

РОБОТА ЗАБИВНИХ ПАЛЬ І РОСТВЕРКУ У СКЛАДІ СТОВПЧАСТОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконане математичне моделювання стовпчастого пальового фундаменту з забивних палей з різними геометричними параметрами та в різних ґрунтах.

Встановлено, що ступінь реалізації несучої здатності палей у складі пальового фундаменту залежить від довжини і кроку палей. Реалізація несучої здатності палей у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку палей та із збільшенням їх довжини. Ростверк приймає на себе частину навантаження, яка теж збільшується при збільшенні кроку палей.

Використання одержаних залежностей при розрахунках дозволить забезпечити при проектуванні економію матеріалів палей на величину до 30%.

Ключові слова: забивна паля, ростверк, стовпчастий пальовий фундамент, напружено-деформований стан, спільна робота палей і ростверку.

Abstract

The mathematical modeling of the columnar pile foundation from driving piles with various geometrical parameters and in different soils is executed.

It is established that the degree of realization of the bearing capacity of the pile in the composition of the pile foundation depends on the length and pitch of the piles. The realization of the bearing capacity of piles in the foundation increases with increasing pitch of piles and with increasing their length. The grid assumes part of the load, which also increases with increasing pitch of the piles.

Use of the received dependences at calculations will allow to provide at designing economy of materials of piles for size up to 30%.

Keywords: driving pile, grid, columnar pile foundation, stress-strain state, joint work of piles and grid.

Вступ

Робота пальового фундаменту суттєво відрізняється від роботи кожного з його окремих елементів. Якщо випробувати палю і визначити її несучу здатність, то при об'єднанні палей у групу несуча здатність групи не буде простою сумою несучих здатностей палей. Причому можливі варіанти, що палі в групі працюють краще, ніж одиночні, а іноді наявність сусідніх палей погіршує роботу кожної з них. Додатково ускладнює спільну роботу палей наявність низького ростверка.

Нормативною документацією, яка діє на території України [1], дозволяється вважати несучу здатність пальового фундаменту рівною сумі несучих здатностей одиночних палей, а роботу ростверка не враховувати взагалі. Є документи, де при підсиленні фундаментів мілкого закладання палями допускається враховувати навантаження, що сприймав старий фундамент, за частку, яку буде сприймати ростверк новоствореного пальового фундаменту.

Раніше проведені дослідження пальових фундаментів з забивних палей показали, перерозподіл зусиль між елементами, що входять у склад пальового фундаменту, досить складний процес, що залежить від багатьох факторів [2-8]. Не можна одержати несучу здатність пальового фундаменту як суму несучих здатностей його складових.

В зв'язку з цим подальше дослідження спільної роботи палей і ростверку у складі пальового фундаменту є актуальним питанням і може сприяти одержанню більш економічних і надійних рішень.

У даній роботі досліджено напружено-деформований стан пальового фундаменту з забивних палей під колону шляхом математичного моделювання систем пальовий фундамент- основа за допомогою програмного комплексу Plaxis.

Результати дослідження

У даній роботі були поставлені задачі:

- проаналізувати у літературних джерелах стан питання щодо спільної роботи палей та низького ростверку у складі пальового фундаменту;

- виконати чисельне моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту у ґрунтовому масиві, використовувачі програмний продукт, що дозволяє проаналізувати напружено-деформований стан систем «ростверк - забивні палі – основа»;
- виявити вплив конфігурації пальових фундаментів на перерозподіл зусиль між їх елементами шляхом математичного моделювання;
- виявити вплив виду ґрунту основи на реалізацію несучої здатності ростверку і палей у складі пальових фундаментів на підставі результатів математичного моделювання;
- запропонувати практичний аналітичний підхід до визначення допустимого навантаження на палевий фундамент із врахуванням перерозподілу зусиль між його елементами.

При вирішенні поставлених задач було виконане математичне моделювання роботи під навантаженням забивних палей в програмному комплексі «Plaxis 3D Foundation».

Перед початком математичного моделювання був виконаний додатковий аналіз результатів фізичного моделювання на маломасштабних моделях стовпчастого пальового фундаменту з забивних палей, проведеного магістрантами О.М. Малишевим та С.О. Цимбалом у 2017 році [7].

Був розрахований ступінь реалізації несучої здатності палей і тиск під підшвою ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту з 9 палей в залежності від кроку і довжини палей (рис. 1, 2).

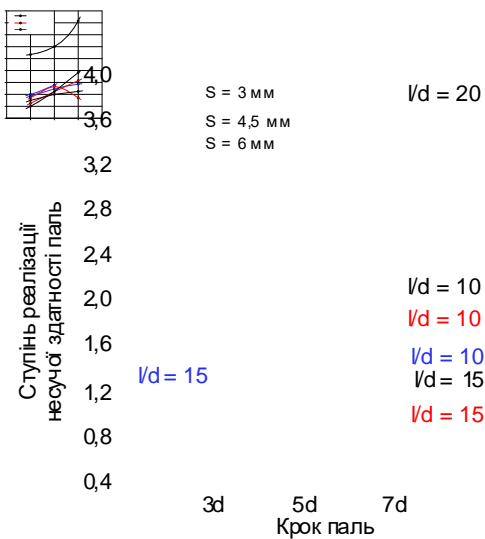


Рис. 1 – Залежність ступеню реалізації несучої здатності палей у складі фундаменту у порівнянні з навантаженням, яке сприймає одиночна палей

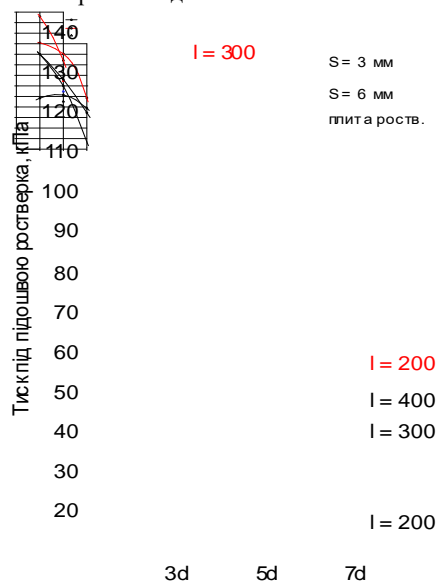


Рис. 2 – Залежність тиску під підшвою ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту від довжини і кроку палей

З графіків видно, що реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку паль. З рисунків також видно, що при більшій довжині несуча здатність паль реалізується менше.

Тиск під подошвою ростверку із збільшенням кроку паль зменшується, хоча характер розподілу тиску можна було виявити лише на початкових етапах завантаження.

На характер перерозподілу зусиль між елементами фундаменту впливають довжина і крок паль.

При математичному моделюванні в програмному комплексі «Plaxis 3D Foundation» до факторів, які варіювались, був доданий ще вид ґрунту.

В даній роботі кількість паль у куці була прийнята 9 шт. Розглядалися забивні палі з перерізом 30x30 см. Варіювались довжина і крок паль.

Були проведені 2 серії моделювань відповідно у піщаному та глинистому ґрунті. Програма чисельних досліджень наведена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Програма моделювання сумісної роботи ростверку і паль стовпчастого пальового фундаменту для підгруп I – II (додатково варіюються вид ґрунту)

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір 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.

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

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

При моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- за навантаження, що сприймається фундаментом, приймається значення зовнішнього навантаження без урахування ваги ростверку при деформаціях, що не перевищують допустимого значення 10 см;

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

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

Додатково було проведено моделювання роботи одиночних паль різної довжини в різних ґрунтових умовах підгруп I – II та моделювання роботи ростверку як фундаменту мілкового закладання в різних ґрунтових умовах підгруп I – II.

При кількості паль 9 шт., кроці паль 3d ростверк мав габаритні розміри в плані 2,4 м x 2,4 м; при кроці паль 5d – 3,6 м x 3,6 м; при кроці паль 7d – 4,8 м x 4,8 м.

Для прикладу на рис. 3 наведені розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту та ґрунтового масиву.

Результатом моделювання роботи пальових фундаментів є визначення напружень і переміщень у ґрунтовому масиві та побудова графіку осідання – навантаження.

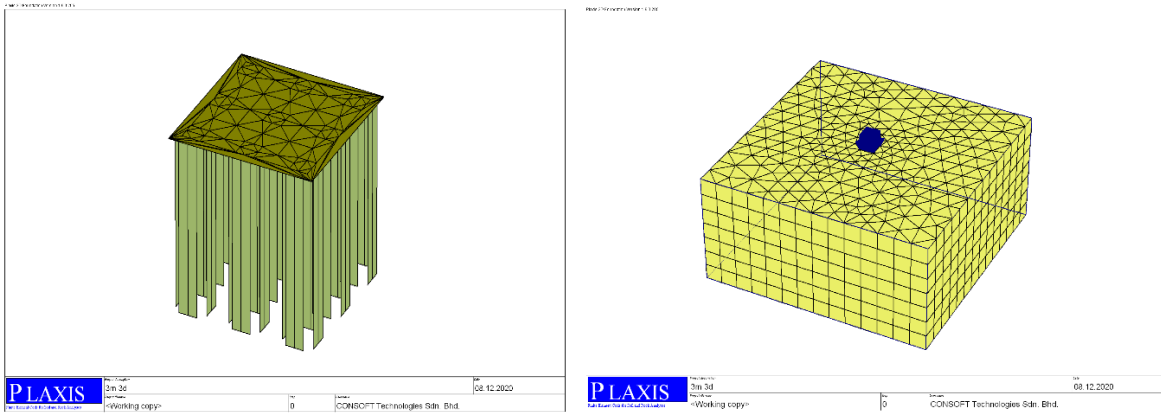


Рис. 3 - Розрахункові моделі стовпчастого пального фундаменту

На рис. 4, 5 наведено мозаїки деформування системи «паль – ростверк – основа» для палих фундаментів з розмірами ростверку 2,4 м x 2,4 м; 3,6 м x 3,6 м; 4,8 м x 4,8 м з палями довжиною 9 м. При малому кроці паль ґрунтопальовий масив працює як єдине ціле, при збільшенні кроку паль більша частина навантаження передається на плиту ростверку.

Несуча здатність групи паль, одиночних паль та ростверків як фундаментів мілкового закладання визначалась при деформації 100 мм.

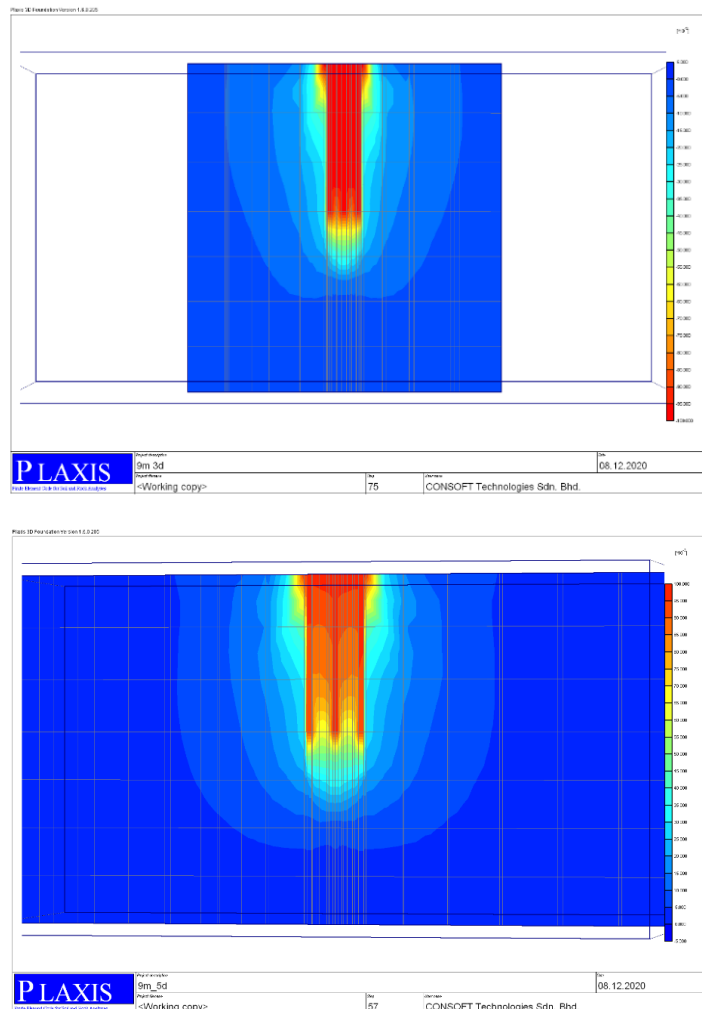


Рис. 4 - Мозаїки вертикальних деформацій ґрунту для пального фундаменту при кроці паль 3d, 5d; довжина паль 9 м

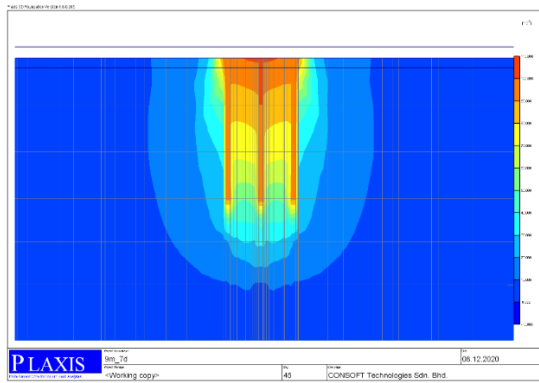


Рис. 5 - Мозаїки вертикальних деформацій ґрунту для пального фундаменту при кроці палі 7d; довжина палі 9 м

На рис. 6 наведено графіки залежності несучої здатності стовпчастого пального фундаменту в цілому від кроку палі при довжині палі 3 м, 6 м, 9 м, 12 м для піщаних та глинистих ґрунтів. Бачимо закономірне зростання несучої здатності фундаменту при збільшенні довжини палі та їх кроку. Якісний характер зростання близький для різних видів ґрунту.

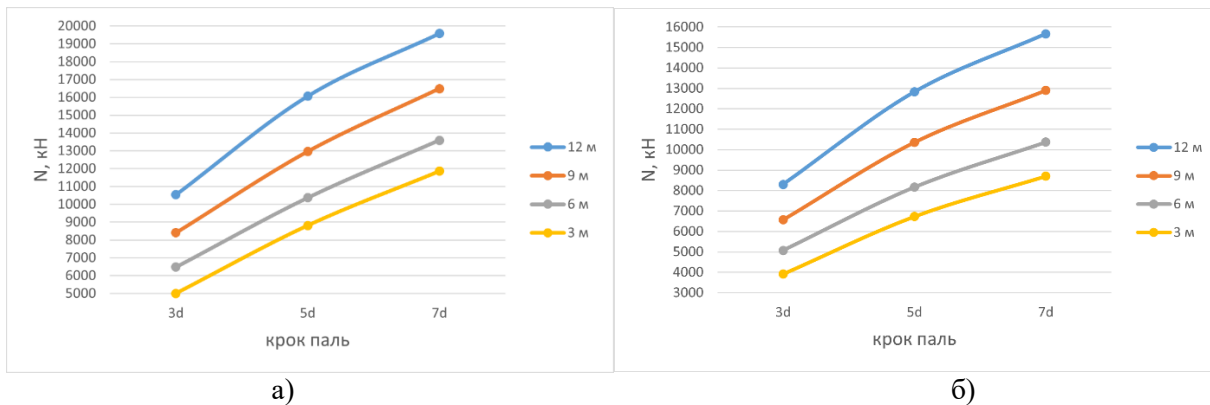


Рис. 6 – Графіки залежності несучої здатності стовпчастого пального фундаменту від кроку і довжини палі: а) – для піщаного ґрунту; б) – для глинистого ґрунту

При аналізі результатів моделювання визначались:

- частка ростверку у навантаженні на фундамент;
- усереднене навантаження на палю у складі фундаменту для порівняння з несучою здатністю одиночної палі;
- реактивний опір під підшвою ростверка і ступінь його реалізації у порівнянні з реактивним опором під підшвою відповідного фундаменту мілкого закладання.

На рис. 7 наведені графіки залежності частки ростверку у навантаженні на стовпчастий паливий фундамент від довжини і кроку палі.

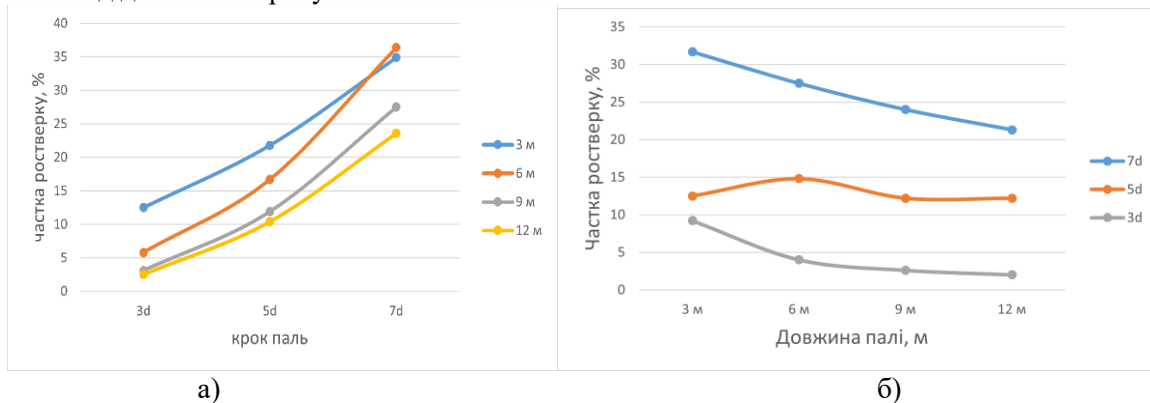


Рис. 7 – Графіки залежності частки ростверку у навантаженні на стовпчастий паливий фундамент від довжини і кроку палі: а) – для піщаного ґрунту; б) – для глинистого ґрунту

За результатами чисельного моделювання видно, що частка ростверку залежить переважно від осевої відстані між палями. При збільшенні довжини палі частка ростверку у навантаженні на фундамент знижується, але несуттєво. Характер зміни частки ростверку аналогічний роботі фундаментів у піщаному та глинистому ґрунті.

На рис. 8 наведені графіки залежності ступеню реалізації несучої здатності палі у складі пального фундаменту залежить від довжини і кроку палі.

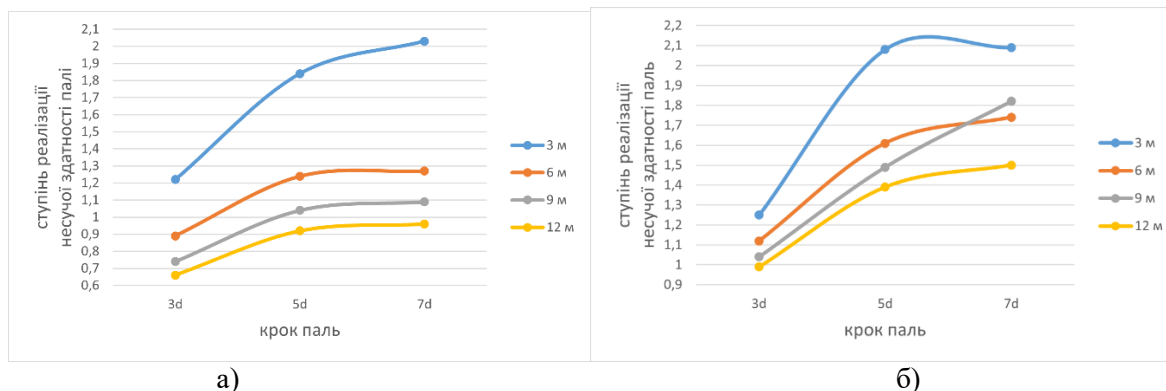


Рис. 8 – Залежність ступеню реалізації несучої здатності палі у складі фундаменту від кроку і довжини палі: а) – для піщаного ґрунту; б) – для глинистого ґрунту

Видно, що ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пального фундаменту залежить від довжини і кроку палі. Реалізація несучої здатності палі у складі фундаменту зменшується із збільшенням їх довжини. При збільшенні кроку палі реалізація несучої здатності палі збільшується. Характер включення палі у роботу аналогічний роботі у різних ґрунтах.

Навантаження, що припадає на ростверк пального фундаменту менше у порівнянні з навантаженням на ростверк, як фундамент мілкого закладання. На рис. 9 наведено графік залежності ступеня реалізації тиску під подошвою ростверку стовпчастого пального фундаменту від кроку палі різної довжини.

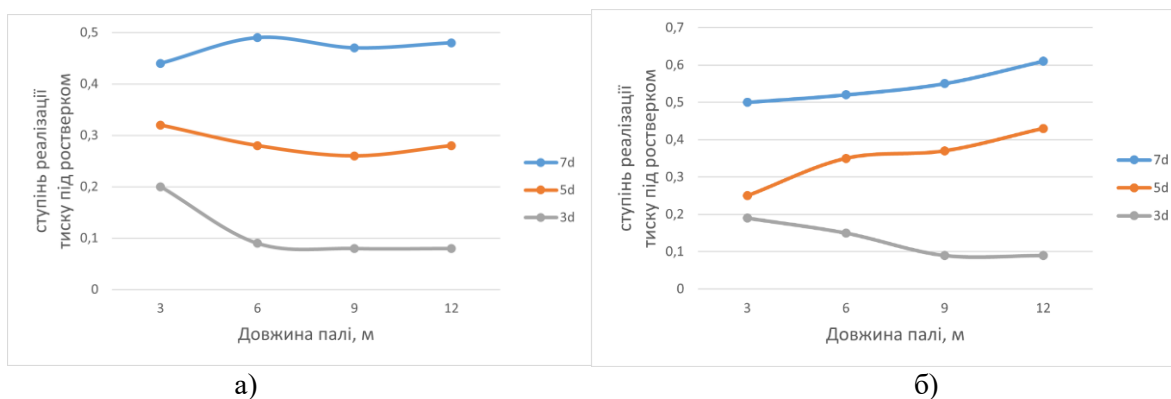


Рис. 9 – Залежність ступеню реалізації тиску під подошвою ростверку стовпчастого пального фундаменту від кроку палі різної довжини: а) – для піщаного ґрунту; б) – для глинистого ґрунту

Як бачимо, довжина палі мало впливає на роботу ґрунту під ростверком. Цей ґрунт краще включається у роботу при збільшенні кроку палі. Характер зміни ступеню реалізації тиску під подошвою ростверку аналогічний для фундаментів у глинистому та піщаному ґрунті.

З рисунків видно, що реалізація несучої здатності палі у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку палі. З рисунків також видно, що при більшій довжині несуча здатність палі реалізується менше.

Тиск під подошвою ростверку із збільшенням кроку палі зменшується, але він перевищує тиск, який сприймає плита ростверку як фундамент мілкого закладання, тобто ростверк також реалізує себе краще у складі пального фундаменту.

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

Висновки

1. Несуча здатність стовпчастого пальового фундаменту з забивних паль з низьким ростверком перевищує суму несучих здатностей одночних паль.
2. Вертикальне навантаження на стовпчастий паловий фундамент сприймається не тільки паловим кущем, а і плитою ростверку, хоча у норми закладена методика розрахунку палових фундаментів, при якій навантаження сприймається виключно палями.
3. Частка навантаження, яка сприймається плитою ростверку, сягає до 50% від загального навантаження на паловий фундамент.
4. Частка навантаження, яке сприймає ростверк, залежить від довжини паль і осьової відстані між палями. Вплив довжини паль незначний. Із збільшенням осьової відстані між палями частка ростверку збільшується, оскільки площа плити ростверку також збільшується.
5. Із збільшенням осідання фундаменту, частка плити ростверку у навантаженні на паловий фундамент збільшується.
6. Робота палі в групі з низьким ростверком суттєво відрізняється від роботи одиночної палі. По мірі зростання навантаження осереднене навантаження на палу у складі фундаменту зростає і для палових фундаментів з кроком паль більше 3d перевищує несучу здатність одиночної палі.
7. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку паль. При більшій довжині несуча здатність паль реалізується менше.
8. Тиск під подошвою ростверку із збільшенням кроку паль збільшується, його реалізація складає від 8 до 50%, що дозволяє підвищити несучу здатність фундаменту.
9. Вид ґрунту практично не впливає на характер перерозподілу зусиль між елементами стовпчастого палового фундаменту з забивних паль.

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).
3. Рекомендації по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками: Р 5.01.015.05 – [Срок действия: с 1.01.2006 г. по 1.01.2011 г.]. – Минск: Научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «СТРОЙТЕХНОРМ», 2005. – 24с.
4. Маєвська І. В. Вплив виду ґрунту на сумісну роботу паль і ростверку в кущовому паловому фундаменті / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук, К. А. Чобанова // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – №2(15). – С.40-47.
5. Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков – М., Стройиздат, 1994. – 377 с. – Библиогр.: с. 374.
6. Цимбал С.Й., Карцева С.Л. Методика розрахунку палових фундаментів з урахуванням роботи ростверку // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28, с. 121-130.
7. Малишев О.М. Сумісна робота паль і ростверку у стовпчастому паловому 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>.
8. Блащук Н.В. Маєвська І.В., Попович М.М. Перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого палового фундаменту/,Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. – 2018. – №1(24). – С.36-44.

Кримняк Ярослав Миколайович — студент групи Б-19м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; E-mail: Jarik.krimnjak@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

Krumnyak Yaroslav Mykolayovych — 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.