

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПАЛЬОВИХ КУЩІВ З КОРОТКИХ ПАЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі на підставі фізичного моделювання на маломасштабних моделях досліджена та проаналізована сумісна робота палей при зміні їх кількості та низькому ростверку в пальному фундаменті. Розглянуто характер змін частки ростверку та реалізації палей із зміною кількості палей та їх довжини у групі.

Проведені комплексні числові дослідження розрахункової моделі стовпчастого пального фундаменту за допомогою програмного комплексу Plaxis в залежності від геометричних параметрів (довжини та кількості палей). Оцінено ефективність застосування коротких палей порівняно із довгими палями.

Ключові слова: експеримент, новий паловий фундамент, короткі палі, довгі палі, ростверк, модель.

Abstract

In the work on the basis of physical modeling on small-scale models the joint work of piles at change of their quantity and low grid in the pile base is investigated and analyzed. The nature of changes in the share of grilles and piles sales with changes in the number of piles and their length in the group is considered.

Complex numerical studies of the calculated model of the columnar pile foundation with the help of the Plaxis software package depending on the geometrical parameters (length and number of piles) were carried out. The efficiency of using short piles in comparison with long piles is estimated.

Keywords: experiment, new pile foundation, short piles, long piles, grillage, model.

Вступ

При проектуванні нового пального фундаменту є багато суперечливих питань. Одне із них це різниця в роботі груп з коротких палей та груп з довгих палей. Дослідами встановлено [1-3], що навантаження, яке сприймає паловий фундамент, частково передається на ростверк, а частково - на палі і не завжди несуча здатність палей у складі пального фундаменту відповідає несучій здатності одиночної палі. Характер цього перерозподілу суттєво залежить від довжини палей, особливо це стосується роботи груп з коротких палей. Чинні норми України не дозволяють врахувати такі особливості [4].

На сьогоднішній день питання створення достовірної розрахункової моделі ґрунтової основи, що забезпечує достатню відповідність між результатами розрахунку і роботою натурних палей – все ще одна із найважливіших проблем фундаментобудування.

Використання ресурсів несучої здатності палей є одним із передових способів досягнення економії при влаштуванні палових фундаментів. Попередні дослідження показали, що при роботі куца з короткими палями група працює як суцільний ґрунто-паловий масив. При підтвердженні цієї гіпотези можна було б зменшувати кількість палей в межах габаритів ростверку без суттєвої втрати несучої здатності куца.

Виклад основного матеріалу дослідження

Програма та устаткування для проведення фізичного моделювання

Для того щоб побачити якісну картину сумісної роботи забивних палей і ростверку в складі нового пального фундаменту було проведено фізичне маломасштабне моделювання в лабораторних умовах.

Для моделювання натурних коротких і довгих палей довжиною 3 м та 6 м, поперечним перерізом 300х300 мм, виготовлено дерев'яні моделі довжиною 200 мм і 400 мм з поперечним перерізом 20х20 мм (масштаб моделювання 1:15). Товщина моделі плити ростверку прийнята 50 мм, розміри в плані 200х200 мм (рис. 1).



Рис. 1 – Модель ростверку 200×200 мм

При випробуванні пальового фундаменту використовувався лабораторний лоток розміром 1800×1200×1000 мм (рис. 2). В якості ґрунту використовувався пісок середньої крупності із заданою щільністю та вологістю. Врахувавши геометричні розміри лотка з піском та обмежені можливості упорної системи прийнято масштаб фізичного моделювання 1:15.



Рис. 2 - Лоток з ґрунтовою основою під фундамент

Для аналізу відмінностей поведінки пальового фундаменту виконувались три види дослідів (табл. 1). Два види дослідів з найбільшою можливою кількістю паль (типове рішення) та зменшеною кількістю паль в межах однакового зовнішнього контуру, які проводяться двічі при довжині паль у ростверку 200 мм та 400 мм, а також досліди для плити ростверку без паль з різною глибиною закладання. У досліді №2 варіювались три схеми розміщення паль у ростверку. В таблиці 1 наведено програму модельних випробувань. Варіант розміщення плити ростверку без паль на глибині 200 мм моделював умовний фундамент мілкого закладання для пальового фундаменту з довжиною паль 200 мм.

При проведенні досліджень передбачалось визначення зусиль у палях куца за допомогою тензометричних датчиків, закріплених на наголовниках паль, виконаних з відрізків квадратної труби (рис. 3). Для визначення зусилля в кожній палі пальового фундаменту був застосований прилад ИДЦ-1 (вимірювач деформацій числовий).

Перед встановленням тензометричних наголовників у модель пальового фундаменту було здійснено їх тарування за допомогою спеціального навантажувального пристрою і контрольного динамометра (рис. 4).



Рис. 3 – Наголовники із тензометричними датчиками

Таблиця 1 – Програма фізичного моделювання

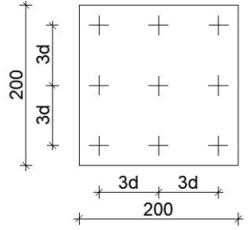
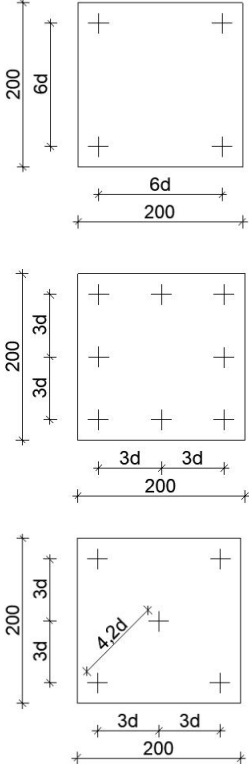
Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль
1	$L = 0,2 \text{ м}, d = 0,02 \text{ м}$	
2	$L = 0,4 \text{ м}, d = 0,02 \text{ м}$	
3	Плита ростверку без паль з розмірами у плані 200x200 мм, висотою 50 мм, глибина закладання 0 та 200 мм	-



Рис. 4 – Пристрій для тарування датчиків

Палі в ґрунтову основу вдавлювались за допомогою важільної системи (рис.5).



Рис. 5 – Важільна система

На вдавнені палі у ростверк ставились наголовники із тензометричними датчиками, які фіксувались металевою пластиною. Розміщення наголовників у різних варіантах показано на рис. 6.

На ростверк навантаження передавалось за допомогою домкрату, а для виміру зусилля використовувався динамометр. Навантаження, на яке розрахований домкрат і динамометр становить до 5 т.

Для виміру осідання пального фундаменту використовувались два прогиноміри, встановлені на незалежній упорній системі, по праву і ліву сторони основної упорної системи. Система в зборі наведена на рис. 7.

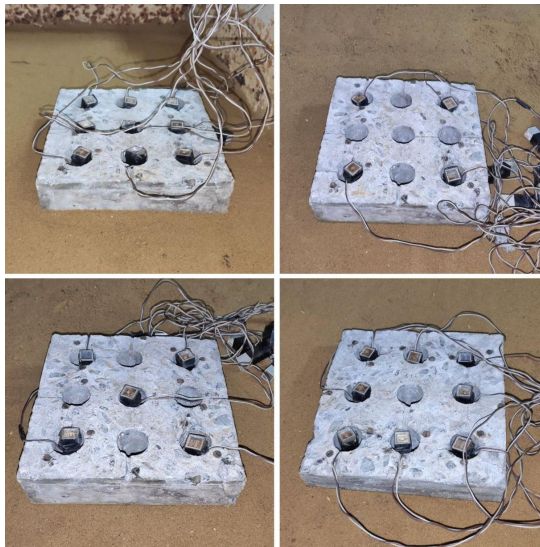


Рис. 6 – Розміщення тензометричних датчиків у ростверку



Рис. 7 – Модель пального фундаменту перед випробуванням

Заплановане також проведення випробувань одиночних палей довжиною 200 мм та 400 мм та плити ростверку без палей на поверхні ґрунтового масиву (рис. 8) і у варіанті умовного фундаменту (рис. 9). Навантаження одиночних палей здійснювалось за допомогою спеціального важеля, що шарнірно кріпиться до стінки лотка. В залежності від місця розміщення палі в лотку співвідношення плечей важеля становить: для палі довжиною 200 мм - $150/33=4,54$; для палі довжиною 400 мм - $150/35=4,28$. Модель випробування одиночної палі зображена на рис. 10.



Рис. 8 – Модель випробування плити ростверку



Рис. 9 – Модель випробування плити ростверку у варіанті умовного фундаменту



Рис. 10 – Модель випробування одиночної палі в лотку

Результати фізичного моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту

В результаті проведення експерименту за розробленою програмою дослідження були одержані графіки залежності осідання – навантаження куща в цілому та графіки залежності сумарної несучої здатності паль від його осідання. Також були одержані графіки осідання – навантаження за результатами випробування одиночних паль різної довжини, графік осідання – навантаження при випробуванні плити ростверку розміром 200x200 мм як штампа без паль та графік осідання – навантаження при випробуванні плити ростверку у варіанті умовного фундаменту.

На рис. 11, 12 наведені графіки осідання – навантаження для кущів з короткими (200 мм) та довгими (400 мм) палями. На графіку рис. 11 наведена також така залежність для фундаменту мілко закладання глибиною 200 мм, що моделює умовний фундамент мілко закладання.

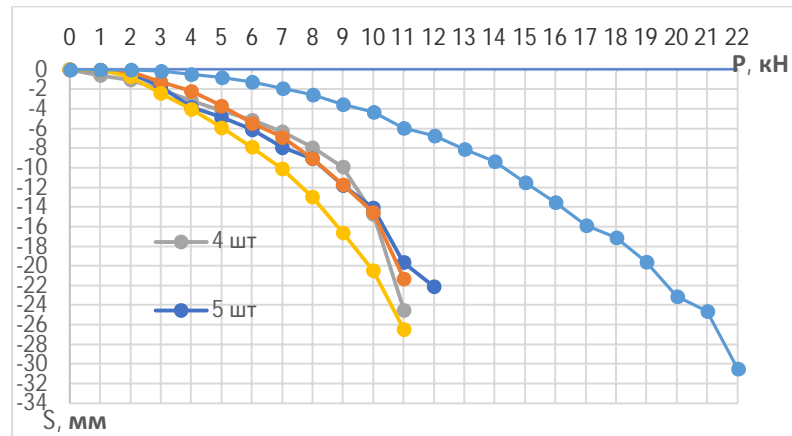


Рис. 11 – Графіки залежності навантаження – осідання для куща паль довжиною 200 мм

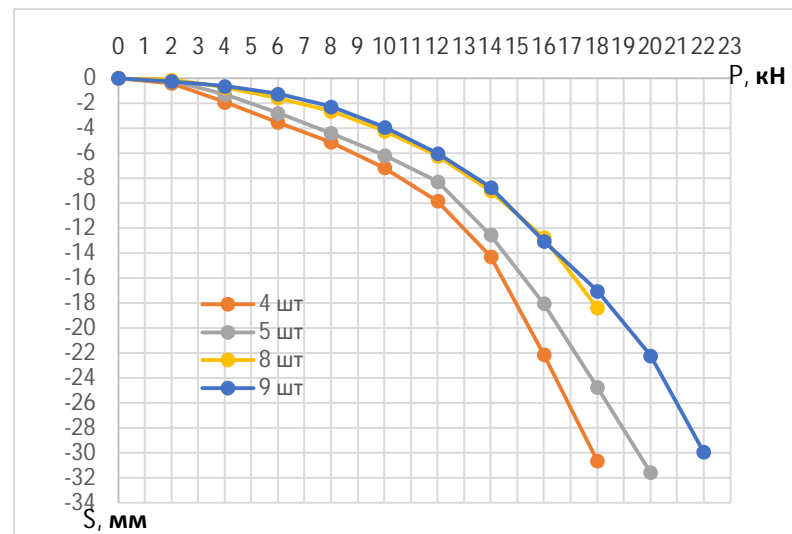


Рис. 12 – Графіки залежності навантаження – осідання для куща паль довжиною 400 мм

Бачимо, що зменшення кількості паль в межах єдиного зовнішнього контуру призводить до несуттєвого зменшення несучої здатності куща. Для паль довжиною 200 мм (співвідношення довжини до поперечного перерізу 10) зменшення несучої здатності не спостерігається (спостерігається навіть збільшення), а для паль довжиною 400 мм (співвідношення довжини до поперечного перерізу 20) зменшення несучої здатності при осіданні 10 мм сягає від 0 до 40% для різної кількості паль.

Отже, при відносній довжині паль (l/d) 15 і менше можна зменшувати кількість паль при сталих габаритах ростверку без втрати несучої здатності.

Порівняння пальового фундаменту з умовним фундаментом мілко закладання показало, що така заміна не дає адекватних результатів ні за деформаціями, ні за несучою здатністю.

На рис. 13 наведені такі графіки для одиночних паль, на рис. 14 – для плити ростверку розмірами 200x200 мм як штампу без паль.

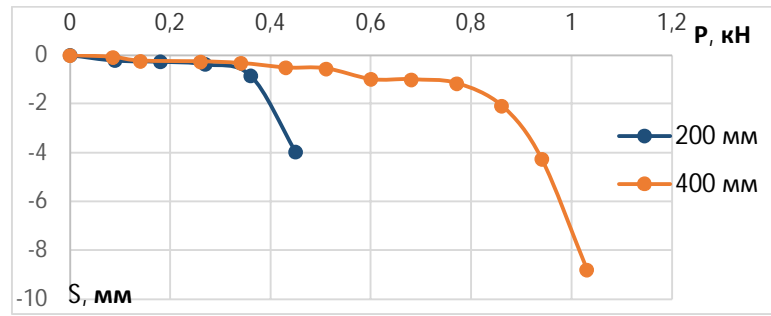


Рис. 13 – Графіки залежності навантаження – осідання для палей довжиною 200 мм та 400 мм

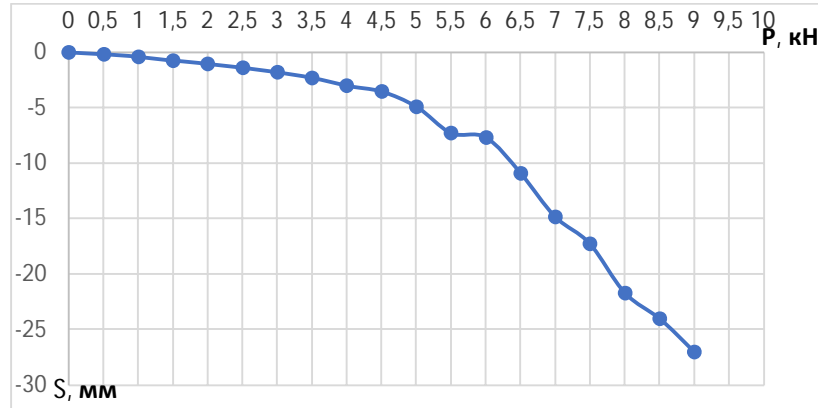


Рис. 14 – Графік залежності навантаження – осідання для плити ростверку розмірами 200x200 мм як штампу без палей

Частка навантаження, яке сприймають палі куща, визначалась як сума зусиль в палях, замірених тензометричними датчиками, частка навантаження, яку сприймає ростверк, визначалась як різниця між навантаженням, переданим на кущ, та сумою зусиль в палях.

В таблиці 2 наведені результати випробувань при осіданні пального фундаменту $s = 10,0$ мм.

Таблиця 2 – Порівняння роботи пального фундаменту з плитою ростверку 200x200 мм з роботою його окремих елементів при осіданні куща $s = 10,0$ мм

Довжина палей, мм	Кількість палей в кущі, шт	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	Частка ростверку, %	Несуча здатність одиночної палі, кН	Сума зусиль в одиночних палях, кН	Навантаження, що сприймається плитою ростверку без палей, кН	Навантаження на кущ, як сума окремих елементів, кН
200	4	0,5	1,95	7,07	9,02	78	0,4	1,6	6,36	8,0
	5	0,51	2,55	5,8	8,35	70		2,0		8,36
	8	0,51	4,07	4,28	8,35	51		3,2		9,56
	9	0,3	2,58	4,37	6,95	63		3,6		10
400	4	1,15	4,58	7,42	12,0	62	0,86	3,44	6,36	9,8
	5	1,5	7,48	5,42	12,9	42		4,3		10,66
	8	1,21	9,66	4,84	14,5	33		6,88		13,24
	9	1,14	10,24	4,26	14,5	29		7,74		14,1

В таблиці 2 проаналізована можлива несуча здатність куща за двома теоретичними гіпотезами: як сума несучих здатностей одиночних паль без урахування плити ростверку (гіпотеза норм [4]) та як сума несучих здатностей одиночних паль та несучої здатності плити ростверку як фундаменту мілкового закладання без паль.

Бачимо, що обидві ці гіпотези не працюють. Неврахування роботи ростверку у складі фундаменту дає занижені значення навантажень на кущ, а врахування роботи ростверку без коригування на перерозподіл зусиль між елементами куща при кучному розміщенні паль призводить до завищення несучої здатності куща.

Таким чином, при оцінці несучої здатності куща через несучі здатності його окремих елементів потрібно виходити із ступеня реалізації цих несучих здатностей у складі куща.

На рис. 15 та 16 наведений характер зміни навантажень, що сприймають палі і ростверк у складі куща при зміні кількості паль.

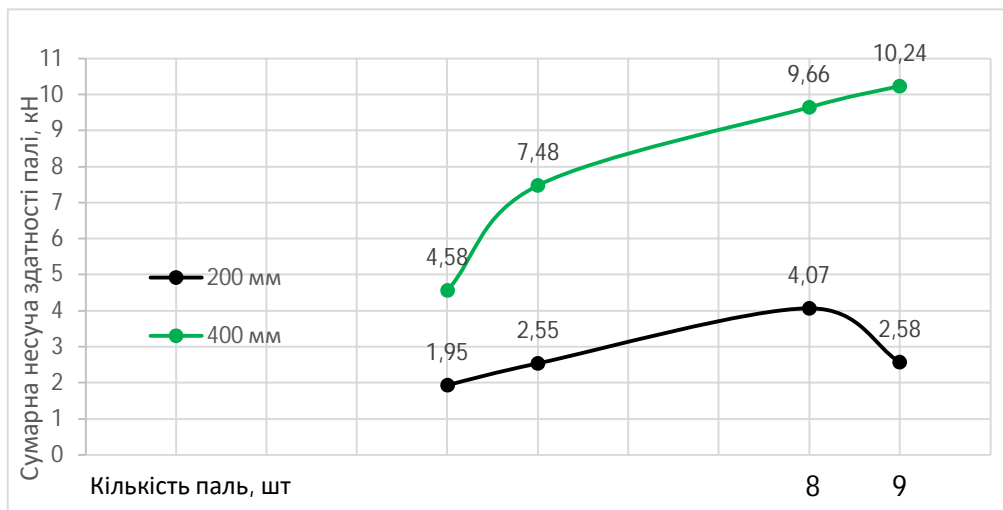


Рис. 15 – Графік залежності сумарної несучої здатності паль у складі фундаменту від кількості і довжини паль

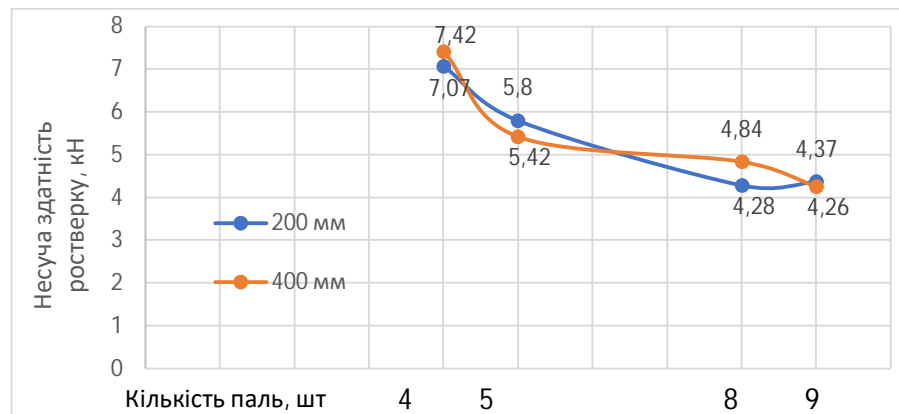


Рис. 16 – Графік залежності несучої здатності ростверку від кількості та довжини паль

Бачимо, що сумарна несуча здатність паль у складі групи зростає при збільшенні кількості паль, але не пропорційно збільшенню кількості, а несуча здатність ростверку зменшується.

Для кількісної оцінки характеру перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту при обробці результатів досліджень аналізувались такі параметри:

- частка ростверку у навантаженні на пальовий фундамент;
- ступінь реалізації несучої здатності паль при роботі у групі;
- ступінь реалізації тиску під ростверком.

Ступінь реалізації несучої здатності паль визначався як відношення несучої здатності палі у групі до несучої здатності одиночної палі. Ступінь реалізації тиску під ростверком - як відношення частка навантаження, яку сприймає ростверк у складі фундаменту, до навантаження, яке сприймає плита ростверку, працюючи без паль.

У таблиці 3 та на рис. 17-19 наведені результати обробки параметрів фізичного експерименту.

Таблиця 3 – Ступінь реалізації несучої здатності палів та тиску під ростверком пального фундаменту у піщаному ґрунті

Довжина палів, мм	Кількість палів в кущі, шт.	Ступінь реалізації несучої здатності палів	Ступінь реалізації ростверку
200	4	1,22	1,11
	5	1,28	0,91
	8	1,27	0,67
	9	0,72	0,7
400	4	1,33	1,17
	5	1,74	0,85
	8	1,4	0,76
	9	1,32	0,67

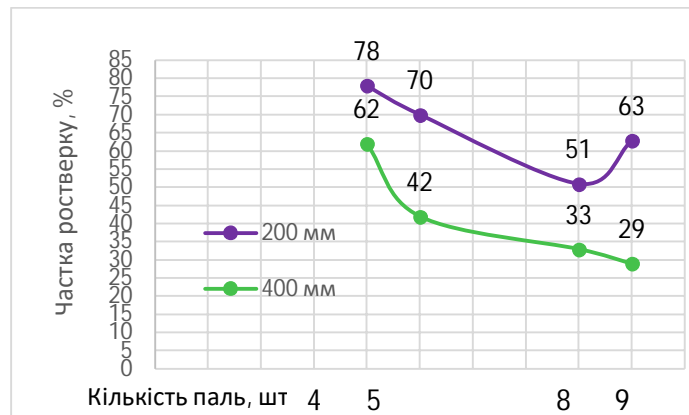


Рис. 17 – Графік залежності частки ростверку у навантаженні на паливий фундамент від довжини та кількості палів

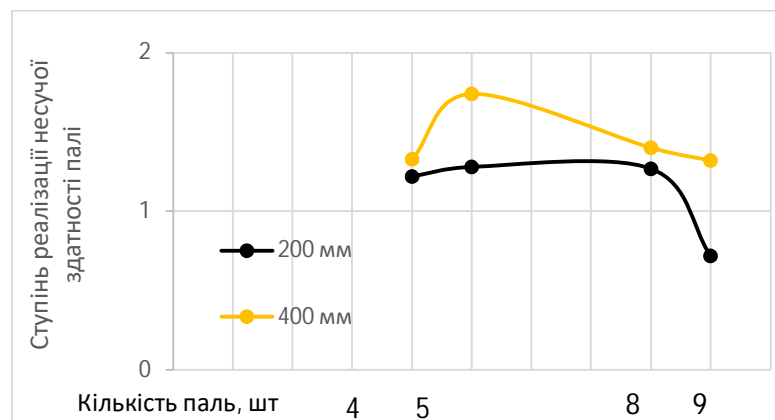


Рис. 18 – Залежність ступеню реалізації несучої здатності палів у складі фундаменту від кількості і довжини палів

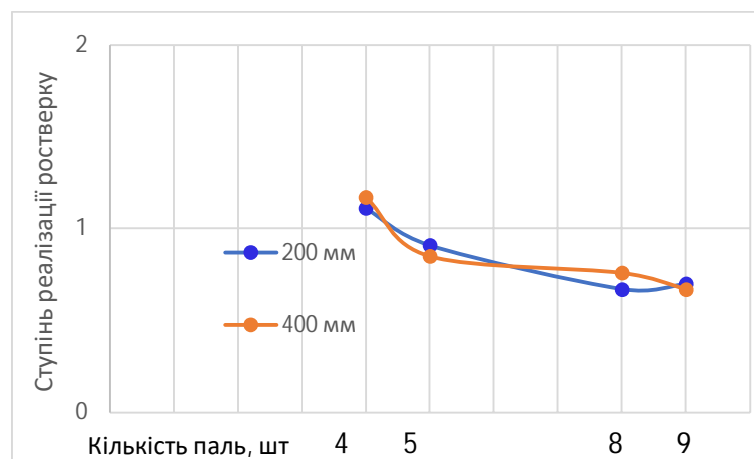


Рис. 19 – Графік залежності ступеня реалізації ростверку від довжини та кількості палів

Бачимо, що ступінь реалізації несучої здатності паль складає не менше 1,2 (виключенням є палі довжиною 200 мм при кількості 9 штук у кущі), а реалізація несучої здатності ростверка змінюється від 1,1 при малій кількості паль до 0,7 при найбільшій кількості паль незалежно від їх довжини.

Оскільки обидва варіанти довжини паль, що були прийняті в експериментах, можна відносити до категорії коротких (співвідношення довжини до поперечного перерізу 10 та 20), то можна зробити висновок, що при використанні коротких паль реалізація їх несучої здатності в групі перевищує одиницю (тобто вони працюють краще у кущі, ніж як одиночні), а потенційна можливість ростверку сприймати навантаження не використовується в повній мірі, але збільшується при зменшенні кількості паль.

Математичне моделювання палових кущів на піщаній основі

Планується дослідити реалізацію роботи пального фундаменту з ґрунтовою основою в залежності від довжини, кількості, розміщення паль та ґрунтових умов. Дослідженнями розглядається однорідний піщаний та глинистий ґрунт основи.

При математичному моделюванні за початкову експериментальну модель нового пального фундаменту були прийняті такі параметри:

- модель ґрунту – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель пального фундаменту під колону – ростверк розміром в плані 2,4x2,4 м, товщиною 0,9 м і палі поперечного перерізу 0,3 x 0,3 м;
- палі довжиною 3,0 м з кроком 3d, 4,2 d і 6d;
- палі довжиною 10,0 м з кроком 3d, 4,2d і 6d;
- величина навантаження, яка сприймається плитою ростверку, розраховується як добуток реактивного опору ґрунту, який знаходиться під підшовною ростверку, на площу ростверку (без врахування площі паль);
- величина навантаження, яка сприймається палями, розраховується як різниця загального навантаження на стовпчастий паловий фундамент і величини навантаження, яка сприймається плитою ростверку.

Моделювання сумісної роботи ростверку і паль планується на однорідній піщаній основі. Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний,

$$\gamma = 18,6 \text{ кН/м}^3, \epsilon = 0,67, c = 2 \text{ кПа}, \varphi = 32^\circ, E = 28 \text{ МПа.}$$

Варіювання кількістю паль здійснюється в межах сталих габаритів ростверка.

Програму моделювання наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Програма математичного моделювання роботи пального фундаменту

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль
1	$L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	
	$L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	
2	$L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	
	$L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	

Продовження таблиці 4

3	$L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	
	$L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	
4	$L = 3 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	
	$L = 10 \text{ м}, d = 0,3 \text{ м}$	

Додатково до програми моделювання включені такі дослідження:

- моделювання роботи одиночних паль довжиною 3 та 10 м;
- моделювання роботи ростверку розмірами 2,4х2,4 м як фундаменту мілкого закладання;
- моделювання роботи умовного фундаменту мілкого закладання при довжині паль 3 та 10 м.

При моделюванні умовного фундаменту він представляється як суцільний фундамент призматичної форми з розмірами в плані і по глибині, що відповідають розмірам умовного фундаменту, визначеними за рекомендаціями норм [4] для розрахунку осідання пального фундаменту.

При вирішенні поставленої задачі були використані результати математичного моделювання пального фундаменту із забивних паль за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation.

Для проведення моделювання були прийняті забивні палі із бетону C20/25 (B25), довжиною 3 м та 10 м, поперечним перерізом 0,3х0,3 м.

Розміри змодельованого ґрунтового масиву для максимального зменшення впливу крайових ефектів на осідання палі прийнята в плані 20х20 м, та завтовшки 20 м. Одна з побудованих моделей ґрунтового масиву та розрахункова модель стовпчастого пального фундаменту зображені на рис. 20 та 21.

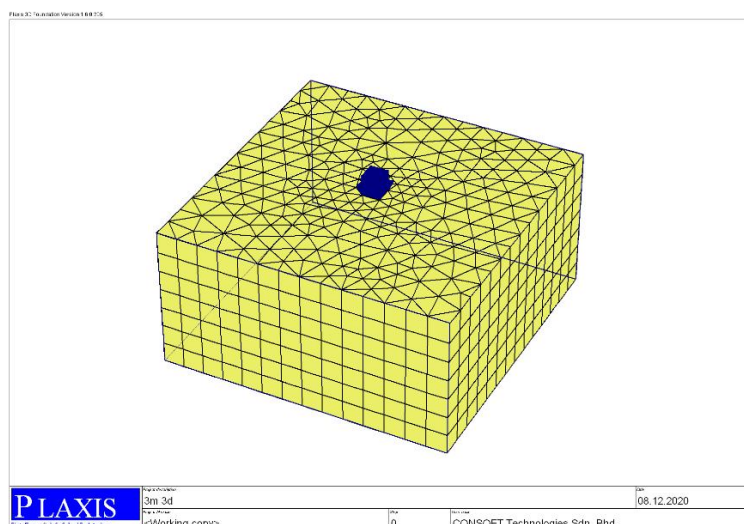


Рисунок 20 – Розрахункова модель ґрунтового масиву

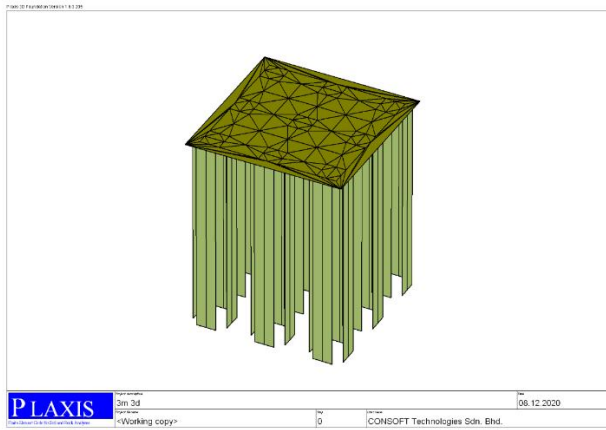


Рисунок 21 – Розрахункові моделі стовпчастого пального фундаменту, палі довжиною 3 м при кроці 3d

Результати математичного моделювання роботи стовпчастого пального фундаменту в піщаному ґрунті

На рис. 22 та 23 зображені мозаїки вертикальних деформацій ґрунту при навантаженні пального фундаменту розмірами 2,4 м x 2,4 м.

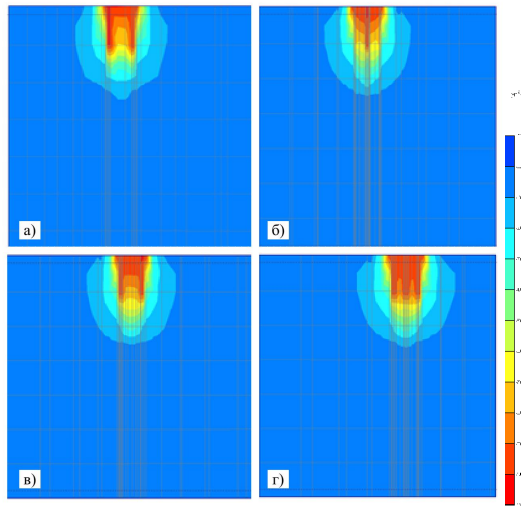


Рисунок 22 – Мозаїка вертикальних деформацій піщаного ґрунту при навантаженні пального фундаменту з розмірами ростверку 2,4 м x 2,4 м; довжина палі 3 м; кількість палі: а) 4 шт; б) 5 шт; в) 8 шт; г) 9 шт.

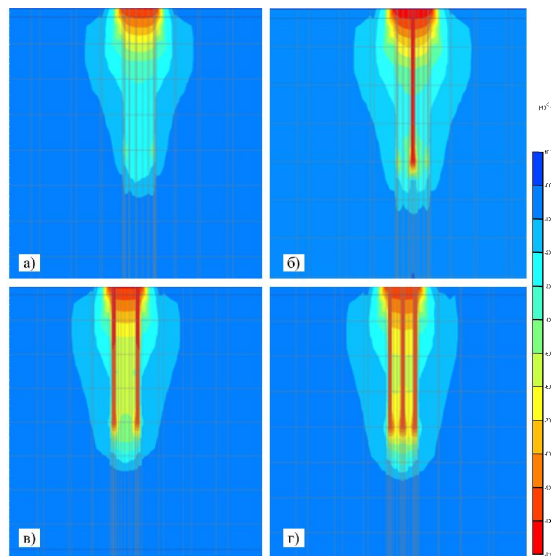


Рисунок 23 – Мозаїка вертикальних деформацій піщаного ґрунту при навантаженні пального фундаменту з розмірами ростверку 2,4 м x 2,4 м; довжина палі 10 м; кількість палі: а) 4 шт; б) 5 шт; в) 8 шт; г) 9 шт.

На рис. 24 представлений результат мозаїки вертикальних деформацій ґрунту при навантаженні умовного фундаменту, довжина паль 3 м та 10 м відповідно.

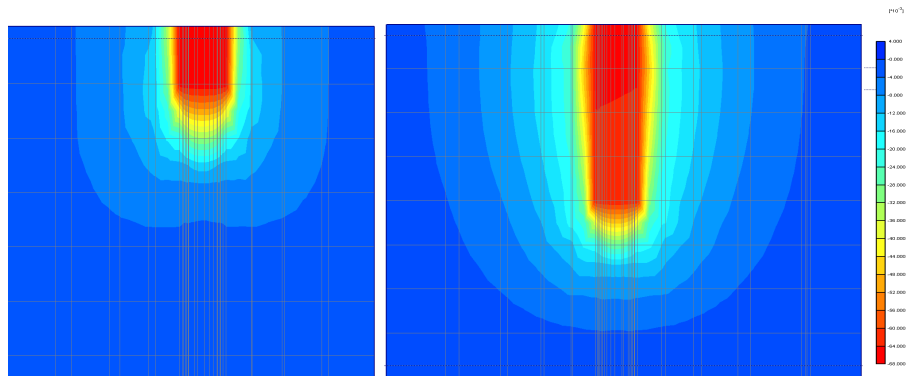


Рисунок 24 – Мозаїка вертикальних деформацій піщаного ґрунту при навантаженні умовного фундаменту при довжині паль 3 м та 10 м

На рис. 25 та 26 представлені результати графіків залежності осідання-навантаження, визначених математичним моделюванням для дослідних палих фундаментів. Також на графіках наведена крива, що відображає умовний фундамент.

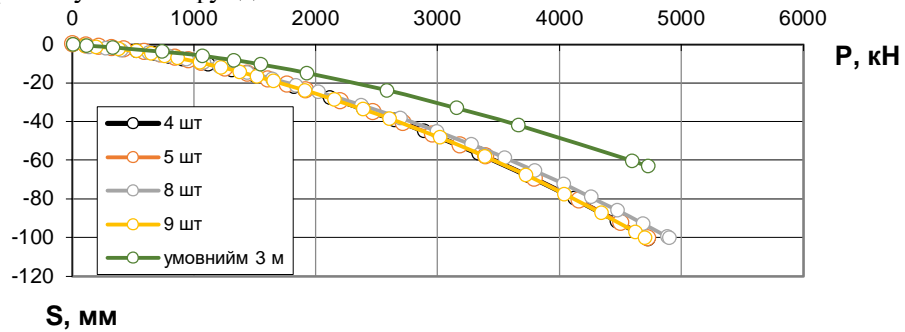


Рисунок 25 – Графіки залежності навантаження – осідання для палей довжиною 3 м (ґрунт пісок)

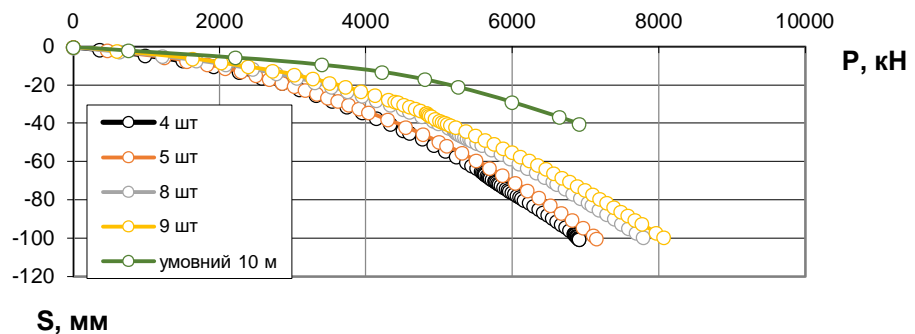


Рисунок 26 – Графіки залежності навантаження – осідання для палей довжиною 10 м (ґрунт пісок)

На рис. 27 представлені графіки залежності осідання-навантаження для одиночних палей довжиною 3 м та 10 м в піщаних ґрунтових умовах.

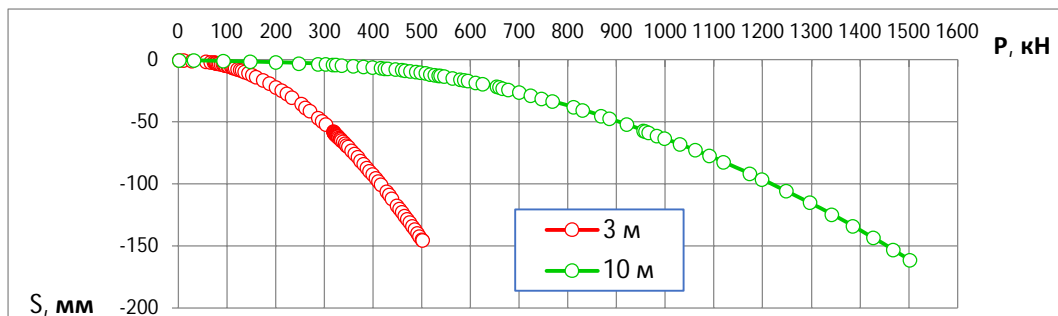


Рисунок 27 – Графік залежності осідання – навантаження для одиночних палей різної довжини в піщаному ґрунті

На рис. 28 представлений графік залежності осідання-навантаження для ростверку, як фундаменту мілко закладання в піщаному ґрунті.

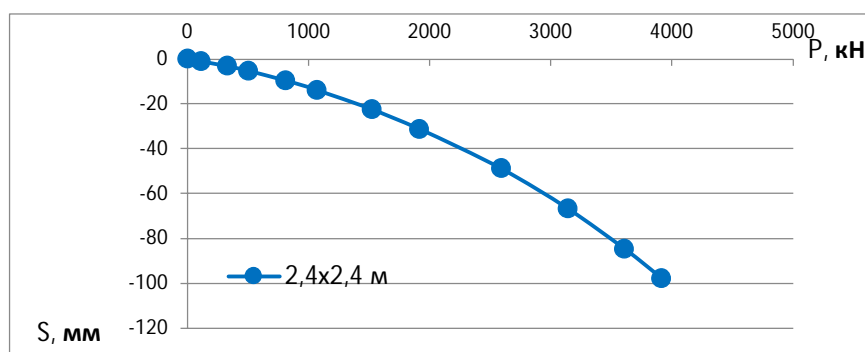


Рисунок 28 – Графік залежності осідання – навантаження для ростверку в піщаному ґрунті

Для більш детального аналізу була визначена несуча здатність груп паль за результатами моделювання в Plaxis при осіданні 100 мм. Також було визначено навантаження, що сприймається ростверком у складі пального фундаменту. Для порівняння наведені значення сумарної несучої здатності паль як одиночних, несучої здатності ростверку як фундаменту мілко закладання розмірами 2,4x2,4 м при такому ж осіданні. Результати моделювання наведено в табл. 5. В останньому стовпчику несуча здатність куща представлена як сума несучих здатностей окремих його елементів.

Таблиця 5 – Порівняння роботи пального фундаменту з плитою ростверку 2.4x2.4 м з роботою його окремих елементів при осіданні куща $s = 100,0$ мм

Довжина паль, мм	Кількість паль в куші, шт	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 ростверку, кН	Навантаження на куш, кН	Частка ростверку, %	Несуча здатність одиночної палі, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається плитою ростверку без паль, кН	Навантаження на куш, як сума окремих елементів кН
3 м	4	744,75	2979	1744	4723	37	415	1660	4000	5660
	5	589,4	2947	1776	4723	38		2075		6070
	8	508,75	4070	826	4896	17		3320		7320
	9	447,22	4025	669	4694	14		3735		7735
10 м	4	978,0	3912	3000	6912	43	1220	4880	4000	8880
	5	875,8	4379	2763	7142	39		6100		10100
	8	704,75	5638	2224	7862	28		9760		13760
	9	683,33	6150	1914	8064	24		10980		14980

Аналіз результатів показує, що в випадку застосування коротких паль можна з метою економії матеріалів зменшити кількість паль в групі при збереженні розмірів ростверку з незначною втратою

несучої здатності. Але перетворення пальового фундаменту на умовний з метою визначення несучої здатності доречно лише при кроці паль 3d, тобто при доволі частому їх розташуванні. Для довгих паль навіть при частому кроці паль умовний фундамент працює краще, ніж паловий.

На рис. 29 та 30 наведені графіки залежності несучої здатності паль та ростверку від кількості паль в групі.

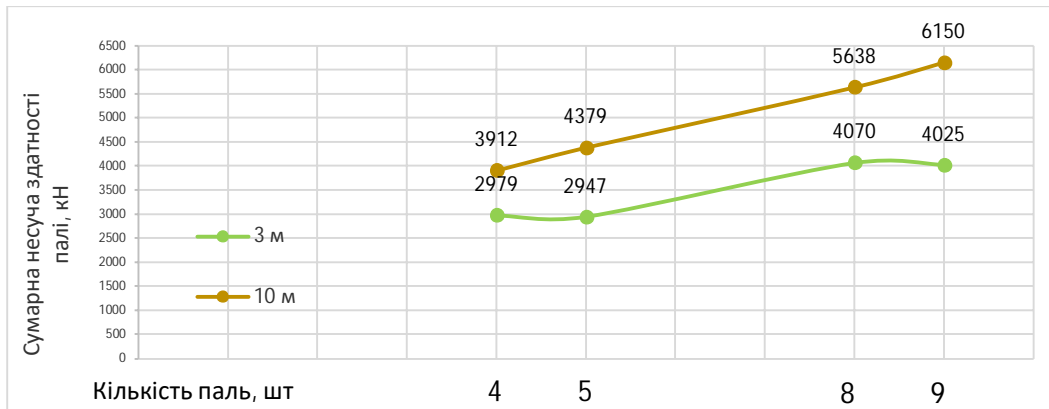


Рисунок 29 – Графік залежності сумарної несучої здатності палі у складі фундаменту від кількості і довжини палі для піщаного ґрунту

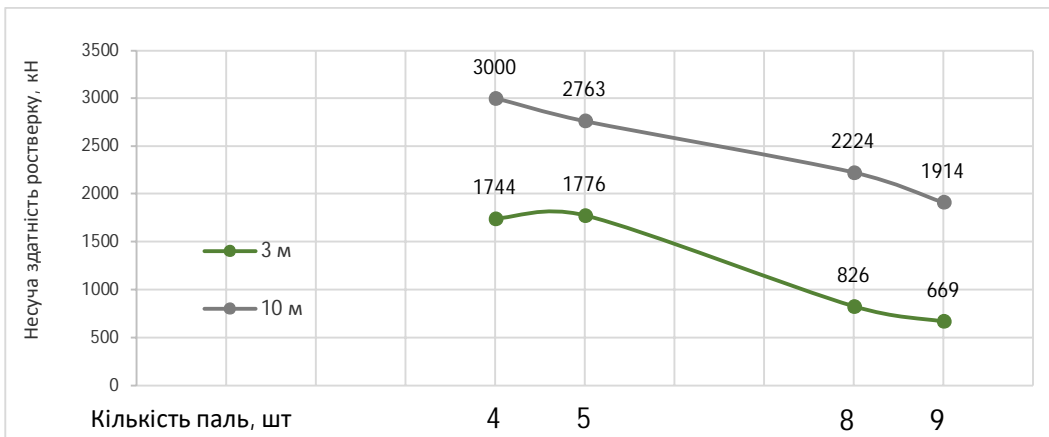


Рисунок 30 – Графік залежності несучої здатності ростверку від кількості та довжини палі для піщаного ґрунту

З графіків 29 та 30 спостерігаємо, що сумарна несуча здатність палі у складі групи зростає при збільшенні кількості палі, але непропорційно збільшенню кількості, а несуча здатність ростверку, навпаки, зменшується.

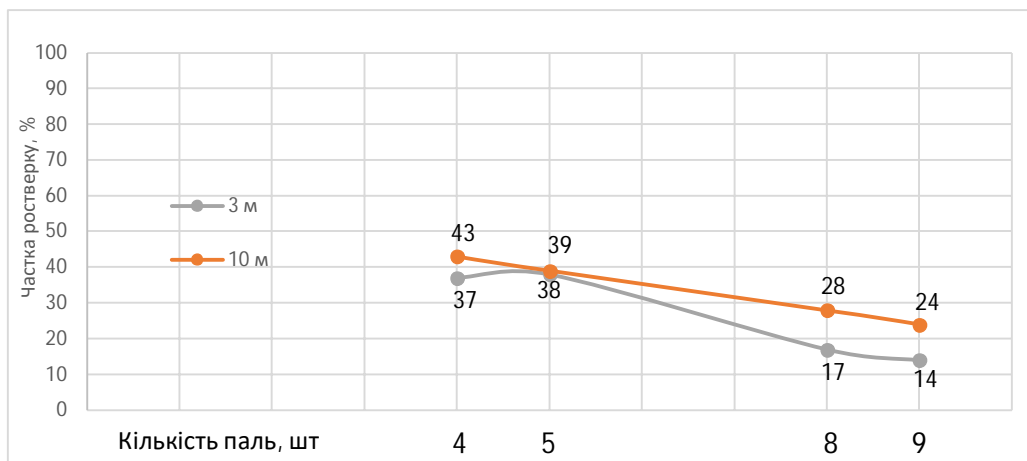


Рисунок 31 – Графік залежності частки ростверку у навантаженні на паловий фундамент від довжини та кількості палі для піщаного ґрунту

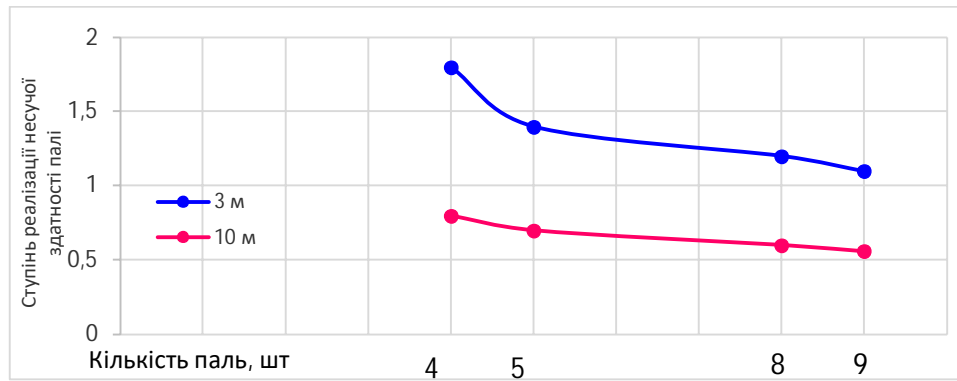


Рисунок 32 - Залежність ступеня реалізації несучої здатності палей у складі пального фундаменту від кількості і довжини палей для піщаного ґрунту

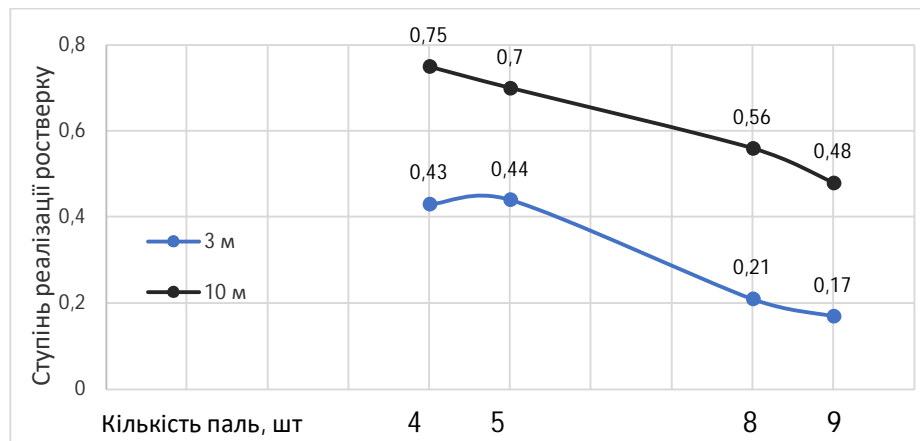


Рисунок 33 – Залежність ступеня реалізації тиску під подошвою ростверку у складі стовпчастого пального фундаменту від кількості і довжини палей для піщаного ґрунту

Як бачимо частка ростверку у несучій здатності фундаменту зменшується із збільшенням кількості палей. Довжина палей впливає на частку ростверку несуттєво. При малій кількості палей частка ростверку практично не залежить від їх довжини.

Маючи тиск під подошвою ростверку в групі і несучу здатність ростверку як фундаменту мілкого закладання, а також несучу здатність одиночної палі і середнє навантаження на палю в групі, можна проаналізувати ступінь реалізації несучої здатності окремих елементів пального фундаменту.

Із зменшенням кількості палей у групі краще реалізують себе як палі, так і ростверк. Ступінь реалізації тиску під ростверком знаходиться в межах 0,2-0,8, а от ступінь реалізації несучої здатності палей суттєво відрізняється для коротких і довгих палей. Довгі палі у складі куща або реалізуються не повністю при кількості палей 9 шт. (крок 3д), або їх несуча здатність в групі наближається до несучої здатності одиночної палі. Для коротких палей ступінь реалізації несучої здатності палей перевищує одиницю. Отже, короткі палі працюють у кущі краще, ніж одиночні і тим краще, чим менше їхня кількість (і відповідно більша відстань між ними).

Висновки

1. Зменшення кількості палей в межах єдиного зовнішнього контуру призводить до несуттєвого зменшення несучої здатності куща. Для палей довжиною 200 мм (співвідношення довжини до поперечного перерізу 10) зменшення несучої здатності не спостерігається (спостерігається навіть збільшення), а для палей довжиною 400 мм (співвідношення довжини до поперечного перерізу 20) зменшення несучої здатності при осіданні 10 мм сягає від 0 до 40% для різної кількості палей.

Отже, при відносній довжині палей (l/d) 15 і менше можна зменшувати кількість палей при сталих габаритах ростверку без втрати несучої здатності.

2. Неврахування роботи ростверку у складі фундаменту дає занижені значення навантажень на кущ, а врахування роботи ростверку без коригування на перерозподіл зусиль між елементами куща при кучному розміщенні палей призводить до завищення несучої здатності куща.

Таким чином, при оцінці несучої здатності куща через несучі здатності його окремих елементів потрібно виходити із ступеня реалізації цих несучих здатностей у складі куща.

3. Заміна пальового фундаменту на умовний фундамент мілкого закладання не дає адекватних результатів ні за деформаціями, ні за несучою здатністю.

4. Частка ростверку у навантаженні на пальовий фундамент зменшується із збільшенням кількості паль і з збільшенням їх довжини.

5. При використанні коротких паль реалізація їх несучої здатності в групі перевищує одиницю (тобто вони працюють краще у кущі, ніж як одиночні).

6. При використанні коротких паль потенційна можливість ростверку сприймати навантаження не використовується в повній мірі, але збільшується при зменшенні кількості паль.

7. У випадку застосування коротких паль можна з метою економії матеріалів зменшити кількість паль в групі при збереженні розмірів ростверку з незначною втратою несучої здатності. Але перетворення пальового фундаменту на умовний з метою визначення несучої здатності коректно лише при кроці паль 3d, тобто при доволі частому їх розташуванні. Для довгих паль навіть при частому кроці паль умовний фундамент працює краще, ніж пальовий.

8. Частка роботи ростверку у складі пальового фундаменту збільшується із зменшенням кількості паль і відповідно зі збільшенням відстані між ними, ця частка суттєво не залежить від довжини паль.

9. Визначати несучу здатність пальового фундаменту як суму несучих здатностей паль та плити некоректно, це призводить до завищення несучої здатності групи.

10. 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. Цимбал С.Й., Карцева С.Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку. Основи і фундаменти: міжвідомчий. наук.-техн. зб., КНУБА, 2004. Вип. 28. с. 121-130.
2. Малишев О.М., Цимбал С.О., Маєвська І.В., Блащук Н.В. Сумісна робота паль і ростверку у стовпчастому пальовому фундаменті. *Молодь в науці: тез. регіон. наук.-практ. інтернет-конф. студентів, аспірантів та молодих науковців ВНТУ, м. Вінниця, 2 січ. 2018. Вінниця, 2018.* - URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/viewFile/3694/31033103>.
3. Блащук Н.В., Маєвська І.В., Попович М.М. Перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*: зб. наук. пр. №1(24). Вінниця, 2018. С. 36-44.
4. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти споруд. Основні положення. [Чинний від 2019 – 01 - 01]. Вид. офіц. Київ, 2019. 42 с.

Кремінська Юлія Олександрівна — студентка групи Б-20м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: 1b16b.kreminska@gmail.com

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — к. т. н, доцент, кафедра будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com maevska@vntu.edu.ua

Kreminska Yuliia — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: 1b16b.kreminska@gmail.com

Supervisor: **Irina V. Mayevska** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: irina.mayevskaja@gmail.com maevska@vntu.edu.ua