

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТРИЧКОВОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ З ЗАБИВНИХ ТА БУРОВИХ ПАЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконане планування експерименту з чисельного моделювання роботи систем стрічковий ростверк – палі – ґрунт з дворядним розміщенням палей з метою дослідження взаємодії всіх елементів системи у програмному комплексі Plaxis 3D. Розглядаються варіанти палевих фундаментів з забивних та бурових палей.

Досліджена реалізація роботи ростверку і палей у складі дворядного стрічкового палевого фундаменту з забивних та бурових палей у порівнянні з роботою одиночної палі і ростверку як фундаменту мілкового закладання в залежності від геометричних параметрів фундаменту, виду палей і виду ґрунтів.

Встановлено, що ступінь реалізації несучої здатності палі і ростверку у складі палевого фундаменту залежить від відносної довжини і кроку палей. Реалізація несучої здатності бурових палей і ростверків відповідних фундаментів є більш інтенсивною у порівнянні з аналогічними фундаментами з забивних палей.

Ключові слова: дворядний стрічковий палевий фундамент, ростверк, забивна паля, бурова паля, перерозподіл навантажень, несуча здатність.

Abstract

The planning of the experiment on numerical modeling of the systems of the belt grid - piles - soil with two-row placement of piles was performed in order to study the interaction of all elements of the system in the software complex Plaxis 3D. Variants of pile foundations from driving and drilling piles are considered.

The implementation of the grid and piles in the two-row strip pile foundation of driven and drilling piles in comparison with the work of a single pile and grid as a foundation of shallow laying depending on the geometric parameters of the foundation, type of piles and soil type.

It is established that the degree of realization of bearing capacity of a pile and a grid as a part of the pile base depends on relative length and a step of piles. Realization of bearing capacity of drilling piles and grids of the corresponding bases is more intensive in comparison with similar foundations from driving piles.

Keywords: two-row strip pile foundation, grid, driving pile, drilling pile, load redistribution, bearing capacity.

Вступ

В Україні поширюється використання бурових палей, які мають переваги універсальності щодо ґрунтових умов, можливих геометричних параметрів, величини навантаження, що сприймається палею, відсутності динамічних впливів під час влаштування. Але безперечні переваги такі палі мають поки що тільки при значних навантаженнях, коли забивні палі не можуть бути використані. При навантаженнях середнього діапазону такі палі часто програють за техніко-економічними показниками. Це пов'язано з меншим навантаженням на одиницю витраченого матеріалу, яке може сприйняти одиночна бурова паля, у порівнянні з забивною або вдавлюваною внаслідок відсутності ущільнення ґрунту в навіколопальовому просторі під час влаштування.

Оскільки проектування фундаментів у вигляді груп палей здійснюється на підставі визначення граничного опору одиночної палі [1], то при однаковому навантаженні для фундаменту з бурових палей потрібна більша кількість матеріалів. Але рядом досліджень встановлено, що при роботі палей у групі відбувається покращення умов їх роботи, так званий позитивний куцовий ефект [2 - 9].

Покращення умов роботи палей у складі фундаментів можна пояснити включенням у роботу низького ростверку, а також причинами, дослідженими у роботах [8, 9]. Оцінка несучої здатності палей у складі фундаментів у цих роботах виконується з припущення, що за рахунок додаткових напружень по бічній поверхні і в рівні нижнього кінця палей, спричинених навантаженням від ростверку і взаємним впливом палей, створюється ефект «обтиснення» ствола палі, що збільшує тертя по бічній поверхні і опір під нижнім кінцем палі. Таким чином не тільки ґрунт під ростверком додає опору вертикальним навантаженням, а і палі у складі фундаменту краще себе реалізують.

На теперішній час відсутні методи визначення граничного опору палевих груп, які враховують взаємодію палей між собою та з низьким ростверком через ґрунт, особливо це стосується стрічкових

пальових фундаментів, а також фундаментів з бурових паль, для яких є дуже незначна кількість досліджень.

Створення адекватних методів визначення граничного опору стрічкового пальового фундаменту з врахуванням взаємної роботи всіх елементів і способу влаштування паль може підвищити ефективність і надійність проектних рішень, тому тема дослідження є актуальною і має практичне значення.

Потужним механізмом для вивчення взаємодії елементів фундаментів у ґрунтового середовищі є чисельне моделювання. Одним з програмних комплексів, в якому можна реально змоделювати ґрунтового середовище навколо палі є Plaxis 3D, який розроблений на основі методів скінчених елементів та умов просторової задачі.

Планування експерименту з чисельного моделювання роботи систем стрічковий ростверк – палі – ґрунт з дворядним розміщенням паль

У даній роботі були поставлені задачі:

- виконати огляд експериментальних досліджень сумісної роботи паль та низького ростверку у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту;
- шляхом чисельного моделювання, в якому використовується пружно-пластична модель ґрунту, методом скінчених елементів (МСЕ) проаналізувати напружено-деформований стан систем «ростверк – бурові палі – основа» та «ростверк – забивні палі – основа» для дворядних стрічкових пальових фундаментів;
- виявити вплив виду паль, фізико-механічних характеристик основи та роль геометричних параметрів пальових фундаментів на частку несучої здатності ростверку і паль у складі дворядних стрічкових пальових фундаментів при моделюванні методом скінчених елементів;
- дослідити відмінності у ступеню реалізації окремих елементів пальового фундаменту при застосуванні забивних та бурових паль.

При вирішенні поставлених задач було виконане математичне моделювання роботи під навантаженням дворядних стрічкових пальових фундаментів з забивних та бурових паль в програмному комплексі «Plaxis 3D Foundation».

Програма вивчення частки роботи ростверку і паль у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту передбачала наступні етапи:

- створення розрахункової схеми стрічкового пальового фундаменту;
- для порівняльної оцінки передбачено виконати моделювання роботи одиночних паль під навантаженням;
- дослідження залежності частки навантаження, що сприймає ростверк стрічкового пальового фундаменту, від довжини паль, їх виду, кроку в поздовжньому напрямку, відстані між рядами паль та характеристик ґрунту;
- побудова графіків залежності «осідання-навантаження» та порівняння отриманих результатів з теоретичними розрахунками.

При моделюванні були прийняті такі ж передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель стрічкового фундаменту з співвідношенням сторін $L/B > 10$;
- палі – призматичні або циліндричні з поперечним розміром $d=30$ см, довжиною 3, 6, 9, 12 та 15 м;
- розташування паль у два ряди;
- крок паль у поздовжньому напрямку 3d, 6d, 9d та 12d;
- відстань між рядами паль 3d, 5d, 7d, 9d;
- розміри розрахункової області в плані 40x60 м, по глибині розмір змінний в залежності від довжини паль;
- за навантаження, що сприймається стрічковим фундаментом мілкого закладання, приймається значення зовнішнього навантаження з урахуванням ваги ростверку при деформаціях, що не перевищують допустимого значення;
- навантаження, що сприймається палями, визначається як різниця прикладеного зовнішнього навантаження і навантаження, що сприймається ростверком, яке визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без врахування площі паль.

Модельні експерименти розділено на такі підгрупи:

I - моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній піщаній основі при сталій відстані між рядами паль 5d, що влаштовані без виймання ґрунту, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики піщаного ґрунту: $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 1$ кПа, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32$ МПа;

II - моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній піщаній основі при сталій відстані між рядами паль 5d, що влаштовані з вийманням ґрунту, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики піщаного ґрунту: $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 1 \text{ кПа}$, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32 \text{ МПа}$;

Таблиця 1 – Програма моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту для підгруп I, II та V, VI. Розміри ростверку 2,1×22,1 м

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль	Відстань між рядами паль
1	L=3 м, d=0,3 м	3d, 50 шт	5d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	
2	L=6 м, d=0,3 м	3d, 50 шт	5d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	
3	L=9 м, d=0,3 м	3d, 50 шт	5d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	
4	L=12 м, d=0,3 м	3d, 50 шт	5d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	
5	L=15 м, d=0,3 м	3d, 50 шт	5d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	

III - моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній піщаній основі при різній відстані між рядами паль, що влаштовані без виймання ґрунту, довжиною 9 м, програму моделювання наведено в табл. 2. Характеристики піщаного ґрунту: $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 1 \text{ кПа}$, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32 \text{ МПа}$;

Таблиця 2 - Програма моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту для підгрупи III, IV

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль, ростверку	Крок і кількість паль	Відстань між рядами паль
1	L=9 м, d=0,3 м, розміри ростверку 1,4×22,1 м	3d, 50 шт	3d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	
2	L=9 м, d=0,3 м, розміри ростверку 2,0×22,1 м	3d, 50 шт	5d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	
3	L=9 м, d=0,3 м, розміри ростверку 2,6×22,1 м	3d, 50 шт	7d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	
4	L=9 м, d=0,3 м, розміри ростверку 3,2×22,1 м	3d, 50 шт	9d
		6d, 26 шт	
		9d, 18 шт	
		12d, 14 шт	

IV - моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній піщаній основі при різній відстані між рядами паль, що влаштовані з вийманням ґрунту, довжиною 9 м, програму моделювання наведено в табл. 2. Характеристики піщаного ґрунту: $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 1 \text{ кПа}$, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32 \text{ МПа}$;

V - моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній основі (глинистий ґрунт) при сталій відстані між рядами паль 5d, що влаштовані без виймання ґрунту, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики глинистого ґрунту: $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 23 \text{ кПа}$, $\varphi = 21^\circ$, $E = 21 \text{ МПа}$;

VI - моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній основі (глинистий ґрунт) при сталій відстані між рядами паль 5d, що влаштовані з вийманням ґрунту, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики глинистого ґрунту: $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 23 \text{ кПа}$, $\varphi = 21^\circ$, $E = 21 \text{ МПа}$;

VII - моделювання роботи одиночних паль (забивних та бурових) довжиною 3, 6, 9, 12 і 15 та стрічкового фундаменту мілкого закладання розмірами 1,4×22,1; 2,0×22,1 м, 2,6×22,1 м; 3,2×22,1 м у піщаному та глинистому ґрунті.

На першому етапі досліджень виконані модельні дослідження для підгруп I та II, які вже дозволяють порівняти роботу бурових і забивних паль у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту.

Результати дослідження системи «ростверк – палі – основа» для дворядного стрічкового пальового фундаменту у піщаному ґрунті

При моделюванні роботи стрічкового пальового фундаменту були враховані наступні фази роботи:

- робота ґрунтової товщі без фундаментів (початкова фаза);
- влаштування стрічкового пальового фундаменту;
- робота стрічкового пальового фундаменту під дією вертикального навантаження.

Модель стрічкового пальового фундаменту в програмі Plaxis 3D при поздовжньому кроці 3d для паль довжиною 6 м приведена на рис. 1.

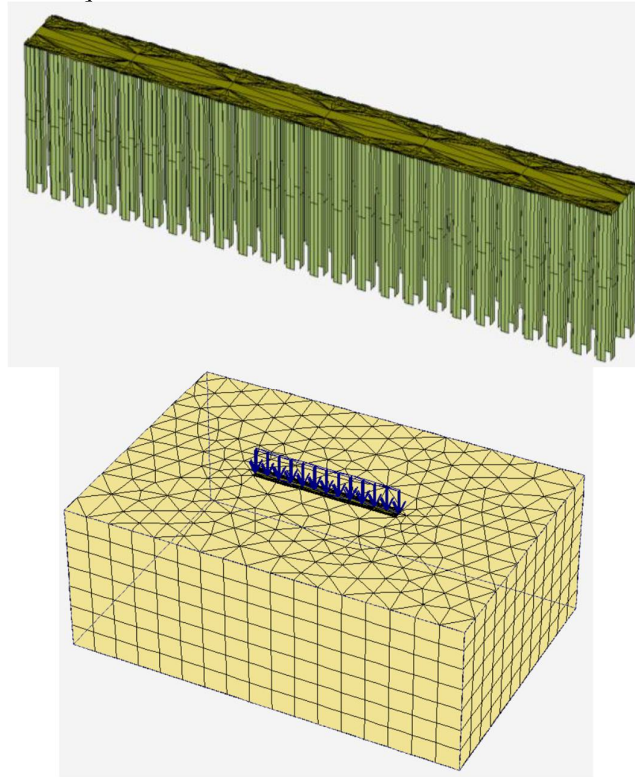


Рис. 1 – Розрахункова модель стрічкового пальового фундаменту при кроці паль 3d ($l=6 \text{ м}$) та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту

На рисунку 2 наведено приклад характерного графіку деформування основи стрічкового пальового фундаменту при довжині паль 9 м та різному поздовжньому кроці паль.

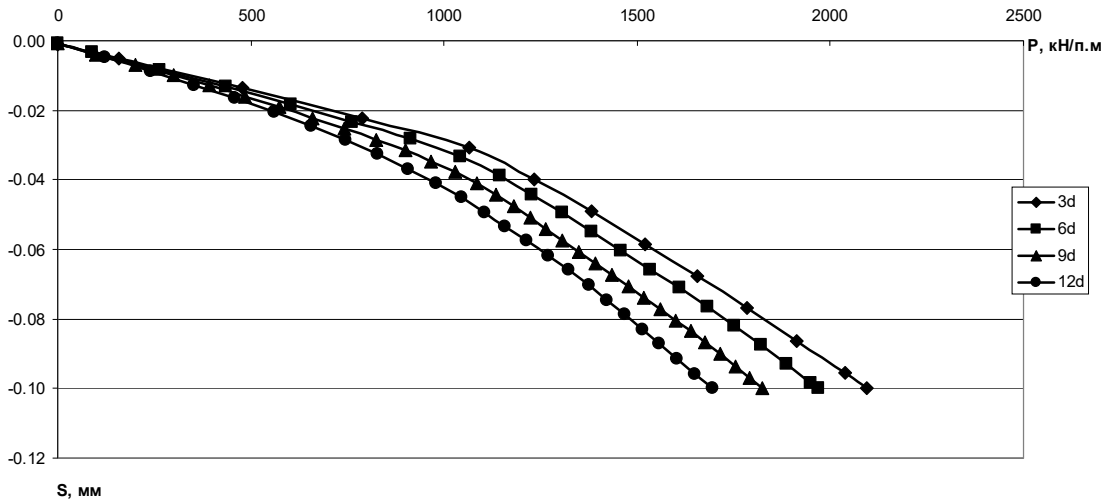


Рис. 2 – Графік залежності осідання – навантаження при довжині паль 9 м та різному кроці в поздовжньому напрямку

Мозаїки деформацій для стрічкового пальового фундаменту, при довжині паль 9 м, зі змінним кроком паль, представлено на рисунку 3.

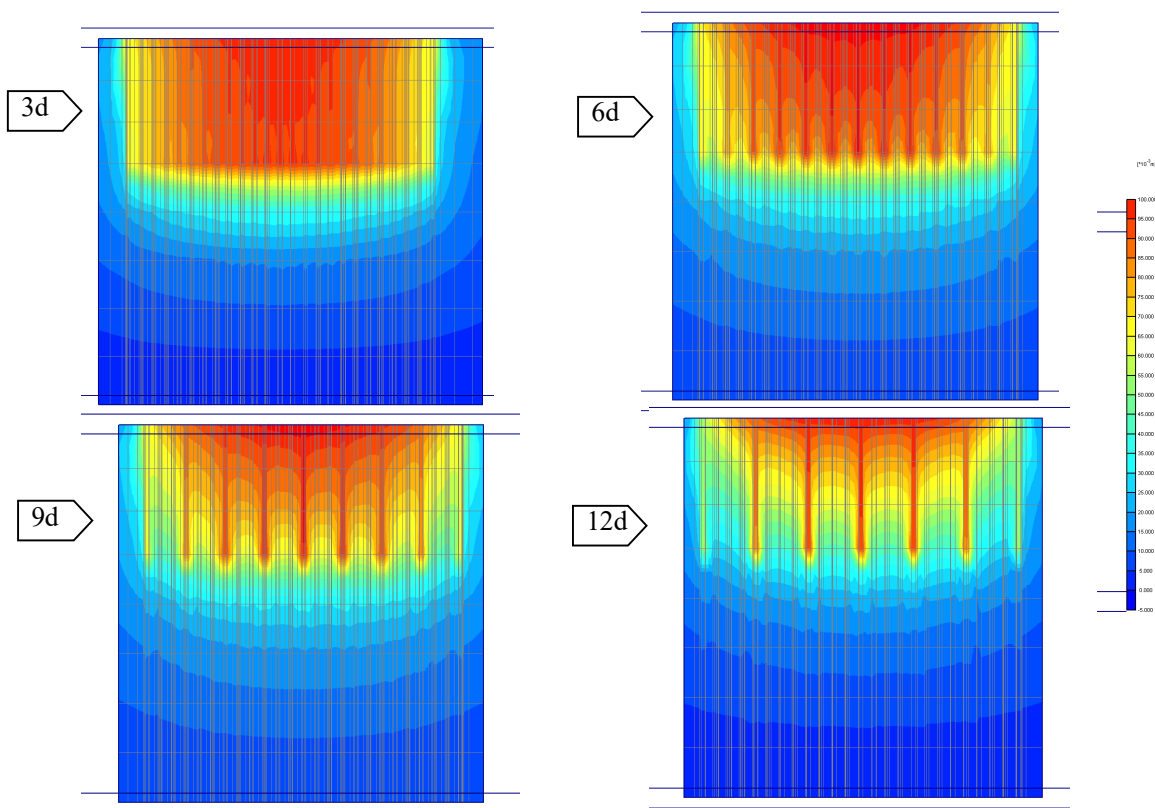


Рис. 3 – Мозаїки деформацій системи «паль – ростверк – основа» при різному кроці паль у повздовжньому напрямку, довжина паль 9 м

I. Моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній піщаній основі при сталій відстані між рядами паль 5d, що влаштовані без виймання ґрунту. Ґрунт піщаний: $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 1$ кПа, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32$ МПа.

Результати моделювання в піщаному ґрунті при відстані між рядами паль 5d наведені в таблиці 3. На рис. 4 та 5 наведені результати моделюванні роботи одиночних паль.

Таблиця 3 – Результати чисельного математичного моделювання роботи дворядного стрічкового пальового фундаменту на піщаній основі, при змінній довжині та поздовжньому кроці паль ($s=10$ см) (ґрунт – пісок, палі без виймання ґрунту)

Довжина паль, м, кількість паль	Поздовжній крок паль, м	Несуча здатність ф-ту, кН/п.м	Несуча здатність ростверку, кН/п.м	Несуча здатність палі у складі фундаменту, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Частка несучої здатності ростверку	Тиск під подошвою ростверку, кПа
3, n=50	3d = 0,9	1394	266	498,6	0,64	0,191	140,3
3, n=26	6d = 1,8	1324	489	709,8	0,91	0,369	245,2
3, n=18	9d = 2,4	1264	705	686,3	0,88	0,558	347,9
3, n=14	12d = 3,6	1239	723	814,5	1,04	0,583	353,9
6, n=50	3d = 0,9	1694	124	693,9	0,49	0,073	65,4
6, n=26	6d = 1,8	1602	320	1089,7	0,76	0,200	160,5
6, n=18	9d = 2,4	1514	578	1149,2	0,804	0,382	285,2
6, n=14	12d = 3,6	1424	668	1193,4	0,84	0,469	327,0
9, n=50	3d = 0,9	2092	128	868,1	0,39	0,061	67,5
9, n=26	6d = 1,8	1969	283	1433,1	0,65	0,143	141,9
9, n=18	9d = 2,4	1824	464	1669,8	0,76	0,255	228,9
9, n=14	12d = 3,6	1694	581	1757,0	0,80	0,343	284,4
12, n=50	3d = 0,9	2544	128	1067,9	0,34	0,050	67,5
12, n=26	6d = 1,8	2389	256	1813,1	0,58	0,107	128,4
12, n=18	9d = 2,4	2224	391	2250,5	0,73	0,176	192,9
12, n=14	12d = 3,6	2079	521	2459,4	0,79	0,250	255,0
15, n=50	3d = 0,9	3024	99	1292,9	0,32	0,033	52,2
15, n=26	6d = 1,8	2889	250	2243,2	0,56	0,087	125,4
15, n=18	9d = 2,4	2799	374	2977,4	0,74	0,134	184,5
15, n=14	12d = 3,6	2439	513	3040,3	0,76	0,210	251,1

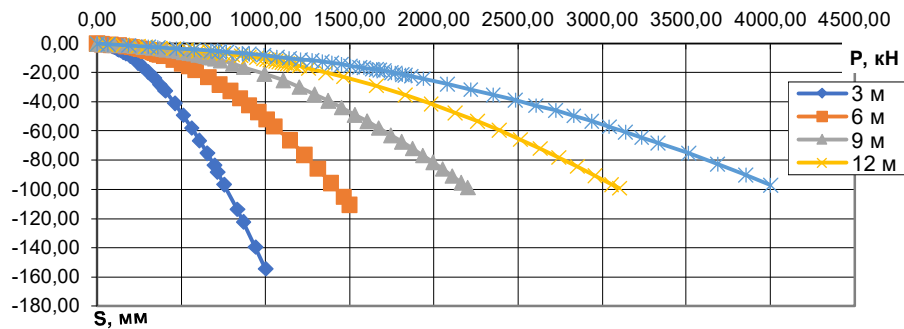


Рис. 4 – Залежність осідання від навантаження при моделюванні одиночних забивних паль у піщаному ґрунті

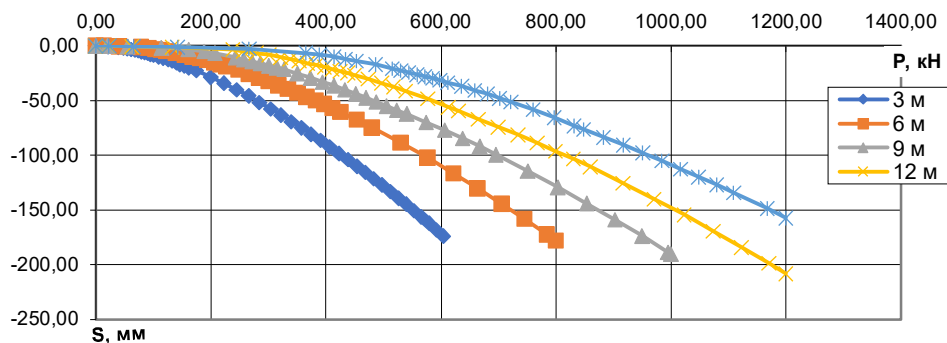


Рис. 5 – Залежність осідання від навантаження при моделюванні одиночних бурових паль у піщаному ґрунті

II. Моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній піщаній основі при сталій відстані між рядами паль $5d$, що влаштовані з вийманням ґрунту. Ґрунт піщаний: $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 1$ кПа, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32$ МПа.

Для оцінки впливу способу влаштування паль на частку навантаження, що сприймає ростверк стрічкового пальового фундаменту було виконано серію моделювань для паль, що влаштовуються з вийманням ґрунту. Результати моделювання для паль довжиною 3, 6, 9, 12 та 15 м наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати моделювання НДС системи «ростверк – палі – основа» при різному поздовжньому кроці і різній довжині паль, що влаштовані з вийманням ґрунту (ґрунт – пісок)

№ з / п	Поздовжній крок паль, м	Довжина паль, м	Несуча здатність ф-ту, кН/п.м.	Несуча здатність ростверку, кН/п.м.	Несуча здатність палі у складі фундаменту, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Частка несучої здатності ростверку	Тиск під подошвою ростверку, кПа
1	0.9	3	1359	273	480,0	1,12	0.23	142,2
2	1.8	3	1299	480	696,2	1,62	0.37	238,0
3	2.4	3	1264	582	837,3	1,95	0.46	284,8
4	3.6	3	1234	756	754,6	1,75	0.612	367,8
5	0.9	6	1659	332	586,5	1,03	0.200	171,1
6	1.8	6	1554	508	889,1	1,56	0.327	251,9
7	2.4	6	1449	655	974,9	1,71	0.452	320,7
8	3.6	6	1394	783	964,5	1,69	0.652	381,0
9	0.9	9	1994	413	698,8	1,00	0.207	212,9
10	1.8	9	1859	602	1068,5	1,52	0.324	298,5
11	2.4	9	1699	713	1210,6	1,73	0.420	349,1
12	3.6	9	1624	847	1226,6	1,75	0.522	412,1
13	0.9	12	2459	428	897,7	1,09	0.174	220,6
14	1.8	12	2249	636	1371,1	1,67	0.283	315,4
15	2.4	12	2024	738	1578,9	1,93	0.365	361,3
16	3.6	12	1844	802	1644,9	2,00	0.435	390,2
17	0.9	15	2924	453	1092,2	1,14	0.155	233,5
18	1.8	15	2563	688	1593,8	1,66	0.268	341,1
19	2.4	15	2224	765	1791,3	1,87	0.344	374,5
20	3.6	15	1974	839	1791,7	1,87	0.425	408,2

Дослідження черговий раз підтверджують, що низький ростверк у складі стрічкового пальового фундаменту, починає включатися в роботу поступово, паралельно з палями. Мозаїки деформацій, які отримано під час моделювання роботи фундаменту, свідчать про те, що ґрунт міжпальового середовища, який контактує безпосередньо з подошвою низького ростверку, краще включається в роботу зі збільшенням кроку паль. В свою чергу, паля починає краще реалізувати свою несучу здатність. Чітко простежується і розвиток деформацій в ґрунтовій основі, зі зміною кроку паль. При цьому також збільшується реактивний опір основи.

Аналіз виконаного чисельного моделювання, для фундаменту в однакових ґрунтових умовах, при змінній довжині та кроці паль, підтвердив результати досліджень, що були проведені раніше рядом авторів [2-7], та результати модельних експериментальних досліджень на маломасштабних моделях [10]. А саме: частка навантаження, яка сприймається ростверком, при збільшенні довжини паль, менша, і навпаки, зі збільшенням кроку паль, навантаження на низький ростверк збільшується. Ці закономірності яскраво спостерігаються на графіку, який наведено на рисунку 6.

На рис. 6 наведено залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від кроку для бурових та забивних паль різної довжини. З рис. 6 видно, що частка навантаження, що сприймає ростверк, при влаштуванні бурових паль більша. Залежність частки навантаження, що сприймається ростверком, від способу влаштування паль має закономірний характер.

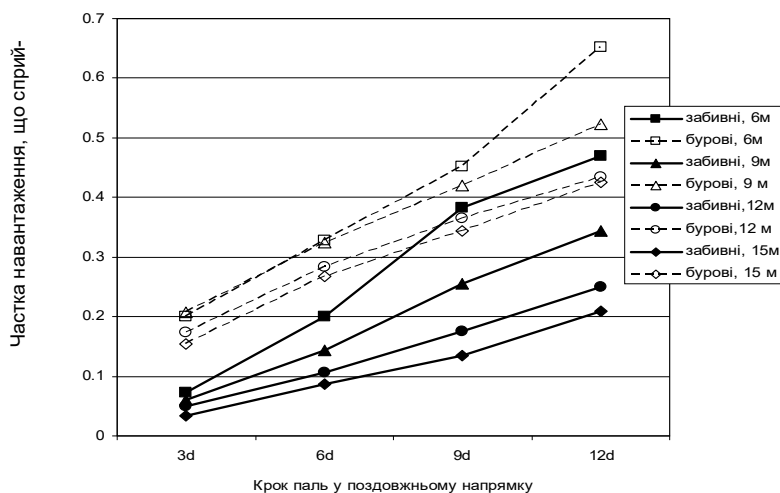


Рис. 6 – Залежність частки навантаження, що сприймає ростверк, від кроку в поздовжньому напрямку для забивних і бурових паль різної довжини у складі дворядного стрічкового пального фундаменту (грунт піщаний)

Шляхом моделювання роботи одиночних паль різної довжини було визначено їх несучу здатність (рис. 4, 5) при осіданні 100 мм. Для забивних паль несуча здатність 3 м палі склала 780 кН, 6 м – 1430 кН, 9 м – 2200 кН, 12 м – 3100 кН, 15 м – 4000 кН. Для бурових паль несуча здатність 3 м палі склала 430 кН, 6 м – 570 кН, 9 м – 700 кН, 12 м – 820 кН, 15 м – 960 кН. Для аналізу навантаження, що сприймає окрема паля у складі стрічкового пального фундаменту, використано співвідношення цього навантаження та несучої здатності одиночної палі (ступінь реалізації несучої здатності паль див. табл. 3).

На рисунку 7 наведено графіки залежності такого співвідношення від кроку паль в поздовжньому напрямку.

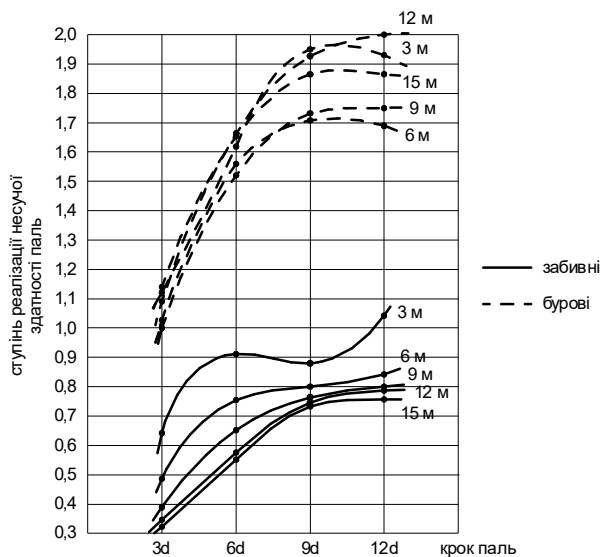


Рис. 7 - Залежність ступіню реалізації несучої здатності паль у дворядному стрічковому пальному фундаменті на піщаному ґрунті від довжини та кроку паль уздовж ряду

З рис. 7 видно, що несуча здатність палі в складі стрічкового пального фундаменту з забивних паль менша, а при використанні бурових паль більша за несучу здатність одиночної палі, це пояснюється накладанням напружено-деформованих зон від сусідніх паль і ростверку, що покращує міцнісні характеристики ґрунтової основи з одного боку та проковзуванням ґрунту під ростверком по поверхні

паль з іншого. Чим більша відстань між палями, тим більша несуча здатність окремої палі у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту.

Як бачимо з рис. 7 та з таблиці 3, 4 несуча здатність забивних паль як правило реалізується не повністю, а при збільшенні кроку палі сприймають більше навантаження. Несуча здатність бурових паль у стрічці перевищує несучу здатність одиночної палі і тим більше, чим більше крок паль.

На рис. 8, 9 наведена залежність тиску під подошвою ростверку у складі стрічкового дворядного пальового фундаменту при різній довжині та кроці паль для забивних та бурових паль відповідно.

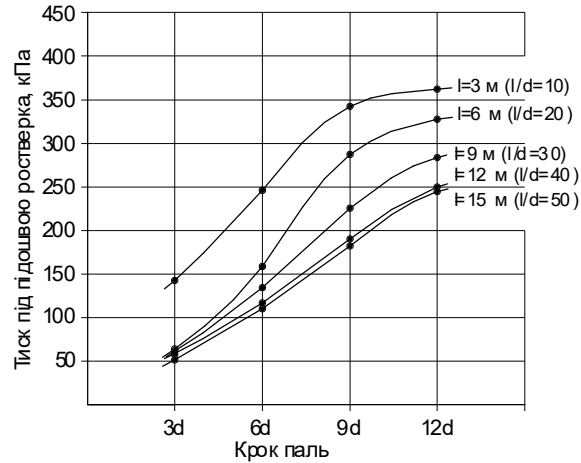


Рис. 8 – Тиск під подошвою ростверку у складі стрічкового дворядного пальового фундаменту при різній довжині та кроці забивних паль ($s=100$ мм) (грунт - пісок)

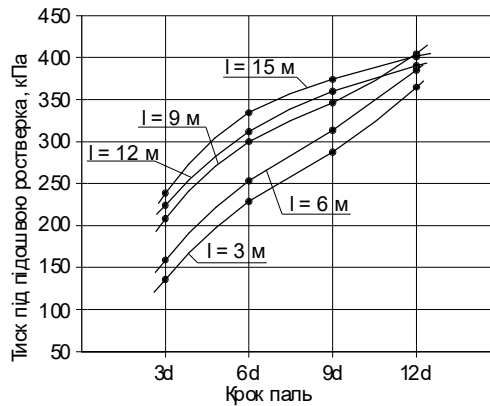


Рис. 9 – Тиск під подошвою ростверку у складі стрічкового дворядного пальового фундаменту з бурових паль при різній довжині та кроці бурових паль ($s=100$ мм) (грунт - пісок)

На ростверк при кроці 3d (рис. 8, 9) припадає менше навантаження, ніж при більших кроках. Але в будь-якому випадку несуча здатність ростверку у порівнянні з плитою без паль реалізується не повністю (тиск під подошвою плити без паль при осіданні $s = 10$ см складає 550 кН).

Із збільшенням довжини паль реалізація роботи ростверку для забивних паль погіршується.

При застосуванні бурових паль тиск під подошвою ростверка реалізується краще (див. рис. 8, 9). Виявляється також відмінність залежності від довжини паль. Для забивних паль із збільшенням довжини паль реалізація роботи ростверку погіршується, а для бурових паль навпаки – покращується.

Отже в цілому як палі, так і ростверк працюють в групі інакше, ніж як окремі елементи. З таблиць 3, 4 видно, що несуча здатність дворядного стрічкового пальового фундаменту з бурових паль перевищує суму несучих здатностей одиночних паль, а для фундаменту з забивних паль може бути і меншою.

Бачимо, що реалізація роботи окремих елементів фундаменту при застосуванні бурових паль краща, ніж при застосуванні забивних паль. Це відбивається на величині загальної несучої здатності фундаменту, наближаючи несучу здатність фундаменту з бурових паль до несучої здатності фундаменту з забивних паль, що можна побачити на рис. 10.

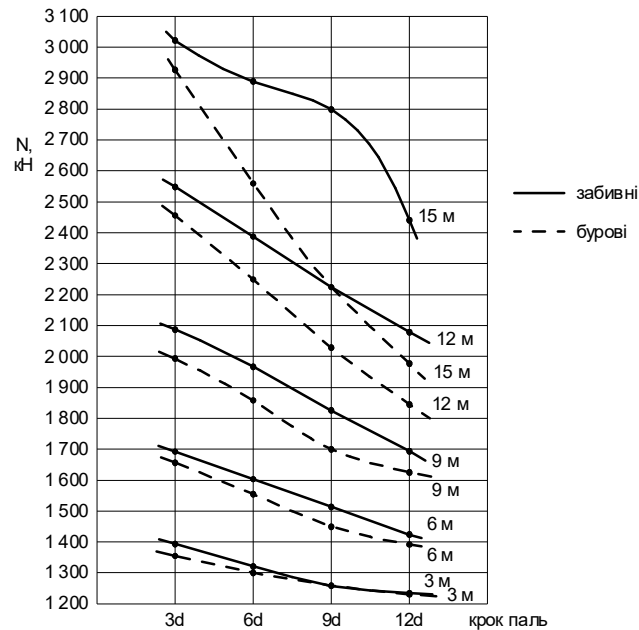


Рис. 10 – Залежність погонної несучої здатності дворядного стрічкового пального фундаменту у піщаному ґрунті з забивних та бурових паль від кроку і довжини паль

З рис. 10 можна бачити, що несуча здатність фундаментів з забивних паль більше за несучу здатність фундаментів з бурових паль, але не на стільки, як цього можна було б очікувати. Для коротких паль зменшення несучої здатності при переході до бурових паль не перевищує 3%, а для довгих паль 3-23%. Найменша різниця спостерігається при кроці паль 3d і найбільша при кроці паль 12d. Водночас несуча здатність одиночних бурових паль набагато менша за несучу здатність одиночних забивних паль в аналогічних умовах, що можна бачити з таблиці 5.

Таблиця 5 – Співвідношення несучих здатностей одиночних забивних і бурових паль в аналогічних умовах

Вид ґрунту	Вид палі	L = 3 м	L = 6 м	L = 9 м	L = 12 м	L = 12 м
Піщаний ґрунт	Несуча здатність одиночної забивної палі, кН	780	1430	2200	3100	4000
	Несуча здатність одиночної бурової палі, кН	430	570	700	820	960
	Співвідношення несучих здатностей	1,81	2,51	3,14	3,78	4,17

Таким чином при врахуванні спільної роботи окремих елементів фундаменту з бурових паль можна одержати значно більш економічне рішення.

Висновки.

1. Несуча здатність пального фундаменту з бурових паль з низьким ростверком як правило перевищує суму несучих здатностей одиночних паль. Фундаменти з забивних паль можуть мати меншу несучу здатність, ніж сума несучих здатностей одиночних паль. При частому розміщенні паль навіть включення у роботу ростверку не забезпечує позитивний кушовий ефект, оскільки палі в таких фундаментах частково виключаються з роботи. Фундаменти з бурових паль завжди показують більшу несучу здатність, ніж сума несучих здатностей одиночних паль.

2. Несуча здатність низького ростверку в системі пального фундаменту:

- у пальових фундаментах з бурових паль майже вдвічі більша ніж у пальових фундаментах з забивних паль;

- збільшується, при збільшенні кроку між палями;

- зменшується, при збільшенні довжини паль в системі пальового фундаменту з забивних паль та збільшується при збільшенні довжини паль в системі пальового фундаменту з бурових паль.

3. Робота палі в групі з низьким ростверком суттєво відрізняється від роботи одиночної палі. По мірі зростання навантаження осереднене навантаження на палю у складі фундаменту зростає.

Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пальового фундаменту суттєво більший для фундаментів з бурових паль у порівнянні з фундаментами з забивних паль.

Для фундаментів з забивних паль при кроці 3d – 6d палі у складі стрічки у піщаних ґрунтах реалізують свою несучу здатність не повністю. Групи з бурових паль підвищують свою несучу здатність, працюючи у групі, навіть при мінімальному кроці.

4. Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пальового фундаменту залежить від довжини і кроку паль. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту зменшується із збільшенням їх довжини. При збільшенні кроку паль реалізація несучої здатності палі збільшується.

5. Врахування реальної роботи паль і ростверку у складі пальового фундаменту дозволяє підвищувати несучу здатність пальового фундаменту в цілому і відповідно економити матеріальні та трудові ресурси під час проведення будівельних робіт.

6. Оскільки пальові фундаменти з бурових паль значно більш інтенсивно підвищують свою несучу здатність за рахунок спільної роботи їх елементів під навантаженням у порівнянні з пальовими фундаментами з забивних паль, то при врахуванні цієї спільної роботи пальові фундаменти з бурових паль стають конкурентоспроможними з аналогічними фундаментами з забивних паль.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування зі зміною №1 та №2. [Чинний від 2012-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с. (Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення).

2. Бартоломей А. А., Омельчак И. М., Юшков Б. С. Прогноз осадок свайних фундаментов /Под ред. Бартоломея А. А.. Москва : Стройиздат, 1994. 384 с.

3. Знаменский В. В., Рузаев А. М., Польшков И. Н. Взаимодействие низкого ростверка со сваями. Вестник МГСУ. Москва : 2008. №2. С. 48-51.

4. Козачок Л. Д. Распределения напряжений в основании моделей кустов свай. Республ. межвед. науч.-техн. сб. Основания и фундаменты. 1974. Вып.7. Київ : Будівельник. С. 47-51.

5. Девальтовский Е. Э. Исследование работы свайных фундаментов с учетом их взаимодействия с межсвайным грунтом : дисс. ...канд. техн. наук : 05.23.02. Ленинград, 1982.

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

7. Блащук Н.В. Маєвська І.В., Попович М.М. Перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту. Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві, н/т збірник ВНТУ, Вінниця : 2018. №1(24). С.36-44.

8. Алехин В. С. Взаимодействие свай в составе групп и определение предельного сопротивления основания : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02. Москва, 2020. 147 с.

9. Кравченко П. А. Оценка работы свай в составе фундаментов реконструируемых зданий : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.23.02. Санкт-Петербург, 2013. 19 с.

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

Бурлаченко Богдан Олександрович — студент групи Б-19мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; E-mail: gromgal@email.ua.

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет. E-mail: irina.maevskaja@gmail.com maevska@vntu.edu.ua

Burlachenko Bogdan Alexandrovich — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: ***Irina V. Mayevska*** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.