

ВІДМІННІСТЬ У РОБОТІ КОРОТКИХ ТА ДОВГИХ ПАЛЬ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ФУНДАМЕНТІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі виконано фізичне моделювання на маломасштабних моделях, експериментально досліджено розподіл навантаження та роботу підсиленого забивними палями стрічкового фундаменту мілкового закладання, варіюючи при цьому відносну довжину палей та їх крок. Також досліджено роботу моделей одиночних палей різної довжини, ростверку без палей та фундаменту у варіанті умовного. Проаналізовано отримані результати, відмінності коротких та довгих палей при підсиленні з порівнянням усіх варіантів.

Ключові слова: короткі палі, паля, підсилення, моделювання, ростверк, модель.

Abstract

In this work, physical modeling on small-scale models is performed, the load distribution and operation of the shallow pile-reinforced shallow foundation of shallow laying are experimentally investigated, varying the relative length of piles and their pitch. The work of models of single piles of different length, grid without piles and foundation in the conditional variant is also investigated. The obtained results, differences of short and long piles at strengthening with comparison of all variants are analyzed.

Keywords: short piles, pile, strengthening, modeling, grillage, model.

Вступ

Сьогодні все частіше виникає потреба у підсиленні та реконструкції елементів основ та фундаментів.

Не дивлячись на широке застосування пальових фундаментів і велику кількість досліджень, недостатньо вивченими є ряд факторів, що впливають на несучу здатність і осідання при їх роботі в різних ґрунтових умовах. Зокрема відомі з практики пропозиції щодо використання коротких палей підсилення, не підкріплені жодними рекомендаціями стосовно методики їх розрахунку.

Так як будь-яке дослідження потребує практики та перевірки дійсності, у даній роботі передбачено скласти план та виконати експеримент у лабораторному лотку, а також проаналізувати отримані дані фізичного моделювання підсилення фундаментів короткими палями у порівнянні з довгими, для подальшого дослідження та проектування їх у програмному комплексі Plaxis.

Постановка задач та виконання дослідження

Як показує досвід, фізичне моделювання для виявлення характеру сприйняття та розподілу зусиль у елементах пальового фундаменту в залежності від геометричних параметрів найкраще виконувати на маломасштабних моделях. Даний метод дозволяє одержувати достатньо достовірну картину поведінки пальових фундаментів під їх навантаженням.

При моделюванні ґрунтового середовища використовувався металевий лоток з геометричними розмірами 1800x1200x1000 мм (рис. 1).

В якості упорної системи для передачі навантаження на моделі використовується металева рама з прокатних профілів, що дозволяє передавати навантаження на модель до 30 кН.

За ґрунтову основу прийнято - пісок середньої крупності. Основа створювалась шляхом пошарового засипання у лоток піску заданої вологості з ущільненням кожного шару до заданої щільності. Щільність контролювалась методом ріжучого кільця у трьох точках кожного шару товщиною 20 см.

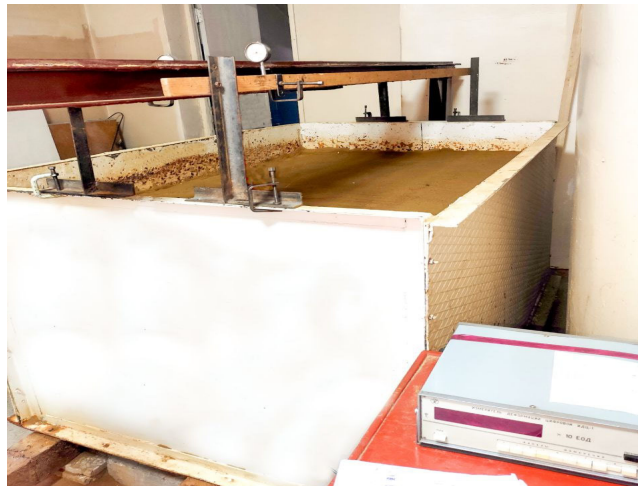


Рис. 1 – Лоток з ущільненим піском, що імітує ґрунтову основу під фундамент

Маючи стиснені геометричні розміри лотка з піском, ми маємо обмежені можливості упорної системи та можливість проведення після одного пересипання ґрунту, випробування чотирьох моделей пальового фундаменту.

Для моделювання натурних паль довжиною 1 м та 5 м з поперечним перерізом 20x20 мм використано дерев'яні моделі з поперечним перерізом 20x20 мм, довжиною 200 і 400 мм.

Переміщення паль буде визначатись за допомогою прогиномірів, а для визначення навантаження, що приходить на кожен палю, виготовлено спеціальні наголовники.

Для заміру частки навантаження, що припадає на кожен окрему палю фундаменту, були використані тензометричні датчики для паль, зображені на рис. 2.

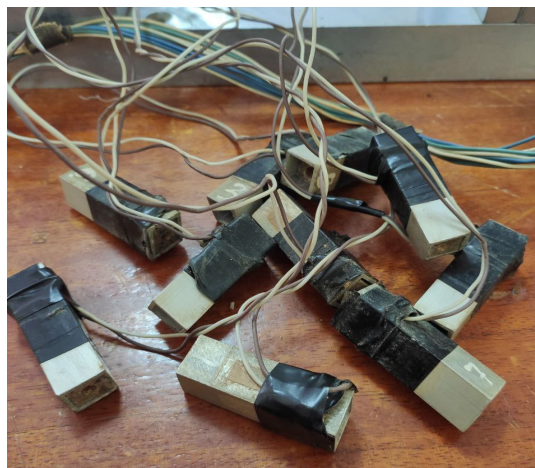


Рис. 2 – Тензометричні датчики

Наголовники виконувались з відрізків квадратної труби, на яку наклеєні тензометричні датчики. Від кожного тензометричного датчика відходить два провідника: один з'єднується з іншим тензометричним датчиком, а до іншого припаюється провід, який після того, як всі наголовники готові, з'єднують між собою і підключають до ІДЦ-1 (вимірювач деформацій числовий).

Для подальшого якісного використання датчиків перед дослідом проводимо тарування наголовників (рис. 3).

У даному експерименті було виконано три групи серії дослідів (п'ять випробувань), при різному кроці паль у ростверку, а також при змінній довжині паль для кожної моделі підсиленого палями стрічкового фундаменту. В таблиці 1 наведено програму модельних випробувань [1].

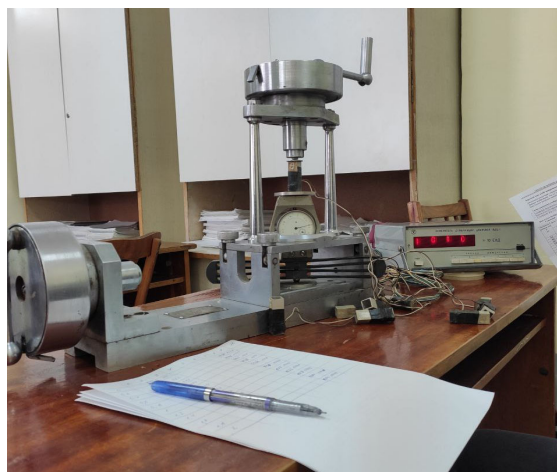


Рис. 3 – Тарування наголовників

Таблиця 1 – Програма модельних випробувань

Група дослідів	Крок палів у поперечний напрямку (а)	Крок палів у поздовжньому напрямку	Довжина палів, мм
1	3d	7d	200
			400
2	6d	7d	200
			400
3	Умовний фундамент мілкового закладання глибиною закладання 20 см	-	-

Модель фундаменту являє собою жорстку металеву плиту (рис. 4) з отворами, що розміщені з кроком 3d. Це дає можливість використання плити для експерименту при кроці палів 3d і 6d. Дана модель якісно імітує існуючий стрічковий фундамент мілкового закладання, що буде підсилюватись палями крізь його тіло, розрахований на 14 палів.



Рис. 4 – Експериментальна модель фундаменту

Під час експерименту для розподілення і передачі навантаження на плиту ростверку зверху встановлюється жорстка балка (рис. 5).

Всі модельні випробування проводились з наступною послідовністю:

- 1) виймання ґрунту з експериментального лотка;
- 2) вкладання піску в лоток пошарово ($\delta = 20$ см) з ущільненням кожного шару за допомогою трамбівки і контролем отриманої щільності згідно з [2];
- 3) встановлення ростверку у лотку і завантаження для моделювання роботи старого фундаменту мілкового закладання до загального навантаження 1600 кг;
- 4) передача фіксованого навантаження на фундамент здійснюється ступенями з витримкою кожного ступеня до стабілізації деформацій (не більше 0,25 мм за 15 хв. спостережень) з ціллю досягнення навантаженням граничного значення;



Рис. 5 – Жорстка балка

5) занурення паль різної довжини та кроку разом із тензометричними датчиками у відповідності із прийнятою послідовністю;

6) продовження передачі статичного навантаження на пальовий фундамент ступенями з витримкою кожного ступеня до умовної стабілізації деформацій (не більше 0,25 мм за 15 хв. спостережень) до досягнення навантаженням граничного значення для підсиленого фундаменту [3].

Для передачі і вимірювання навантаження використовувалися відповідно автомобільний домкрат і динамометр, які розраховані на максимальне навантаження 5 т. В якості опорної системи для домкрата було використано існуючу металеву раму, що закріплена до лотка.

Важливим моментом є система для замірювання переміщень фундаменту - система прогиномірів, встановлена на незалежній упорній частині, що закріплена до стінки лотка, показана на рис. 6.

Дослідна конструкція, у готовому до випробування стані, показана на рис. 7.



Рис. 6 – Система встановлення прогиноміру для досліду

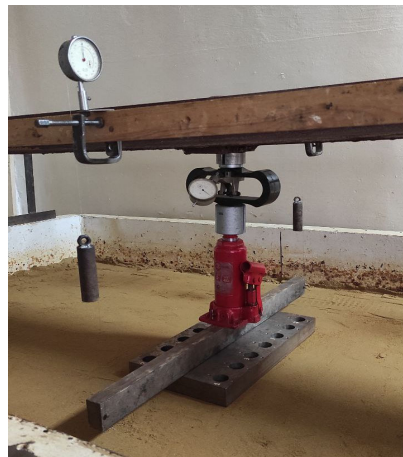


Рис. 7 – Дослідна конструкція для виконання експерименту

При виконанні підсилення фундаменту, після занурення паль із тензометричними датчиками у відповідності із прийнятою послідовністю, конструкція має наступний вигляд (рис.8).

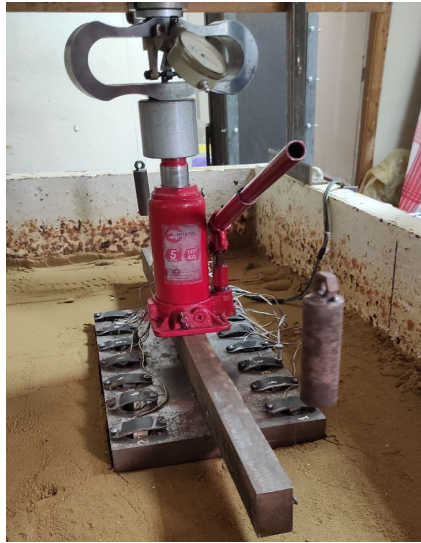


Рис. 8 – Конструкція моделювання підсилення фундаменту

Приведена довжина паль обмежена внаслідок обмежених можливостей упорної системи лотка. Кількість паль для дослідів прийнята 8 та 14 шт. На рис. 9 зображено вигляд системи дослідів при різних кроках паль відповідно.

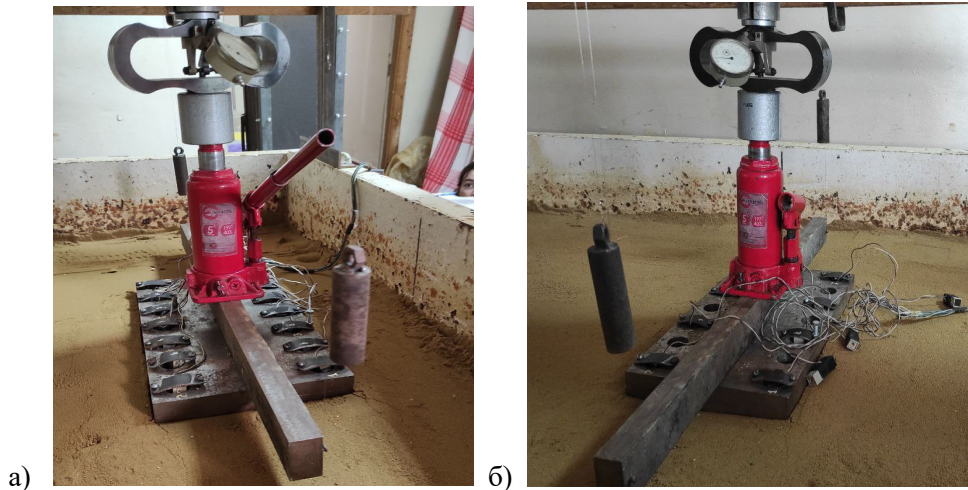


Рис. 9 – Система для дослідів випробування а) 14 паль ; б) 8 паль

Під час дослідів для порівняння виконано моделювання одиночних паль довжиною 200 мм та 400 мм та плити ростверку без урахування паль на поверхні ґрунтового масиву (рис. 10) та у варіанті умовного фундаменту (рис. 11). Навантаження одиночних паль здійснювалось за допомогою важеля, що шарнірно кріпиться до стінки лотка. В залежності від місця розміщення палі у лотку співвідношення плечей важеля становить: для палі довжиною 200 мм - $150/33=4,54$; для палі довжиною 400 мм – $150/35=4,28$. Модель випробування одиночної палі зображена на рис. 12.

Аналіз отриманих результатів фізичного моделювання з підсилення фундаменту мілкого закладання палями

В результаті проведення групи запланованих п'яти дослідів за програмою експериментального дослідження були одержані значення несучої здатності підсиленого фундаменту, його осідання, а також окремо навантаження, що сприймають палі і ростверк у складі підсиленого фундаменту.



Рис. 10 – Модель випробування плити ростверку



Рис. 11 – Модель випробування плити ростверку у варіанті умовного фундаменту



Рис. 12 – Модель випробування одиночної палі в лотку

На рис. 13 наведено графіки залежності осідання – навантаження фундаменту до підсилення - I стадія та після підсилення - II стадія при кроці 3d і 6d з різними довжинами паль (20 і 40 см) до втрати несучої здатності. Крива осідання-навантаження для I стадії роботи фундаменту до підсилення для розглянутих випадків практично співпадає. Також на рис. 13 для порівняння наведено одержаний графіки осідання фундаменту у варіанті умовного.

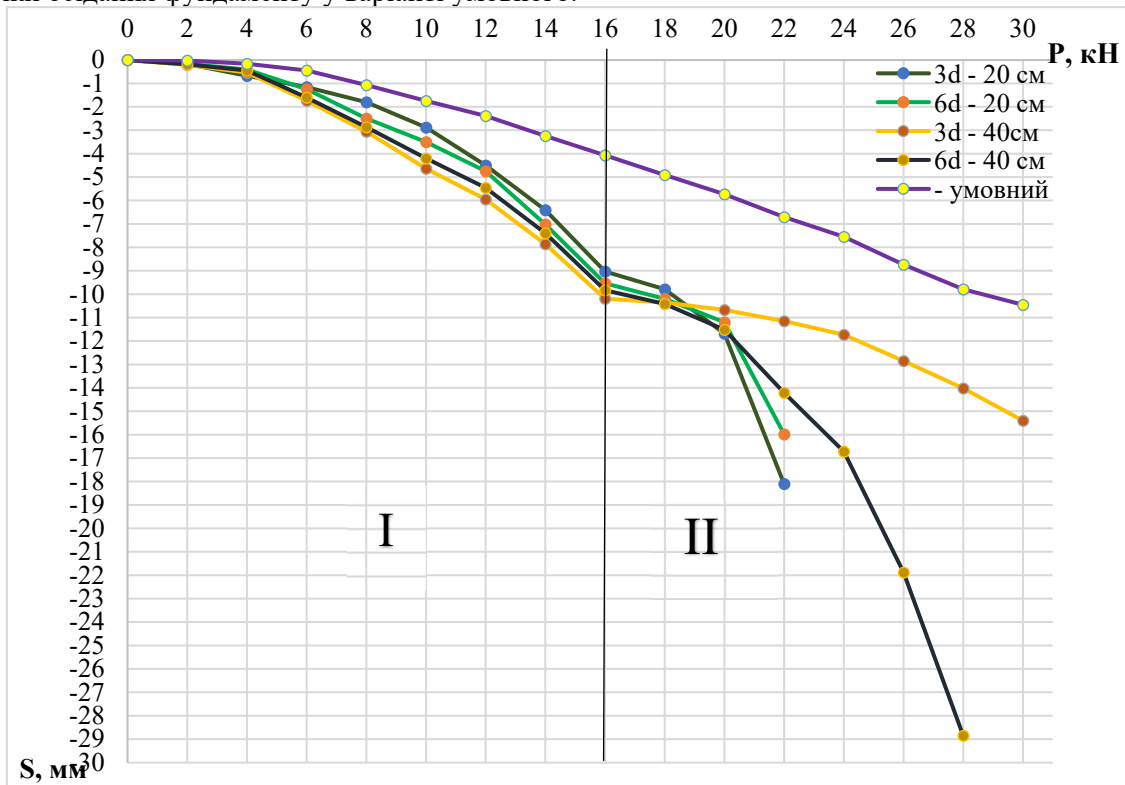


Рис. 13 – Графіки залежності осідання – навантаження фундаменту з кроком паль 3d та 6d: I стадія – робота фундаменту до підсилення; II стадія – робота підсиленого палями фундаменту

На рис. 14 зображено, руйнування ґрунтової основи, яке відбувається при втраті несучої здатності фундаменту.



Рис. 14 – Приклад руйнування основи при випробуванні моделей паль довжиною 40 см з кроком 6d

Оскільки в рамках експерименту є певні обмежені можливості, з графіків залежності осідання від навантаження видно, що не усі моделі були доведені до зриву. Несуча здатність підсиленого фундаменту при кроці 3d склала 22 і 30 кН при довжині паль відповідно 20 і 40 см; при кроці 6d – 22 і 30 кН.

Умовний фундамент показав, що заміна пальового фундаменту умовним не дає бажаного результату, хоч і в ході експерименту, через стиснені можливості він також не був доведений до зриву.

Отже, замінювати пальовий фундамент на умовний фундамент мілкого закладання з метою визначення його несучої здатності некоректно.

На рис. 15 наведені такі графіки для одиночних паль, на рис. 16 – для плити ростверку, як штампу без паль.

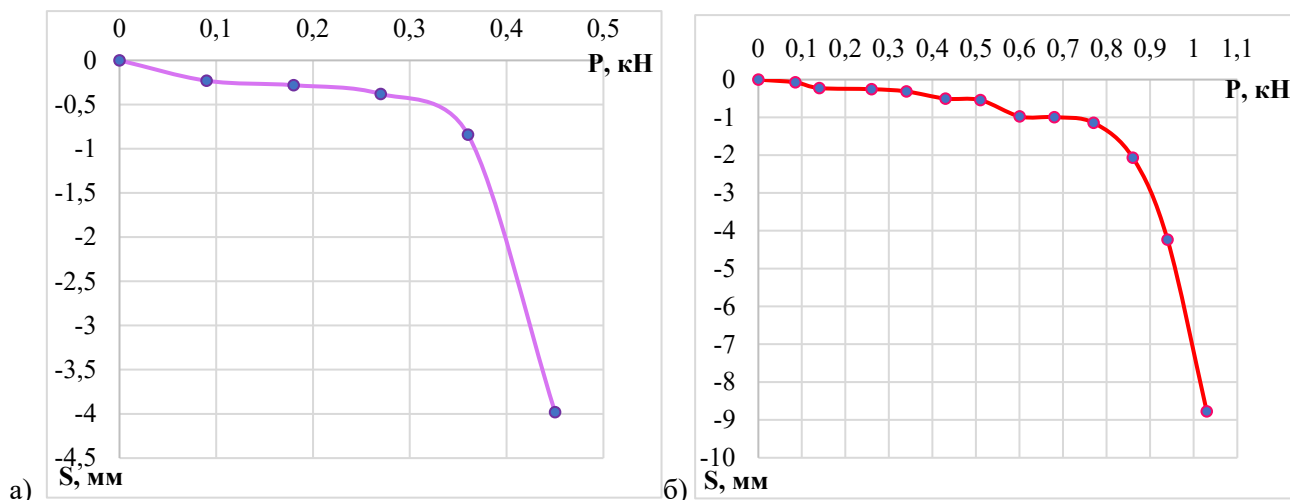


Рис. 15 – Графіки залежності навантаження – осідання для паль довжиною: а) 200 мм; б) 400 мм

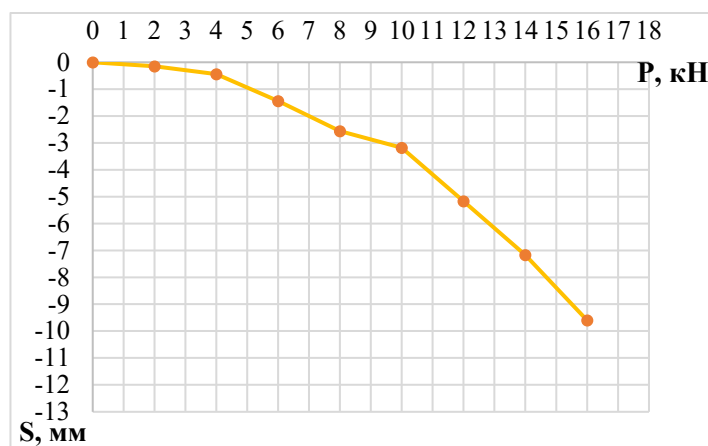


Рис. 16 – Графік залежності навантаження – осідання для плити ростверку без паль

Частка навантаження, яке сприймають палі підсилення, визначалась як сума зусиль в кожній палі, що були виміряні тензометричними датчиками, дані занесено до таблиці 2.

Таблиця 2 - Сума зусиль в палях при різному ступені навантаження

Навантаження на фундамент, кг	Довжина та крок палі			
	Палі 20 см крок 3d	Палі 20 см крок 6d	Палі 40 см крок 3d	Палі 40 см крок 6d
1600	4,22	1,54	5,3	3,2
1800	5,06	1,82	5,7	4,06
2000	5,28	2,04	6,91	4,7
2200	5,87	2,51	7,2	5,32
2400	-	2,81	8,18	5,96
2600	-	3,37	9,95	6,76
2800	-	3,75	10,85	7,24
3000	-	3,74	11,52	-

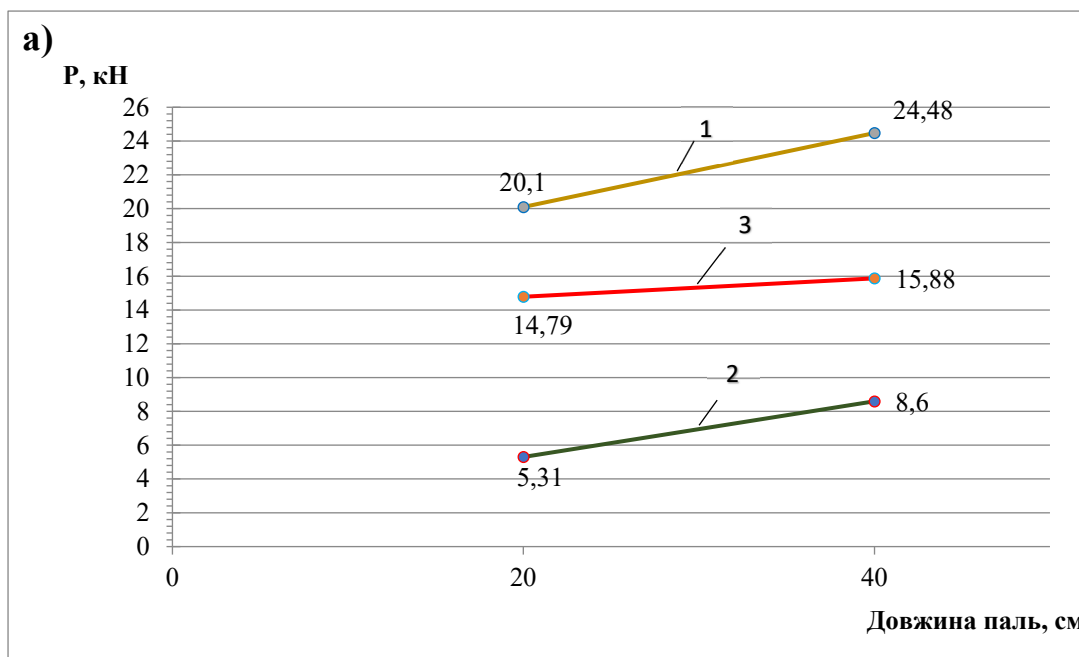
По отриманих результатах експерименту було зроблено порівняння роботи пальового фундаменту з плитою ростверку з роботою його окремих елементів при обраному осіданні 12 мм (табл. 3). Частка

навантаження, яке сприймають палі фундаменту, визначається як сума зусиль в палях, заміряних тензометричними датчиками, частка навантаження, яку сприймає ростверк, визначалась як різниця між навантаженням на фундамент та сумою зусиль в палях.

Таблиця 3 – Порівняння роботи пальового фундаменту з плитою ростверку з роботою його окремих елементів при осіданні фундаменту $s = 12,0$ мм

Довжина палі, см	Крок палі	При роботі у складі фундаменту					При роботі кожного з елементів як окремого			
		Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН	Сума зусиль в палях підсилення, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Навантаження на фундамент кН	Частка ростверку, %	Несуча здатність одиночної палі, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається плитою ростверку без палі, кН	Навантаження фундамент, як сума окремих елементів кН
20	3d	0,38	5,31	14,79	20,10	74	0,405	5,67	16	21,67
	6d	0,27	2,12	18,21	20,33	90		3,24		19,24
40	3d	0,62	8,6	15,88	24,48	65	0,872	12,21	16	28,21
	6d	0,6	4,81	15,55	20,36	76		6,98		22,98

Графік залежності несучої здатності фундаменту в цілому, ростверку окремо та палі в залежності від довжини палі при кроці палі 3d(а) та 6d(б) зображено на рис. 17.



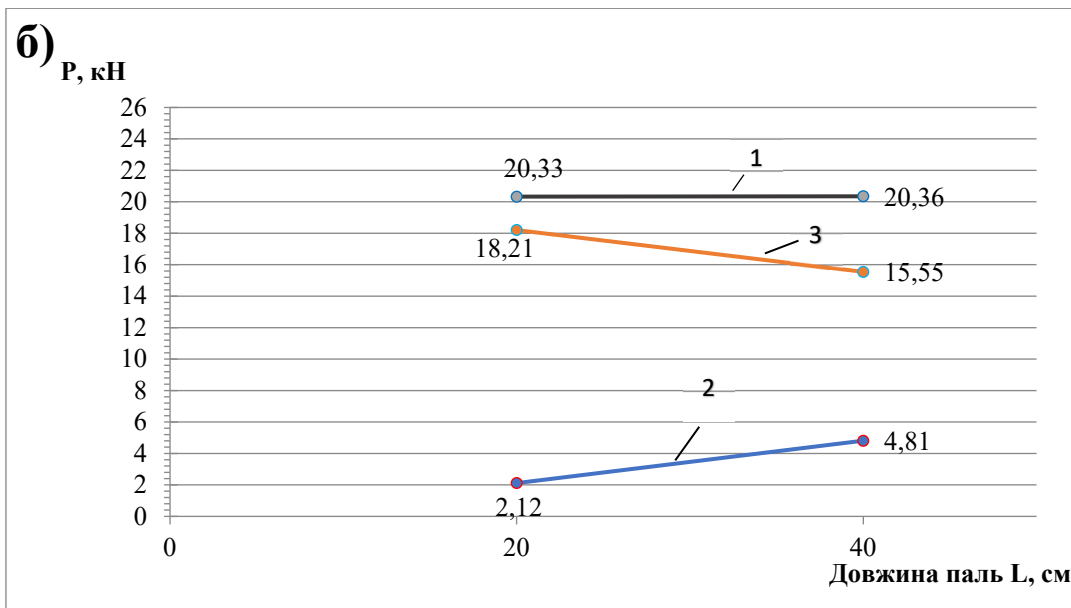


Рис. 17 – Графік залежності несучої здатності фундаменту в залежності від довжини паль при кроці паль 3d(a) та 6d(б): 1 – несуча здатність фундаменту в цілому; 2 – несуча здатність паль; 3 – несуча здатність ростверку

Визначена частка ростверку наведена в таблиці 4.

Таблиця 4 – Частка ростверку у несучій здатності фундаменту, %

Крок паль	Довжина паль, см	
	20	40
3d	74	65
6d	90	76

Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, від довжини паль при кроці паль 3d і 6d зображено на рис. 18.

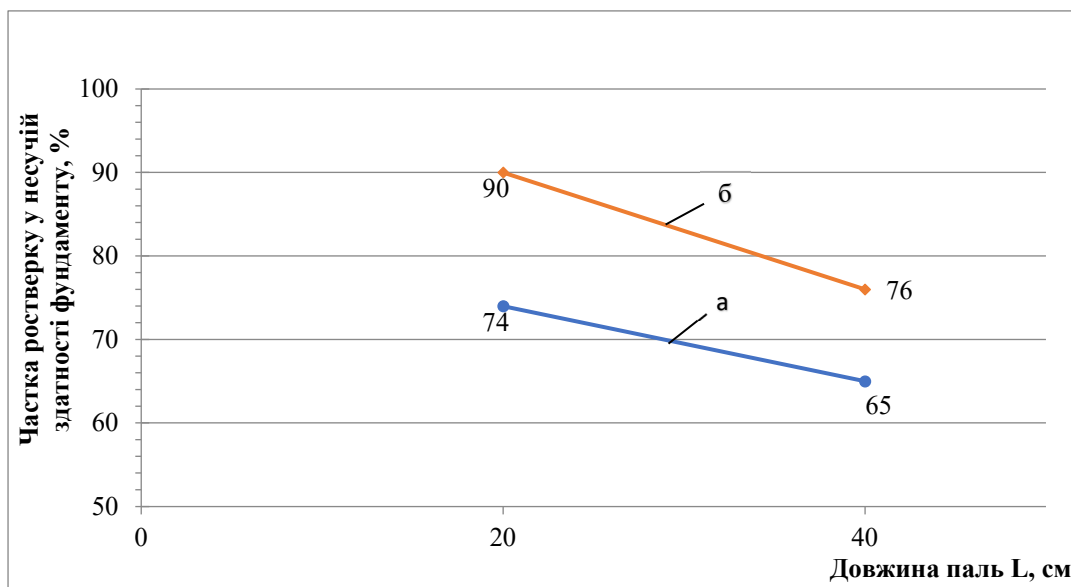


Рис. 18 – Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, від довжини паль: а і б – при кроці паль 3d і 6d відповідно

Ступінь реалізації несучої здатності паль визначався як відношення осередненої несучої здатності палі у складі фундаменту до несучої здатності одиночної палі. Ступінь реалізації тиску під ростверком

- як відношення частки навантаження, яку сприймає ростверк у складі фундаменту, до навантаження, яке сприймає плита ростверку, працюючи без паль. У таблиці 5 та на рис. 19-20 наведені результати обробки параметрів фізичного експерименту

Таблиця 5 – Ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверку

Довжина, см	Крок паль	Ступінь реалізації несучої здатності палі	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
1	2	3	4
L=20 см	3d	0,93	0,92
L=20 см	6d	0,65	1,14
L=40 см	3d	0,72	1,0
L=40 см	6d	0,69	0,97

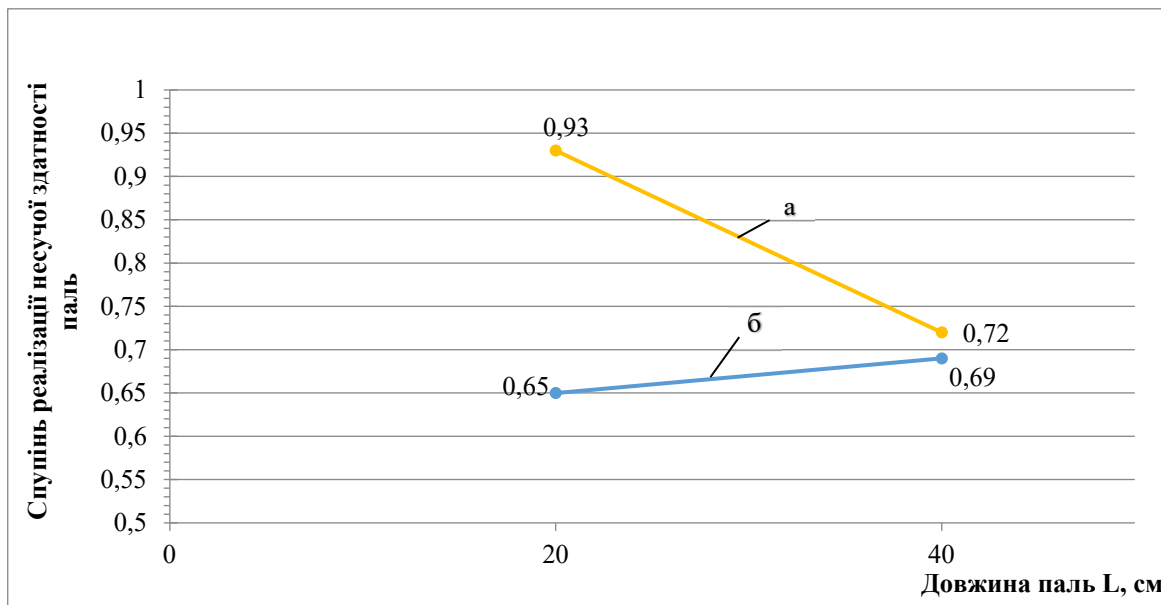


Рис. 19 – Залежність ступеню реалізації несучої здатності палі у складі фундаменту від кроку і довжини паль: а і б – при кроці паль 3d і 6d відповідно

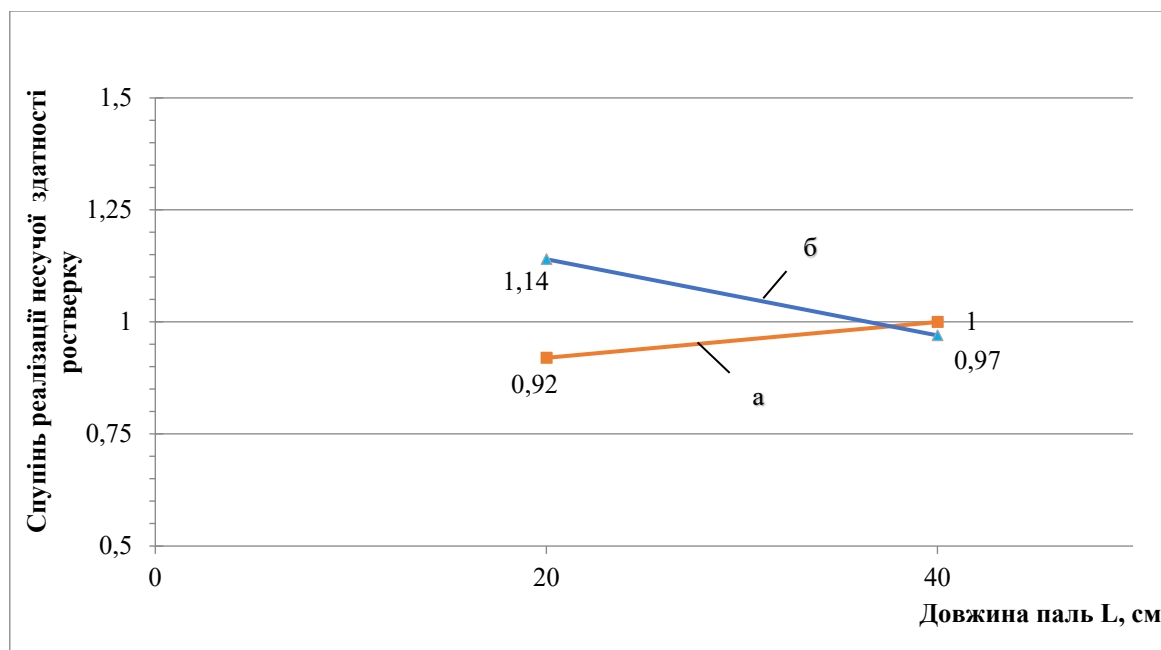


Рис. 20 – Графік залежності ступеня реалізації ростверку: а і б – при кроці паль 3d і 6d відповідно

Ступінь реалізації несучої здатності паль складає від 0,65 до 0,93, а реалізація несучої здатності ростверка змінюється від 0,92 до 1,14 при найменшій кількості паль найменшої довжини.

Висновки

1. Застосування коротких паль при підсиленні стрічкових фундаментів (довжина паль сумірна з шириною ростверка підсиленого фундаменту) є достатньо ефективним. Перехід від коротких до довгих паль, що мають на 50% більшу довжину, збільшує несучу здатність підсилюваного фундаменту лише на 10-15%.
2. Найбільш оптимальним варіантом розміщення паль підсилення є розміщення їх з кроком, який відповідає розміру подошви умовного фундаменту навколо одиночної палі.
3. Замінювати пальовий фундамент на умовний фундамент мілкого закладання з метою визначення його несучої здатності некоректно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маєвська І. В., Городнік Л. А. Планування експерименту дослідження підсилення фундаменту мілкого закладання короткими палями. *Інноваційні технології в будівництві: тези міжнар. наук.-техн. конф. м. Вінниця, 10-12 лист. 2020 р. Вінниця, 2020.* URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10847>
2. Знаменский В.В., Рузаев А. М., Польшков И.Н. Взаимодействие низкого ростверка со сваями. Вестник МГСУ.2008. Т.2. с.48-51
3. Маєвська І. В., Блашук Н.В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсиленних палями фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 183 с.

Городнік Лілія Анатоліївна — студентка групи Б-20м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: lb.16b.zabashanska@gmail.com

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — к. т. н, доцент, кафедра будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com, maevska@vntu.edu.ua

Horodnik Liliia — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: lb.16b.zabashanska@gmail.com

Supervisor: **Irina V. Mayevska** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: irina.mayevskaja@gmail.com maevska@vntu.edu.ua