

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.15

DOI 10.31649/2311-1429-2023-2-75-88

І. В. Маєвська
М. М. Попович
Л. А. Городнік

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ КОРОТКИХ ПАЛЬ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ФУНДАМЕНТІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

У даній роботі проаналізовані результати фізичного моделювання підсилення фундаменту мілкового закладання пересаджуванням на палі на маломасштабних моделях. Досліджувався перерозподіл навантаження між елементами підсиленого готовими (збірними) палями стрічкового фундаменту мілкового закладання. Моделювалась робота існуючого стрічкового фундаменту, підсилення його палями, утворення ростверку новоствореного пальового фундаменту, при цьому варіювались відносна довжина паль та їх крок уздовж ряду, характер розміщення паль підсилення (виносні або влаштовані кризь тіло фундаменту), щільність піщаної основи. Також досліджено роботу моделей одиночних паль різної довжини та ростверку без паль як фундаменту мілкового закладання. Визначено характер включення у роботу паль та новоствореного ростверку. Наведені залежності несучої здатності елементів пальового фундаменту, ступенів реалізації цієї несучої здатності при спільній роботі в ґрунтовому середовищі від відносної довжини і кроку паль, щільності ґрунту основи. Визначені питомі значення несучої здатності паль підсилення на одиницю витраченого матеріалу.

Проаналізовано отримані результати щодо відмінності включення у роботу коротких та довгих паль при підсиленні з порівнянням усіх варіантів.

Ключові слова: стрічковий фундамент, фізичне моделювання, паля, підсилення, ростверк, короткі палі, ступінь реалізації несучої здатності.

Вступ

Розробка і удосконалення розрахунку конструктивних рішень підсилення фундаментів є актуальною задачею. Одним з варіантів такого підсилення є пересаджування стрічкового фундаменту мілкового закладання на палі. З практики відомі пропозиції щодо використання з цією метою відносно коротких паль, які сумірні з шириною ростверку. Рекомендовані в нормативній літературі методики розрахунку паль підсилення [1, 2] є доволі умовними і не враховують цілу низку параметрів, що впливають на несучу здатність підсиленого фундаменту. Зокрема вважається, що на ростверк новоствореного фундаменту передається те саме навантаження, яке фундамент мілкового закладання сприймав до підсилення, а додаткове навантаження сприймається палями із 100-відсотковою реалізацією їх несучої здатності, при цьому зовсім не враховується різний напружений стан під подошвою ростверків з короткими і довгими палями.

Великою кількістю дослідів, як в нашій країні, так і за кордоном, встановлено, що у складі пальового фундаменту з низьким ростверком частина навантаження передається на палі, а частина – на ростверк, навантаження між палями розподіляється нерівномірно. Виявлені суттєві відмінності роботи палі у групі у порівнянні з роботою одиночної палі. Слід відзначити роботи В. М. Голубкова (1966), А. О. Бартоломея (1972), В. О. Сернова (2010), І. П. Бойка (2012), А. В. Самородова (2017), В. Л. Підлуцького (2012), Burland J. V. (1977), Hanna T. H. (1963), Whitaker T. (1977), Katzenbach R. (1998), Poulos H. G. (1980), Randolph M. F. (1994) та ін., які заклали основи підходів до визначення впливу низького ростверку на роботу пальових груп. Переважна кількість робіт присвячена роботі у групах забивних паль, а при розгляді пальових груп аналізується робота пальових кушів. Лише незначна частина досліджень розглядає окремі випадки роботи стрічкових пальових фундаментів.

У роботах Nguyen, D. D. C., Jo S. V., Kim D. S. [3], Davids [4], Elwakil A. Z., Azzam W. R. [5] досліджена робота пальових кушів з паль різної довжини і відзначено, що частина надземного навантаження, що передається на ґрунт через контактний тиск ростверку, коливається в межах 30–60 % від загального навантаження в залежності від стану ґрунту основи. Цей відсоток збільшується із зменшенням довжини паль і збільшенням кроку паль.

Кількість робіт, що присвячена вивченню роботи паль і ростверку у складі стрічкового пальового фундаменту, незначна. Дослідні дані А. О. Бартоломея, Borel S., Combarieu O. [6], Самородова О. В. [7] є результатами спостережень за стрічковими пальовими фундаментами.

Ще менша кількість робіт розглядає відмінності роботи паль підсилення у порівнянні з роботою паль у нових пальових фундаментах [8, 9].

Роботи, де аналізується відмінність у поведінці коротких і довгих паль при підсиленні фундаментів практично відсутні. Отже, в даній роботі поставлена задача проаналізувати таку відмінність за результатами фізичного моделювання підсилення фундаменту мілкого закладання пересаджуванням на палі на маломасштабних моделях.

Виклад основного матеріалу дослідження

Дослідження пальових фундаментів різних видів проводиться при кафедрі “Будівництва, міського господарства та архітектури” Вінницького національного технічного університету з 1980 року. В даній роботі для аналізу відмінності у поведінці коротких і довгих паль при підсиленні фундаментів використані результати фізичного моделювання підсилення фундаменту мілкого закладання пересаджуванням на палі на маломасштабних моделях Блащук Н. В. [8] та Городнік Л. А. [10, 11].

Програма та устаткування для проведення фізичного моделювання

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 1800×1200×1000 мм. В якості упорної системи для передачі навантаження на моделі використовується металева рама з прокатних профілів, що дозволяє передавати навантаження на модель до 50 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.

У дослідах Блащук Н. В. пісок в лоток насипався з досягненням щільності, що відповідала коефіцієнту пористості $e = 0,6$ (близько до нижньої межі діапазону середньої щільності). У дослідах Городнік Л. А. пісок в лоток насипався з досягненням щільності, що відповідала коефіцієнту пористості $e = 0,7$ (близько до верхньої межі діапазону середньої щільності).

В таблиці 1 наведені характеристики піску, який використовувався для випробування.

Таблиця 1

Фізичні характеристики піщаного ґрунту у лотку

Назва характеристики	За дослідями Городнік Л. А.	За дослідями Блащук Н. В.
Щільність, кг/м ³	1670	1770
Вологість	0,07	0,06
Коефіцієнт пористості	0,70	0,60

Прийнятий масштаб фізичного моделювання 1:15.

Для моделювання натурних паль довжиною 3 м та 6 м з поперечним перерізом 300×300 мм використано дерев'яні моделі з поперечним перерізом 20×20 мм, довжиною 200 і 400 мм.

Навантаження на ростверк передавалось за допомогою домкратів, а для виміру зусилля, що передавалось, використовувався динамометр. Домкрат і динамометр розраховані на передачу навантаження до 5 - 10 т.

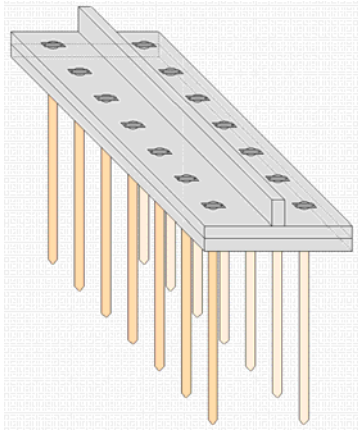
Переміщення фундаменту визначалось за допомогою прогиномірів, а для визначення навантаження, що припадає на кожну палю, були виготовлені спеціальні тензометричні наголовники.

Для аналізу відмінності поведінки паль і ростверку у складі фундаменту і поведінки одиночної палі та плити ростверку проведені випробування одиночних паль різної довжини та плити ростверку без паль.

Навантаження одиночних паль виконувалось за допомогою спеціального важеля, що шарнірно кріпиться до стінки лотка.

Для досліджень Блащук Н. В. було виготовлено дві моделі стрічкового фундаменту мілкого закладання (рис. 1). Модель №1 відображає роботу фундаменту при підсиленні палями крізь його тіло, а модель №2 – при влаштуванні виносних паль. Обидві моделі забезпечують можливість занурення паль з кроком, кратним 3d, уздовж ростверку.

Модель №1



Модель №2

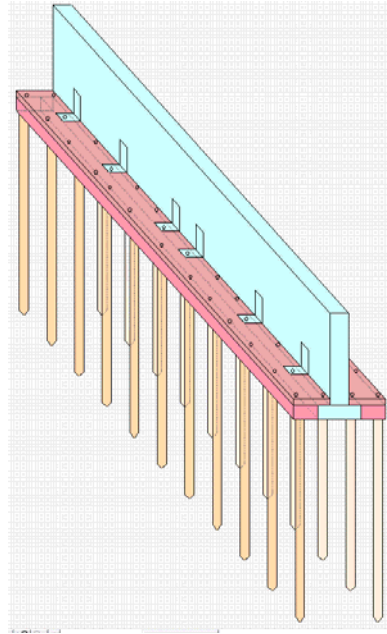


Рисунок 1 – Просторові схеми моделей фундаментів

На рис. 2 та 3 наведені геометричні розміри виготовлених моделей. Ширина моделі №1 складає $B = 235$ мм, ширина новоствореного ростверку моделі №2 $B = 150$ мм.

У дослідях Блащук Н. В. використовувались обидві моделі, у дослідях Городнік Л. А. тільки модель №1. У таблиці 2 наведена програма проведених досліджень.

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;
- 3) встановлення ростверку у лотку і завантаження для моделювання роботи існуючого фундаменту мілкого закладання до загального навантаження 16 кН;
- 4) передавання навантаження на фундамент ступенями з витримкою кожного ступеня до стабілізації деформацій (не більше 0,25 мм за 15 хв. спостережень);
- 5) занурення паль разом із тензометричними датчиками;
- 6) продовження передавання 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.

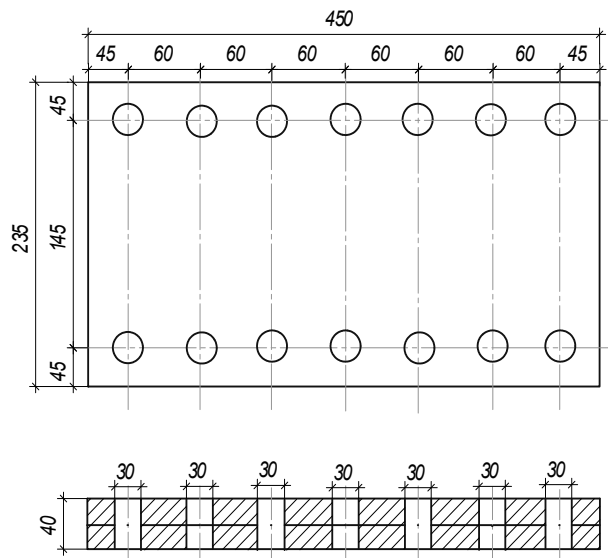


Рис. 2 – Геометричні параметри моделі №1 фундаменту (ростверку)

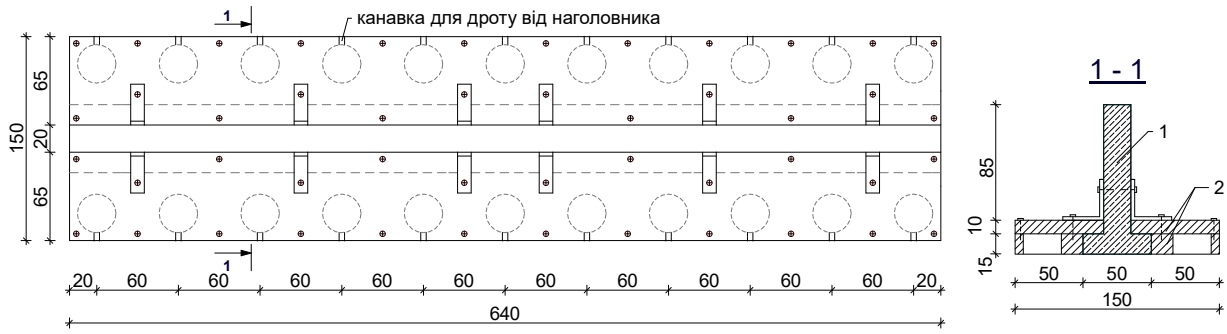


Рисунок 3 – Геометричні параметри моделі №2 фундаменту та ростверку

Таблиця 2

Програма модельних випробувань

Група дослідів	Щільність ґрунту	Крок паль у поздовжньому напрямку (а)	Відстань між рядами паль (b)	Ширина ростверку, В, мм	Модель фундаменту	Довжина паль, мм
1	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	3d	7d	235	1	200
			5d	150	2	400
			5d	150	2	200
2	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	6d	7d	235	1	400
			5d	150	2	200
			5d	150	2	400
3	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,7$	3d	7d	235	1	200
			7d	235	1	400
		6d	7d	235	1	200
						400

Дослідна конструкція у готовому до випробування стані, показана на рис. 4 та 5.



Рисунок 4 – Конструкція моделювання підсилення фундаменту при застосуванні моделі №1



Рисунок 5 – Конструкція моделювання підсилення фундаменту при застосуванні моделі №2

Під час досліджень виконано моделювання одиночних паль довжиною 200 мм та 400 мм та плит фундаментів без паль на поверхні ґрунтового масиву (рис. 10). Процес випробування одиночної палі зображений на рис. 6, процес випробування плити моделі №1 на рис. 7.



Рисунок 6 – Процес випробування одиночної палі в лотку



Рисунок 7 – Випробування плити моделі №1 без палі

Результати фізичного моделювання

В результаті проведення груп дослідів за програмою експериментального дослідження були одержані залежності навантаження на підсилений фундамент від його осідання. Були покровоно зафіксовані навантаження, що сприймають палі у складі підсиленого фундаменту.

Відповідно були одержані залежності навантаження – осідання для одиночних палі та плит фундаментів без палі.

На рис. 8 – 10 наведено графіки залежності осідання – навантаження фундаменту до підсилення - I стадія та після підсилення - II стадія при кроці 3d і 6d з різними довжинами палі (20 і 40 см) до втрати несучої здатності для різних груп дослідів. Крива осідання-навантаження для I стадії роботи фундаменту до підсилення для розглянутих випадків практично співпадає.

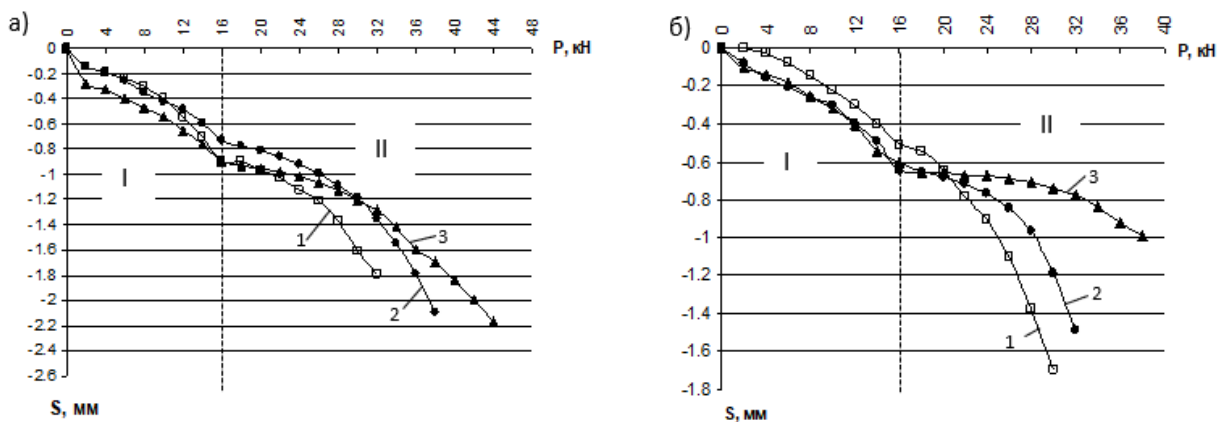


Рисунок 8 – Графіки залежності осідання - навантаження для моделі №1 при кроці 3d (а) і 6d (б) для груп дослідів 1 та 2:

I стадія – робота моделі фундаменту до підсилення; II стадія – робота моделі підсиленого палями фундаменту;
1 – для палі довжиною 20 см; 2 – для палі довжиною 30 см; 3 – для палі довжиною 40 см

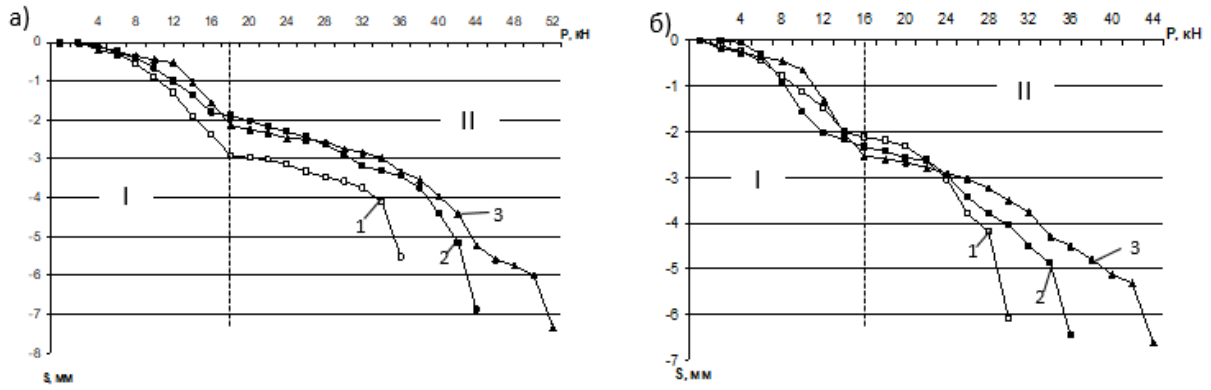


Рисунок 9 – Графіки залежності осідання - навантаження для моделі №2 при кроці паль 3d (а) і 6d (б) для груп дослідів 1 та 2:
 I стадія – робота моделі фундаменту до підсилення; II стадія – робота моделі підсиленого палями фундаменту;
 1 – палі довжиною L=20 см;
 2 - L=30 см; 3 - L=40 см

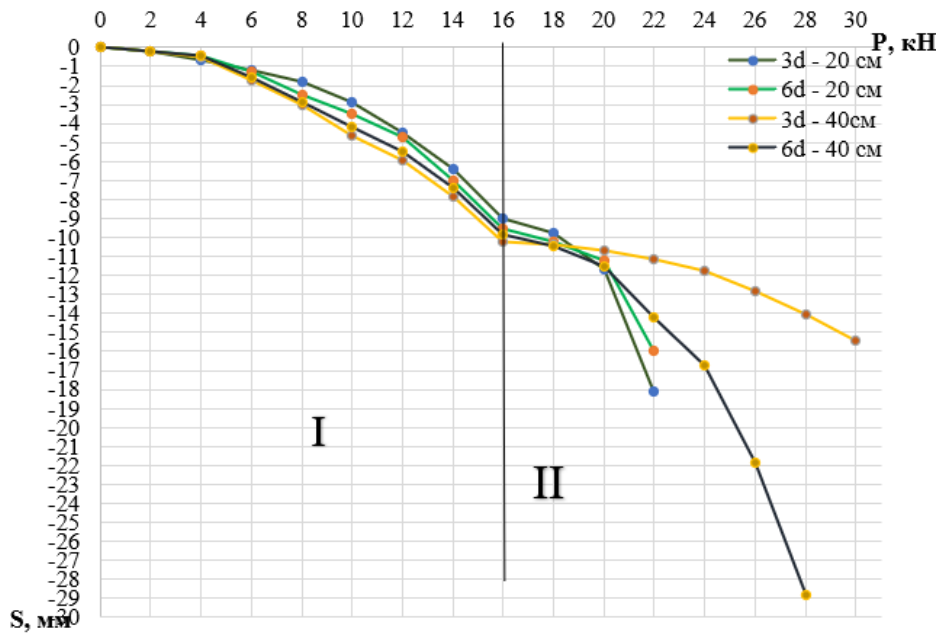


Рисунок 10 – Графіки залежності осідання – навантаження фундаменту з кроком паль 3d та 6d для групи дослідів 3:
 I стадія – робота фундаменту до підсилення; II стадія – робота підсиленого палями фундаменту

Аналіз отриманих результатів фізичного моделювання з підсилення фундаменту мілкою закладання палями різної довжини

По отриманих результатах експериментів було зроблено порівняння роботи пальового фундаменту з роботою його окремих елементів при втраті несучої здатності (табл. 3). Частка навантаження, яке сприймають палі фундаменту, визначається як сума зусиль в палях, замірених тензометричними датчиками, частка навантаження, яку сприймає ростверк, визначалась як різниця між навантаженням на фундамент та сумою зусиль в палях.

Таблиця 3

Порівняння роботи пального фундаменту з роботою його окремих елементів

Довжина палів, см	Крок палів уздовж ряду	№ моделі	Кількість палів	Об'єм палів, дм ³	Щільність ґрунту	При роботі у складі фундаменту						При роботі кожного з елементів як окремого				Питома несуча здатність палів підсилення, кН/дм ³
						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 однієї палі, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається плитою ростверку без палів, кН	Навантаження фундаментів, як сума окремих елементів кН		
20	3д	1	14	1,12	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,7$	0,42	5,87	16,1	22	73	0,405	5,67	16	21,67	5,36	
		1	14	1,12	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	0,57	8	24	32	75	0,55	7,7		23,7	14,28	
		2	22	1,76	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	0,77	17	20	37	54	0,55	12,1		28,1	11,93	
	40	6д	1	8	0,64	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,7$	0,35	2,81	21,2	24	88	0,405	3,24		19,24	12,5
			1	8	0,64	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	0,75	6	24	30	80	0,55	4,4		20,4	21,88
			2	12	0,96	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	0,92	11	19	30	63	0,55	6,6		22,6	14,58
40	3д	1	14	2,24	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,7$	0,82	11,52	18,5	30	62	0,95	13,3	16	29,3	6,25	
		1	14	2,24	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	1,36	19	25	44	57	1,1	15,4		31,4	12,5	
		2	22	3,52	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	1,45	32	20	52	38	1,1	24,2		40,2	10,22	
	6д	1	8	1,28	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,7$	0,905	7,24	20,76	28	74	0,95	7,6		23,6	9,38	
		1	8	1,26	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	1,69	13,5	24,5	38	64	1,1	8,8		24,8	17,19	
		2	12	1,92	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3$ $e = 0,6$	2,0	24	20	44	45	1,1	13,2		29,2	14,58	

Графік залежності несучої здатності фундаменту в цілому, окремо ростверку та паль в складі фундаменту в залежності від довжини паль при кроці паль 3d та 6d зображено на рис. 11 та 12.

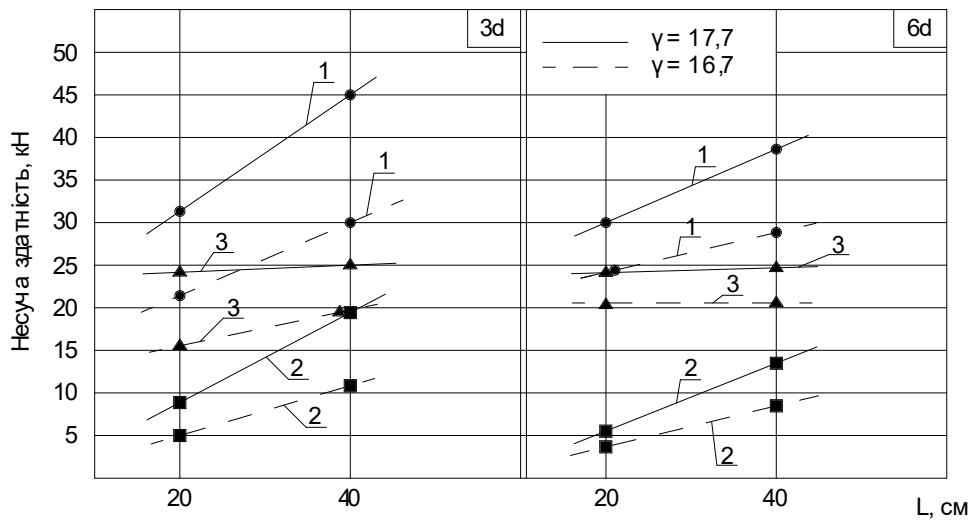


Рисунок 11 – Графік залежності несучої здатності фундаменту та його елементів для моделі №1 від довжини паль та щільності ґрунту при кроці паль 3d (а) і 6d (б): 1 – несуча здатність фундаменту в цілому; 2 – несуча здатність паль; 3 – несуча здатність ростверку

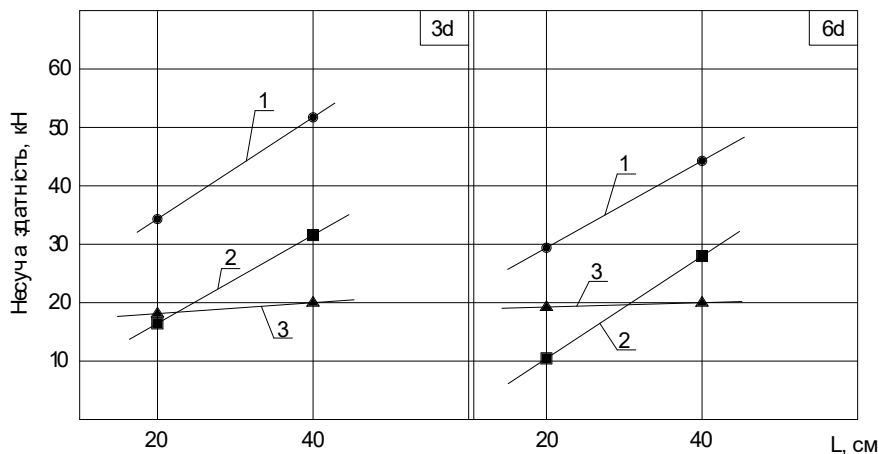


Рисунок 12 - Графік залежності несучої здатності фундаменту та його елементів для моделі №2 від довжини паль при кроці паль 3d (а) і 6d (б): 1 – несуча здатність фундаменту в цілому; 2 – несуча здатність паль; 3 – несуча здатність ростверку

Оскільки площа ростверку при збільшенні кроку і довжини паль не змінюється, то закономірно збільшення довжини паль і зменшення їх кроку (що збільшує їх кількість) призводить до збільшення несучої здатності підсиленого фундаменту. Але збільшення довжини паль при сталому кроці в два рази призводить до збільшення несучої здатності підсиленого фундаменту на 26-52% у більш щільному ґрунті і на 17-36 % у менш щільному. Це свідчить про мешу ефективність довгих паль.

Одночасно збільшення кількості паль у 1,75-1,8 рази за умови сталої їх довжини при зменшенні їх кроку призводить збільшення несучої здатності підсиленого фундаменту лише на 7-13% для коротких паль і на 15% для довгих паль у більш щільному ґрунті і майже не впливає на зміну несучої здатності у менш щільному ґрунті. Отже, більш ефективно працюють фундаменти при більшому кроці паль уздовж ряду.

З графіків на рис. 11 та 12 видно також, що несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту залишається практично сталою при зміні довжини і кроку паль, а підвищення несучої здатності фундаменту здійснюється за рахунок збільшення довжини і кількості паль, хоча і не пропорційно збільшенню кількості застосованих матеріалів.

Визначена частка ростверку у несучій здатності підсиленого фундаменту наведена в таблиці 3. Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, від довжини паль при кроці паль 3d і 6d зображено на рис. 13.

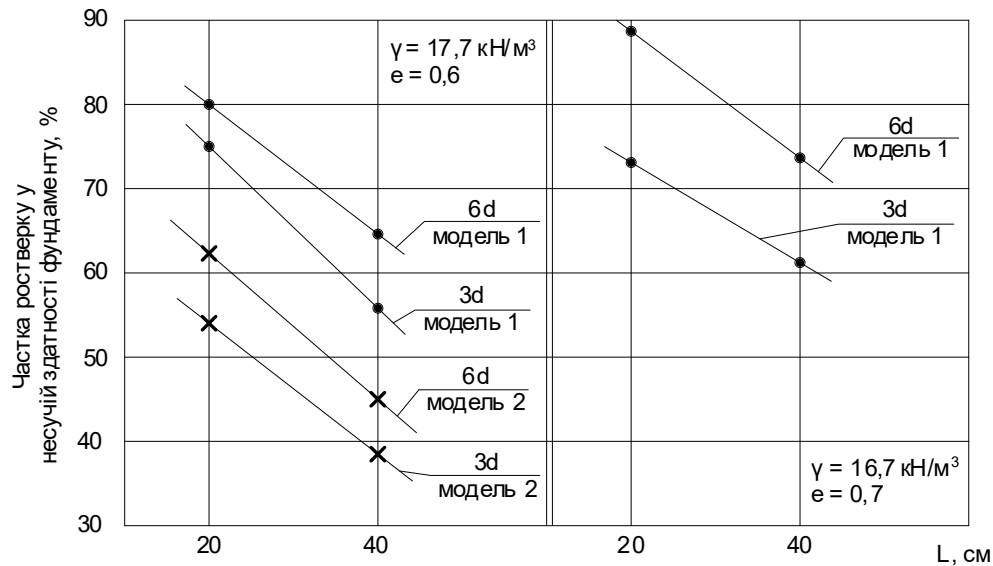


Рисунок 13 – Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, від довжини паль, їх кроку і щільності ґрунту

Графіки рис. 13 підтверджують, що оскільки несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту залишається практично сталою, то частка ростверку зменшується при збільшенні довжини паль і зменшенні кроку, коли зростає вплив несучої здатності паль на загальне навантаження, яке сприймається фундаментом.

В попередніх роботах [12] було запропоновано для нових фундаментів оцінювати внесок кожного з елементів пального фундаменту до загальної несучої здатності через їх ступінь реалізації. Ступінь реалізації несучої здатності паль визначається 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.

Доцільно визначити такі параметри і для фундаменту, підсиленого палями. У таблиці 4 та на рис. 14, 15 наведені результати визначення цих параметрів за результатами фізичних експериментів.

Таблиця 4

Ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверку

Довжина паль, см	Крок паль уздовж ряду	№ моделі	Кількість паль	Щільність ґрунту	Ступінь реалізації несучої здатності палі	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
20	3d	1	14	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,7$	1,04	1,0
		1	14	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,04	1,5
		2	22	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,4	1,25
	6d	1	8	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,7$	0,86	1,32
		1	8	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,36	1,5
		2	12	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,67	1,19
40	3d	1	14	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,7$	0,86	1,16
		1	14	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,24	1,56
		2	22	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,32	1,25
	6d	1	8	$\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,7$	0,95	1,3
		1	8	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,54	1,53
		2	12	$\gamma = 17,7 \text{ кН/м}^3 \quad e = 0,6$	1,82	1,25

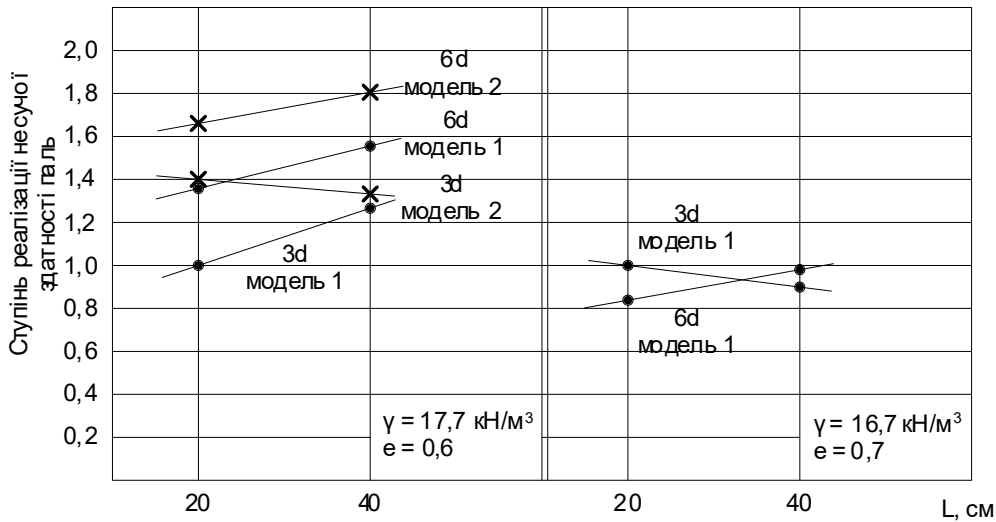


Рисунок 14 – Залежність ступеню реалізації несучої здатності паль у складі підсиленого фундаменту від кроку, довжини паль і щільності ґрунту

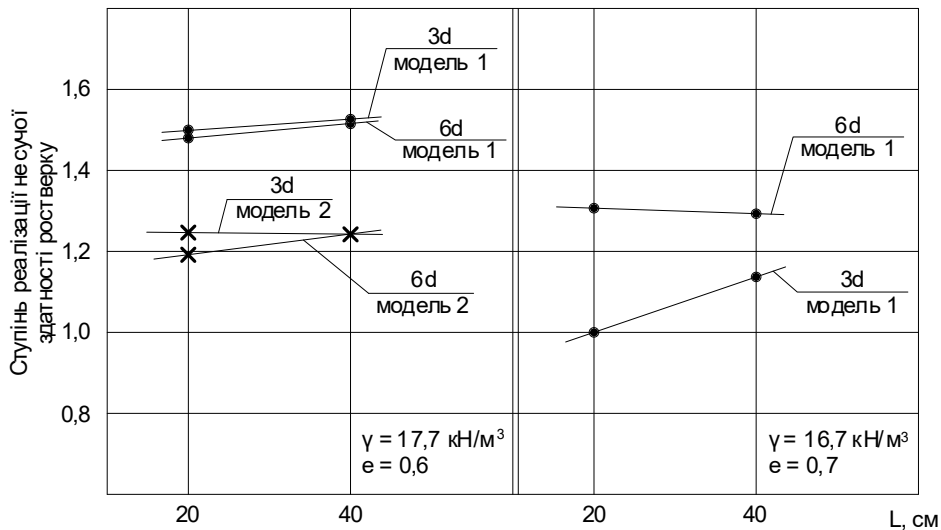


Рисунок 15 – Графік залежності ступеня реалізації ростверку у складі підсиленого фундаменту від кроку, довжини паль і щільності ґрунту

Як бачимо, у більш щільних ґрунтах ступінь реалізації паль перевищує одиницю, отже палі підсилення працюють більш ефективно, ніж одиночні. Помітно, що ступінь реалізації паль вище при більшому кроці паль і дещо збільшується при збільшенні довжини паль. У менш щільних ґрунтах ступінь реалізації паль близький до одиниці практично незалежно від довжини і кроку паль.

Степень реалізації ростверку у більш щільних ґрунтах змінюється від 1,2 до 1,5 і практично не залежить від довжини і кроку паль підсилення. У менш щільних ґрунтах ступінь реалізації ростверку більший при більшому кроці паль.

В роботах зарубіжних авторів у аналіз факторів, що впливають на ефективність стрічкового пального фундаменту, включають ширину ростверку [5]. Проаналізуємо вплив на роботу підсиленого фундаменту такого параметра, як відношення довжини палі, L , до ширини ростверку, B . Це можна зробити за результатами досліджень Блащук Н. В. у більш щільних ґрунтах, оскільки вони були проведені на двох моделях з різною шириною ростверку.

На рис. 16 наведена залежність загальної несучої здатності фундаменту від відносної довжини паль. Цей графік підтверджує висновки, зроблені за рис. 11, 12 про збільшення несучої здатності підсиленого фундаменту при збільшенні довжини і кількості паль. Бачимо чітку залежність не тільки від абсолютної довжини паль, а і від її відношення до ширини ростверку.

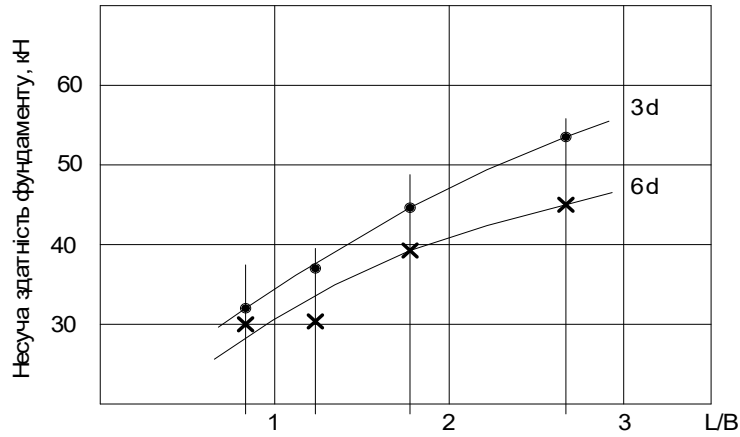


Рисунок 16 – Залежність несучої здатності фундаменту від відношення довжини палі до ширини ростверку за результатами випробувань у більш щільних ґрунтах

На рис. 17, 18 наведені залежності ступеня реалізації несучої здатності палі і ростверку від відносної довжини палі для випробувань у більш щільних ґрунтах.

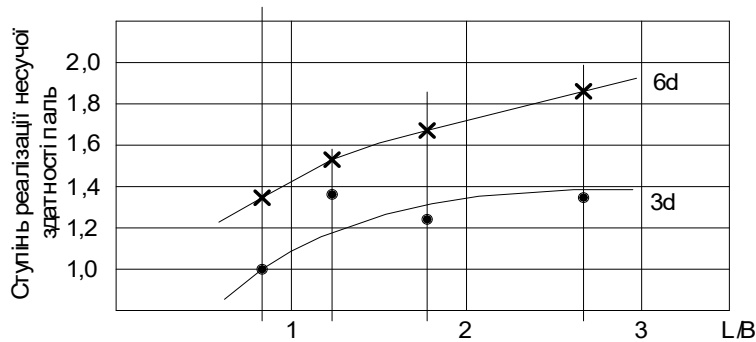


Рисунок 17 – Залежність ступеню реалізації несучої здатності палі у складі підсиленого фундаменту від відносної довжини палі для випробувань у більш щільних ґрунтах

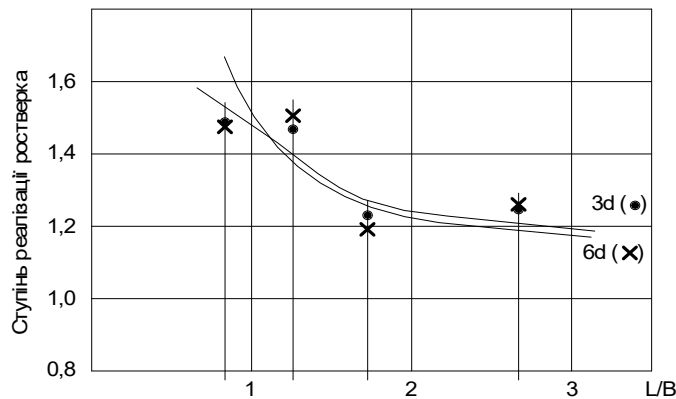


Рисунок 18 – Залежність ступеню реалізації несучої здатності ростверку у складі підсиленого фундаменту від відносної довжини палі для випробувань у більш щільних ґрунтах

Ступінь реалізації палі вище при більшому кроці палі і збільшується при збільшенні відносної довжини палі. Це пояснює різницю в результатах визначення цього параметра на рис. 14 для моделей 1 та 2.

Ступінь реалізації ростверку у більш щільних ґрунтах практично не залежить від абсолютної довжини палі і кроку палі підсилення за рис. 15, але на рис. 18 видно, що ступінь реалізації ростверку зменшується із збільшенням відносної довжини палі.

Отже, ефективність роботи ростверку найвища при довжині паль, що близька до ширини ростверку, а ефективність роботи паль підвищується при збільшенні їх кроку.

У таблиці 3 наведений ще один параметр, який дозволяє проаналізувати ефективність роботи паль підсилення роботи паль підсилення. Це питома несуча здатність паль підсилення, кН/дм^3 , що визначається як відношення додаткового навантаження на фундамент в результаті підсилення до об'єму паль підсилення. На рис. 19 та 20 наведені залежності питомої несучої здатності паль підсилення від відносної довжини паль для різних умов випробування.

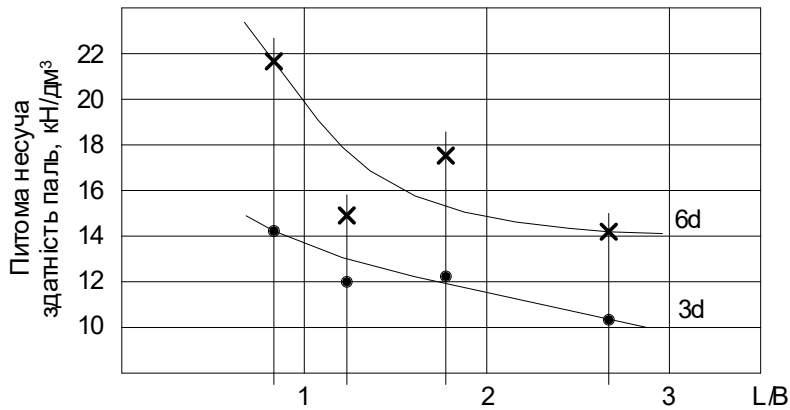


Рисунок 19 – Залежність питомої несучої здатності паль підсилення від відносної довжини паль для випробувань у більш щільному ґрунті

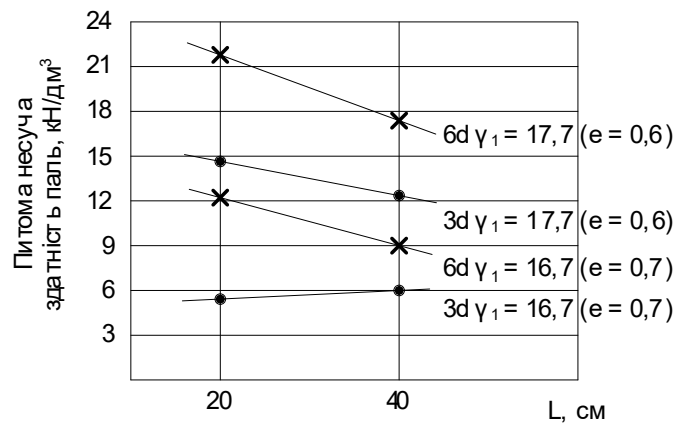


Рисунок 20 – Залежність питомої несучої здатності паль підсилення від відносної довжини паль для випробувань на моделі 1

Як бачимо ці графіки підтверджують більшу ефективність відносно коротких паль при більшому їх кроці уздовж ряду.

Висновки

1. Несуча здатність ростверку у складі підсиленого стрічкового фундаменту залишається практично сталою при зміні довжини і кроку паль, а підвищення несучої здатності фундаменту здійснюється за рахунок збільшення довжини і кількості паль. Перехід від коротких до довгих паль, що мають на 100% більшу довжину, збільшує несучу здатність підсилюваного фундаменту непропорційно менше (на 26-52% у більш щільному ґрунті і на 17-36 % у менш щільному).
2. Ступінь реалізації паль вище при більшому кроці паль і збільшується при збільшенні відносної довжини паль і щільності ґрунту основи.
3. Застосування коротких паль при підсиленні стрічкових фундаментів (довжина паль сумірна з шириною ростверку підсиленого фундаменту) є достатньо ефективним. Питома несуча здатність паль підсилення найбільша при застосуванні коротких паль і збільшується при збільшенні їх кроку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 161 с.
2. ВБН В.2.1-1-97. Основи і фундаменти будівель та споруд. Підсилення фундаментів будівель та споруд, побудованих на лесових ґрунтах, буройн'єкційними палями [Чинний від 1998-01-05]. Київ : Укрмонтажспецбуд, 2002. 42 с. 15. (Відомчі будівельні норми України).
3. Nguyen, D. D. C., Jo S. B., Kim D. S. (2013). Design method of piled-raft foundations under vertical load considering interaction effects. *Computers and Geotechnics*, 47, 16-27.
4. Davids, A postcard from Dubai design and construction of some of the tallest buildings in the world, in: Proc. of the CTBUH 8 the World Congress, 3–5 March, Dubai, 2008.
5. Elwakil A. Z., Azzam W. R. Experimental and numerical study of piled raft system. *Alexandria Engineering Journal*. Volume 55, Issue 1, March 2016, Pages 547-560.
6. Borel S., Combarieu O. Some observations on piled footings. 2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering 1998 Budapest.
7. Самородов О. В. Розвиток наукових основ вибору раціональних параметрів комбінованих пальових і плитних фундаментів багатоповерхових будівель : дис. ... докт. техн. наук : 05.23.02. Харків, 2017. 322 с.
8. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 168 с.
9. Блащук Н.В., Маєвська І. В., Цимбал С. А. Різниця в роботі пальового фундаменту і підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання за результатами фізичного моделювання. „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. 2016. №1(20). С.31-39.
10. 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>.
11. Городнік Л.А., Маєвська І.В. Відмінність у роботі коротких та довгих паль при підсиленні фундаментів мілкого закладання. *Енергоефективність в галузях економіки України-2021: міжнар. наук.-техн. конф., м.Вінниця, 23-25 листоп. 2021 р. Вінниця, 2021*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/viewFile/13952/11812>
12. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 182 с.

REFERENCE

1. DBN V.2.1-10-2018. Osnovy ta fundamenty budivel' ta sporud. Osnovni polozhennya. [Chynne vid 2019-01-01]. Pereklyad. ofits. Kyuyiv: Minrehion Ukrainy, 2018. 161 s.
2. VBN V.2.1-1-97. Osnovy ta fundamenty budivel' ta sporud. Pidsylennya fundamentiv budivel' ta sporud, pobudovanykh na lisovykh gruntakh, buroin'yektsiynymy palyamy [Chynne vid 1998-01-05]. Kyuyiv: Ukrmontazhspeptsbud, 2002. 42 s. 15. (Vidomchi budivel'ni normy Ukrainy).
3. Nguyen, D. D. C., Jo S. B., Kim D. S. (2013). Design method of piled-raft foundations under vertical load considering interaction effects. *Computers and Geotechnics*, 47, 16-27.
4. A. Davids, Postcard vid Dubai dyzayn i arkhitektura deyakyykh arkhitekturnyykh budivel' v sviti, v: Proc. of the CTBUH 8 the World Congress, 3-5 bereznya, Dubai, 2008.
5. Elwakil A. Z., Azzam W. R. Experimental and numerical study of piled raft system. *Alexandria Engineering Journal*. Volume 55, Issue 1, March 2016, Pages 547-560.
6. Borel S., Combarieu O. Deyaki observations on piled footings. 2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering 1998 Budapesht.
7. Samorodov O. V. Rozvytok naukovyykh zasad vyboru ratsional'nykh parametriv kombinovanykh pal'ovykh ta plytynykh fundamentiv bahatopoverkhovykh budivel' : dys. ... dokt. tekhn. nauk : 05.23.02. Kharkiv, 2017. 322 s.
8. Mayevs'ka I. V., Blashchuk N. V. Urakhuvannya roboty rostverku u skladi strichkovyykh pal'ovykh ta pidsylenyykh svayamy fundamentiv : monohrafiya. Vinnytsya: VNTU, 2013. 168 s.
9. Blashchuk N.V., Mayevs'ka I. V., Tsymbal S. A. Riznytsya u roboti pal'ovoho fundamentu ta pidsylenoho svayamy strichkovoho fundamentu dribnoho zakladannya za rezul'tatamy fizychnoho modelyuvannya. „Suchasni tekhnolohiyi, materialy ta konstruktsiyi u budivnytstvi”, n/t zbirnyk VNTU, Vinnytsya. 2016. №1(20). S.31-39.
10. Mayevs'ka I. V., Horodnyk L. A. Planuvannya eksperymentu doslidzhennya pidsylennya fundamentu milkoho zakladannya korotkymy palyamy. Innovatsiyni tekhnolohiyi u budivnytstvi: tezy mizhnar. nauk.-tekhn. konf. m. Vinnytsya, 10-12 lyst. 2020 nar. Vinnytsya, 2020. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10847>.
11. Horodnyk L.O., Mayevs'ka I.V. Vidminnist' u roboti korotkykh ta dovykh svay pry pidsylenni fundamentiv milkoho zakladannya. *Enerhoefektyvnist' u haluziyakh ekonomiky Ukrainy-2021: mizhnar. nauk.-tekhn.konf., m. Vinnytsya, 23-25 lystop. 2021 nar. Vinnytsya, 2021*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/viewFile/13952/11812>
12. Mayevs'ka I. V., Blashchuk N. V. Robota pal' i rostverku u skladi stolbchastykh pal'ovykh fundamentiv: monohrafiya. Vinnytsya: VNTU, 2023. 182 s.

Маєвська Ірина Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. ORCID: 0000-0001-5999-6824, e-mail: maevska@vntu.edu.ua

Попович Микола Миколайович – к. т. н, доцент, кафедра будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: popovih@vntu.edu.ua

Городнік Лілія Анатоліївна – студентка факультету будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: zabashantska@gmail.com

I. Mayevska
M. Popovich
L. Horodnyk

FEATURES OF THE WORK OF SHORT PILES IN THE REINFORCEMENT OF SHALLOW FOUNDATIONS ACCORDING TO THE RESULTS OF PHYSICAL MODELING

Vinnytsia National Technical University

In this work, the results of physical modeling of the strengthening of the foundation of shallow laying by transplanting on piles on small-scale models are analyzed. The redistribution of the load between the elements of the strip foundation reinforced with ready-made (precast) piles of shallow laying was studied. The operation of the existing strip foundation, its reinforcement with piles, the formation of the grid of the newly created pile foundation was simulated, while the relative length of the piles and their step along the row, the nature of the placement of the reinforcement piles (removable or arranged through the body of the foundation), and the density of the sand base were varied. The operation of models of single piles of different lengths and grid without piles as a foundation for shallow laying was also investigated. The nature of inclusion in the work of piles and the newly created grid is determined. The dependences of the load-bearing capacity of the elements of the pile foundation, the degree of realization of this load-bearing capacity when working together in the soil environment, and the relative length and pitch of the piles, and the density of the base soil are given. The specific values of the load-bearing capacity of the reinforcement piles per unit of spent material are determined.

The obtained results were analyzed regarding the difference between the inclusion of short and long piles in the work of reinforcement with a comparison of all options.

Key words: strip foundation, physical modeling, pile, reinforcement, grillage, short piles, degree of implementation of bearing capacity.

Irina Mayevska – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: maevska@vntu.edu.ua

Mykola Popovich – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: popovich@vntu.edu.ua

Horodnyk Lilia – a student of the Faculty of Heat Power Engineering and Gas Supply at Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia; email: zabashtanska@gmail.com