

РОБОТА РОСТВЕРКУ У СКЛАДІ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ РІЗНИХ ТИПІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконаний аналіз роботи палей та ростверку у складі пильових фундаментів різних типів. Виконане фізичне (на маломасштабних моделях) та математичне моделювання пильових фундаментів з різними геометричними параметрами та в різних ґрунтах. Встановлені фактори, що впливають на перерозподіл навантаження між палями фундаменту та низьким ростверком. Використання одержаних залежностей при розрахунках дозволить забезпечити при проектуванні економію матеріалів палей на величину до 40%.

Ключові слова: палея, основа, пильовий фундамент, перерозподіл навантажень, жорсткість.

Annotation

The analysis of the work of piles and rafters in the structure of pile foundations of various types is carried out. Physical (on small-scale models) and mathematical modeling of pile foundations with different geometric parameters and in different soils are performed. The factors that influence the redistribution of the load between foundation pile and low rafters are established. The use of the obtained dependencies during calculations will allow to provide saving of materials of pallets up to 40% at designing.

Keywords: pile, foundation, pile foundation, redistribution of loads, stiffness.

Вступ

Існуючі методи розрахунку пильових фундаментів досить умовні [1]. В їхню основу не в достатній мірі закладено аналіз механічних процесів, що виникають при їхньому навантаженні. Саме тому розміри пильових фундаментів визначаються розрахунком за принципом простого складання несучих здатностей одиночних палей, хоча гранична несуча здатність пильового фундаменту не є простим додаванням граничних несучих здатностей одиночних палей. Великою кількістю дослідів встановлено, що у складі пильового фундаменту частина навантаження передається на палі, а частина – на ростверк. В результаті адекватного врахування роботи елементів пильового фундаменту відбувається зменшення вартості фундаменту в цілому. Ці обставини зумовлюють доцільність та актуальність подальшого дослідження напружено-деформованого стану пильового фундаменту та його складових частин.

Створення достовірної розрахункової моделі ґрунтової основи, що забезпечує достатню відповідність між результатами розрахунку і дійсністю – все ще одна із найважливіших проблем фундаментобудування. Одним з програмних комплексів, в якому можна реально змоделювати ґрунтове середовище навколо палей є Plaxis, який розроблений на основі методів скінченних елементів та умов просторової задачі.

Результати дослідження

При кафедрі БМГА ВНТУ з 2005 року ведуться дослідження сумісної роботи палей і ростверку у складі пильового фундаменту як в умовах реконструкції, так і при новому будівництві.

Для умов нового будівництва були досліджені три типи фундаментів:

- стрічкові пильові фундаменти з дворядним розміщенням палей [2];
- стрічкові пильові фундаменти з однорядним розміщенням палей [3];
- стовпчасті пильові фундаменти [4, 5].

Дослідження виконувались методом фізичного моделювання у дослідному лотку і методом математичного моделювання за допомогою програмного комплексу Plaxis.

Фізичні дослідження роботи пальових фундаментів проводились у лабораторному лотку (розмір 1800 мм × 1200 мм × 1000 мм), який представлений на рисунках 1 та 2.



Рис. 1 – Випробування моделі стрічкового пального фундаменту

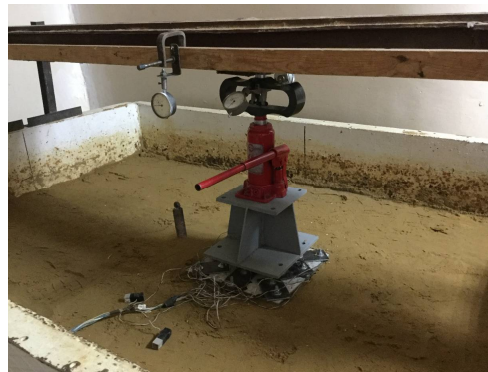


Рис. 2 – Випробування моделі стовпчастого пального фундаменту

В якості моделей паль використовувались дерев'яні палі квадратного перерізу 20 мм × 20 мм, варіюючи їх довжиною (200 мм, 300 мм, 400 мм). Моделі стрічкового ростверку при дворядному та однорядному розміщенні паль виконувались з металу, їх конструктивне рішення наведено на рис. 3 та 4.

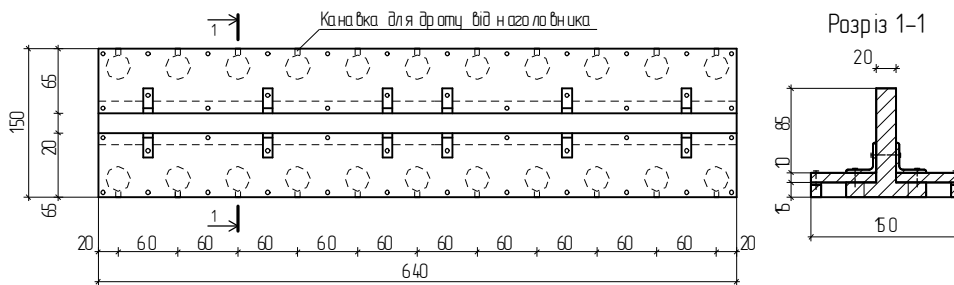


Рис. 3 – Модель стрічкового ростверку при дворядному розміщенні паль

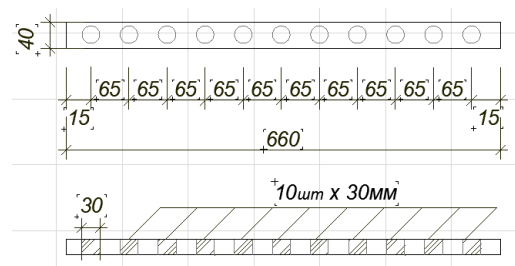


Рис. 4 – Модель стрічкового ростверку при однорядному розміщенні паль

Моделі ростверків стовпчастих фундаментів виконувались з залізобетону з різним кроком паль, їх схема наведена на рис. 4.

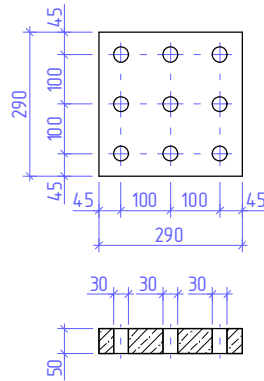


Рис. 4 – Просторова модель будинку

Для замірювання зусиль в палях пального фундаментів використовувались тензометричні наголовники. При дослідженнях варіювались довжина та крок паль. Додатково випробувались одиночні палі та ростверки без паль.

При аналізі результатів визначались:

- частка навантажень, яке беруть на себе палі у складі пального фундаменту;
- частка навантаження, що припадає на низький ростверк;
- розподіл зусиль між палями групи.

Математичне моделювання роботи пального фундаментів різних типів виконувалось за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів. При математичному моделюванні варіювались не тільки геометричні параметри фундаментів, а і ґрунти різних типів, що служать основою для паль.

Для прикладу у таблиці 1 наведена програма математичного моделювання стовпчастих пального фундаментів, а на рис. 5 – мозаїки деформацій для куща з 9 паль довжиною 6 м.

Таблиця 1 - Програма моделювання сумісної роботи фундаменту і паль у складі стовпчастих пального фундаментів

Група дослідів	Довжина та попередний розмір паль	Крок і кількість паль (n)	Ґрунтові умови (рис. 1.35)	
			Під вістрям паль	Під ростверком
1	L=6 м, d=0,3 м	3d, 9 шт	суглинок тугопластичний $\gamma = 16,5$ кН/м ³ , $c = 5$ кПа, $\varphi = 19^\circ$, $E = 9,2$ МПа,	суглинок тугопластичний $\gamma = 16,5$ кН/м ³ , $c = 5$ кПа, $\varphi = 19^\circ$, $E = 9,2$ МПа,
		5d, 9 шт		
		7d, 9 шт		
		9d, 9 шт		
2	L=9 м, d=0,3 м	3d, 9 шт	супісок $\gamma = 19,2$ кН/м ³ , $c = 14$ кПа, $\varphi = 25^\circ$, $E = 9,9$ МПа,	суглинок тугопластичний $\gamma = 16,5$ кН/м ³ , $c = 5$ кПа, $\varphi = 19^\circ$, $E = 9,2$ МПа,
		5d, 9 шт		
		7d, 9 шт		
		9d, 9 шт		
3	L=12 м, d=0,3 м	3d, 9 шт	пісок $\gamma = 20,2$ кН/м ³ , $c = 2$ кПа, $\varphi = 39^\circ$, $\nu = 0,3$, $E = 42$ МПа	суглинок тугопластичний $\gamma = 16,5$ кН/м ³ , $c = 5$ кПа, $\varphi = 19^\circ$, $E = 9,2$ МПа
		5d, 9 шт		
		7d, 9 шт		
		9d, 9 шт		

Програма вивчення частки навантаження, що сприймається ростверком і палями у складі пального фундаменту, передбачала наступні етапи:

- створення розрахункової схеми стовпчастого пального фундаменту;
- дослідження залежності навантаження, що сприймається ростверком у складі пального фундаменту, від довжини паль, їх кроку та характеристик ґрунту;
- побудова графіків залежності «осідання-навантаження».

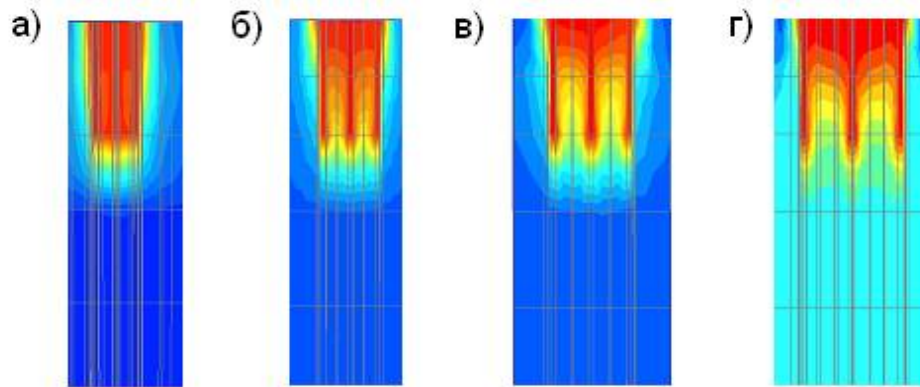


Рис. 5 – Мозаїки деформації ґрунту:

а) палі довжиною 6 м, кроком 3d; б) палі довжиною 6 м, кроком 5d;
в) палі довжиною 6 м, кроком 7d; г) палі довжиною 6 м, кроком 9d.

При моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель пальового фундаменту – забивні палі поперечним перерізом 30×30 см та ростверк товщиною 500 мм;

- крок палі довжиною 6 м 3d, 6d та 9d;

- крок палі довжиною 9 м 3d, 6d та 9d;

- крок палі довжиною 12 м 3d, 6d та 9d;

- розміри розрахункової області в плані 10x10 м;

- за навантаження, що сприймається фундаментом, приймається значення зовнішнього навантаження без урахування ваги ростверку при деформаціях, що не перевищують допустимого значення, 4 см та 10 см;

- частка навантаження, що сприймається ростверком, визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без урахування площі палі;

- частка навантаження, що сприймається палями, визначається як різниця між загальним навантаженням на фундамент і навантаженням, що сприймається ростверком.

В результаті проведеного фізичного моделювання, визначено залежність зміни несучої здатності пальового фундаменту та частки несучої здатності низького ростверку в складі системи фундаменту (у кількісному та відсотковому значеннях), при різному кроці та довжині палі.

Частка навантаження, що сприймається низьким ростверком у змодельованому стрічковому пальовому фундаменті наведена у таблиці 2.

Таблиця 2 - Частка навантаження, що сприймається низьким ростверком при фізичному моделюванні

Довжина палі	Крок палі	Частка навантаження, що сприймається ростверком		
		При дворядному розміщенні палі у стрічковому ростверку	При однорядному розміщенні палі у стрічковому ростверку	При стовпчастому ростверку з 9 палі
200 мм	3d	0,281	0,017	0,42
300 мм	3d	0,515	0,023	0,45
400 мм	3d	0,343	0,050	0,15
200 мм	6d	0,607	0,152	0,54
300 мм	6d	0,751	0,173	0,56
400 мм	6d	0,717	0,195	0,33

В результаті проведеного чисельного математичного моделювання, отримано залежності осідання від навантаження ґрунтової основи, при різному кроці та довжині палі у складі фундаменту.

Виявлено залежності зміни частки несучої здатності низького ростверку, в системі стрічкового пальового фундаменту для різних видів ґрунтової основи. Результати моделювання наведені у таблицях 3 та 4.

Таблиця 3 - Частка навантаження, що сприймається низьким ростверком при математичному моделюванні для піщаного ґрунтового середовища

Довжина паль	Крок паль	Частка навантаження, що сприймається ростверком		
		При дворядному розміщенні паль у стрічковому ростверку	При однорядному розміщенні паль у стрічковому ростверку	При стовпчастому ростверку з 9 паль
6,0 м	3d	0,095	0,144	0,035
9,0 м	3d	0,089	0,105	
12,0 м	3d	0,075	0,029	
6,0 м	6d	0,20	0,266	
9,0 м	6d	0,14	0,179	
12,0 м	6d	0,115	0,14	
6,0 м	9d	0,39	0,342	
9,0 м	9d	0,25	0,268	
12,0 м	9d	0,18	0,224	

Таблиця 4 - Частка навантаження, що сприймається низьким ростверком при математичному моделюванні для глинистого ґрунтового середовища:

Довжина паль	Крок паль	Частка несучої здатності низького ростверку		
		При дворядному розміщенні паль у стрічковому ростверку	При однорядному розміщенні паль у стрічковому ростверку	При стовпчастому ростверку
6,0 м	3d	0,094		0,05
9,0 м	3d	0,065	0,083	0,045
12,0 м	3d	0,05		0,025
6,0 м	6d	0,29		0,34
9,0 м	6d	0,245	0,152	0,17
12,0 м	6d	0,15		0,10
6,0 м	9d	0,45		0,59
9,0 м	9d	0,325	0,221	0,51
12,0 м	9d	0,28		0,18

Результати чисельного математичного моделювання підтвердили результати, отримані під час проведення фізичного випробування фундаментів на маломасштабних моделях.

На рис. 6 показано, як змінюється частка навантаження ростверку при зміні кількості паль в куці (куц з паль довжиною 6 м при кроці 3d) за результатами математичного моделювання.

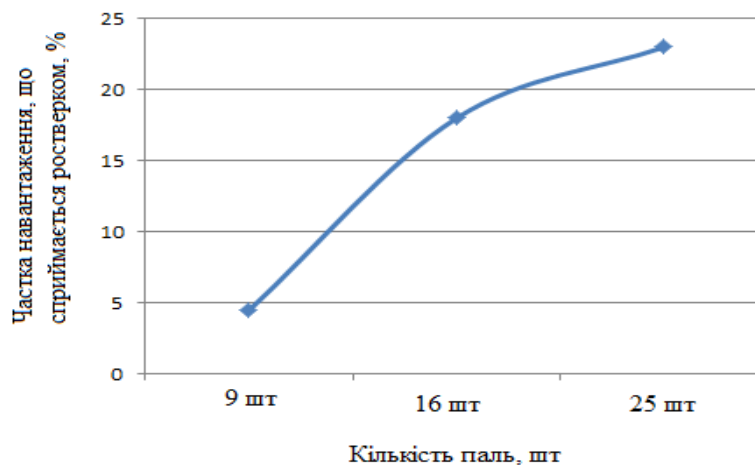


Рис. 6. Частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пального фундаменту в залежності від кількості паль (6 м., 3d)

З рис. 6 видно, що при збільшенні кількості паль частка навантаження, що сприймається ростверком, у складі стовпчастого пальового фундаменту зростає і складає від 4,47% до 23 % навантаження фундаменту.

Висновки

1. Несуча здатність пальового фундаменту з низьким ростверком перевищує суму несучих здатностей одиночних паль.
2. Несуча здатність низького ростверку в системі пальового фундаменту:
 - збільшується, при збільшенні кроку між палями;
 - зменшується, при збільшенні довжини паль в системі пальового фундаменту;
 - характер залежності частки навантаження низького ростверку при роботі фундаменту в піщаному та глинистому середовищах, в залежності від довжини та кроку паль, змінюється не суттєво.
3. Робота палі в групі з низьким ростверком суттєво відрізняється від роботи одиночної палі. По мірі зростання навантаження осереднене навантаження на палю у складі фундаменту зростає і для пальових фундаментів у піщаних ґрунтах перевищує несучу здатність одиночної палі.
4. Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пальового фундаменту залежить від відносної довжини і кроку паль. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку паль та із збільшенням їх відносної довжини.
5. Перерозподіл навантаження між палями стовпчастого фундаменту залежить від етапу навантаження і жорсткості ростверку. На початкових етапах завантаження при жорстких ростверках найбільше зусилля сприймають кутові палі, найменше – центральні, при подальшому збільшенні навантаження і наближенні його до граничного значення виникає перерозподіл зусиль з кутових і крайніх паль до центральної внаслідок вичерпання несучої здатності кутових паль. Для гнучких ростверків навантаження між палями групи спочатку розподіляється рівномірно, а по мірі зростання навантаження найбільше зусилля бере на себе центральна паля.
6. При відносній довжині паль (l/d) менше 15 їх розміри сумірні з розмірами ростверків в плані і такі пальові фундаменти краще розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив.
7. Врахування частки навантаження, що сприймається низьким ростверком (від 3 % до 45 %, в залежності від довжини та кроку паль, у складі фундаменту), значно підвищує несучу здатність пальового фундаменту в цілому, що дозволяє економити матеріальні та трудові ресурси під час проведення будівельних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. - [Чинний від 2012-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с. – (Національні стандарти України).
2. Дерманський В. А. Ступінь реалізації несучої здатності паль по ґрунту в складі стрічкового пальового фундаменту / І.В. Сірик, В.А. Дерманський, І.В. Маєвська, Н.В. Блащук // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України», проведеної 11-13 жовтня 2017 р. у ВНТУ. – Вінниця, 2017. – С.157-160.
3. Ваховський С.О. Фізичне моделювання сумісної роботи паль і ростверку при однорядному розміщенні паль/ С.О. Ваховський, І.В. Маєвська // Тези міжнародної н/т конференції ВНТУ «Інноваційні технології в будівництві», м. Вінниця, ВНТУ, 2018 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6040>.
4. 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>
5. 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 та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця, 2013, №2, с.40-47.

Ірина Вікторівна Маєвська — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. irina.mayevskaja@gmail.com.

Irina V. Majewska - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.

Наталія Вікторівна Блащук— канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

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