

РОБОТА РОСТВЕРКУ І ПАЛЬ У СКЛАДІ ОДНОРЯДНОГО СТРІЧКОВОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі на основі чисельного моделювання виконаний аналіз зміни перерозподілу зусиль між елементами однорядного стрічкового пальового фундаменту. Розглянуто характер зміни частки ростверку, реалізації його несучої здатності та реалізації несучої здатності палі. Варіювався вид ґрунту.

Встановлено, що ступінь реалізації несучої здатності палі і ростверку у складі однорядного стрічкового пальового фундаменту залежить не тільки від відносної довжини і кроку палі, а і від способу їх влаштування. Оскільки пальові фундаменти з бурових палі значно підвищують свою несучу здатність за рахунок спільної роботи їх елементів під навантаженням у порівнянні з пальовими фундаментами з забивних палі.

Ключові слова: чисельне моделювання, стрічковий пальовий фундамент, паля, ростверк, несуча здатність.

Abstract

In the work, based on numerical modeling, an analysis of the change in the redistribution of forces between the elements of a single-row strip pile foundation is performed. The nature of the change in the portion of the grid, the implementation of its load-bearing capacity and the implementation of the load-bearing capacity of the piles have been considered. The type of soil varied.

It was established that the degree of implementation of the load-bearing capacity of piles and grids as part of a single-row strip pile foundation depends not only on the relative length and pitch of the piles, but also on the method of their arrangement. Because pile foundations from bored piles significantly increase their bearing capacity due to the joint work of their elements under load compared to pile foundations from driven piles.

Keywords: numerical modeling, strip pile foundation, pile, grid, bearing capacity.

Вступ

На даний час було проведено багато експериментальних і фізичних досліджень стрічкових пальових фундаментів, які показали, що частину навантаження сприймає ростверк, а частину – палі. Відсоток вертикального навантаження, яке сприймає ростверк залежить від характеру передачі навантаження на стрічковий пальовий фундамент, від виду палі, від конструктивних характеристик самого фундаменту та від фізико-механічних властивостей ґрунтової основи.

Вивченням сумісної роботи ростверку і палі у складі стрічкового пальового фундаменту та експериментальними дослідженнями займалися Знаменський В. В., Яблочков В. Д., Бартоломей А. А. [3], Сальніков Б. О., Омельчак І. М., Маєвська І. В. [1-2], Блащук Н. В. [1,2,4], Сернов В. А., Нікітенко М.І. та інші.

Нормативною документацією, яка діє на території України, рекомендується враховувати сумісну роботу ростверку і палі одночасно, але не наведено ніяких положень і методик для його розрахунку. Фізичним і чисельним моделюванням було встановлено, що відсоток навантаження, яке сприймає ростверк, залежить від виду палі, кроку їх розміщення та від довжини палі. При збільшенні кроку частина навантаження для сприйняття ростверком збільшується, що призводить до використання палі меншої довжини чи зменшення їхньої кількості. В цілому це призводить до значного здешевлення вартості фундаменту, тому дана тема є актуальною.

Метою даної роботи є аналіз зміни перерозподілу зусиль між елементами однорядного стрічкового пальового фундаменту на основі результатів чисельного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження

Програма вивчення зміни перерозподілу зусиль між елементами стрічкового однорядного пальового фундаменту передбачала наступні етапи:

- створення розрахункової схеми однорядного стрічкового пальового фундаменту;
 - для порівняльної оцінки передбачено виконати моделювання роботи одиночних паль та стрічкового фундаменту мілкого закладання (розмірами як ростверк пальового) під навантаженням;
 - дослідження залежності частки навантаження, що сприймає ростверк однорядного стрічкового пальового фундаменту, від довжини паль, їх виду, кроку в поздовжньому напрямку та характеристик ґрунту;
 - побудова графіків залежності «осідання-навантаження».
- При моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:
- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
 - модель стрічкового пальового фундаменту з співвідношенням сторін $L / B \geq 10$ (рис.1);

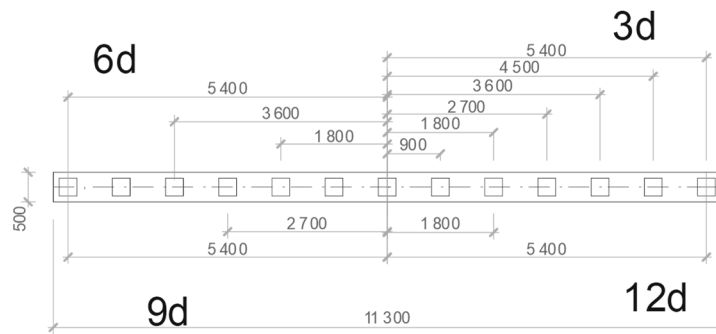


Рис. 1 – Розміри ростверку в плані та розміщення паль при їх різному кроці

- палі – призматичні з поперечним розміром $d=30$ см, довжиною 6, 9 та 12 м;
- розташування паль - однорядне;
- крок паль у поздовжньому напрямку 3d, 6d, 9d та 12d;
- розміри розрахункової області в плані 40 м, по глибині розмір змінний в залежності від довжини паль;
- за навантаження, що сприймається стрічковим пальовим фундаментом, фундаментом мілкого закладання, одиночними палями приймається значення зовнішнього навантаження з урахуванням власної ваги при деформаціях, що не перевищують допустимого значення;
- частка навантаження, що сприймається ростверком, визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без врахування площі паль.

На рис. 2 показано розрахункову модель однорядного стрічкового пальового фундаменту при довжині паль 12 м і кроці 3d.

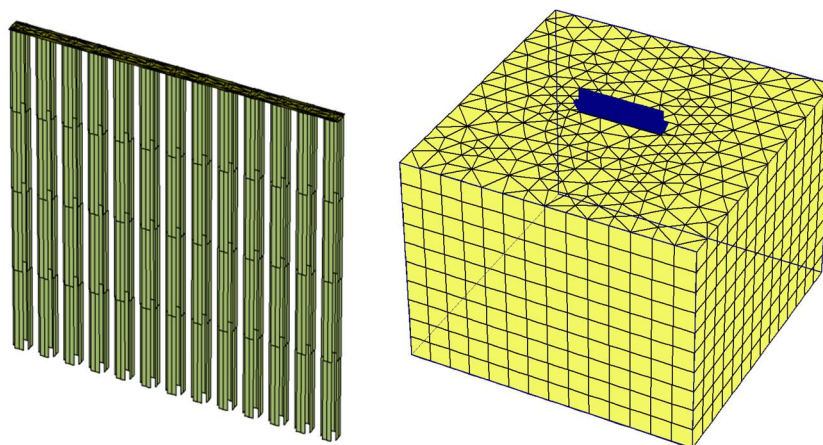


Рис. 2 – Модель стрічкового пальового фундаменту та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту

Результати моделювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати моделювання роботи стрічкового однорядного пальового фундаменту при різному поздовжньому кроці і різній довжині паль

a_i , м	A_{pi} , м ²	l_i , м	F_i , кН/п.м	F_{pi} , кН/п.м	Тиск під подошвою ростверка, кПа	$F_i - F_{pi}$, кН/п.м	F_{pi}/F_i , %	Грунт
Палі, що влаштовані без виймання ґрунту								
0,9	4,48	6	825	118,9	299,9	706,1	14,4	Пісок дрібний
1,8	5,02	6	755	200,8	452,0	552,4	26,6	
2,4	5,2	6	650	222	482,4	428,0	34,2	
3,6	5,29	6	630	204,6	437,0	425,4	32,5	
0,9	4,48	9	1150	120,5	303,9	1029,5	10,5	
1,8	5,02	9	1000	178,6	402,0	821,4	17,9	
2,4	5,2	9	810	216,7	470,9	593,3	26,8	
3,6	5,29	9	785	189,9	405,6	595,1	24,2	
0,9	4,48	12	1535	44,5	112,2	1490,5	2,9	
1,8	5,02	12	1325	185,7	418,0	1139,3	14,0	
2,4	5,2	12	1010	226,3	491,8	783,7	22,4	
3,6	5,29	12	960	191	408,0	769,0	19,9	
0,9	4,48	9	1030	85,2	214,9	944,8	8,3	Суглино к
1,8	5,02	9	810	123	276,9	687,0	15,2	
2,4	5,2	9	675	149	323,8	526,0	22,1	
3,6	5,29	9	635	124	264,9	511,0	19,5	
Палі, що влаштовані з вийманням ґрунту								
0,9	4,48	9	990	181,4	457,5	808,6	18,3	Пісок дрібний
1,8	5,02	9	800	204	459,1	596	25,5	
2,4	5,2	9	700	216,7	470,8	483,3	30,96	
3,6	5,29	9	665	220,7	471,4	444,3	33,2	
0,9	4,48	9	930	99,1	249,9	830,9	10,7	Суглино к
1,8	5,02	9	750	122,3	275,3	627,7	16,3	
2,4	5,2	9	630	139,1	302,2	490,9	22,1	
3,6	5,29	9	608	137,8	294,4	470,2	22,7	

Примітка: a_i – крок паль в поздовжньому напрямку, м;

A_{pi} – площа ростверку без урахування площі паль, м²;

d_i – розмір поперечного перерізу палі, м;

l_i – довжина палі, м;

F_i – несуча здатність фундаменту в цілому, кН/п.м.;

F_{pi} – несуча здатність ростверку, кН/п.м.;

F_{pi}/F_i – частка несучої здатності ростверку, %.

На рисунку 3 наведено мозаїки деформацій системи «палі – ростверк – основа» при різному кроці паль довжиною 9 м.

З рисунку 3 видно, чим більша відстань між палями, тим краще включається в роботу ґрунт в міжпальовому просторі під подошвою ростверку і тим краще реалізує свою несучу здатність по ґрунту паля. Характер розвитку деформацій ґрунту в основі фундаменту суттєво змінюється при зміні відстані між палями, реактивний опір основи під подошвою ростверку зі збільшенням відстані між палями також збільшується.

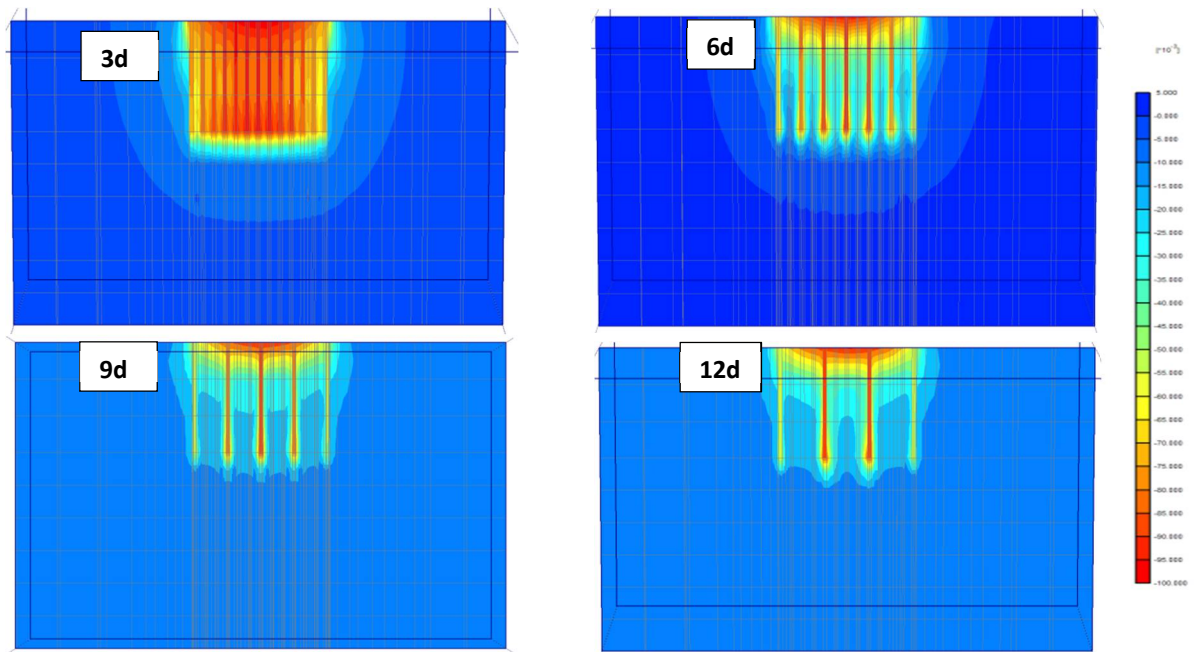


Рис. 3 – Мозаїки деформацій системи «паль – ростверк – основа» при різному кроці паль у поздовжньому напрямку, довжина паль 9 м, ґрунт - пісок дрібний

На рис. 4 наведено залежність частки навантаження, що сприймає ростверк стрічкового пальового фундаменту, від кроку для паль різної довжини в піску дрібному. Як видно з рисунку, із збільшенням довжини паль частка ростверку у несучій здатності стрічкового пальового фундаменту зменшується, із збільшенням кроку паль – зростає.

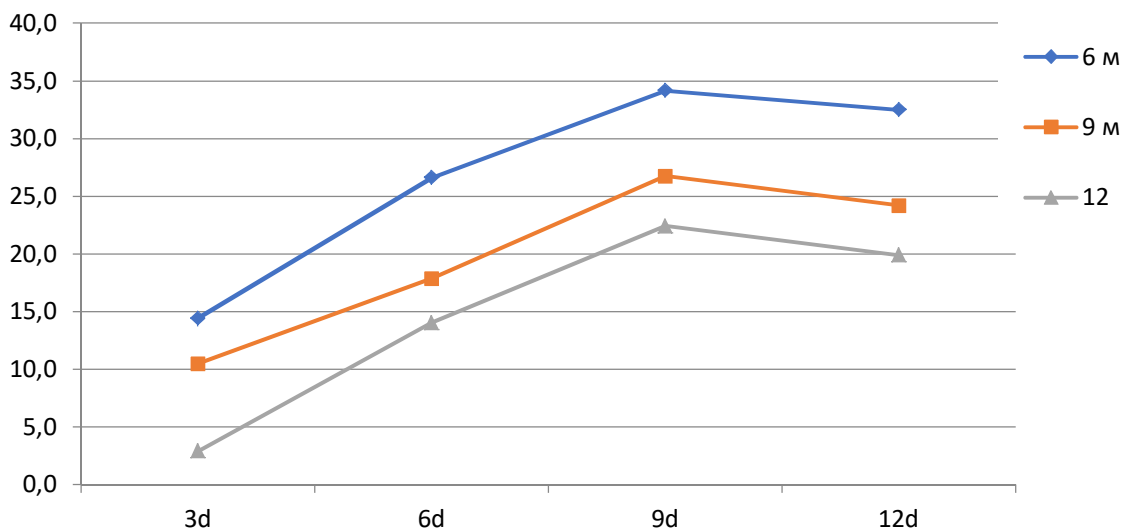


Рис. 4 – Залежність частки (%), що сприймає ростверк однорядного стрічкового пальового фундаменту, від кроку паль різної довжини (пісок дрібний)

На рис. 5 наведено залежність частки навантаження, що сприймає ростверк стрічкового однорядного пальового фундаменту від кроку для паль довжиною 9 м в різних ґрунтових умовах. Як видно з рисунку, залежності носять однаковий якісний характер, величина частки залежить від характеристик ґрунтової основи.

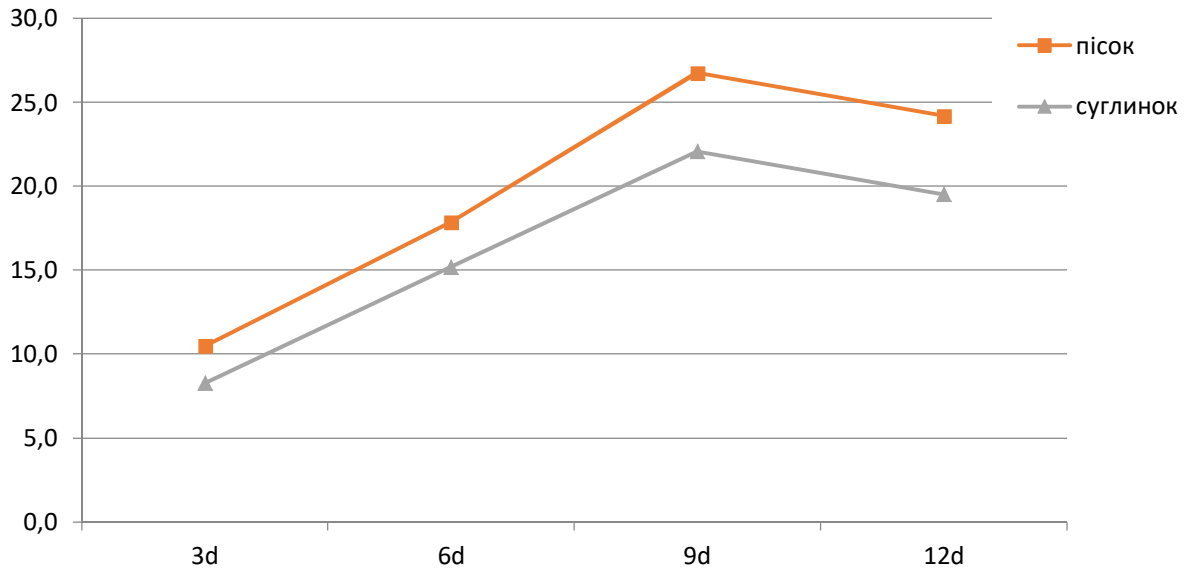


Рис. 5 – Залежність частки, що сприймає ростверк однорядного стрічкового пального фундаменту (%), від кроку палей довжиною 9 м в різних ґрунтах

В таблиці 2 наведено наступні дані:

- навантаження, що сприймається стрічковим паливим фундаментом, (F_1) за результатами моделювання в ПК Plaxis 3D Foundation, кН/п.м;
- навантаження, що сприймається стрічковим паливим фундаментом, (F_2) як алгебраїчна сума допустимих навантажень на палі (несуча здатність одиночних палей визначалась при величині $0,2 \cdot S$: 429 кН – 6 м, 701 кН та 590 кН для піску дрібного та суглинка відповідно – 9 м, 1007 кН – 12 м), що визначена без урахування роботи ростверку, кН/п.м;
- навантаження, що сприймається стрічковим паливим фундаментом, (F_3), що визначене як алгебраїчна сума допустимого навантаження на одиночні палі та стрічковий фундамент мілкового закладання, що визначене моделюванням в Plaxis 3D. При визначенні F_3 несуча здатність одиночних палей визначалась при величині $0,2 \cdot S$, кН/п.м.

На рисунку 6 наведена залежність ступеня реалізації несучої здатності палей у складі однорядного стрічкового пального фундаменту від кроку і довжини палей, а на рис. 7 – залежність тиску під подошвою ростверку від кроку і довжини палей.

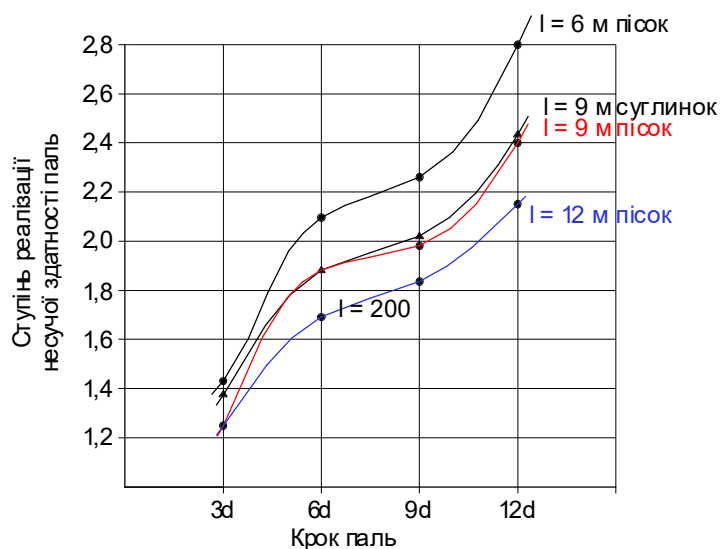


Рис. 6 – Залежність ступеня реалізації несучої здатності палей у складі однорядного стрічкового пального фундаменту від кроку і довжини палей

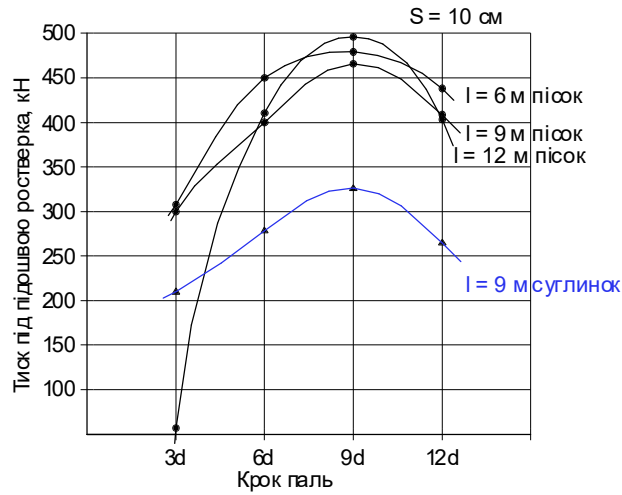


Рис. 7 – Залежність тиску під підшовою ростверку у складі однорядного стрічкового пального фундаменту від кроку і довжини палів

Таблиця 2 – Результати моделювання роботи однорядного стрічкового пального фундаменту з ґрунтовою основою

№ п/п	Довжина палі, м	Крок палів	F_1	$F_1 - F_{pi}$	F_2	Ступінь реалізації несучої здатності палів	F_3	F_2/F_1	F_3/F_1	Ґрунт
Палі, що влаштовані без виймання ґрунту										
1	6	3d	825	706,1	493,5	1,43	913,5	0,6	1,11	Пісок дрібний
2	6	6d	755	552,4	265,8	2,08	685,8	0,4	0,91	
3	6	9d	650	428,0	189,8	2,25	609,8	0,3	0,94	
4	6	12d	630	425,4	151,9	2,80	571,9	0,3	0,91	
5	9	3d	1150	1029,5	806,5	1,28	1226,5	0,7	1,07	
6	9	6d	1000	821,4	434,2	1,89	854,2	0,5	0,85	
7	9	9d	810	593,3	310,2	1,91	730,2	0,4	0,90	
8	9	12d	785	595,1	248,1	2,40	668,1	0,4	0,85	
9	12	3d	1535	1490,5	1158,5	1,29	1578,5	0,8	1,03	
10	12	6d	1325	1139,3	623,8	1,83	1043,8	0,5	0,79	
11	12	9d	1010	783,7	445,6	1,76	865,6	0,5	0,86	
12	12	12d	960	769,0	356,5	2,16	776,5	0,4	0,81	
13	9	3d	1030	944,8	678,8	1,39	1078,8	0,7	1,05	Суглинок
14	9	6d	810	687,0	365,5	1,88	765,5	0,5	0,95	
15	9	9d	675	526,0	261,1	2,01	661,1	0,4	0,98	
16	9	12d	635	511,0	208,8	2,45	608,8	0,4	0,96	
Палі, що влаштовані з вийманням ґрунту										
17	9	3d	990	808,6	470,5	1,71	890,5	0,48	0,9	Пісок дрібний
18	9	6d	800	596	253,4	2,35	673,4	0,32	0,84	
19	9	9d	700	483,3	181	2,67	601	0,26	0,86	
20	9	12d	665	444,3	144,8	3,07	564,8	0,22	0,85	
21	9	3d	930	830,9	526,9	1,58	926,9	0,57	0,99	Суглинок
22	9	6d	750	627,7	283,7	2,21	683,7	0,38	0,91	
23	9	9d	630	490,9	202,7	2,42	602,7	0,32	0,96	
24	9	12d	608	470,2	162,1	2,9	562,1	0,27	0,62	

Як бачимо з таблиці 2 та рис. 6, несуча здатність паль як правило реалізується повністю, а при збільшенні кроку палі сприймають більше навантаження, ніж випробувані як одиночні.

На ростверк при кроці 3d (рис. 7) 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 840 кН та 800 кН для піску та суглинку відповідно).

Отже, в цілому як палі, так і ростверк працюють в групі інакше, ніж як окремі елементи. З таблиці 2 видно, що в будь-якому випадку несуча здатність однорядного стрічкового пального фундаменту перевищує суму несучих здатностей одиночних паль, але припущення, що несуча здатність фундаменту може бути одержана як сума несучих здатностей його окремих елементів виправдане за результатами експериментів для стрічкових фундаментів з кроком більше 3d.

Висновки

1. Несуча здатність однорядного стрічкового пального фундаменту з низьким ростверком перевищує суму несучих здатностей одиночних паль незалежно від виду паль.

2. Несуча здатність низького ростверку в системі пального фундаменту:

- збільшується, при збільшенні кроку паль;
- зменшується, при збільшенні довжини паль в системі пального фундаменту;
- характер залежності частки навантаження низького ростверку при роботі фундаменту в піщаному та глинистому середовищах, в залежності від довжини та кроку паль, змінюється не суттєво.

3. Робота палі в групі з низьким ростверком суттєво відрізняється від роботи одиночної палі. Як правило, несуча здатність палі у складі однорядного стрічкового пального фундаменту перевищує несучу здатність одиночної палі. По мірі зростання навантаження осереднене навантаження на палю у складі фундаменту зростає.

4. Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пального фундаменту залежить від відносної довжини і кроку паль. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку паль та знижується із збільшенням їх відносної довжини.

5. Характер залежності частки навантаження низького ростверку при роботі фундаменту в піщаному та глинистому середовищах, в залежності від довжини та кроку паль, змінюється несуттєво.

6. Несуча здатність ростверку у порівнянні з плитою без паль реалізується не повністю, ступінь реалізації несучої здатності ростверку підвищується із збільшенням кроку паль.

7. Частка роботи ростверку у складі однорядного стрічкового пального фундаменту на бурових палях вища ніж для фундаменту на забивних палях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових палих та підсиленних палями фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 168 с.

2. Маєвська І.В., Блащук Н.В. Перерозподіл зусиль між елементами однорядного стрічкового пального фундаменту *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*: міжнародний н/т журнал ВНТУ, Вінниця. – 2019. – №1(26). – С.43-52.

3. Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайних фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков – М., Стройиздат, 1994. – 377 с.

4. Шмундяк О. Ю., Блащук Н. В. Різниця в роботі бурових і забивних паль у складі однорядного стрічкового пального фундаменту. *Актуальні питання сучасної науки та освіти (частина II): III матеріали Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 10-11 червня 2021 року. – Львів : Львівський науковий форум, 2021. –с. 46-49.*

Шмундяк Олександр Юрійович - магістр, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shmund@ukr.net.

Shmundyak Oleksandr YU — Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : shmund@ukr.net.

Наталя Вікторівна Блащук— канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. E-mail: blaschuk@vntu.edu.ua.

Natalia V. Blashchuk - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa. E-mail: blaschuk@vntu.edu.ua.