

ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ КУЩОВОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ПАЛЬ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Виконано математичне моделювання роботи кущових пальових фундаментів з різною кількістю палей у різних ґрунтових умовах. Досліджено перерозподіл зусиль між елементами пальового фундаменту в залежності від кількості палей.

Ключові слова: паля, основа, пальовий фундамент, пальовий кущ, перерозподіл навантажень.

Abstract

Mathematical modeling of bush pile foundations with different demand in different soil conditions is performed. The redistribution of forces between the elements of the pile foundation within the number of piles is investigated.

Keywords: pile, foundation, pile foundation, group of piles, redistribution of loads.

Вступ

Великою кількістю досліджень пальових фундаментів з забивних палей встановлено [1-3], що у складі пальового фундаменту частина навантаження передається на палі, а частина – на ростверк, навантаження між палями розподіляється нерівномірно. Чинні на території України нормативні документи [4] рекомендують враховувати роботу ростверку як реакцію ґрунтової основи під подошвою, але і такий підхід не дозволяє адекватно врахувати роботу ростверку у складі пальового фундаменту.

Ці обставини зумовлюють доцільність та актуальність подальшого дослідження напружено-деформованого стану пальового фундаменту та його складових частин при роботі з ґрунтовою основою в залежності від різних факторів.

Метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану кущового пальового фундаменту з забивних палей шляхом математичного моделювання систем пальовий фундамент – основа за допомогою програмного комплексу Plaxis при варіюванні кількості палей у групі.

Результати дослідження

Моделювання сумісної роботи ростверку і палей планується на однорідній піщаній або глинистій основі.

Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, $\gamma = 18,6$ кН/м³, $e = 0,67$, $c = 2$ кПа, $\varphi = 32^\circ$, $E = 28$ МПа.

Характеристики глинистого ґрунту: суглинок тугопластичний, $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 23$ кПа, $\varphi = 21^\circ$, $\nu = 0,35$, $E = 14$ МПа

Схеми розміщення палей в ростверках наведені на рис. 1. Програму моделювання наведено в табл. 1.

Додатково до програми моделювання включені дослідження роботи одиночних палей довжиною 9 м в піщаному та глинистому ґрунті.

При розв'язанні поставлених задач були використані результати математичного моделювання пальового фундаменту із забивних палей за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation, який достатньо коректно моделює роботу палей в ґрунті. Розглянуті варіанти кущів палей з різною кількістю у групі у двох видах ґрунтів.

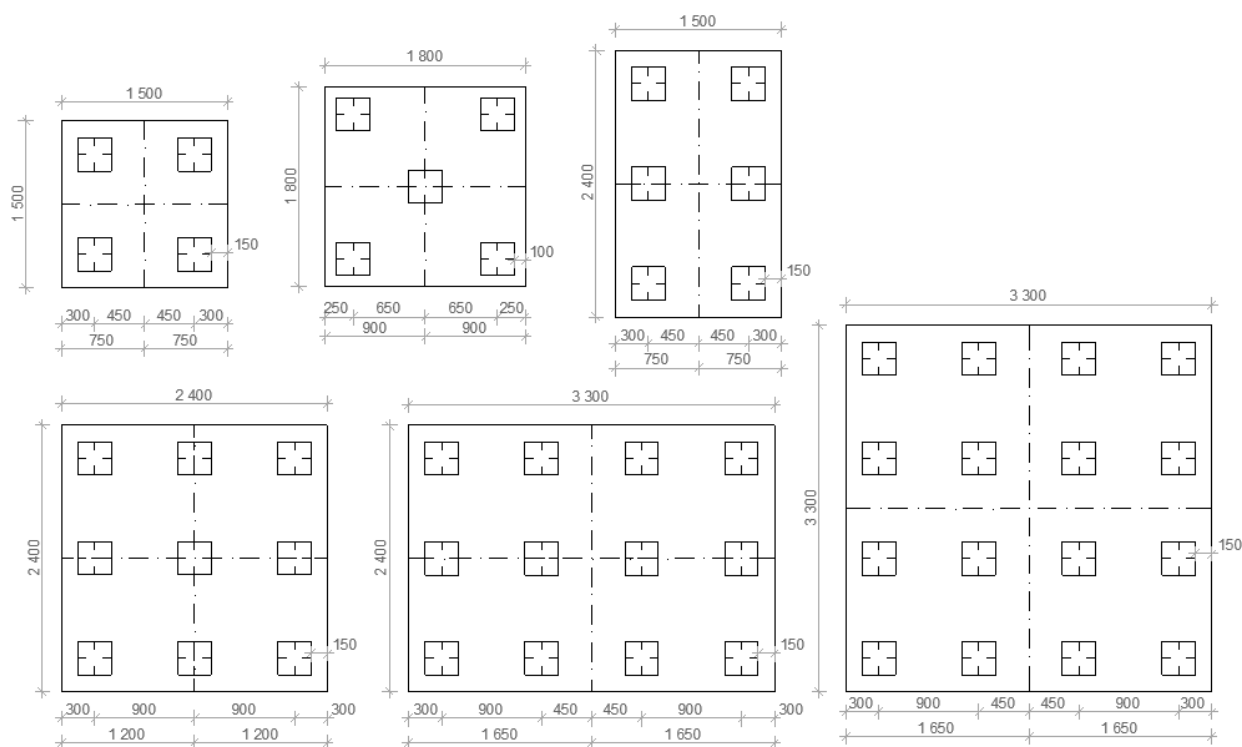


Рис. 1 - Схеми розміщення паль в ростверках при різній кількості паль

Таблиця 1 – Програма математичного моделювання роботи пальового фундаменту з паль довжиною 9 м з поперечним перерізом $d = 0,3$ м. Крок паль $3d$

Група дослідів	Кількість паль	Розмір ростверку в плані	Вид ґрунту
Пальові фундаменти	4	1,5x1,5 м	піщаний
			глинистий
	5	1,8x1,8 м	піщаний
			глинистий
	6	1,5x2,4 м	піщаний
			глинистий
Ростверки як фундаменти мілко-го закладання	9	2,4x2,4 м	піщаний
			глинистий
	12	2,4x3,3 м	піщаний
			глинистий
	16	3,3x3,3 м	піщаний
			глинистий
Ростверки як фундаменти мілко-го закладання	-	1,5x1,5 м	піщаний
			глинистий
	-	1,8x1,8 м	піщаний
			глинистий
	-	1,5x2,4 м	піщаний
			глинистий
Ростверки як фундаменти мілко-го закладання	-	2,4x2,4 м	піщаний
			глинистий
	-	2,4x3,3 м	піщаний
			глинистий
	-	3,3x3,3 м	піщаний
			глинистий

Для проведення моделювання були прийняті забивні палі із бетону С20/25 (В25), довжиною 9 м, поперечним перерізом 0,3х0,3 м. Розміри змодельованого ґрунтового масиву для максимального зменшення впливу крайових ефектів на осідання пальових фундаментів прийняті в плані 30х30 м та по глибині 40 м.

При моделюванні роботи пальового фундаменту були враховані наступні фази роботи:

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

Величина навантаження на моделі збільшувалась до тих пір, поки величина осідання не становила 10 см.

Результати моделювання наведено в таблиці 2. В останньому стовпчику таблиці 2 несуча здатність куща представлена як сума несучих здатностей окремих його елементів. Несуча здатність ростверків як фундаментів мілкого закладання визначена при осіданні 100 мм.

Несуча здатність одиночних паль у піщаному ґрунті $N_{од} = 830$ кН, для палі у глинистому ґрунті $N_{од} = 600$ кН.

Таблиця 2 - Результати моделювання стовпчастих пальових фундаментів

	Кількість паль	Несуча здатність при S = 100 мм					
		Несуча здатність куща, кН	Σ несуча здатність одиночних паль, кН	Кущовий ефект	Несуча здатність ростверку як фундаменту мілкого закладання, кН	Тиск під підошвою ростверку як фундаменту мілкого закладання, кПа	Σ несуча здатність паль+ростверк
	4 шт.	5130	3320	1,54	2508	1115	5828
	5 шт.	6286	4150	1,51	3175	980	7325
	6 шт.	6588	4980	1,32	3276	910	8256
	9 шт.	8582	7470	1,15	4320	750	11790
	12 шт.	10375	9960	1,04	5350	675	15310
	16 шт.	12415	13280	0,93	6590	605	19870
	4 шт.	3915	2400	1,63	1764	784	4164
	5 шт.	4892	3000	1,63	2200	679	5200
	6 шт.	5112	3600	1,42	3280	911	6880
	9 шт.	6560	5400	1,21	4320	750	9720
	12 шт.	7990	7200	1,11	5350	675	12550
	16 шт.	9580	9600	0,99	6588	607	16188

З таблиці 2 видно, що у більшості випадків сума несучих здатностей паль як одиночних менше за несучу здатність групи. Виключення складають лише кущі з найбільшою кількістю паль.

Кущовий ефект (відношення несучої здатності групи до суми несучих здатностей паль) складає від 0,93 до 1,63. Для кущів з 16 паль як в піщаному, так і в глинистому ґрунті кущовий ефект при кроці паль 3d може бути негативним і складає від 0,93 до 0,99. Кущ несе менше навантаження ніж сума несучих здатностей 9 м паль при їх кількості 16 шт., тобто при частому їх розташуванні у великому масиві.

Дослідження ще раз підтвердили, що визначення несучої здатності куща як суми несучих здатностей паль призводить як правило до неекономічного рішення.

Визначати несучу здатність пальового фундаменту як суму несучих здатностей одиночних паль і ростверку як фундаменту мілкого закладання некоректно. Це призводить до завищених результатів і ненадійного рішення.

Для аналізу перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту визначались несуча здатність ростверку у складі пальового фундаменту і навантаження, яке припадає на палі за результатами моделювання (визначення виконувались при осіданні групи 100 мм). Між палями групи навантаження розподілялось умовно рівномірно.

Результати таких підрахунків наведені у таблицях 3 та 4, де можна бачити для кожного куща

сумарне навантаження (N, кН), сумарне навантаження на ростверк (N_{роств}, кН), тиск під подошвою ростверка (P_{роств}, кПа), середнє навантаження на палу в групі (кН). Площа ростверку, яка працює з ґрунтом визначалась за винятком площі паль, що входять у групу.

В таблицях 3, 4 та на рис.2 наведена також частка ростверку у несучій здатності фундаменту. Маючи тиск під подошвою ростверку в групі (табл. 3, 4) і тиск під подошвою ростверку як фундаменту мілкого закладання (табл. 2), а також несучу здатність одиночної палі (табл. 2) і середнє навантаження на палу в групі (табл. 3, 4), можна проаналізувати ступінь реалізації несучої здатності окремих елементів пального фундаменту. За ступінь реалізації несучої здатності палі прийняте відношення її несучої здатності у групі до несучої здатності як одиночної. За ступінь реалізації несучої здатності ростверку прийняте відношення тиску під подошвою ростверка до тиску під подошвою ростверка, як фундаменту мілкого закладання.

Таблиця 3 – Результати чисельного математичного моделювання роботи стовпчастого пального фундаменту на піщаній основі, при змінній кількості паль (s=10 см) (палі без виймання ґрунту)

Кількість паль	Площа ростверку, м ²	Несуча здатність фундаменту, кН	Несуча здатність ростверку, кН	Середня несуча здатність палі у складі фундаменту, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Частка несучої здатності ростверку	Тиск під подошвою ростверку, кПа	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
4 шт.	1,89	5130	1204	982	1,18	0,235	673	0,57
5 шт.	2,79	6286	1413	875	1,17	0,225	506	0,52
6 шт.	3,06	6588	1411	863	1,04	0,214	461	0,506
9 шт.	4,95	8582	1123	829	0,99	0,131	227	0,30
12 шт.	6,84	10375	1077	774	0,93	0,100	157	0,23
16 шт.	9,45	12415	980	715	0,86	0,079	104	0,17

Таблиця 4 – Результати чисельного математичного моделювання роботи стовпчастого пального фундаменту на глинистій основі, при змінній кількості паль (s=10 см) (палі без виймання ґрунту)

Кількість паль	Площа ростверку, м ²	Несуча здатність фундаменту, кН	Несуча здатність ростверку, кН	Середня несуча здатність палі у складі фундаменту, кН	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Частка несучої здатності ростверку	Тиск під подошвою ростверку, кПа	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
4 шт.	1,89	3915	855	765	1,27	0,218	452,4	0,58
5 шт.	2,79	4892	1053	768	1,28	0,215	377,4	0,55
6 шт.	3,06	5112	936	696	1,16	0,183	305,9	0,34
9 шт.	4,95	6560	697	651	1,08	0,106	140,8	0,19
12 шт.	6,84	7990	578	617	1,03	0,072	84,5	0,125
16 шт.	9,45	9580	609	560	0,93	0,064	64,4	0,106

Як бачимо частка ростверку у несучій здатності фундаменту зменшується із збільшенням кількості паль. А отже не тільки палі гірше реалізують себе при збільшенні їх кількості у групі, а і ростверк приймає меншу участь у сприйнятті навантаження.

У таблиці 3 та 4 наведена залежність ступеню реалізації несучої здатності ростверку і паль у складі пального фундаменту. Ступінь реалізації тиску під ростверком знаходиться в межах 0,1-0,58 і практично не залежить від виду ґрунту.

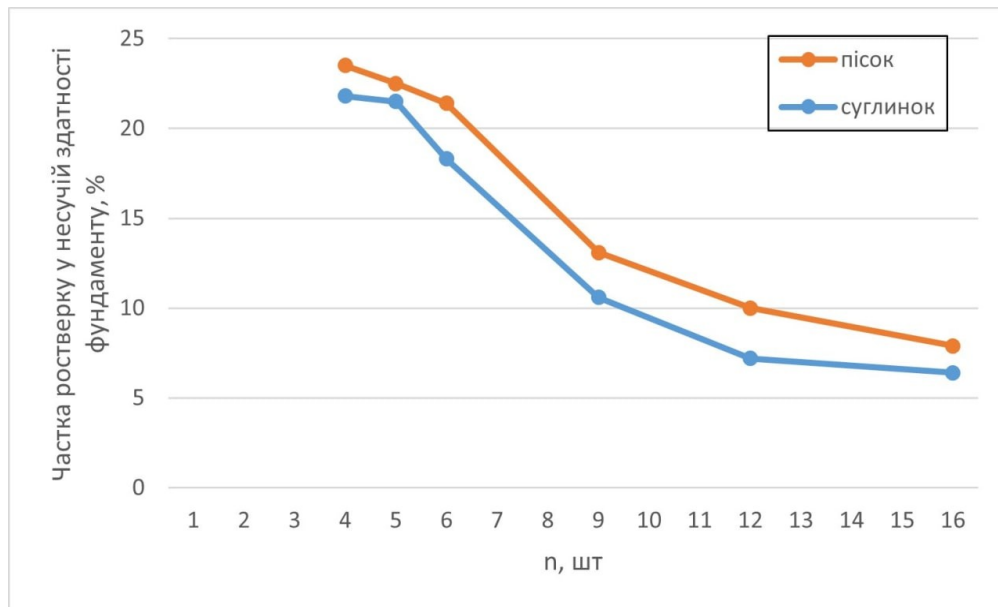


Рис. 2. Залежність частки ростверку у несучій здатності фундаменту від кількості паль і виду ґрунту

Ступінь реалізації несучої здатності паль знаходиться в межах 0,86-1,27 і також мало залежить від виду ґрунту. Палі у складі куца реалізуються не повністю при кількості паль 12-16 шт. (крок 3 d), їх несуча здатність в групі наближається до несучої здатності одиночної палі при кількості паль 9 шт. Для куців з кількістю паль 4-6 шт. ступінь реалізації несучої здатності палі перевищує одиницю. Отже, у групах з незначною кількістю паль вони працюють у куці краще, ніж одиночні і тим краще, чим менше їхня кількість.

Висновки

На підставі проведених досліджень перерозподілу зусиль між елементами палових груп з різною кількістю забивних паль можна зробити наступні висновки:

- із збільшенням кількості паль у групі гірше реалізують себе як палі, так і ростверк. Ступінь реалізації тиску під ростверком знаходиться в межах 0,1-0,58, а ступінь реалізації несучої здатності паль в межах 0,86-1,27;
- палі у складі куца реалізуються не повністю при кількості паль 12-16 шт. (крок 3 d), їх несуча здатність в групі наближається до несучої здатності одиночної палі при кількості паль 9 шт. Для куців з кількістю паль 4-6 шт. ступінь реалізації несучої здатності палі перевищує одиницю. Отже, у групах з незначною кількістю паль вони працюють у куці краще, ніж одиночні і тим краще, чим менше їхня кількість;
- визначати несучу здатність пального фундаменту як суму несучих здатностей одиночних паль та плити ростверка як фундамента мілкового закладання некоректно, це призводить до завищення несучої здатності групи і ненадійного рішення;
- частка роботи ростверка у складі пального фундаменту збільшується із зменшенням кількості паль;
- вид ґрунту (піщаний або глинистий) суттєво не впливає на перерозподіл зусиль між елементами групи паль;
- результати визначення несучої здатності паль у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation доцільно використовувати у проєктній практиці для корегування значень, визначених теоретичним шляхом за рекомендаціями норм [4].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартоломей А. А., Омельчак И. М., Юшков Б. С. Прогноз осадок свайных фундаментов /Под ред. Бартоломея А. А.. Москва : Стройиздат, 1994. 384 с.
2. Маєвська І. В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів : монографія / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 168 с.
3. Маєвська І. В. Вплив виду ґрунту на сумісну роботу паль і ростверка в кушовому пальовому фундаменті/ І. В. Маєвська, Н. В. Блащук, К. А. Чобанова // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця: УНІВЕРСМ-Вінниця. – 2013. – №2. – С.40-47.
4. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2018 - [Чинний від 2019-01-01]. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 36 с. – (Національні стандарти України).

Шевчук Євгеній Олександрович — студент групи Б-20мз, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bikstarbud@gmail.com

Ткачук Аліна Андріївна — студентка групи ІБ-206, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alinatkachukk@gmail.com

Науковий керівник: **Блащук Наталя Вікторівна** — к. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Shevchuk Yevgenij O. — Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : bikstarbud@gmail.com

Tkachuk Alina A. — Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : alinatkachukk@gmail.com

Supervisor: **Natalia V. Blashchuk** - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.