

ПРАКТИЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПЕРЕХОДУ ВІД ДОВГИХ ДО КОРОТКИХ ПАЛЬ У СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконаний аналіз результатів математичного моделювання стовпчастого пальового фундаменту з забивних паль з різними геометричними параметрами в двох видах ґрунту. Варіювалась довжина паль і їх крок при сталій кількості у куці. При збільшенні відстані між палями і зменшенні їх довжини підвищується реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту. Ступінь реалізації роботи ростверку у порівнянні з відповідним фундаментом мілкого закладання найбільш суттєво підвищується при збільшенні кроку паль. Отже, найбільш ефективну роботу показують пальові фундаменти з коротких паль при збільшеній відстані між ними.

Досліджена економічна ефективність переходу в однорідних ґрунтах від куца з довгих паль при стандартному мінімальному кроці до куца з коротких паль при збільшеній відстані між палями. За рахунок врахування спільної роботи паль і ростверку куц з коротких паль з більшими габаритами ростверку забезпечує таку ж несучу здатність, як куц з довгих паль з компактним ростверком.

На підставі кошторисних розрахунків показано, що застосування фундаментів з коротких паль при збільшенні розмірів ростверку може призвести до економії коштів до 30%.

Ключові слова: стовпчастий пальовий фундамент, ростверк, забивна паля, перерозподіл навантажень, кошторисна вартість, економічна доцільність.

Abstract

The analysis of the results of the mathematical modeling of the columnar pile foundation from driven piles with different geometric parameters in two types of soil was performed. The length of the piles and their pitch varied with a constant number in the bush. When the distance between the piles increases and their length decreases, the realization of the load-bearing capacity of the piles as part of the foundation increases. The degree of implementation of the grid work in comparison with the corresponding foundation of shallow laying increases most significantly when the pitch of the piles increases. Therefore, the most effective work is shown by pile foundations from short piles with an increased distance between them.

The economic efficiency of the transition in homogeneous soils from a bush made of long piles with a standard minimum step to a bush made of short piles with an increased distance between the piles was investigated. By taking into account the joint work of piles and grid, a bush made of short piles with larger grid dimensions provides the same bearing capacity as a bush made of long piles with a compact grid.

On the basis of estimated calculations, it is shown that the use of foundations from short piles with an increase in the size of the grid can lead to cost savings of up to 30%.

Keywords: columnar pile foundation, grillage, driving pile, redistribution of loads, estimated cost, economic feasibility.

Вступ

Відомо, що у пальових фундаментах з низькими ростверками у роботу під навантаженням включаються не тільки палі, як це передбачене чинними нормами [1], а і ростверк за рахунок тиску під подошвою.

При кафедрі БМГА ВНТУ проводяться дослідження перерозподілу зусиль між елементами пальових фундаментів в залежності від різних факторів [2 – 7], але є ще багато аспектів, які залишається поза увагою. Зокрема чи є економічно доцільним використання коротких паль у порівнянні з довгими і за яких умов використання коротких паль може дати економічний ефект.

Оскільки проектування фундаментів у вигляді груп паль за нормами [1] здійснюється на підставі визначення граничного опору одиночної палі, то при проектуванні за нормами короткі палі будуть поступатись довгим (за умови збереження їх кількості).

Врахування спільної роботи всіх елементів пальового фундаменту може підвищити ефективність і надійність проєктних рішень, тому тема дослідження є актуальною і має практичне значення.

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

Програма чисельного моделювання роботи систем стовпчастих ростверк – пальі – ґрунт

Моделльні експерименти розділено на такі підгрупи:

I - моделювання сумісної роботи ростверку і паль на однорідній піщаній основі при довжинах паль 3 м, 6 м, 9 м, 12 м та при осьовій відстані між ними 3d, 5d, 7d, товщина ростверку 500 мм, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, $\gamma = 18,6 \text{ кН/м}^3$, $e = 0,67$, $c = 2 \text{ кПа}$, $\varphi = 32^\circ$, $E = 28 \text{ МПа}$;

II - моделювання сумісної роботи ростверку і паль на однорідній глинистій основі при довжинах паль 3 м, 6 м, 9 м, 12 м та при осьовій відстані між ними 3d, 5d, 7d, товщина ростверку 500 мм, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики глинистого ґрунту: суглинок, $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$, $c = 23 \text{ кПа}$, $\varphi = 21^\circ$, $\nu = 0,35$, $E = 14 \text{ МПа}$.

Таблиця 1 – Програма моделювання сумісної роботи ростверку і паль стовпчастого пальового фундаменту для підгруп I – II

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль	Розміри ростверка
1	L = 3 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.	2,4×2,4 м
2		5d, 9 шт.	3,6×3,6 м
3		7d, 9 шт.	4,8×4,8 м
4	L = 6 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.	2,4×2,4 м
5		5d, 9 шт.	3,6×3,6 м
6		7d, 9 шт.	4,8×4,8 м
7	L = 9 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.	2,4×2,4 м
8		5d, 9 шт.	3,6×3,6 м
9		7d, 9 шт.	4,8×4,8 м
10	L = 12 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.	2,4×2,4 м
11		5d, 9 шт.	3,6×3,6 м
12		7d, 9 шт.	4,8×4,8 м

III – моделювання роботи одиночних паль різної довжини в різних ґрунтових умовах підгруп I – II;

IV – моделювання роботи ростверку як фундаменту мілкого закладання в різних ґрунтових умовах підгруп I – II.

Результати чисельного моделювання системи «ростверк – пальі – основа»

1. Робота пальі в групі з низьким ростверком суттєво відрізняється від роботи одиночної пальі. По мірі зростання навантаження осереднене навантаження на палю у складі фундаменту зростає і для пальових фундаментів з кроком паль більше 3d перевищує несучу здатність одиночної пальі.

2. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку паль. При більшій довжині несуча здатність паль реалізується менше.

3. Тиск під подошвою ростверку із збільшенням кроку паль збільшується, його реалізація складає від 8 до 50%, що дозволяє підвищити несучу здатність фундаменту.

4. Вид ґрунту практично не впливає на характер перерозподілу зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту з забивних паль.

5. Фундамент з паль довжиною 12 м при розмірах ростверка 2,4 × 2,4 м має таку ж несучу здатність, як фундамент з паль довжиною 6 м при розмірах ростверка 3,6 × 3,6 м і фундамент з паль довжиною 3 м при розмірах ростверка 4,8 × 4,8 м.

Порівняльний аналіз вартості фундаментів з довгих та коротких паль

Для порівняння вартості були обрані три варіанти конструктивного рішення фундаменту при однаковій несучій здатності:

Варіант 1 - фундамент з паль довжиною 12 м при розмірах ростверка 2,4 × 2,4 м.

Варіант 2 - фундамент з паль довжиною 6 м при розмірах ростверка 3,6 × 3,6 м.

Варіант 3 - фундамент з палів довжиною 3 м при розмірах ростверка 4,8 × 4,8 м.

Був виконаний розрахунок міцності тіла для всіх трьох варіантів з підбиранням потрібної кількості арматури. Зрозуміло, що варіант 1 має значний об'єм палів, але незначні витрати бетону і арматури ростверка, а варіанти 2 та 3 мають зменшений об'єм палів, але значні витрати матеріалів на ростверк. Результати розрахунків наведені у таблиці 2 та на рис. 1.

Таблиця 2 – Результати розрахунку витрат матеріалів на улаштування паливних фундаментів

Витрати матеріалів	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Об'єм бетону палів, м ³	9,72	4,86	2,43
Об'єм бетону ростверка, м ³	5,29	12,0	21,64
Вага арматури, кг	175	398	564

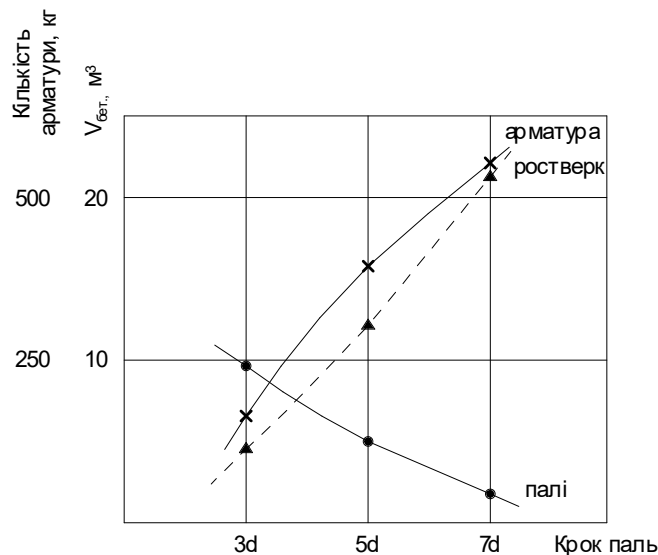


Рис. 1 – Залежність витрат матеріалів від кроку палів у ростверку

Як бачимо, сумарні витрати бетону і арматури при переході від довгих палів із стандартним кроком 3d до коротких палів з підвищеним кроком в цілому збільшуються за рахунок зростання об'єму ростверка і збільшення згинального моменту у тілі ростверка від реакцій палів і тиску під ростверком (більше плече сил).

Але відомо, що готові пали заводського виготовлення є найбільш дорогою конструкцією у перерахуванні на 1 м³ у порівнянні з іншими збірними та монолітними елементами.

Для аналізу економічної доцільності запропонованих варіантів конструктивного рішення були складені кошториси для трьох запропонованих варіантів. Результати розрахунку кошторисної вартості наведені у таблиці 3 та на рис.2.

Таблиця 3 – Результати розрахунку кошторисної вартості улаштування паливних фундаментів

Кошторисна вартість	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Вартість улаштування палів, тис. грн.	126,47	59,69	25,81
Вартість улаштування ростверка, тис. грн.	15,64	35,47	63,85
Вартість арматури, тис. грн.	4,92	11,19	15,86
Загальна кошторисна вартість, тис. грн.	152,09	113,43	112,96
Загальна кошторисна вартість, %	135	100,4	100

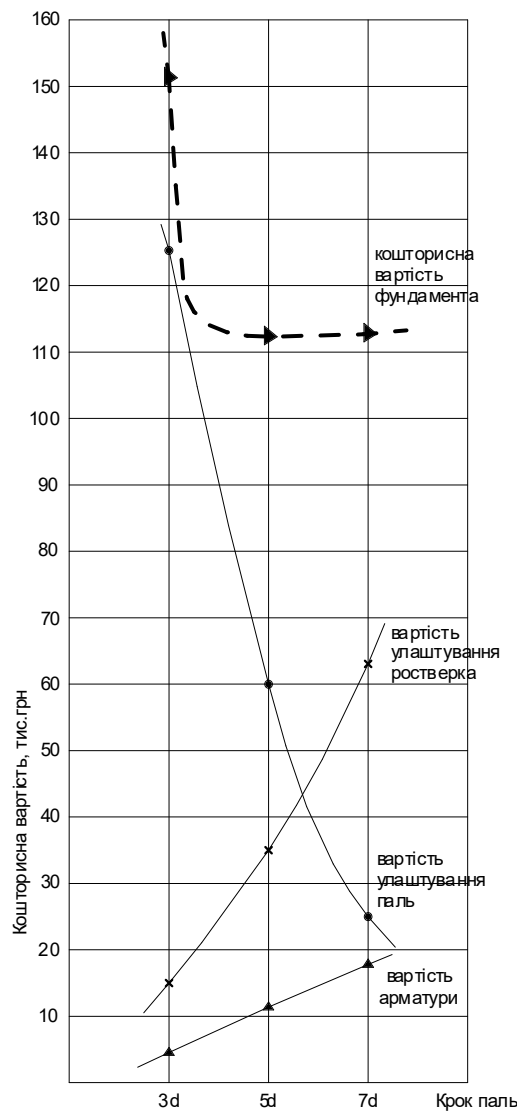


Рис. 2 – Залежність кошторисної вартості від кроку паль у ростверку

Висновки

Реалізація несучої здатності паль у кущовому пальовому фундаменті зростає при зменшенні довжини паль і збільшенні їх кроку.

Реалізація роботи ростверка також покращується при збільшенні відстані між палями.

За рахунок кращої реалізації роботи елементів пальового фундаменту для паль малої довжини з великим кроком можна досягти однакової несучої здатності з фундаментом з паль великої довжини при традиційному мінімальному кроці 3d.

Не дивлячись на значне зростання об'єму бетону ростверку і кількості арматури при збільшенні кроку паль економія коштів на вартості паль забезпечує економічний ефект від використання кущів з коротких паль з широкими ростверками до 35%.

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. 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.

3. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Кремінська Ю. О. Особливості роботи пальових кушів з коротких паль за даними числового моделювання. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Київ, КНУБА, 2021. Вип.43. С. 30-39.

4. Маєвська І. В. Попович М.М., Кремінська Ю. О. Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту за результатами фізичного моделювання. „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. 2022. №2(33). С. 108-118.

5. Кримняк Я. М., Маєвська І. В. Реалізація несучої здатності забивних паль і ростверку у стовпчастому пальовому фундаменті. Збірник матеріалів науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві - 2020», м. Вінниця, ВНТУ, 2020 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10890>

6. Колібаба В.В., Маєвська І.В. Робота бурових паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту // Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», Вінниця, ВНТУ, 2021 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11114>.

7. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 182 с.

Саміленко Вадим Вікторович — магістр, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: samilenko.vadym@gmail.com.

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

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

Samilenko Vadim Viktorovych - Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: samilenko.vadym@gmail.com.

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

Maievskaya Irina Victorivna – associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com