

## СУМІСНА РОБОТА ПАЛЬ І РОСТВЕРКУ У СТОВПЧАСТОМУ ПАЛЬОВОМУ ФУНДАМЕНТІ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*На основі проведених експериментальних досліджень визначено параметри, які впливають на визначення частки ростверку у навантаженні на пальовий фундамент і перерозподіл навантаження у палях з урахуванням роботи плити ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту.*

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

### *Abstract*

*On the basis of experimental researches, parameters were determined that influence the determination of the proportion of rafters in loading on the pile foundation and the redistribution of the load in the piles taking into account the work of the rafters' plate in the columnar pile foundation.*

**Keywords:** columnar pile foundation, grillage, pile, redistribution, bearing capacity.

### **Вступ**

На даний час було проведено багато експериментальних і фізичних досліджень стовпчастих пальових фундаментів, які показали, що частину навантаження сприймає ростверк, а частину – палі [3-8]. Відсоток вертикального навантаження, яке сприймає ростверк залежить від характеру передачі навантаження на стовпчастий пальовий фундамент, від конструктивних характеристик самого фундаменту та від фізико-механічних властивостей ґрунтової основи.

Існуючі методи розрахунку пальових фундаментів досить умовні. В їхню основу не в достатній мірі закладено аналіз механічних процесів, що виникають при їхньому навантаженні. Саме тому розміри пальових фундаментів визначаються розрахунком по принципу простого складання несучих здатностей одиночних паль, хоча гранична несуча здатність стовпчастого пальового фундаменту не є простим додаванням граничних несучих здатностей одиночних паль.

Це і зумовлює актуальність даного дослідження.

У даній роботі поставлені задачі:

- виконати огляд експериментальних досліджень сумісної роботи паль та низького ростверку у складі пальового фундаменту;
- виконати аналіз методів розрахунку пальових фундаментів з низьким ростверком;
- виявити якісну картину і особливості сумісної роботи паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту шляхом фізичного моделювання на маломасштабних моделях;
- створити розрахункову модель стовпчастого пальового фундаменту у програмному комплексі Plaxis;
- провести комплексні числові дослідження за допомогою програмного комплексу Plaxis, роботи ростверку і пальових груп в залежності від геометричних параметрів.

При вирішенні поставлених задач було виконане фізичне моделювання пальових куців на маломасштабних моделях та математичне моделювання у програмному комплексі Plaxis.

### **Результати дослідження**

#### *Фізичне моделювання*

В якості ростверку будемо використовувати залізобетонні маломасштабні моделі, які виготовлені з бетону класу С16/20. Крок паль становитиме 3d, 5d і 7d. Розміри ростверків в плані 200 мм x 200 мм, 290 мм x 290 мм та 410 мм x 410 мм відповідно.

В якості паль буде використано дерев'яний брус з поперечним перерізом 20x20 мм довжиною 200 мм, 300 мм та 400 мм.

У таблиці 1 наведена програма фізичного випробування.

Таблиця 1. Програма фізичного випробовування

Модель фундаменту	Крок паль	Довжина паль
1 (200x200)	3d	200
		300
		400
2 (290x290)	5d	200
		300
		400
3 (410x410)	7d	200
		300
		400

Випробування будуть проводитися в лотку з габаритними розмірами 1800 мм x 1200 мм x 1000 мм. В якості ґрунтової основи під фундамент буде використано пісок середньої крупності.

Для визначення несучої здатності будуть використані тензометричні датчики. Навантажувати фізичну модель фундаменту будемо автомобільним домкратом на 5 т у декілька етапів, а саме – навантажувати поступово до повної стабілізації осідання.

На рисунку 1 зображено графік залежності навантаження – крок паль при певному осіданні, а саме при  $S = 2$  мм та при  $S = 3$  мм, та при довжинах паль 200 мм, 300 мм та 400 мм. Аналізуючи даний рисунок, робимо висновок, що при збільшенні довжини паль несуча здатність фундаменту збільшується, при цьому частка навантаження, яке сприймає плита ростверку зменшується і досить на значну величину, тобто більшу частку навантаження сприймають палі.

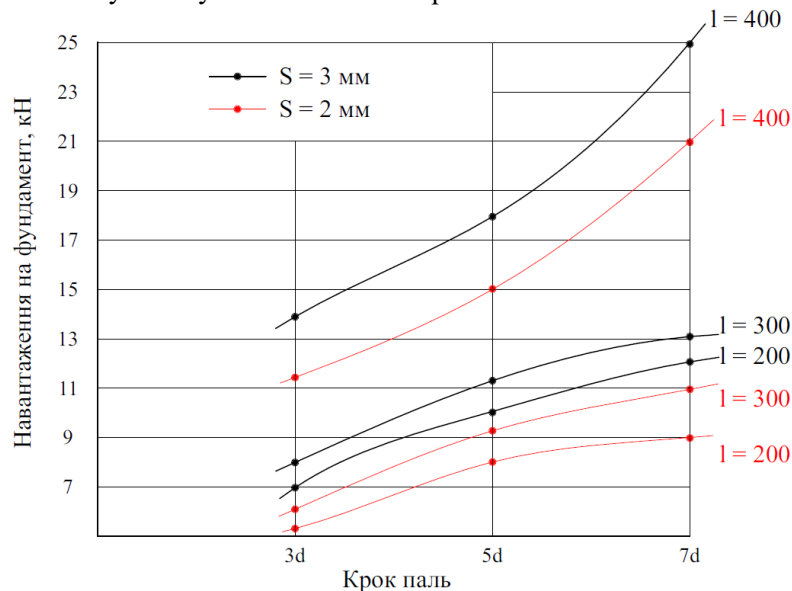


Рисунок 1 – Графік залежності навантаження – крок паль при довжині паль 200 мм, 300 мм та 400 мм

На рисунку 2 зображено графік залежності частки ростверку – крок паль при осіданні  $S = 3$  мм та при осіданні  $S = 6$  мм. Як видно із рисунку 2, при збільшенні кроку паль несуча здатність плити ростверку збільшується, а при використанні паль більшої довжини (400 мм) зменшується у порівнянні з палями меншої довжини, 300 мм і 200 мм відповідно.

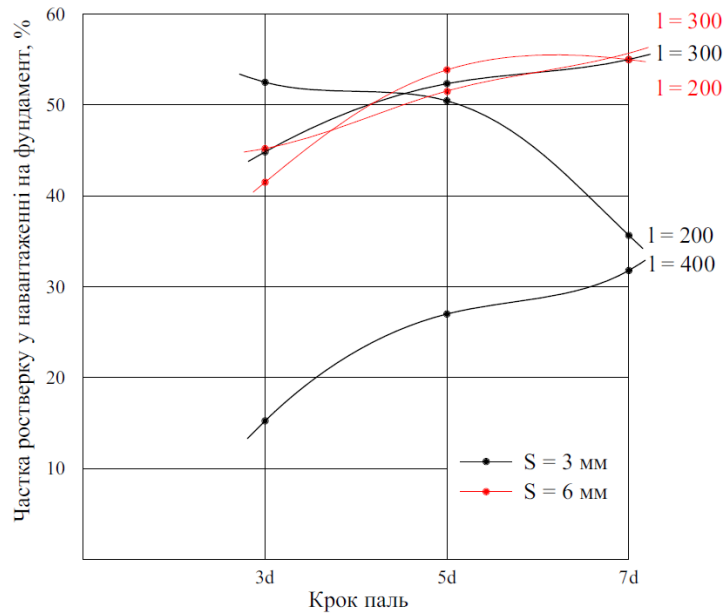


Рисунок 2 – Графік залежності частки ростверку – кроку палей при осіданні 3 мм, 6 мм та довжині палей 200 мм, 300 мм і 400 мм

На рисунку 3 зображено графік залежності частки ростверку – відносної довжини палей при осіданні S = 3 мм та при осіданні S = 6 мм.

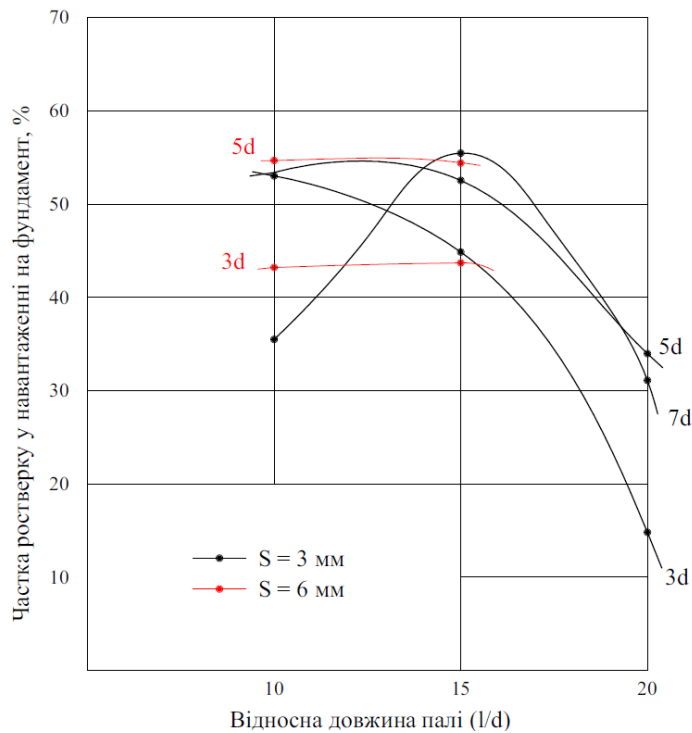


Рисунок 3 - Графік залежності частки ростверку – відносної довжини палей при осіданні 3 мм, 6 мм та осьовій відстані між палями 3d, 5d і 7d

На початкових етапах завантаження при жорстких ростверках найбільше зусилля сприймають кутові палі (рисунки 4-6), найменше – центральні, при подальшому збільшенні навантаження і наближенні його до граничного значення (рисунок 4) виникає перерозподіл зусиль з кутових і крайніх палей до центральної внаслідок вичерпання несучої здатності кутових палей.

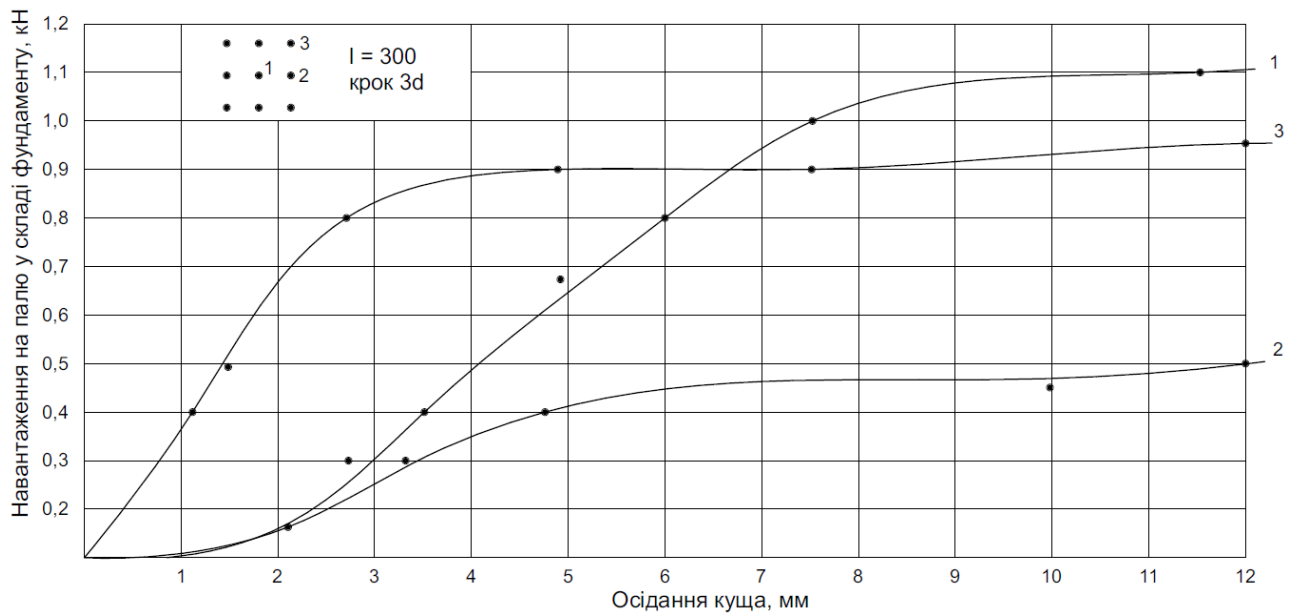


Рисунок 4 - Розподіл зусиль між палями фундаменту при довжині палів 300 мм та кроці 3d

Для ростверку розмірами 410x410 мм (крок палів 7d), який є відносно гнучким (відношення виліту уступу плитної частини до його висоти 3:1) навантаження між палями групи спочатку розподіляється рівномірно, а по мірі зростання навантаження найбільше зусилля бере на себе центральна палля (рисунок 7).

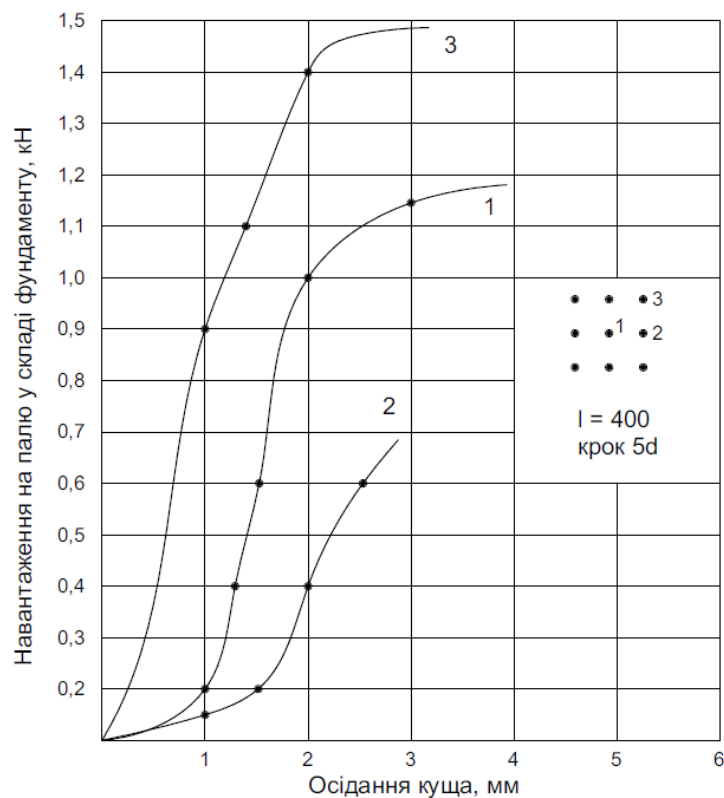


Рисунок 5 – Розподіл зусиль між палями фундаменту при довжині палів 400 мм та кроці 5d

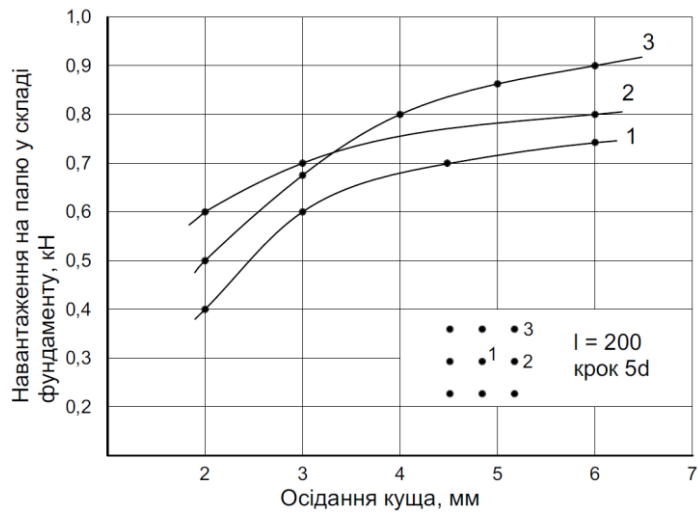


Рисунок 6 – Розподіл зусиль між палями фундаменту при довжині палей 200 мм та кроці 5d

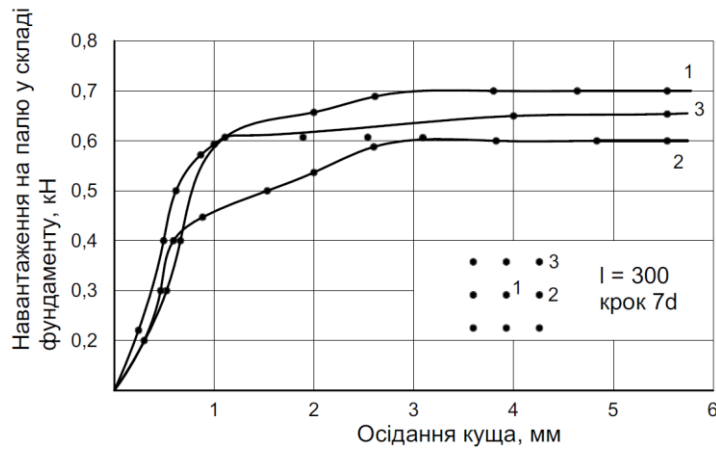


Рисунок 7 – Розподіл зусиль між палями фундаменту при довжині палей 300 мм та кроці 7d

При незначних навантаженнях і відносно коротких палях їх несуча здатність реалізується не повністю, але по мірі збільшення навантаження і відповідно осідань куща палі все більше включаються у роботу. На рисунках 8, 9 показаний процес включення палей у роботу при різних геометричних параметрах фундаментів.

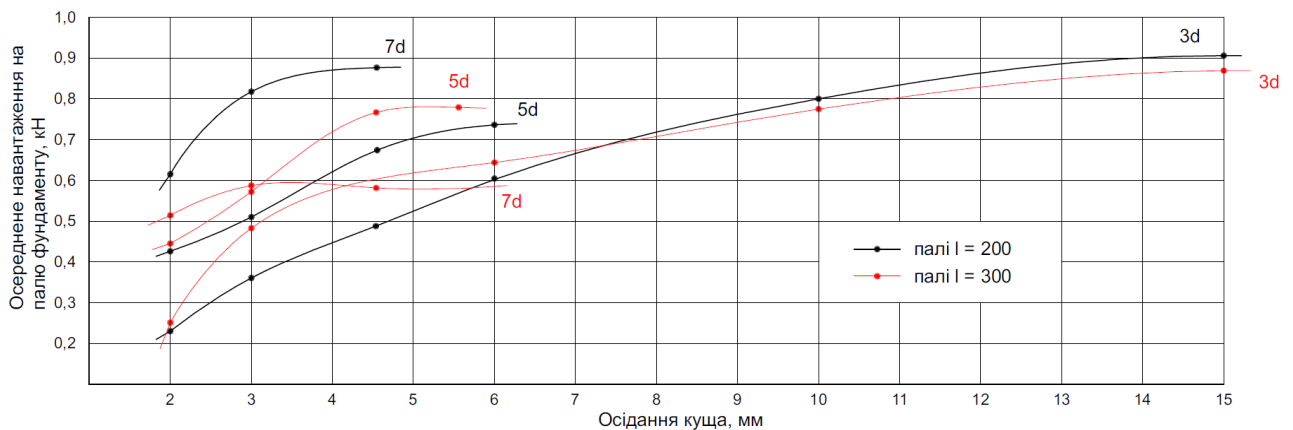


Рисунок 8 – Включення палей довжиною 200 та 300 мм у роботу при різному кроці в ростверку

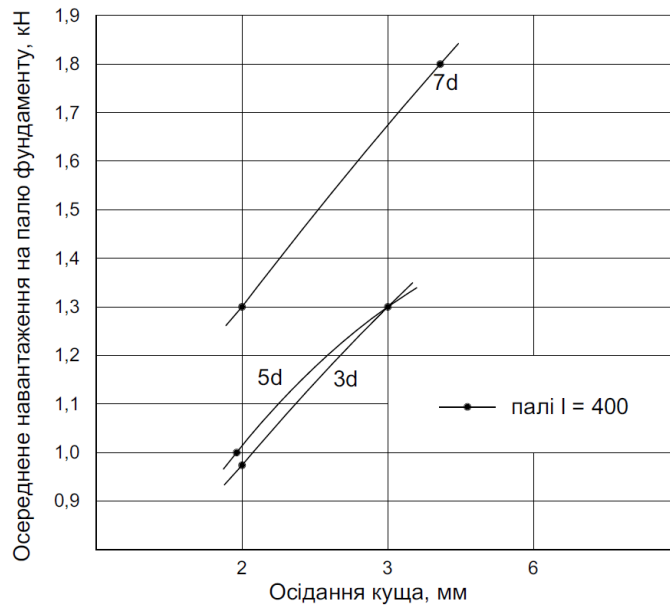


Рисунок 9 – Включення палів довжиною 400 мм у роботу при різному кроці в ростверку

З рисунків видно, що при коротких палях спочатку зусилля в палях збільшуються інтенсивно, а потім цей процес уповільнюється. Подальше зростання навантаження на куць здійснюється за рахунок роботи ростверку та ущільненого ґрунту під фундаментом. При довжині палів 200 та 300 мм їх розміри сумірні з розмірами ростверків в плані, а такі пальові фундаменти краще розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив.

Для довгих палів (рисунок 9) характерне інтенсивне втягування палів у роботу, частка ростверку при цьому зменшується.

#### Математичне моделювання

В частині 1 роботи виконувалось моделювання сумісної роботи плити ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту на однорідному піщаному ґрунті з наступними характеристиками: пісок дрібний,  $\gamma = 16,6 \text{ кН/м}^3$ ,  $e = 0,67$ ,  $c = 2 \text{ кПа}$ ,  $\varphi = 32^\circ$ ,  $E = 28 \text{ МПа}$ . Крок палів при математичному моделюванні становив 3d, 5d і 7d при довжині палів 3 м, 6 м, 9 м, 12 м. Палі використовувалися поперечним перерізом 30x30 см. Товщина ростверку становила 500 мм. Програма чисельно-математичного моделювання для визначення частки ростверку від загального навантаження на фундамент наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Програма моделювання сумісної роботи ростверку і палів

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір палів	Крок і кількість палів
1	2	3
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.

В частині 2 роботи виконувалось моделювання сумісної роботи фундаменту і палів з кроком 3d, 5d, 7d, 9d довжиною 6 м, 9 м та 12 м на неоднорідному ґрунті. Модель стовпчастого пальового фундаменту – забивні палі поперечним перерізом 30x30 см та ростверк товщиною 500 мм. Програма чисельного моделювання наведена в таблиці 3.

Таблиця 3 - Програма моделювання сумісної роботи фундаменту і паль

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

Аналіз результатів фізичного та математичного моделювання дозволив сформулювати висновки.

### Висновки

Вертикальне навантаження на стовпчастий пальовий фундамент сприймається не тільки пальовим куцем, а і плитою ростверку, хоча у норми [1, 2] закладена методика розрахунку пальових фундаментів, при якій навантаження сприймається виключно палями. Частка навантаження, яка сприймається плитою ростверку сягає до 50% від загального навантаження на пальовий фундамент. Навантаження, яке сприймає ростверк залежить від довжини паль і осьової відстані між палями. Із збільшенням відносної довжини паль ( $l/d$ ) несуча здатність ростверку зменшується, так як палі великої довжини сприймають більше навантаження за рахунок великої площі бокової поверхні. Із збільшенням осьової відстані між палями несуча здатність ростверку збільшується, так як площа плити ростверку також збільшується. Так як частка ростверку у навантаженні на фундамент сягає до 50%, це дає при проектуванні фундаментів досягнути зменшення витрат матеріалів на його влаштування (зменшення об'єму бетону і кількості арматурних виробів), що призводить до значного здешевлення фундаменту в цілому.

Несуча здатність пальового фундаменту з низьким ростверком перевищує суму несучих здатностей одиночних паль. 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. Перерозподіл навантаження між палями 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. 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. 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.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с. – (Національні стандарти України).
2. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009 Зміна №1. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. – (Національні стандарти України).
3. 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.
4. Маєвська І. В. Вплив виду ґрунту на сумісну роботу паль і ростверку в куцтовому пальовому фундаменті / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук, К. А. Чобанова // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – №2(15). – С.40-47.
5. Знаменский В. В. Взаимодействие низкого ростверка со сваями / В. В. Знаменский, А. М. Рузаев, И. Н. Польшков // Вестник МГСУ. – М., 2008 – №2. – с. 48-51.
6. Васильченко А.В. Исследование работы низкого ростверка на моделях свайных кустов. Сборник научных трудов «Проблемы освоения природных ресурсов Европейского севера». Ухта, 1996. – с. 205-207.
7. Бабанов В.В., Шашкин В.О. Расчетный анализ работы свайных фундаментов с низким и высоким ростверками с учетом нелинейной работы основания // Научно-технический журнал «Основания, фундаменты и механика ґрунтов» №2 ОФМГ, 2012. – с. 2 – 7.
8. Кондрашов В. А. Исследование деформаций ґрунта оснований моделей свайных фундаментов методом фотофиксации траектории движения ґрунтовых частиц / В. А. Кондрашов // Основания, фундаменты и подземные сооружения : Труды пятой конф. молодых науч. Сотрудников, Москва, 9-10 июня 1970 г. – М., 1970. – С. 239-246.

**Малишев Олексій Михайлович** — студент групи Б-16мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Цимбал Сергій Олександрович** — студент групи Б-16мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет.

Науковий керівник: **Блащук Наталя Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет.

**Oleksii M. Malyshev** — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Serhii O. Tsybmal** — 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.

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