

ВІДМІННОСТІ РОБОТИ БУРОВИХ ПАЛЬ У СКЛАДІ СТОВПЧАСТОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконане планування експерименту з математичного моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту з бурових паль за допомогою програмного комплексу Plaxis. Передбачається дослідити реалізацію роботи ростверку і паль у складі пальового фундаменту у порівнянні з роботою одиночної палі і ростверку як фундаменту мілкового закладання в залежності від геометричних параметрів фундаменту і виду ґрунтів. Планується також порівняти напружено-деформований стан пальових фундаментів з бурових паль з напружено-деформованим станом пальових фундаментів з забивних паль.

Виконана оцінка коректності результатів досліджень роботи бурової палі у ґрунті за допомогою програми Plaxis 3D.

Ключові слова: стовпчастий пальовий фундамент, ростверк, бурова паля, перерозподіл, несуча здатність.

Abstract

The planning of the experiment on mathematical modeling of the columnar pile foundation from drilling piles with the help of Plaxis software package was performed. It is supposed to investigate the realization of the work of the grid and piles as a part of the pile foundation in comparison with the work of the single pile and the grid as the foundation of shallow laying depending on geometrical parameters of the foundation and type of soils. It is also planned to compare the stress-strain state of pile foundations from drilling piles with the stress-strain state of pile foundations from driven piles.

An assessment of the correctness of the results of research on the operation of the drilling pile in the soil using the program Plaxis 3D.

Keywords: columnar pile foundation, grid, drilling pile, redistribution, bearing capacity.

Вступ

Несуча здатність бурових, а особливо буроін'єкційних паль часто перевищує значення, визначене за рекомендаціями норм [1].

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

- несуча здатність паль в групі може суттєво відрізнятися від несучої здатності одиночної палі (кущовий ефект). Кущовий ефект може бути як позитивним (несуча здатність групи паль більше за суму несучих здатностей одиночних паль), так і негативним (несуча здатність групи паль менше за суму несучих здатностей одиночних паль). Цей ефект залежить від відстані між палями, довжини паль та виду ґрунту. Відзначається, що для піщаних ґрунтів кущовий ефект позитивний .

- частина зовнішнього навантаження передається ґрунту основи через підшву ростверку;

- при зміні кількості, кроку і довжини паль частина навантаження, що сприймається ростверком, змінюється;

- наявність низького ростверку ускладнює врахування процесу взаємодії паль з ґрунтом, робить поняття "граничної несучої здатності" паль невизначеним. Несуча здатність палі у складі групи може бути не повністю реалізована внаслідок включення у роботу ґрунту під ростверком;

- навантаження між палями групи розподіляється нерівномірно. Цей перерозподіл залежить від геометричних параметрів групи (крок, довжина і кількість паль), жорсткості ростверку, величини навантаження відносно граничного значення.

Аналогічні дослідження практично відсутні для паль, що утворюються з вийманням ґрунту (бурові палі різних видів).

В зв'язку з цим необхідно дослідження сумісної роботи елементів пальового фундаменту з бурових паль. Для досягнення поставленої в роботі мети, необхідно вирішити наступні задачі:

- шляхом чисельного моделювання, в якому використовується пружно-пластична модель ґрунту, методом скінчених елементів (МСЕ) проаналізувати напружено-деформований стан систем «ростверк – бурові палі – основа»;
- виявити вплив фізико-механічних характеристик основи та роль геометричних параметрів пальових фундаментів на частку несучої здатності ростверку у складі пальових фундаментів з бурових палей при моделюванні методом скінчених елементів;
- виявити вплив способу влаштування палей (палі, що влаштовані з вийманням та без виймання ґрунту) на частку навантаження, що сприймає ростверк у складі пальового фундаменту, при моделюванні методом скінчених елементів;
- виявити вплив способу влаштування палей (палі, що влаштовані з вийманням та без виймання ґрунту) на реалізацію несучої здатності палей у складі пальового фундаменту, при моделюванні методом скінчених елементів;
- розробити адекватну інженерну методику визначення допустимого навантаження на пальовий фундамент з бурових палей із врахуванням сумісної роботи його елементів з основою.

Результати дослідження

Основним методом визначення розподілу зусиль між елементами пальового фундаменту є чисельне моделювання пальових фундаментів з врахуванням моделі ґрунту, яка б адекватно відображала б взаємодію основи і конструктивних елементів пальового фундаменту під навантаженням.

Для математичного моделювання роботи пальового фундаменту обрано програмний продукт Plaxis 3D, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів.

Для оцінки коректності результатів досліджень за допомогою програми Plaxis 3D було виконано моделювання роботи одиничної бурової палі та порівняння отриманого графіку із натурними випробуваннями.

Бурова паля $d = 0,62$ м, $l = 16,0$ м (м. Київ, просп. Григоренка, 9а). Паля майже повністю розміщена у піску середньої крупності. Геологічний розріз наведено на рис. 1. Ґрунти будівельного майданчику (фізико-механічні характеристики визначені за даними інженерно-геологічних вишукувань):

1- пісок намивний середнього розміру, середньої щільності ($0,8$ м) $\gamma=17,4$ кН/м³; $c_{II}=2$ кПа, $\varphi_{II}=38^\circ$, $E=45$ МПа;

2- пісок дрібний середньої щільності $\gamma=16,3$ кН/м³; $c_{II}=2$ кПа, $\varphi_{II}=32^\circ$, $E=25$ МПа;

3- пісок різнозерний щільний $\gamma=20,5$ кН/м³; $c_{II}=5$ кПа, $\varphi_{II}=37^\circ$, $E=50$ МПа;

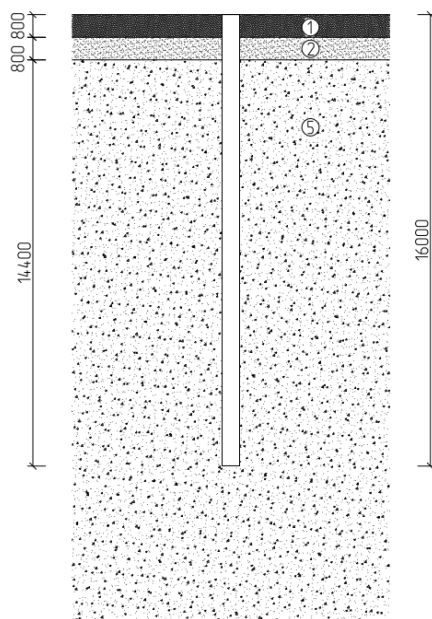


Рис. 1 - Схема розміщення палі в ґрунті

На рис. 2 наведено графіки залежності осідання-навантаження для палі за результатами статичного випробування та моделювання в Plaxis.

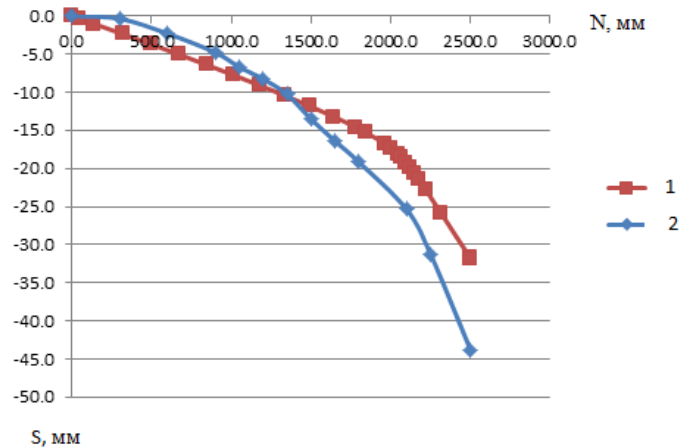


Рис. 2 - Графіки залежності осідання-навантаження для палі: 1 – моделювання в Plaxis, 2 – статичне випробування

Як бачимо з рис. 2 моделювання в Plaxis достатньо адекватно відображує реальну роботу палі під навантаженням.

В подальшому на підставі результатів математичного моделювання планується дослідити реалізацію роботи ростверку і палі у складі пальового фундаменту з бурових палі у порівнянні з роботою одиночної палі і ростверку як фундаменту мілкового закладання в залежності від геометричних параметрів фундаменту і виду ґрунтів.

Крім цього шляхом порівняння результатів аналогічних досліджень для кущів з забивних палі планується з'ясувати відмінність в реалізації несучої здатності палі і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту для палі, утворених з вийманням та без виймання ґрунту.

Програма моделювання НДС системи «фундамент – бурові палі - основа» для стовпчастого пальового фундаменту.

Результатами експериментальних досліджень впливу низького ростверку на роботу пальового фундаменту різних авторів встановлено, що факторами, які впливають на розподіл навантаження між елементами пальового фундаменту, є:

- довжина палі (l_i), м;
- розмір поперечного перерізу палі (d), м;
- відстань між палями (a_i, b_i), м;
- кількість палі у кущі (n);
- фізико-механічні характеристики ґрунту;
- спосіб влаштування палі.

Для дослідження взаємного впливу палі і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту з бурових палі необхідно виконати моделювання методом скінчених елементів сумісної роботи ростверку і палі з ґрунтовою основою та окремо роботи палі і ростверку як фундаменту мілкового закладання у програмному комплексі «Plaxis 3D Foundation».

Програма чисельного моделювання напружено-деформованого стану (НДС) системи «фундамент – бурові палі - основа» для стовпчастого пальового фундаменту передбачає:

- створення розрахункової схеми пальового фундаменту під колону з коригуванням довжини і кроку палі;
- прикладання навантаження до розрахункової схеми стовпчастого пальового фундаменту;
- побудова графіків для визначення навантаження, яке сприймає плита ростверку.

При чисельно-математичному моделюванні поведінки плити ростверку і палі під навантаженням були прийняті такі параметри:

- модель ґрунту – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель пальового фундаменту під колону – ростверк товщиною 0,5 м та 1,0 м і палі діаметром 0,3 м;
- палі довжиною 3,0 м з кроком 3d, 5d і 7d;
- палі довжиною 6,0 м з кроком 3d, 5d і 7d;

- палі довжиною 9,0 м з кроком 3d, 5d і 7d;
- палі довжиною 12,0 м з кроком 3d, 5d і 7d;
- величина навантаження, яка сприймається плитою ростверку, розраховується як добуток реактивного опору ґрунту, який знаходиться під подошвою ростверку, на площу ростверку (без врахування площі паль);
- величина навантаження, яка сприймається палями, розраховується як різниця загального навантаження на стовпчастий пальовий фундамент і величини навантаження, яка сприймається плитою ростверку.

Модельні 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. 1.3. Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, $\gamma = 18,6$ кН/м³, $e = 0,67$, $c = 2$ кПа, $\varphi = 32^\circ$, $E = 28$ 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. 1.3. Характеристики глинистого ґрунту: суглинок, $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 23$ кПа, $\varphi = 21^\circ$, $\nu = 0,35$, $E = 14$ МПа;

III - 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 1000 мм**, програму моделювання наведено в табл. 1. Характеристики глинистого ґрунту: суглинок, $\gamma = 18,7$ кН/м³, $c = 23$ кПа, $\varphi = 21^\circ$, $\nu = 0,35$, $E = 14$ МПа;

IV - моделювання сумісної роботи фундаменту і паль зі сталим кроком 3d, довжиною 6 м в однакових ґрунтових умовах та різною кількістю паль. Характеристики однорідного ґрунту: глинистий, $\gamma = 16,7$ кН/м³, $c = 28$ кПа, $\varphi = 28^\circ$, $E = 19$ МПа.

Програму моделювання наведено в табл. 2.

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

VI – моделювання роботи ростверку як фундаменту мілкового закладання в різних ґрунтових умовах підгруп I – II.

Таблиця 1 – Програма моделювання сумісної роботи ростверку і бурових паль стовпчастого пального фундаменту для підгруп I – III (додатково варіюються вид ґрунту і жорсткість ростверку)

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

Таблиця 2 – Програма моделювання сумісної роботи ростверку і паль для підгрупи IV

Група дослідів	Довжина та діаметр паль	Крок і кількість паль (n)	Ґрунтові умови
1	L=6 м, d=0,3 м	3d, 9 шт	$\gamma = 16,7$ кН/м ³ , $c = 28$ кПа, $\varphi = 28^\circ$, $E = 19$ МПа
2	L=6 м, d=0,3 м	3d, 16 шт	
3	L=6 м, d=0,3 м	3d, 25 шт	

Висновки.

Проведення чисельного моделювання дозволить:

- дослідити реалізацію роботи ростверку і паль у складі стовпчастого пальового фундаменту з бурових паль у порівнянні з роботою одиночної палі і ростверку як фундаменту мілкого закладання в залежності від геометричних параметрів фундаменту і виду ґрунтів;
- порівняти напружено-деформований стан пальових фундаментів з бурових паль з напружено-деформованим станом пальових фундаментів з забивних паль.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. Основи та фундаменти споруд. [Чинний від 2012-07-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с.
2. Рекомендации по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками: Р 5.01.015.05 – [Срок действия: с 1.01.2006 г. по 1.01.2011г.]. – Минск: Научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «СТРОЙТЕХНОРМ», 2005. – 24с.
3. Маєвська І. В. Вплив виду ґрунту на сумісну роботу паль і ростверку в кушовому пальовому фундаменті / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук, К. А. Чобанова // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – №2(15). – С.40-47.
4. Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков – М., Стройиздат, 1994. – 377 с. – Библиогр.: с. 374.
5. Цимбал С.Й., Карцева С.Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28, с. 121-130.
6. Малишев О.М. Сумісна робота паль і ростверку у стовпчастому пальовому фундаменті/ О.М. Малишев, С.О. Цимбал, І.В. Маєвська, Н.В. Блащук // Тези регіональної науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців ВНТУ, м. Вінниця, ВНТУ, 2017 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/viewFile/3694/31033103>.
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.

Колібаба Вадим Вікторович — студент групи Б-19м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; E-mail: vadim.kolibaba929@gmail.com

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет. E-mail: irina.mayevskaja@gmail.com maevska@vntu.edu.ua

Kolibaba Vadym Viktorovych — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Irina V. Mayevska** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.