

ВПЛИВ ВІДНОСНОЇ ДОВЖИНИ ПАЛЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконаний аналіз особливостей роботи пальового фундаменту з коротких палей (довжина палей сумірна з габаритами ростверку), розглянуті підходи до проектування таких фундаментів. Доведена ефективність розгляду таких фундаментів як єдиного ґрунто-пального масиву (пальнової основи), навантаження на який визначається властивостями ґрунту нижче нижніх кінців палей і деформаціями всього ґрунто-пального масиву в цілому.

Ключові слова: палева основа, палевий фундамент, напружено-деформований стан, осідання.

Abstract

The analysis of peculiarities of the pile foundation from short piles (length of piles is compatible with the dimensions of rafters) is carried out, approaches to the design of such foundations are considered. The effectiveness of considering such foundations as a single soil-pile massif (pile foundation), the load on which is determined by the properties of the soil below the lower ends of the piles and deformations of the whole soil-pile massif in general.

Keywords: pile foundation, pile foundation, strained-deformed state, subsidence.

Вступ

За положеннями існуючих нормативних документів [1] проектування пальового фундаменту передбачає визначення допустимого навантаження на палею і визначення кількості палей з умови неперевикнення цього допустимого навантаження на палею. При цьому потрібне формальне задоволення умови неперевикнення граничних значень осідань при використанні моделі лінійно-деформованого середовища з обмеженням тиску в рівні нижніх кінців палей величиною розрахункового опору ґрунту R , яке для палево-плитного фундаменту практично завжди виконується.

В зв'язку з цим при нормативному підході до проектування палевих фундаментів для виконання умови неперевикнення допустимого навантаження на палею збільшують їх кількість, що призводить до «перенасичення» палями умовного фундаменту при незмінному осіданні будівлі і, як наслідок, до завищення капітальних вкладень у роботи нульового циклу. Ствердження про незмінне осідання при збільшенні кількості палей при інших рівних умовах підтверджене численними експериментальними дослідженнями [2].

При розгляді роботи палево-плитних фундаментів пропонується принцип поділу фундаментів висотних будинків на палевою основу та палевий фундамент [3], які визначаються габаритами палей і ростверку, що зумовлює характер деформацій основи. Так, у випадку пальнової основи (довжина палей менша за габарити плити ростверку) через палей передається близько 55 % зовнішнього навантаження, а у випадку палевого фундаменту (довжина палей перевищує габарити плити ростверку) – близько 85 %. Осідання фундаментної плити в палевому фундаменті менше на 30 %. Така різниця НДС фундаментних конструкцій вимагає окремого підходу до проектування наведених типів фундаментів.

Для оптимізації проектних рішень палево-плитних фундаментів з'являються нові методики, які пропонують врахування роботи з ґрунтом плити ростверку [3, 4] або розгляд умовного фундаменту як єдиного палево-плитного масиву [2, 6].

В даній роботі пропонується поширити такий підхід на стовпчасті палеві фундаменти.

Результати дослідження

Різниця в роботі палевих фундаментів з короткими (розміри палей сумірні з розмірами ростверків в плані) та довгими палями відзначена у власних дослідженнях авторів [5] на маломасштабних моделях палевих груп.

Для моделювання натурних паль довжиною 3 м, 4,5 м та 6 м з поперечним перерізом 30x30 см виготовлені дерев'яні моделі з поперечним перерізом 20x20 мм, довжиною 200, 300 і 400 мм. Кількість паль в куші прийнята сталою (9 штук).

З метою варіювання кроком паль було виготовлено три моделі ростверків, що дозволяють приймати крок паль 3d, 5d та 7d, де d – розмір поперечника палі. Моделі ростверків були виготовлені з залізобетону. Товщина моделей плит ростверків прийнята 50 мм, що відповідає товщині 750 мм у натурального ростверку і є достатньою для забезпечення їх жорсткості під час випробувань.

Розміри моделей ростверків в плані 200x200 мм, 290x290 мм та 410x410 мм.

Для аналізу відмінності поведінки паль і ростверку у складі кущового фундаменту і поведінки одиночної палі та плити ростверку проведено випробування одиночних паль різної довжини та плити ростверку без паль.

У таблиці 1 наведена програма модельного експериментального дослідження.

Таблиця 1 - Програма модельного експериментального дослідження

Розміри ростверку, мм	Крок паль	Довжина паль, мм	Приведена довжина паль
200x200	3d	200	10
		300	15
		400	20
290x290	5d	200	10
		300	15
		400	20
410x410	7d	200	10
		300	15
		400	20

В таблиці 2 та на рис. 1 наведені результати випробувань при осіданні пального фундаменту 3 мм.

Таблиця 2 – Результати випробувань при осіданні куща $s = 3$ мм

Довжина паль, мм	Крок паль 3d				Крок паль 5d				Крок паль 7d			
	Навантаження на куш, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Частка ростверку, %	Навантаження на куш, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Частка ростверку, %	Навантаження на куш, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Частка ростверку, %
200	7,0	3,3	3,7	53	11,0	5,4	5,6	50	12,0	7,65	4,35	36
300	8,0	4,35	3,65	45	11,5	5,32	6,17	53	13,0	5,10	7,90	61
400	14,0	11,9	2,10	15	18,0	11,8	6,20	34	25,0	17,1	7,90	32

В таблиці 3 наведене порівняння навантаження, яке сприймає паливий фундамент з плитою ростверку 290x290 мм (крок паль 5d), з сумою навантажень, які сприймають одиночні палі та ростверк як плита без паль при різних значеннях осідання.

Як бачимо з таблиці 3, при незначних деформаціях (на перших етапах завантаження) несуча здатність коротких паль реалізується не повністю, а довгі палі сприймають більше навантаження, ніж випробовані як одиночні. Для коротких паль неповну реалізацію несучої здатності можна пояснити негативним впливом переміщення ґрунту під подошвою ростверку. На ростверк у всіх випадках припадає більше навантаження, ніж на плиту без паль, що пояснюється ущільненням ґрунту в міжпальовому просторі під час забивання паль.

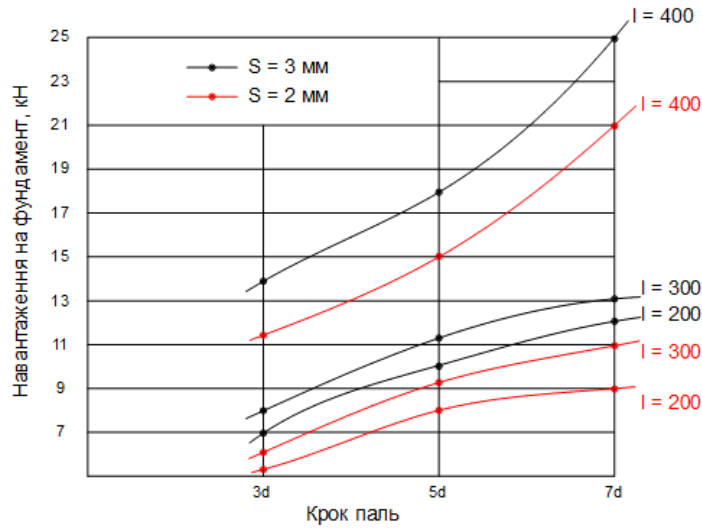


Рис. 1 – Залежність навантаження, що сприймає фундамент при осіданнях куща $s = 2$ мм та $s = 3$ мм, від кроку паль та їх довжини

Таблиця 3 – Порівняння роботи пальового фундаменту з плитою ростверку 290×290 мм (крок паль $5d$) з роботою його окремих елементів при осіданні куща $s = 3,0$ мм

Довжина паль, мм	При роботі у складі фундаменту				При роботі кожного з елементів як окремого			
	Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН	Сума зусиль в палях куща, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Навантаження на кущ, кН	Несуча здатність одиночної палі, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається плитою ростверку без палі, кН	Навантаження на кущ, як сума окремих елементів кН
200	0,51	4,63	5,37	10,0	0,6	5,4	4,5	9,90
300	0,59	5,32	6,17	11,5	0,7	6,3	4,5	10,8
400	1,30	11,8	6,20	18,0	0,8	7,2	4,5	11,7

При збільшенні навантаження на фундамент з короткими палями спочатку зусилля в палях збільшуються інтенсивно, а потім цей процес уповільнюється. Подальше зростання навантаження на кущ здійснюється за рахунок роботи ростверку та ущільненого ґрунту під фундаментом. Такі палеві фундаменти краще розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив. Для довгих паль характерне інтенсивне втягування паль у роботу, частка ростверку при цьому зменшується.

На рис. 2 наведена залежність частки, яку бере на себе ростверк у навантаженні на кущ, від співвідношення довжини палі, l , та розміру ростверка b_p .

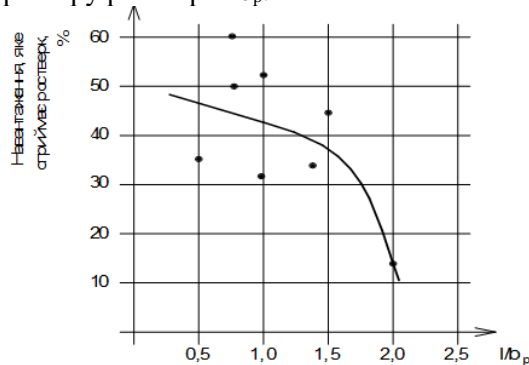


Рис. 2 – Залежність частки, яку бере на себе ростверк у навантаженні на кущ, від співвідношення довжини палі, l , та розміру ростверка b_p

Як бачимо з рис. 2. при коротких палях (довжина паль менша за габарити плити ростверку) через палі передається близько 55 % зовнішнього навантаження, що підтверджує можливість розглядати такі фундаменти як пальову основу.

При визначенні потрібної кількості паль за нормами, коли паля довжиною 200 мм має несучу здатність 0,6 кН (як одиночна), паля довжиною 300 мм - 0,7 кН, паля довжиною 400 мм - 0,8 кН, для забезпечення несучої здатності куща з розмірами ростверка 410x410 мм згідно з рис. 1 потрібно 20 паль довжиною 200 мм, 19 паль довжиною 300 мм і 31 паля довжиною 400 мм.

Отже, розгляд пального фундаменту з коротких паль як суцільного масиву може забезпечити більш економічне рішення.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) системи «паля – ростверк - основа» зручно проводити методом математичного моделювання за допомогою чисельних методів аналізу. Найбільш зручним є метод скінчених елементів (МСЕ), який покладений в основу сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, будівель і споруд. Нормативні документи, що чинні в Україні на теперішній час [1], рекомендують виконувати розрахунки за допомогою програмних комплексів, в яких реалізований МСЕ.

Моделювання роботи стовпчастого пального фундаменту виконуватиметься за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів. Механічна поведінка ґрунтів в даному програмному комплексі може бути змодельована за допомогою використання різних моделей ґрунту: модель Кулона-Мора; модель ґрунту, що ущільнюється; модель повзучості слабкого ґрунту (реологічна модель). Для розрахунку прийнято модель ґрунтів Кулона-Мора.

Для визначення різниці напружено-деформованого стану при роботі коротких та довгих паль виконане моделювання двох кущів з 9 паль при довжинах паль 3 м та 12 м та при осьовій відстані між ними 3d на однорідному ґрунтовому масиві з наступними характеристиками: пісок дрібний, з характеристиками: $\gamma = 16,6 \text{ кН/м}^3$, $e = 0,67$, $c = 2 \text{ кПа}$, $\phi = 32^\circ$, $E = 28 \text{ МПа}$.

Програма визначення навантаження, яке сприймається плитою ростверку у складі стовпчастого пального фундаменту складає:

- створення розрахункової схеми пального фундаменту під колону з коригуванням довжини паль;
- прикладання навантаження до розрахункової схеми стовпчастого пального фундаменту;
- побудова графіків навантаження-осідання.

На рис. 3 наведені розрахункові моделі стовпчастого пального фундаменту (2,4 м x 2,4 м, палі довжиною 12 м) та ґрунтового масиву.

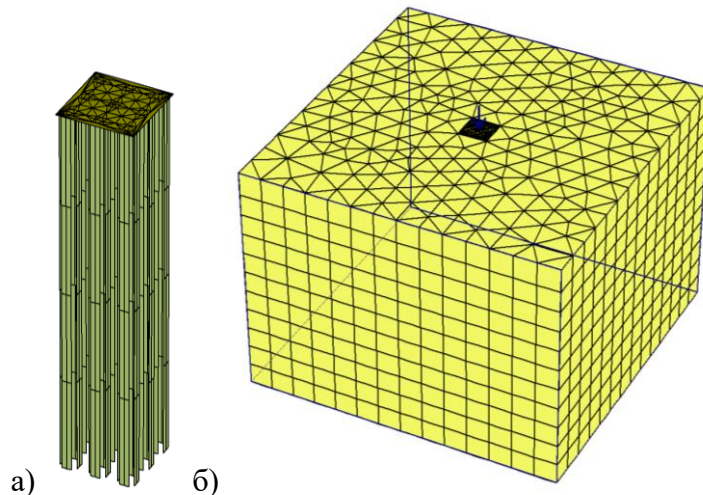


Рис. 3. Розрахункові моделі стовпчастого пального фундаменту (2,4 м x 2,4 м, палі довжиною 12 м) та ґрунтового масиву: а) паливий фундамент 2,4 м x 2,4 м, палі довжиною 12 м; б) ґрунтовий масив

На рис. 4 наведено графіки залежності навантаження – осідання пального фундаменту з кроком паль 3d. На рис. 5 – 8 наведений напружено-деформований стан елементів паливих кущів.

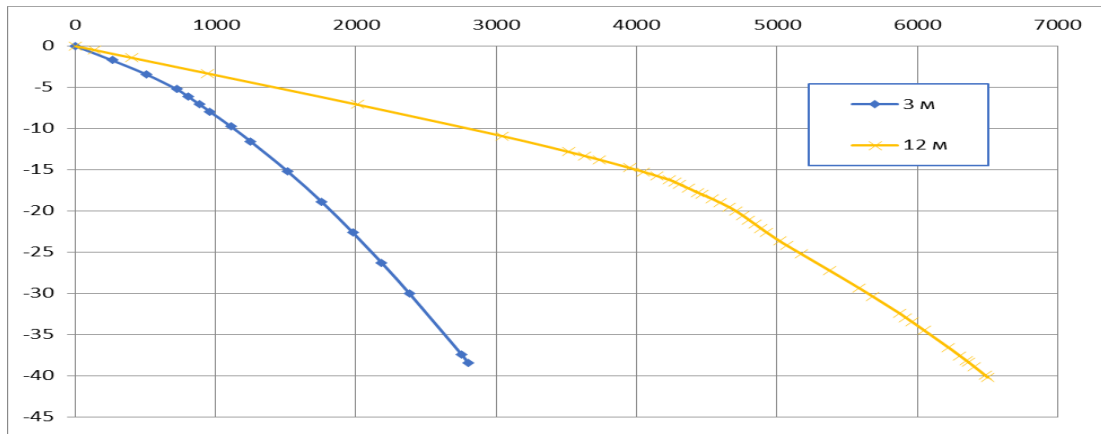


Рис. 4 – Графік залежності навантаження – осідання

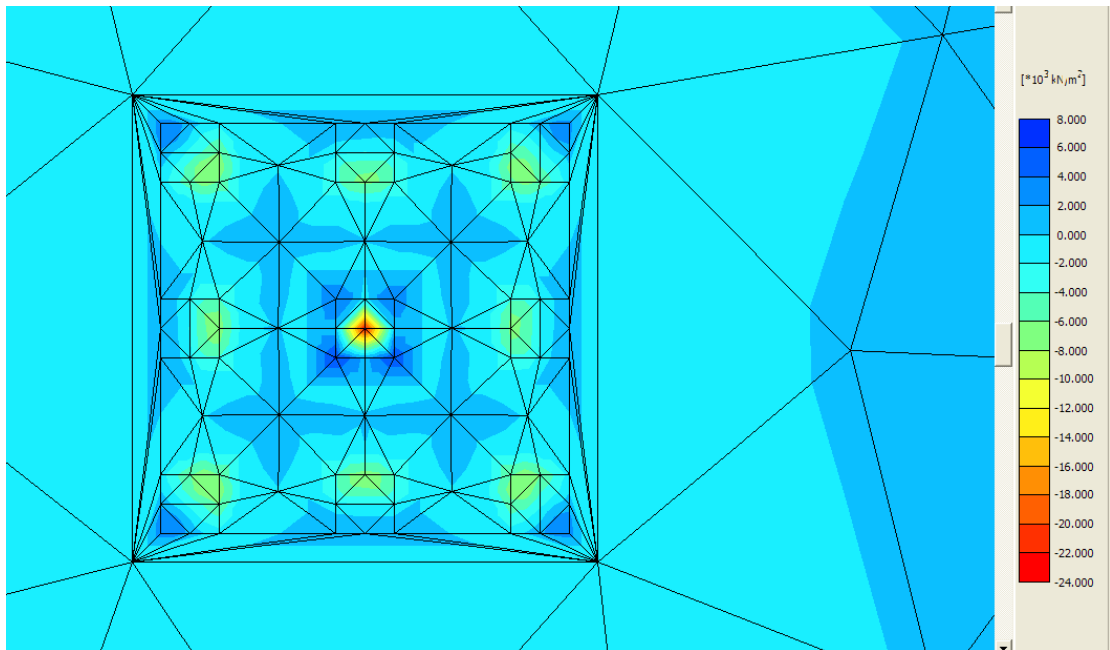


Рис. 5 – Напруження в рівні підшви ростверку 2,4 м x 2,4 м при довжині палів 3 м

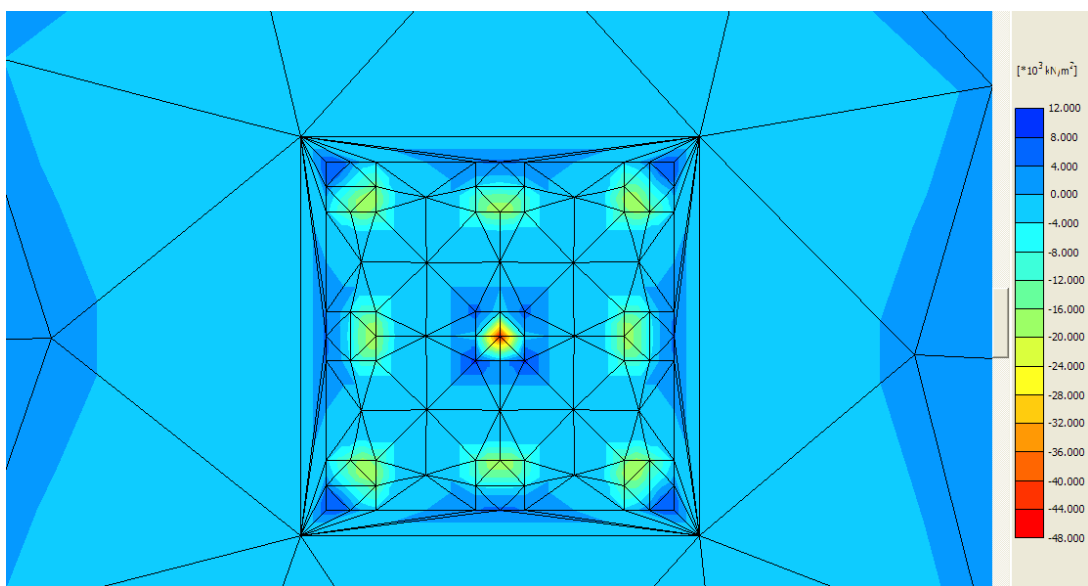


Рис. 6 – Напруження в рівні підшви ростверку 2,4 м x 2,4 м при довжині палів 12 м

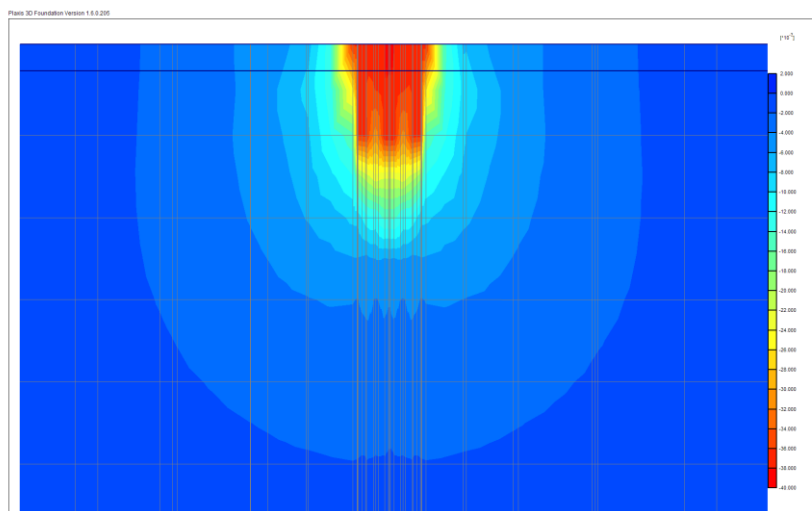


Рис. 7 – Мозаїка вертикальних деформацій ґрунту при навантаженні пальового фундаменту розмірами 2,4 м x 2,4 м; довжина паль 3 м

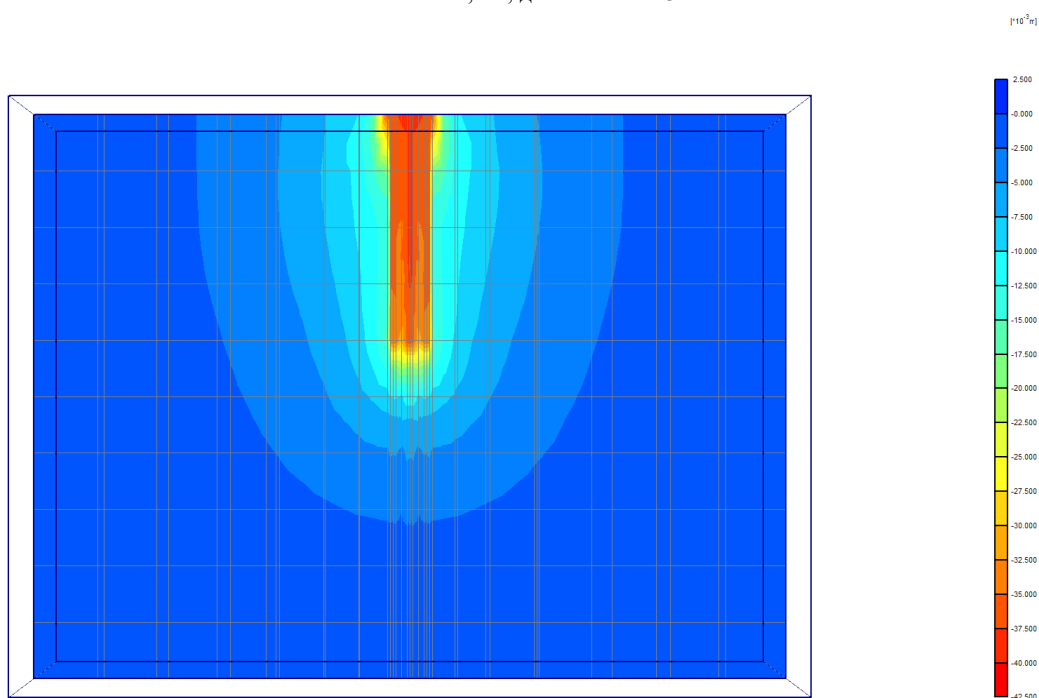


Рис. 8 – Мозаїка вертикальних деформацій ґрунту при навантаженні пальового фундаменту розмірами 2,4 м x 2,4 м; довжина паль 12 м

При кроці паль 3d напруження розподіляється по всій довжині паль, включаючи в роботу міжпальовий простір, але при довгих палях навантаження передається на глибоко розташовані шари ґрунту, які мають кращі характеристики.

У табл. 4 наведені результати математичного моделювання по визначенню частки ростверку у навантаженні на стовпчастий паливий фундамент.

Таблиця 4 – Частка ростверку у навантаженні на фундамент

Крок паль і розміри ростверку, м	L = 3 м		L = 12 м	
	N, кН	%	N, кН	%
3d (2,4 x 2,4)	148,50	5,30	255,42	3,93

При палях більшої довжини частка ростверку у навантаженні на фундамент знижується, так як площа по боковій поверхні паль досягає значної величини, тобто більшу частку навантаження сприймають палі. А при палях меншої довжини – навпаки збільшується.

Висновки

1. Пальово-плитні фундаменти з коротких паль (довжина паль менша за половину розміру підошви ростверку) потрібно розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив.
2. Палі ґрунто-пальового масиву пропонується розглядати не як окремий елемент з певною несучою здатністю по ґрунту, а як елемент системи, що забезпечує передачу навантаження на підошву умовного фундаменту з забезпеченням умови $p < R$ для можливості прийняття ґрунтової основи у вигляді лінійно-деформованого середовища, при цьому навантаження на палю може дещо перевищувати її допустиме навантаження по ґрунту із забезпеченням міцності по матеріалу ствола.
3. Підбір кількості паль за запропонованим підходом дозволяє зменшити кількість від 5 до 25 %.

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. Самородов А.В. Проектирование эффективных комбинированных свайных и плитных фундаментов многоэтажных зданий: Монография/ А.В. Самородов.- Харьков: «Типография Мадрид», 2017. – 204 с.
3. Бойко І. П. Дослідження влаштування паль у фундаменті різної довжини. / І. П. Бойко, В.Л. Підлущкий // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), вип.4 (34), ПолтНТУ, 2012, с.42-48.
4. Підлущкий В.Л. Взаємодія фундаментної плити з палями різної довжини з ґрунтовою багатопаловою основою. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Підлущкий В.Л. Київ, 2013.
5. 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/3694/3103>.
6. Маєвська І. В. Використання пальово-плитного фундаменту з коротких паль/ І. В. Маєвська, В. О. Попов // Тези XLVII конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, 2018 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/4946/4697>.

Забаштанська Лілія Анатоліївна – студентка групи Б-166, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1b.16b.zabashanska@gmail.com

Кремінська Юлія Олександрівна - студентка групи Б-166, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1b16b.kreminska@gmail.com

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

Liliya A. Zabashtanska – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1b.16b.zabashanska@gmail.com

Yulia O. Kreminska – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1b16b.kreminska@gmail.com

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