

РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ РОСТВЕРКУ І ПАЛЬ У СКЛАДІ КУЩОВОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

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

Несуча здатність палей в групі може суттєво відрізнитись від несучої здатності одиночної палі (кущовий ефект). Кущовий ефект може бути як позитивним (несуча здатність групи палей більше за суму несучих здатностей одиночних палей), так і негативним (несуча здатність групи палей менше за суму несучих здатностей одиночних палей). Цей ефект залежить від відстані між палями, довжини палей та виду ґрунту.

Нормативною документацією, яка діє на території України, рекомендується враховувати сумісну роботу ростверку і палей, але не наведено яких-небудь положень і методик для його розрахунку, тому несуча здатність пальового фундаменту визначають як суму несучих здатностей палей.

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.

Результати дослідження

Моделювання сумісної роботи ростверку і палей виконано 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

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 (рис.1) у двох видах ґрунтів.

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
	9	2,4x2,4 м	піщаний
			глинистий
	12	2,4x3,3 м	піщаний
			глинистий
	16	3,3x3,3 м	піщаний
			глинистий
Ростверки як фундаменти мілкого закладання	-	1,5x1,5 м	піщаний
			глинистий
	-	1,8x1,8 м	піщаний
			глинистий
	-	1,5x2,4 м	піщаний
			глинистий
	-	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 C20/25 (B25), довжиною 9 м, поперечним перерізом 0,3x0,3 м. Розміри змодельованого ґрунтового масиву для максимального зменшення впливу крайових ефектів на осідання пальових фундаментів прийняті в плані 30x30 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 (рис.2,3).

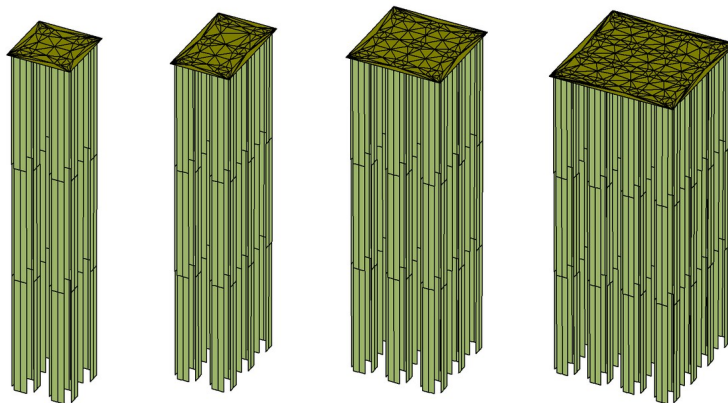


Рис. 1. Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту при 4, 6, 9 та 16 палях у групі

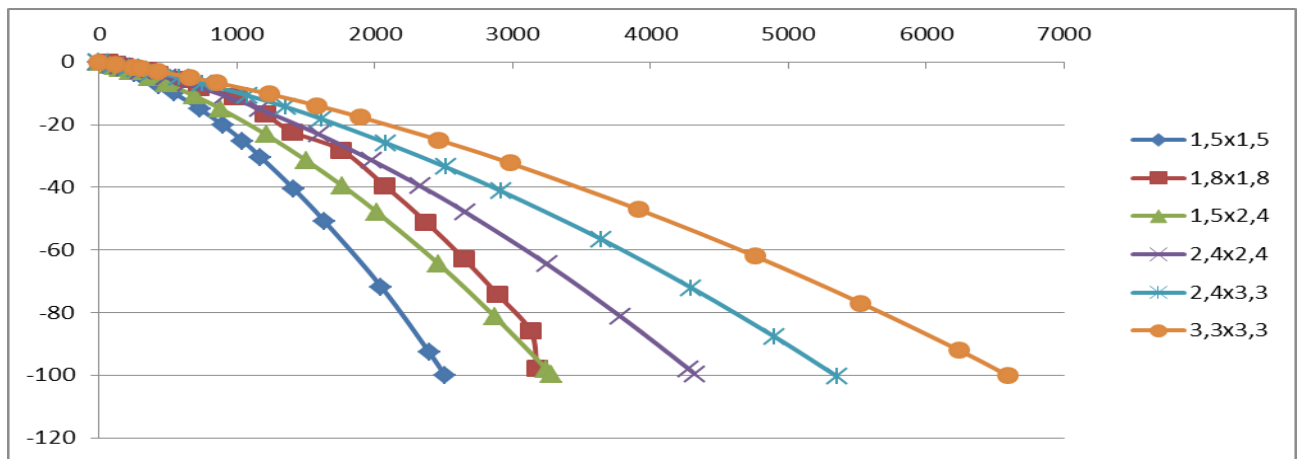


Рис. 2. Графіки залежності осідання – навантаження для ростверків, як фундаментів мілкового закладання, в піщаному ґрунті

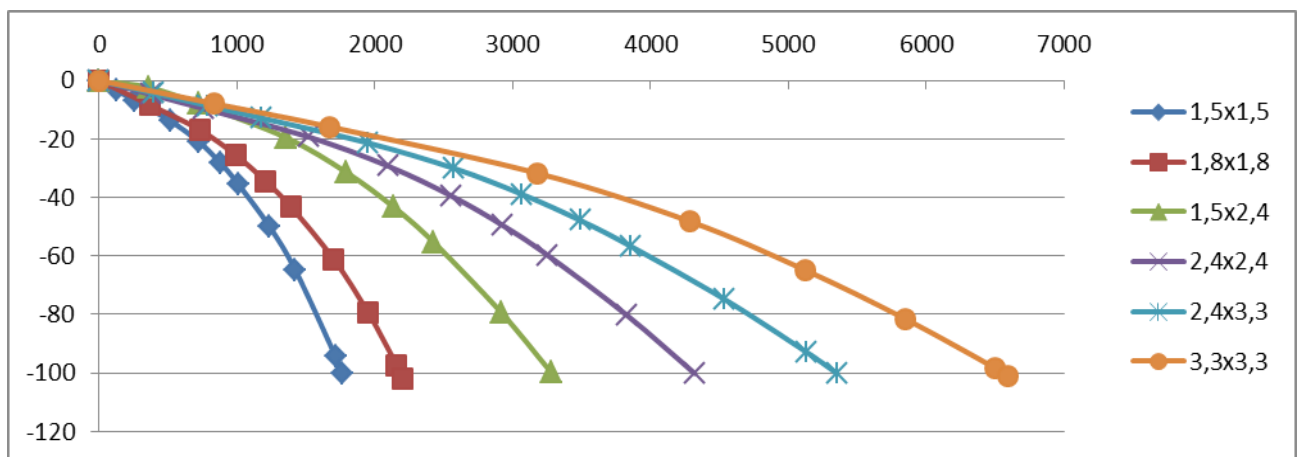


Рис. 3. Графіки залежності осідання – навантаження для ростверків, як фундаментів мілкового закладання, в глинистому ґрунті

На рис. 4 наведено мозаїки вертикальних деформацій ґрунту при навантаженні пальових фундаментів з 4, 6 та 9 паль у піщаному ґрунті. При постійному кроці паль 3d напруження розподіляється по всій довжині паль, включаючи в роботу міжпальовий простір, але це включення залежить від кількості паль у групі. Як видно, при малій кількості паль ґрунт міжпальового простору менше включається у роботу. Переміщення ґрунту відбувається під ростверком і в зоні нижніх кінців паль. При збільшенні кількості паль інтенсивність переміщення ґрунту в міжпальовому просторі збільшується і наближається до величини переміщень ґрунту під ростверком. Таким чином при великій кількості паль весь ґрунто-пальовий масив починає переміщуватись як єдине ціле. Виходячи з цього можна припустити, що палі в середині куща з великою кількістю паль не можуть повністю реалізувати свою несучу здатність і ефективність роботи паль в групі із збільшенням кількості паль буде знижуватись.

Результати моделювання показали, що у більшості випадків сума несучих здатностей паль як одиночних менше за несучу здатність групи. Виключення складають лише кущі з найбільшою кількістю паль.

Кушовий 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 кушовий 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 мілкового закладання некоректно. Це призводить до завищених результатів і ненадійного рішення.

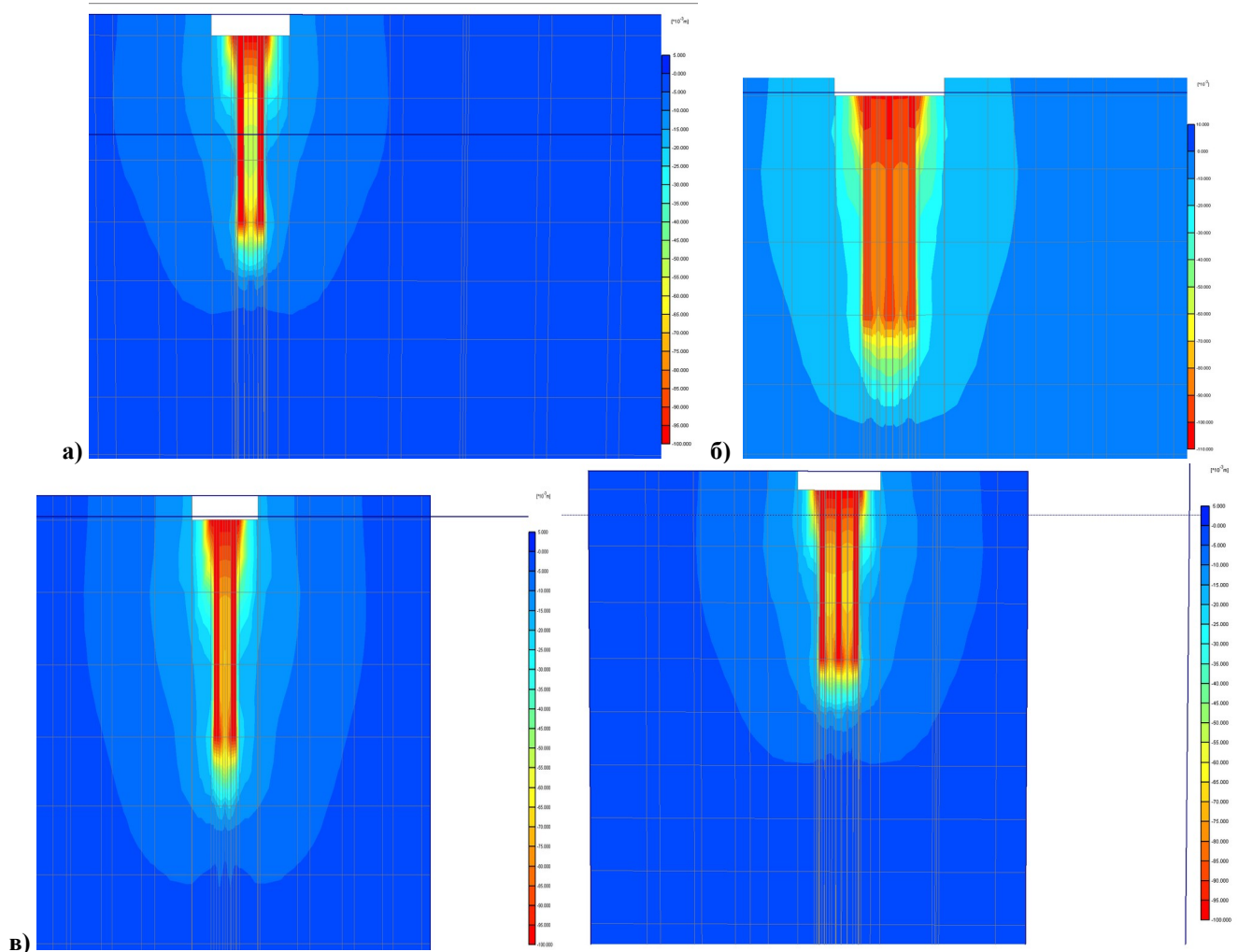


Рис. 4. Мозаїки вертикальних деформацій ґрунту при навантаженні пальових фундаментів з кількістю паль: а) 4 шт; б) 9 шт; в) 6 шт для піщаного ґрунту

Для аналізу перерозподілу зусиль між елементами пального фундаменту визначались несуча здатність ростверку у складі пального 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 1 та 2, де можна бачити для кожного куща сумарне навантаження (N , кН), сумарне навантаження на ростверк ($N_{\text{роств}}$, кН), тиск під подошвою ростверка ($R_{\text{роств}}$, кПа), середнє навантаження на палю в групі (кН). Площа ростверку, яка працює з ґрунтом визначалась за винятком площі паль, що входять у групу.

В таблицях 1, 2 та на рис.1 наведена також частка ростверку у несучій здатності фундаменту. Маючи тиск під подошвою ростверку в групі (табл. 1, 2) і тиск під подошвою ростверку як фундаменту мілкого закладання, а також несучу здатність одиночної палі і середнє навантаження на палю в групі (табл. 1, 2), 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.

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 1 та 2 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.

Таблиця 1 – Результати чисельного математичного моделювання роботи стовпчастого пальового 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 2 – Результати чисельного математичного моделювання роботи стовпчастого пальового 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

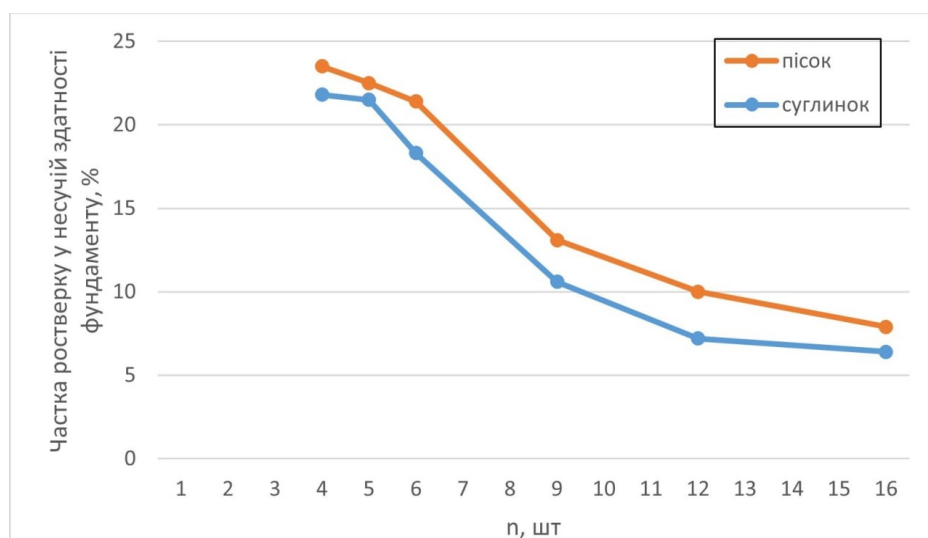


Рис. 2. Залежність частки ростверку у несучій здатності фундаменту від кількості паль і виду ґрунту

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

Висновки

На підставі проведених досліджень перерозподілу зусиль між елементами пальових 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 куща реалізуються не повністю при кількості паль 12-16 шт. (крок 3d), їх несуча здатність в групі наближається до несучої здатності одиночної палі при кількості паль 9 шт. Для кущів з кількістю паль 4-6 шт. ступінь реалізації несучої здатності палі перевищує одиницю. Отже, у групах з незначною кількістю паль вони працюють у кущі краще, ніж одиночні і тим краще, чим менше їхня кількість;
- визначати несучу здатність пальового фундаменту як суму несучих здатностей одиночних паль та плити ростверка як фундаменту мілкового закладання некоректно, це призводить до завищення несучої здатності групи і ненадійного рішення;
- частка роботи ростверка у складі пальового 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 проектній 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 кущовому 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).
5. Шевчук Є. О., Ткачук А. А. Перерозподіл зусиль між елементами кущового пальового фундаменту в залежності від кількості паль. *ЛІ науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії*, ВНТУ, березень, 2022 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15454/12981>.

Ткачук Аліна Андріївна — студентка групи 1Б-206, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alinatkachuk@gmail.com.

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

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

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

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

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

