

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДСТАНІ МІЖ РЯДАМИ ПАЛЬ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ У ДВОРЯДНОМУ СТРІЧКОВОМУ ПАЛЬОВОМУ ФУНДАМЕНТІ У ПІЩАНОМУ ГРУНТІ

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 пальових фундаментів з забивних та бурових палей.

Досліджена реалізація роботи ростверку і палей у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту з забивних палей у порівнянні з роботою одиночної палі і ростверку як фундаменту мілкового закладання в залежності від відстані між рядами палей. На першому етапі досліджена робота фундаменту у піщаному ґрунті.

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

Abstract

The planning of the experiment on the numerical modeling of the tape foundation - piles - soil systems with a two-row placement of piles was carried out in order to study the interaction of all system elements in the Plaxis 3D software complex. Variants of pile foundations from driven and bored piles are considered.

The implementation of the operation of the grid and piles as part of a two-row tape pile foundation made of driven piles has been studied in comparison with the operation of a single pile and grid as a foundation for shallow laying, depending on the distance between the rows of piles. At the first stage, the work of the foundation in sandy soil was investigated.

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

Вступ

Аналіз попередніх досліджень перерозподілу зусиль між елементами пальових фундаментів з забивних палей з низьким ростверком [2–7] показав, що:

- несуча здатність палей в групі може суттєво відрізнятись від несучої здатності одиночної палі;
- ростверк бере на себе частину навантаження, що передається на фундамент;
- наявність низького ростверку ускладнює врахування процесу взаємодії палей з ґрунтом, робить поняття "граничної несучої здатності" палей невизначеним. Несуча здатність палей у складі групи може бути не повністю реалізована внаслідок включення у роботу ґрунту під ростверком.

Більшість досліджень перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту проводилась на прикладі стовпчастих пальових фундаментів. Незначна кількість досліджень присвячена роботі стрічкових пальових фундаментів [2], більшість з яких розглядають забивні палі.

Виконані при кафедрі БМГА ВНТУ дослідження перерозподілу зусиль між елементами стрічкових фундаментів [8 – 10] поки ще не охопили все поле факторів, що чинять вплив на цей перерозподіл. Зокрема недостатньо вивченим є вплив відстані між рядами палей у дворядному стрічковому пальовому фундаменті.

Оскільки проектування фундаментів у вигляді груп палей здійснюється на підставі визначення граничного опору одиночної палі [1], то створення адекватних методів визначення граничного опору стрічкового пальового фундаменту з врахуванням взаємної роботи всіх елементів і способу влаштування палей може підвищити ефективність і надійність проектних рішень, тому тема дослідження є актуальною і має практичне значення.

Дослідження передбачається проводити на базі математичного моделювання у програмному комплексі Plaxis 3D, який розроблений на основі методів скінченних елементів та умов просторової задачі.

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

У даній роботі були поставлені задачі:

- шляхом чисельного моделювання, в якому використовується пружно-пластична модель ґрунту, методом скінчених елементів (МСЕ) проаналізувати напружено-деформований стан систем «ростверк – палі – основа» для дворядних стрічкових пальових фундаментів;
- виявити вплив відстані між рядами паль на перерозподіл зусиль між елементами дворядних стрічкових пальових фундаментів;
- крім відстані між рядами паль передбачається варіювання таких параметрів: крок паль у поздовжньому напрямку, вид паль (забивні або бурові), фізико-механічні характеристики основи;
- дослідити залежність ступіню реалізації окремих елементів пальового фундаменту від визначених вище параметрів.

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 перерозподілу зусиль між ростверком і палями у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту передбачала наступні етапи:

- створення розрахункової схеми стрічкового пальового фундаменту;
- моделювання роботи одиночних паль під навантаженням;
- моделювання роботи ростверків різної ширини як фундаментів мілкого закладання без паль;
- дослідження залежності ступеня реалізації паль і ростверку у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту в залежності від довжини паль, їх виду, відстані між рядами паль, кроку в поздовжньому напрямку та характеристик ґрунту;

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 9 м;
- розташування паль у два ряди;
- відстань між рядами паль 3d, 5d, 7d, 9d;
- крок паль у поздовжньому напрямку 3d, 6d, 9d та 12d;
- 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 різній відстані між рядами паль, що влаштовані без виймання ґрунту, довжиною 9 м, 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 різній відстані між рядами паль, що влаштовані з вийманням ґрунту, довжиною 9 м, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики піщаного ґрунту: $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 1$ кПа, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32$ МПа;

III – моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній глинистій основі при різній відстані між рядами паль, що влаштовані без виймання ґрунту, довжиною 9 м, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики глинистого ґрунту: $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 23$ кПа, $\varphi = 21^\circ$, $E = 21$ МПа;

IV – моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту на однорідній глинистій основі при різній відстані між рядами паль, що влаштовані з вийманням ґрунту, довжиною 9 м, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики глинистого ґрунту: $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 23$ кПа, $\varphi = 21^\circ$, $E = 21$ МПа;

V - моделювання роботи одиночних паль (забивних та бурових) довжиною 9 м 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.

Таблиця 1 - Програма моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту

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	

На першому етапі досліджень виконані модельні дослідження для підгруп I та II, які вже дозволяють проаналізувати вплив відстані між рядами паль на перерозподіл зусиль у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту для піщаного ґрунту.

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 приведена на рис. 1.

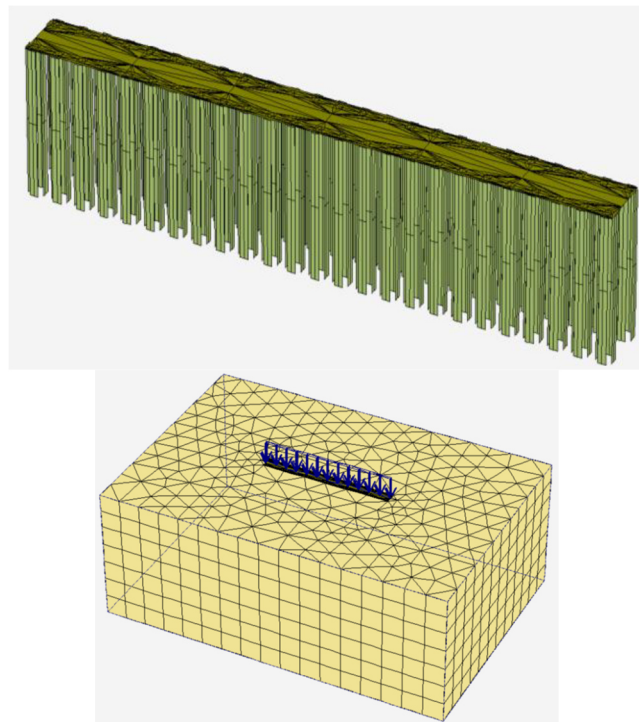


Рис. 1 – Розрахункова модель стрічкового пальового фундаменту при кроці паль 3d та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту

Мозаїки деформацій для стрічкового пальового фундаменту, при довжині паль 9 м, зі змінним кроком паль, представлено на рисунку 2.

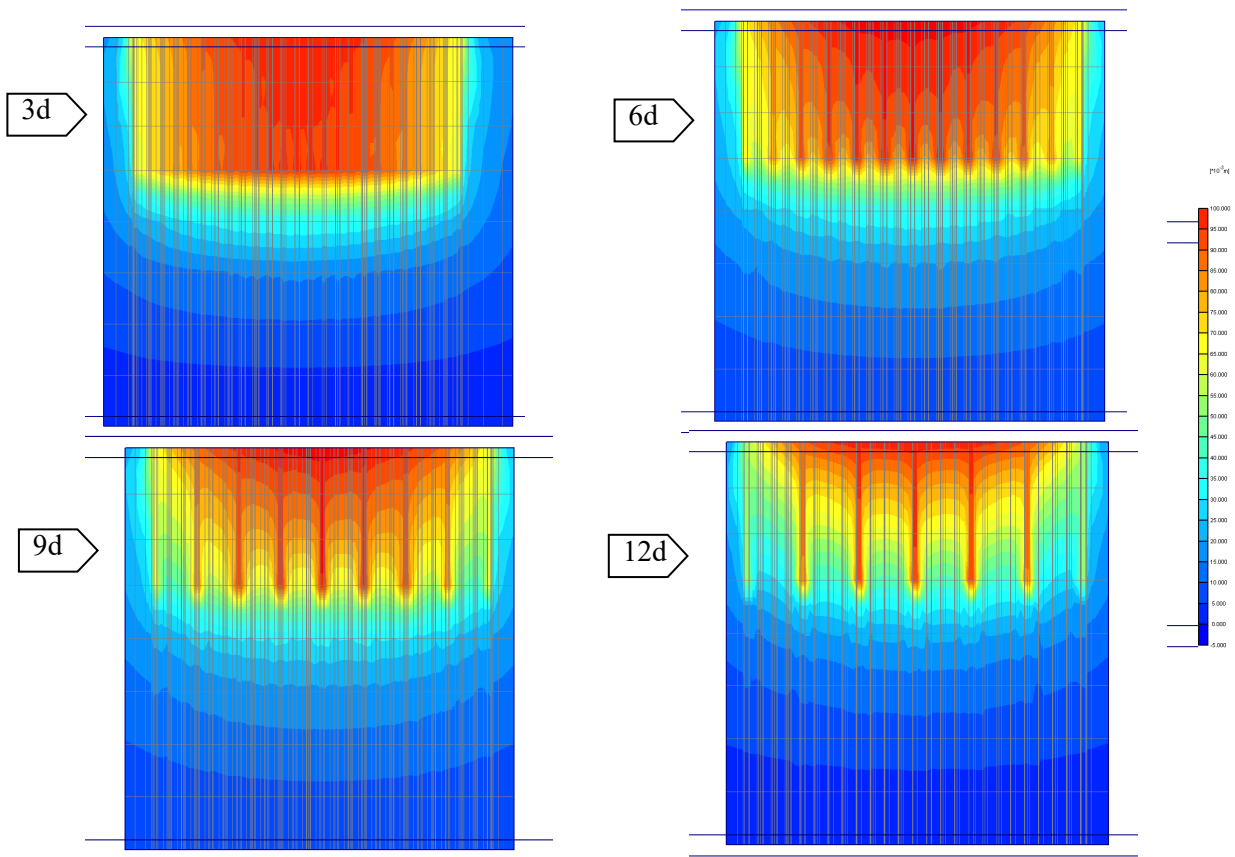


Рис. 2 – Мозаїки деформацій системи «паль – ростверк – основа» при різному кроці паль у повздовжньому напрямку, довжина паль 9 м

На рис. 3, 4 наведені графіки залежності осідання-навантаження для одиночних паль довжиною 9 м у піщаному ґрунті. На рис. 5 - графік залежності осідання-навантаження для ростверка шириною 2,0 м.

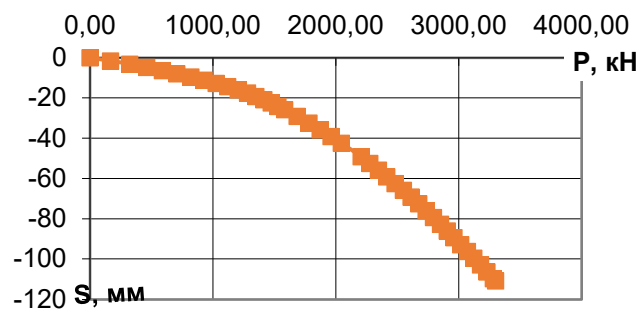


Рис. 3 – Залежність осідання від навантаження при моделюванні одиночних забивних паль у піщаному ґрунті

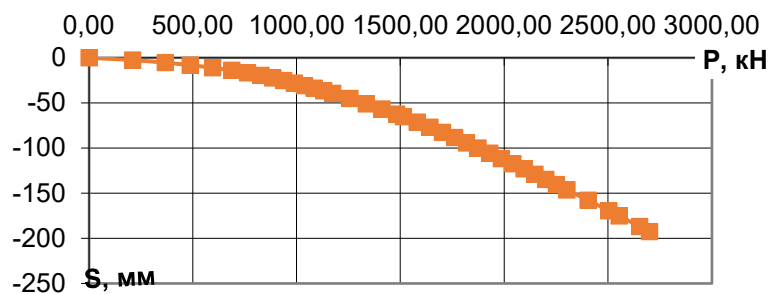


Рис. 4 – Залежність осідання від навантаження при моделюванні одиночних бурових паль у піщаному ґрунті

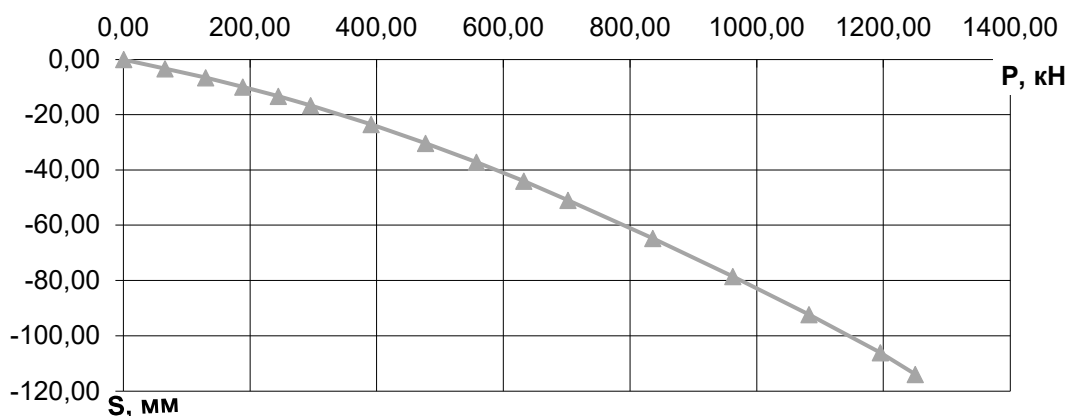


Рис. 5 – Залежність осідання- навантаження для ростверку шириною 2.0 м як фундаменту мілкового закладання у піщаному ґрунті

I - 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. 1. Характеристики піщаного ґрунту: $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 1 \text{ кПа}$, $\varphi = 36^\circ$, $E = 32 \text{ МПа}$;

На рисунку 6 наведено приклад характерного графіку деформування основи стрічкового пальового фундаменту при довжині паль 9 м та різному поздовжньому кроці паль.

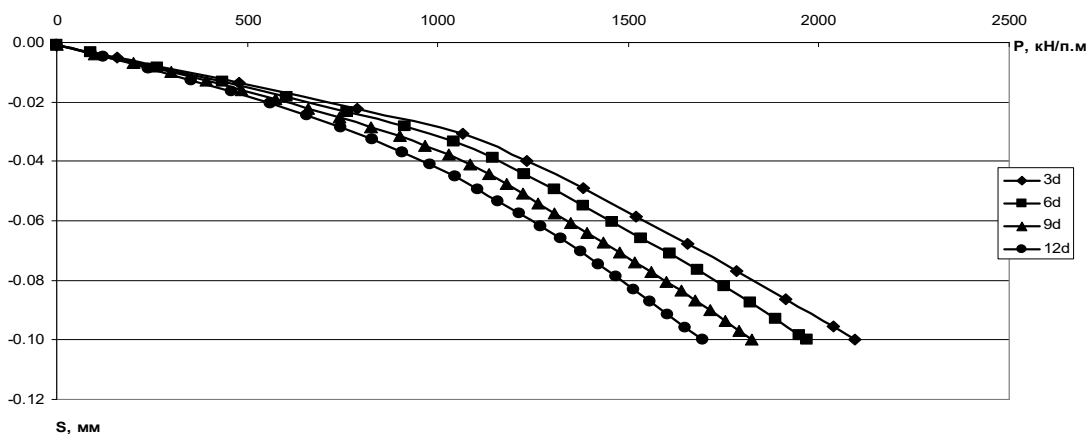


Рис. 6 – Графік залежності осідання – навантаження при довжині паль 9 м, відстані між рядами паль 5d (ширина ростверку 2,0 м) та різному кроці в поздовжньому напрямку (піщаний ґрунт, палі без виймання ґрунту)

На рис. 7, 8 наведені графіки залежності осідання – навантаження при довжині паль 9 м, відстані між рядами паль 3d (ширина ростверку 1,4 м) відповідно для забивних та бурових паль.

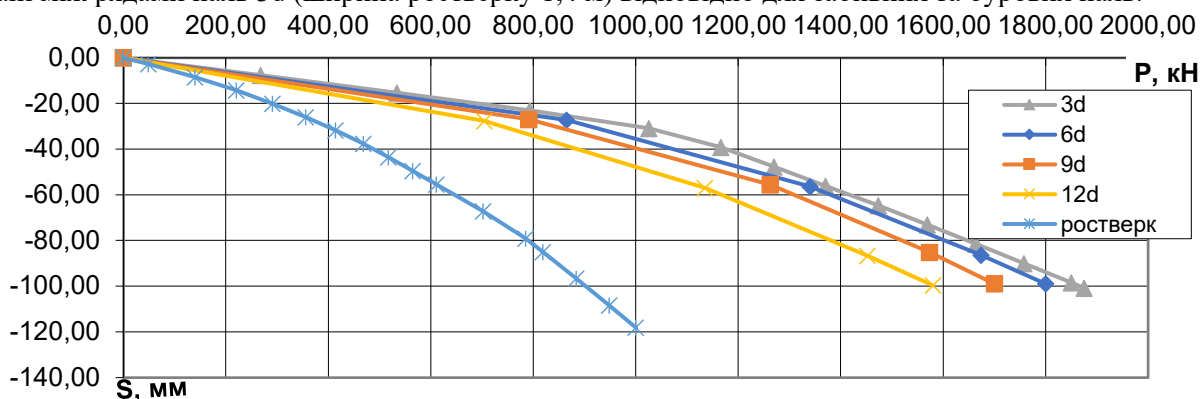


Рис. 7 – Графік залежності осідання – навантаження при довжині паль 9 м, відстані між рядами паль 3d (ширина ростверку 1,4 м) та різному кроці в поздовжньому напрямку (піщаний ґрунт, палі без виймання ґрунту)

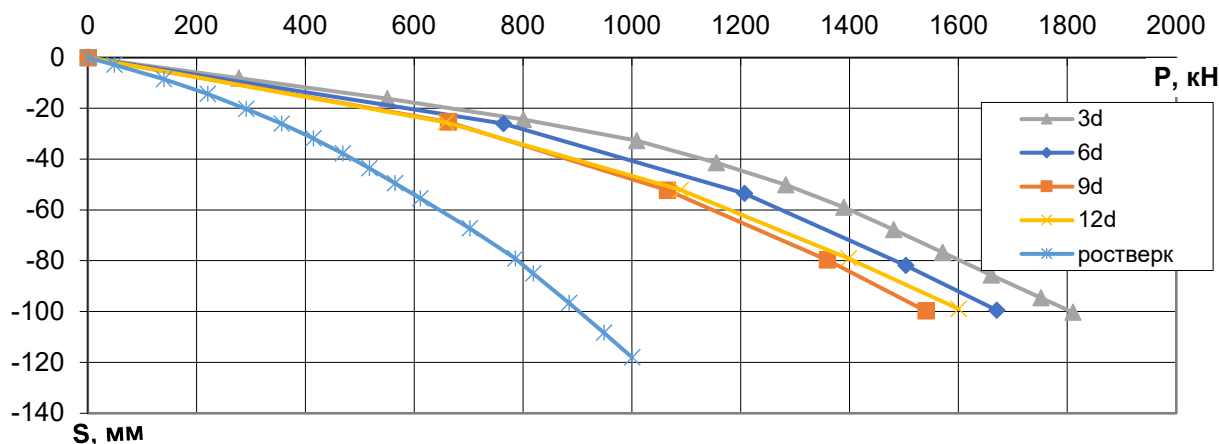


Рис. 8 – Графік залежності осідання – навантаження при довжині паль 9 м, відстані між рядами паль 3d (ширина ростверку 1,4 м) та різному кроці в поздовжньому напрямку (піщаний ґрунт, палі з вийманням ґрунту)

У таблиці 2 наведені результати моделювання НДС системи «ростверк – палі – основа» при різному кроці в поздовжньому напрямку і між рядами для палей довжиною 9 м (ґрунт – пісок, палі без виймання ґрунту).

Таблиця 2 – Результати моделювання НДС системи «ростверк – палі – основа» при різному кроці в поздовжньому напрямку і між рядами для палей довжиною 9 м (ґрунт – пісок, палі без виймання ґрунту)

Поздовжній крок палей, м	Відстань між рядами палей	Кількість палей	Площа ростверку без ураження палей, м ²	Несуча здатність ф-ту, кН/п.м.	Несуча здатність ростверку, кН/п.м.	Несуча здатність палей у складі фундаменту, кН	Ступінь реалізації несучої здатності палей	Частка несучої здатності ростверку	Тиск під підлогою ростверку, кПа
0.9	3d	50	26,44	1860	217,2	720,1	0,514	0,117	181,6
1.8	3d	26	28,60	1800	202,8	1357,6	0,970	0,113	156,7
2.7	3d	18	29,32	1700	178,7	1867,8	1,334	0,15	134,7
3.6	3d	14	29,68	1600	111,2	2508	1,791	0,07	82,8
0.9	5d	50	41,91	2102	128	873,0	0,624	0,061	67,5
1.8	5d	26	44,07	1978	284	1440,0	1,030	0,143	142,4
2.7	5d	18	44,79	1832	466	1677,1	1,200	0,255	229,9
3.6	5d	14	45,15	1702	584	1764,8	1,260	0,343	285,9
0.9	7d	50	52,96	2266	142	938,8	0,670	0,063	59,3
1.8	7d	26	55,12	2096	336	1496,0	1,063	0,160	134,7
2.7	7d	18	55,84	1931	594	1641,5	1,173	0,308	235,1
3.6	7d	14	56,20	1860	710	1815,4	1,297	0,382	279,2
0.9	9d	50	66,22	2625	286	1033,8	0,738	0,109	95,4
1.8	9d	26	68,38	2510	410	1785,0	1,275	0,163	131,9
2.7	9d	18	69,10	2374	575	2208,8	1,578	0,242	183,9
3.6	9d	14	69,46	2279	625	2611,0	1,865	0,274	198,9

Висновки.

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

Чим більша відстань між рядами палей, тим більша несуча здатність окремої палі у складі дворядного стрічкового пальового фундаменту.

На ростверк при поздовжньому кроці 3d припадає менше навантаження, ніж при більших кроках. Також збільшується навантаження на ростверк і збільшенні відстані між рядами палей. Але вплив відстані між рядами палей менший, ніж вплив кроку палей у поздовжньому напрямку.

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 свайных фундаментов /Под ред. Бартоломей 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. Маєвська І.В., Блащук Н.В. Перерозподіл зусиль між елементами однорядного стрічкового пальового фундаменту. „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця : 2019. №1(26). С. 43-52.
9. Дерманський В. А., Сірик І. В., Маєвська І. В., Блащук Н. В. Ступінь реалізації несучої здатності паль по ґрунту в складі стрічкового пальового фундаменту. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України», проведеної 11-13 жовтня 2017 р. у ВНТУ. Вінниця, 2017. С.157-160.
10. Бурлаченко Б. О., Маєвська І. В. Чисельне моделювання роботи стрічкового пальового фундаменту з забивних та бурових паль. Збірник матеріалів І Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021), проведеної 10-12 березня 2021 р. у ВНТУ. Вінниця, 2021. 12 с. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12417/10452> (дата звернення 09.03.2023).

Возна Анна Андріївна — магістр, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: anna.vozna15@gmail.com

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com

Vozna Anna Andriivna - Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: anna.vozna15@gmail.com

Supervisor: **Maevska Iryna Viktorivna** - Associate Professor of "Construction, Municipal Economy and Architecture". Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com