                                    | 1,61                                        | 0,058               | 1,52                                                  |
|                                    | 1,6                                         | 0,062               | 1,51                                                  |
| 0,60                               | 1,62                                        | 0,06                | 1,53                                                  |
|                                    | 1,61                                        | 0,059               | 1,52                                                  |
|                                    | 1,6                                         | 0,06                | 1,51                                                  |
|                                    | 1,61                                        | 0,061               | 1,52                                                  |
| 0,80                               | 1,62                                        | 0,059               | 1,53                                                  |
|                                    | 1,59                                        | 0,061               | 1,5                                                   |
|                                    | 1,62                                        | 0,064               | 1,52                                                  |
|                                    | 1,59                                        | 0,061               | 1,50                                                  |
| Середнє                            | 1,61                                        | 0,06                | 1,52                                                  |

Відповідно до методу Седіна В.Л. [ ] розроблено ряд моделей розтвірка з можливістю вільного сполучення з моделюю палі. Моделі розтвірка запропоновані трьох типорозмірів, що пояснюється вимогами ДБН щодо взаємного розташування сусідніх паль. Це загально відома вимога: відстань між сусідніми висячими палями повинна бути більша або рівна трьом визначним розмірам поперечного перерізу паль  $l \geq 3 d$ . Серед вихідних умов щодо встановлення взаємної відстані між сусідніми палями є той момент, що попередніми дослідженнями різних науковців встановлений факт зменшення

несучої здатності паль, що розташовуються в середині пальового поля у порівнянні з палями, що розташовуються по периферії пальового поля. Тому цей фактор є дуже важливим для проведення випробувань. Прийнято моделі для подальших експериментальних досліджень з наступними декількома дискретними значеннями відстані між палями. Це конструкції плитних розтвірків (з товщиною металевої пластини - 10 мм) з отвором у центрі  $\varnothing 27\text{мм}$  під модель бетонної моделі палі, та з моделями плитної частини розтвірка  $\varnothing 3d$ ,  $\varnothing 5d$ ,  $\varnothing 7d$ , це відповідно  $\varnothing 75\text{мм}$ ,  $\varnothing 125\text{мм}$  і  $\varnothing 175\text{мм}$  (рис. 2.13, б). Діаметр бетонного елемента, що моделює палю -  $\varnothing 25\text{ мм}$ , лінійний розмір бетонного стержня (моделі палі) - 640мм. Площу поверхні об'ємного лотку умовно можна представити ґрунтовим масивом під пальове поле та розбити на визначену кількість комірок з стороною L.

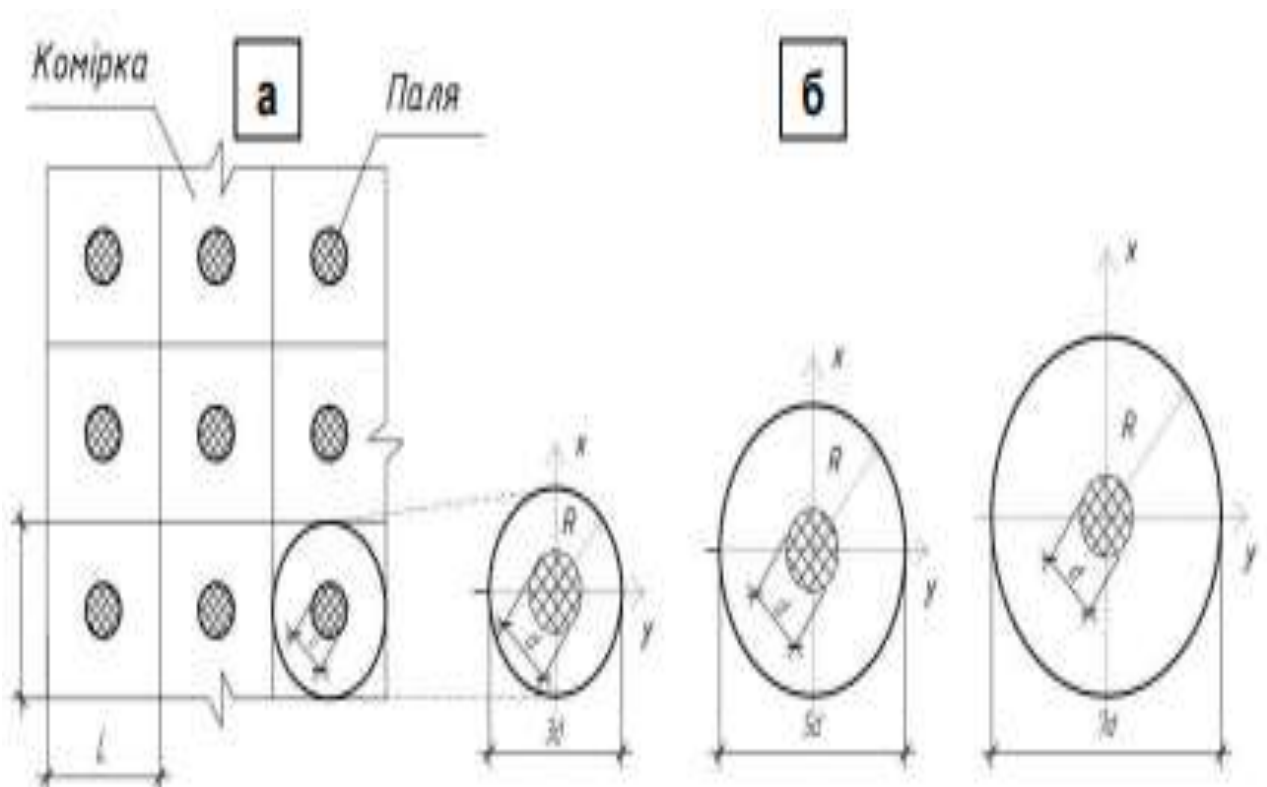


Рисунок 2.13 – умовно поділене пальове поле з поділом на комірки - а); конструкції моделей опорних поверхонь розтвірків - б): L – розмір зони максимального впливу на ґрунт від палі (відповідає відстань між сусідніми палями) -  $3d$ ,  $5d$  і  $7d$ ; R – радіус умовного місця з'єднання розтвірка з палею.

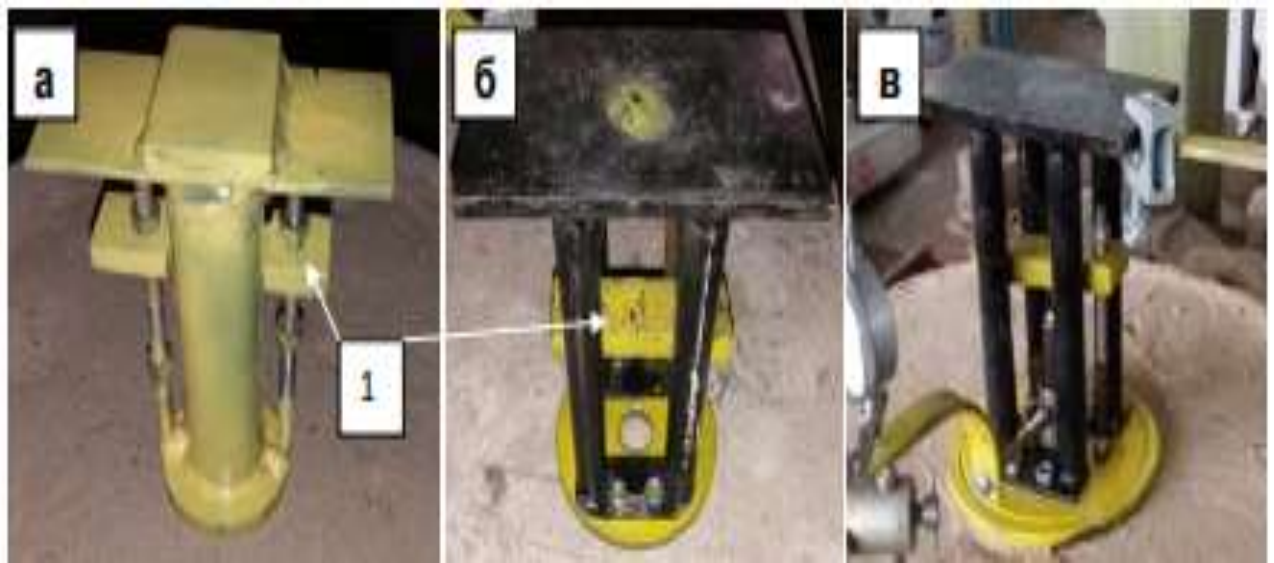


Рисунок 2.14 – Фото конструкцій моделей одиночних розтвірків, що розроблені по методиці, що запропонована Сєдіним В.Л. [ ] залежно від діаметру бетонного зразка - моделі палі -  $d$  і від зони впливу кожної із сусідніх паль, що створюють зони НДС в ґрунті. а –  $3d$  ( $\varnothing 75\text{мм}$ ). б –  $5d$  ( $\varnothing 125\text{мм}$ ). в –  $7d$  ( $\varnothing 175\text{ мм}$ ). 1 – металева пластина.

Методологія проведення лабораторного експерименту в циліндричній, розбірній, бочкоподібній ємності з алюмінію, яка була заповнена модельованим та ущільненим за власною методикою ґрунтовим середовищем, аналогічна викладеній вище.

## Висновки

1. На основі проведеного аналізу досвіду проектування, будівництва та експлуатації висотних будинків встановлено перелік контрольних параметрів перевірконого розрахунку конструктивної системи «Основа – фундамент - будівля».
2. Виконано аналіз нормативної бази щодо проектування висотних будинків на етапах проектування, будівництва та експлуатації цих, технічно складних об'єктів.
3. Виявлено проблеми та недоліки в забезпеченні пожежної і експлуатаційної безпеки висотних будівель та надані відповідні рекомендації.
4. Виконано ознайомлення та глибокий аналіз результатів дослідження В.В. Ковби щодо ідеї почергового навантаження взаємонезалежних елементів пальово-розтвіркового типу фундаменту для висотних будівель.
5. Пропрацьована методологія проведення пошукових експериментальних лабораторних досліджень з моделями пальового фундаменту в плоскому прозорому і непрозорому об'ємному типах лотків.
6. Проведені теоретичні дослідження в програмному комплексі Plaxis підтвердили вірність прийнятої робочої гіпотези щодо ефективності почергового роздільного навантаження елементів пальового фундаменту, що забезпечує зменшення сумарних осідань до 20% у порівнянні з традиційним методом навантаження.
7. Моделювання в програмному комплексі Plaxis підтверджує різницю в зусиллях між периферійно розташованими палями та палями, що знаходяться в середині пальового масиву. Палі, що знаходяться на периферії майже втричі більш навантажені ніж палі, що перебувають в середині пальового масиву. Це пояснюється переміщенням ґрунту в пальовому масиві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.М. Галінський, А.А. Франівський, Т.В. Рунов. Нормативна база з висотного будівництва в Україні та напрями її вдосконалення. Нові технології в будівництві №2(20) 2010. С.3-10.
2. ДБН В.2.2'24:2009 Проектування висотних житлових і громадських будинків, 2009, Київ.
3. ДБН В.1.2'5:2007 Науково'технічний супровід будівельних об'єктів, 2007, Київ
4. Руководство по высотным зданиям. Под редакцией С.В. Николаева, 2006, Германия'Россия.
5. Директива Европейского Союза № 89/106 ЕЕС от 21.10.1988г.
6. ДБН 2.2'15:2005 Житлові будинки. Основні положення, 2005, Київ
7. ДБН 2.2'9'99 Громадські будинки і споруди. Основні положення, 2005, Київ
8. ДБН А.2.2'3:2004 Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва.
9. ДБН В.1.2'2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування, 2006, Київ
10. ДБН В.1.2'14:2008 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.
11. Ковба В.В. Перерозподіл зусиль в пальовому фундаменті з урахуванням послідовного навантаження його складових елементів. Дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 «основи і фундаменти». – Дніпропетровськ, 2018. – 240 с.
12. Бікус К.М. Вплив попереднього навантаження паль на зниження їх осідань / Бікус Катерина Михайлівна // Дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 «основи і фундаменти». – Дніпропетровськ, 2015. – 210 с.

13. Бікус К.М. Аналітичний метод розрахунку напружено-деформованого стану основи одиночної палі / К.М. Бікус, В.В. Ковба, В.Л. Сєдін // Матеріали всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми сучасного будівництва», 17 грудня 2014 р. / Полт. нац. техн. унт ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – С. 79-81.

14. Бойко І.П. Дослідження перерозподілу зусиль у фундаменті при різних варіантах розташування паль / І.П. Бойко, В.Л. Підлуцький // Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 37 / За загальною редакцією І.П. Бойка. – Київ : КНУБА, 2015 – С. 64-73.

15. Бойко І.П. Моделювання нелінійного деформування ґрунтів основи з урахуванням структурної міцності в умовах прибудови / І.П. Бойко, В.О. Сахаров // Будівельні конструкції. – Київ : НДІБК. – 2004. – Вип.61. – т.2. – С. 27-33.

16. Бойко І.П. Напружено-деформований стан пальового фундаменту висотної каркасної будівлі з урахуванням спільної роботи з ґрунтовим масивом / Бойко І.П., Жук В.В., Корнієнко М.В., Сахаров О.С. // Будівельні конструкції. – 2004. – Вип. 61. – Т.1. – С. 19-22.

17. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою. / І.П. Бойко // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ: КНУБА. – 2006. – Вип. 30. – С. 3-8. 16. Бойко І.П. Числове моделювання напружено-деформованого стану фундаменту різнорівневого висотного комплексу в м. Києві / І.П.Бойко, В.С. Носенко // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ, 2015. – Вип. 37. – С. 3-14.

18. Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при зведенні та наступній роботі: Монографія / Ю.Л. Винников – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2016. – 280 с.

19. Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням : ДСТУ Б В.2.1-9-2016. – [Чинний від 2017-04-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 22 с.

20. Данішевський В.В. Асимптотичні розв'язки задач мікромеханіки композитних матеріалів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.17 «Будівельна механіка» / В.В. Данішевський ; ПДАБА. – Дніпропетровськ, 2008. – 32 с.

## ДОДАТКИ

**ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ**

**до кваліфікаційної роботи магістра на тему:**

**"Дослідження особливостей проєктування і конструювання  
фундаментів висотних будівель"  
( 17 слайдів, у тому числі 5 креслення формату А1)**

**Допустити до захисту**

**Завідувач кафедри БДМБ, к.т.н., професор**

**Владислав НАСТОЯЩИЙ**

**" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.**

**Виконав: здобувач освіти групи БІ-23М-2**

**спеціальності 192**

**«Будівництво та цивільна інженерія»**

**Володимир ТКАЧЕНКО**

**" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.**

**Керівник кваліфікаційної роботи магістра:**

**кандидат технічних наук, доцент**

**Сергій КАРПУШИН**

**" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.**