

ЗМІНА ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ЗУСИЛЬ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ ПО МІРІ ЗРОСТАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі на підставі фізичного моделювання на маломасштабних моделях виконаний аналіз зміни перерозподілу зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту при поступовому зростанні навантажень на нього. Розглянуто характер зміни частки ростверку, реалізації його несучої здатності та реалізації несучої здатності палів на різних етапах збільшення осідання.

З цією ж метою проведені комплексні числові дослідження розрахункової моделі стовпчастого пальового фундаменту з забивних палів за допомогою програмного комплексу Plaxis з акцентом на зміну напружено-деформованого стану фундаменту в цілому і окремих його елементів по мірі зростання навантаження. Варіювався вид ґрунту. Оцінено можливість аналізу перерозподілу зусиль між елементами пальнової групи тільки на етапі максимально допустимого осідання.

Ключові слова: фізичне моделювання, математичне моделювання, паловий фундамент, паля, ростверк, реалізація несучої здатності.

Abstract

In the work on the basis of physical modeling on small-scale models the analysis of change of redistribution of efforts between elements of the columnar pile base at gradual increase of loadings on it is executed. The nature of the change in the fraction of the grille, the realization of its bearing capacity and the realization of the bearing capacity of piles at different stages of increasing subsidence is considered.

For the same purpose, comprehensive numerical studies of the calculated model of columnar pile foundation from driven piles with the help of Plaxis software package with emphasis on changing the stress-strain state of the foundation as a whole and its individual elements as the load increases. The type of soil varied. The possibility of analyzing the redistribution of forces between the elements of the pile group only at the stage of maximum allowable subsidence is evaluated.

Keywords: physical modeling, mathematical modeling, pile foundation, pile, grid, bearing capacity realization.

Вступ

Протягом кількох років на кафедрі БМГА ВНТУ проводяться дослідження перерозподілу зусиль між елементами палових фундаментів різних типів в залежності від різних факторів: виду фундаменту, довжини і кількості палів, відстані між ними в групі, виду ґрунту основи, тощо [1–5]. Проводились як фізичні дослідження на маломасштабних моделях, так і математичне моделювання в різних програмних комплексах.

Для аналізу у всіх вищенаведених роботах приймалися значення кількісних параметрів ступенів реалізації елементів пального фундаменту при сталому значенні його осідання. За таке осідання в більшості випадків приймалось найбільше значення осідання фундаменту, а саме $s = 100$ мм. Але з літератури [6] та результатів власних досліджень відомо, що по мірі зростання навантаження на фундамент і відповідно його осідання палі та ростверк поступово включаються у роботу і характер цього включення не є лінійним. Тобто на різних етапах навантаження ступінь реалізації несучої здатності елементів пального фундаменту може змінюватись.

Метою даної роботи є аналіз зміни перерозподілу зусиль між елементами пального фундаменту при поступовому зростанні навантажень на нього. Це дозволить обґрунтувати вибір критичного значення осідання, для якого доцільно визначати ступені реалізації несучої здатності елементів пального фундаменту, що можуть пропонуватись для використання при проектуванні.

В даній роботі такий аналіз виконаний на прикладі стовпчастого пального фундаменту.

Виклад основного матеріалу дослідження

В якості вихідних даних для аналізу зміни перерозподілу зусиль між елементами пального фундаменту при поступовому зростанні навантажень на нього були використані результати

досліджень магістрів Малишева О. М. [7] та Кременської Ю. О. [8], які проводили фізичне моделювання груп паль на маломасштабних моделях.

При фізичному моделюванні в дослідах Малишева О. М. та Кременської Ю. О. використовувались моделі паль довжиною 3, 4,5 та 6 м, поперечним перерізом 300х300 мм, виготовлені з деревини. При масштабі моделювання 1:15 дерев'яні моделі мали довжину 200, 300 і 400 мм з поперечним перерізом 20х20 мм. Моделі плити ростверку виготовлялись з залізобетону Товщина моделі плити ростверку прийнята 50 мм, розміри в плані при кроці паль 3d - 200×200 мм (рис. 1). Максимальна кількість паль у куші 9 штук. (У дослідах Малишева О. М. були використані також моделі для кроків паль 5d та 7d, де d – розмір поперечника палі [3, 7]).



Рис. 1 – Модель ростверку 200×200 мм

При випробуванні пального 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

У дослідах Малишева О. М. пісок в лоток насипався з досягненням щільності, що відповідала коефіцієнту пористості $e = 0,6$ (близько до нижньої межі діапазону середньої щільності). Це не дозволило при випробуваннях паливних кушів довести їх до втрати несучої здатності внаслідок обмеженості можливостей упорної системи. Максимальні значення досягнутих осідань при випробуваннях склали близько 14 мм.

В зв'язку з цим у дослідах Кременської Ю. О. пісок в лоток насипався з досягненням щільності, що відповідала коефіцієнту пористості $e = 0,7$ (близько до верхньої межі діапазону середньої щільності). Це дозволило при менших значеннях навантаження досягти практичної втрати стійкості основи при випробуваннях при осіданнях, близьких до 30 мм.

Спеціальні тензометричні наголовники для паль дозволяли визначати зусилля в палях по мірі зростання загального навантаження на куш. Навантаження на ростверк передавалось за допомогою автомобільного 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. Система в зборі наведена на рис. 3.



Рис. 3 – Модель пального фундаменту перед випробуванням

Проводились також випробування одиночних палів та плити ростверку без палів на поверхні ґрунтового масиву (рис. 4).



Рис. 4 – Модель випробування плити ростверку

Результати фізичного моделювання роботи стовпчастого пального фундаменту

Для аналізу розвитку перерозподілу зусиль між елементами пального фундаменту по мірі зростання навантаження при фізичному моделюванні використовувались результати випробувань кушів палів з 9 шт. з кроком $3d$ (ростверк 200×200 мм) з різною довжиною палів. Проаналізовані результати випробувань для піску з коефіцієнтом пористості $e = 0,7$ за дослідями Кременської Ю. О. та для піску з коефіцієнтом пористості $e = 0,6$ за дослідями Малишева О. М.

В результаті проведення експериментів були одержані графіки залежності осідання – навантаження куша в цілому та графіки залежності сумарної несучої здатності палів від його осідання. Також були одержані графіки осідання – навантаження за результатами випробування одиночних палів різної довжини, графік осідання – навантаження при випробуванні плити ростверку розміром 200×200 мм як штампа без палів.

Проведені дослідження дозволили додати до цих графіків ще графік розвитку деформацій осередненого навантаження на палу у складі пального куша, що дозволяє проаналізувати розвиток реалізації несучої здатності палів при роботі у групі.

Одержані результати дозволяють для кількісної оцінки характеру перерозподілу зусиль між елементами пального фундаменту при обробці результатів досліджень проаналізувати такі параметри:

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

Означені параметри аналізувались на різних етапах навантаження. результати обробки даних експериментів наведені на рис. 5 – 7.

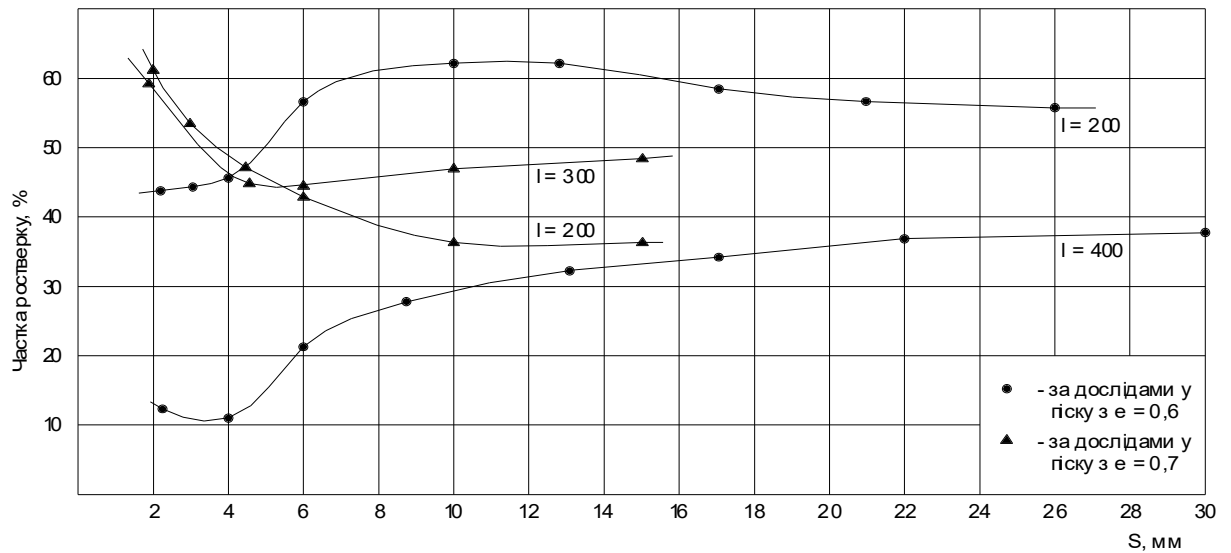


Рис. 5 – Графік залежності частки ростверку у навантаженні на пальовий фундамент від його осідання по мірі зростання навантаження

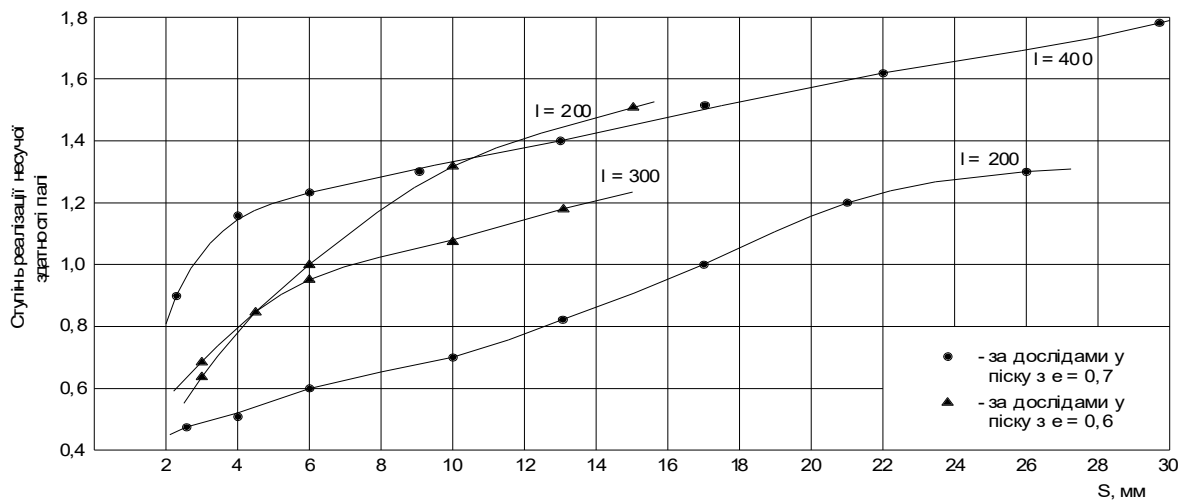


Рис. 6 – Графік залежності ступеня реалізації несучої здатності палі у складі фундаменту від його осідання по мірі зростання навантаження

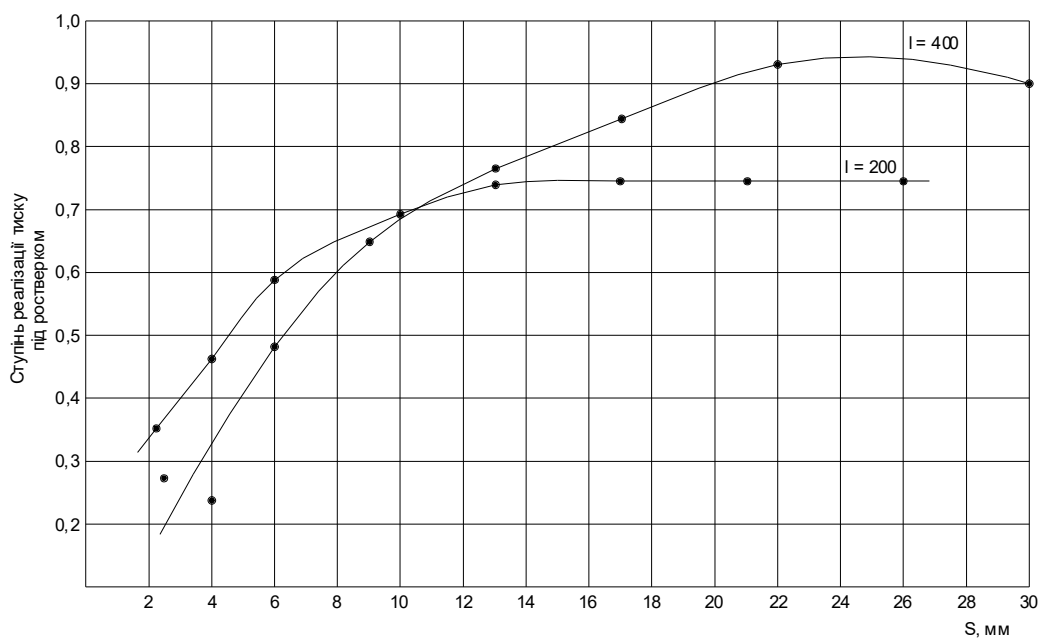


Рис. 7 – Графік залежності ступеня реалізації тиску під ростверком у складі фундаменту від його осідання по мірі зростання навантаження для основи з піску з коефіцієнтом пористості $e = 0,7$

Дослідження частини навантаження, що припадає на ростверк, показали, що ростверк включається у роботу при 0,5 мм. По мірі зростання осідань напруження під підшовною ростверка зростають і досягають максимальних значень при осіданнях 10 – 20 мм. При цьому потенційна можливість ростверка сприймати навантаження реалізується не повністю. В подальшому тиск під ростверком залишається сталим і подальше збільшення несучої здатності пальового фундаменту відбувається за рахунок збільшення несучої здатності паль.

Паля у складі куща поступово реалізує свою несучу здатність і при значних значеннях осідання сприймає навантаження, більше за граничне навантаження одиночної палі. Отже на певному етапі навантаження ступінь реалізації несучої здатності палі починає перевищувати одиницю.

Математичне моделювання палових кущів на піщаній основі

При математичному моделюванні, так само як при фізичному, досліджувався розвиток перерозподілу зусиль між елементами палового фундаменту по мірі зростання навантаження на нього. Дослідження виконувались за допомогою програмного комплексу Plaxis. Розглядався кущ з 6 паль довжиною 9,0 м з поперечним перерізом 0,3х0,3 м, розміщених з кроком 3d (рис. 8).

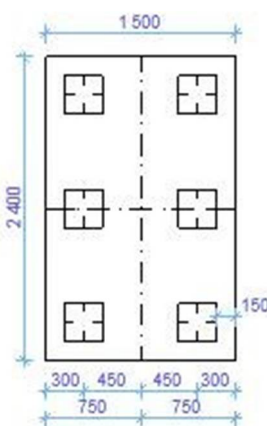


Рис. 8 – Схема розміщення паль у ростверку

Моделювання сумісної роботи ростверку і паль виконувалось на однорідній піщаній та глинистій основі.

Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, $\gamma = 18,6 \text{ кН/м}^3$, $e = 0,67$, $c = 2 \text{ кПа}$, $\phi = 32^\circ$, $E = 28 \text{ МПа}$.

Характеристики глинистого ґрунту: суглинок, $\gamma = 18,5 \text{ кН/м}^3$, $e = 0,75$, $c = 23 \text{ кПа}$, $\phi = 21^\circ$, $E = 14 \text{ МПа}$.

Додатково до програми моделювання включені такі дослідження:

- моделювання роботи одиночних паль довжиною 9 м з поперечним перерізом 0,3х0,3 м;
- моделювання роботи ростверку розмірами 1,5х2,4 м як фундаменту мілкового закладання.

Для проведення моделювання були прийняті забивні палі із бетону С20/25 (В25).

Розміри змодельованого ґрунтового масиву для максимального зменшення впливу крайових ефектів на осідання палі прийнята в плані 30х30 м, та завтовшки 40 м.

Результати математичного моделювання роботи стовпчастого палового фундаменту

Для аналізу зміни перерозподілу зусиль між елементами палового фундаменту були побудовані графіки розвитку деформацій палових груп, осередненого навантаження на палю у складі палового куща та одиночних паль по мірі зростання навантаження, графік осідання – навантаження при випробуванні плити ростверку розміром 1500х2400 мм як штампа без паль для двох видів ґрунтів.

Результати математичного моделювання дають картину, якісно аналогічну результатам фізичного моделювання, а саме осідання палових фундаментів зростають плавно, а при певних осіданнях, які відповідають приблизно граничним осіданням одиночних паль, криві «навантаження – осідання» палових фундаментів перетинають криві «навантаження – осідання» одиночних паль, при цьому для палових фундаментів не досягнуте граничне навантаження.

Паля у складі куца поступово реалізуе свою несучу здатність і при значних значеннях осідання сприймає навантаження, більше за граничне навантаження одиночної палі. Отже на певному етапі навантаження ступінь реалізації несучої здатності палі починає перевищувати одиницю.

Для кількісної оцінки характеру перерозподілу зусиль між елементами пального фундаменту по мірі зростання навантаження при обробці результатів досліджень аналізувались такі ж параметри, що і при фізичному моделюванні.

Результати обробки даних досліджень представлені на рис. 9 – 11.

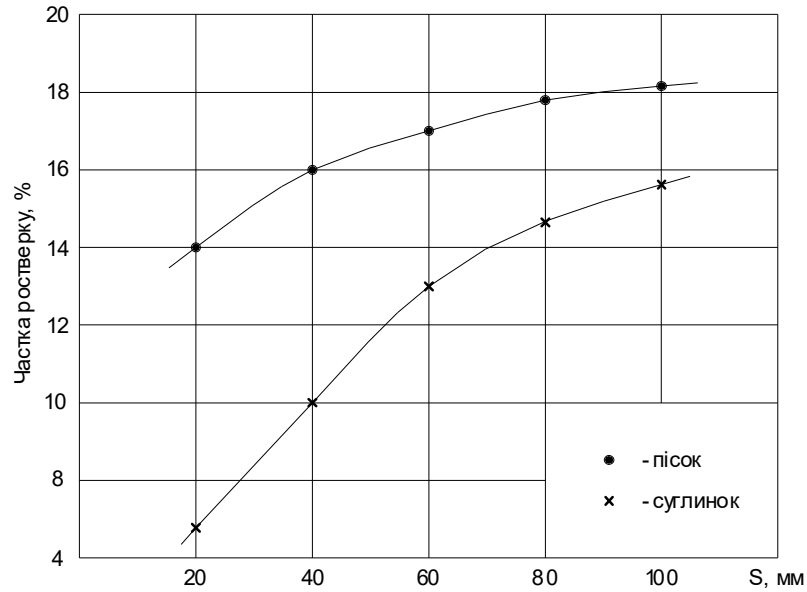


Рис. 11 – Графік залежності частки ростверку у навантаженні на паливий фундамент від величини осідання

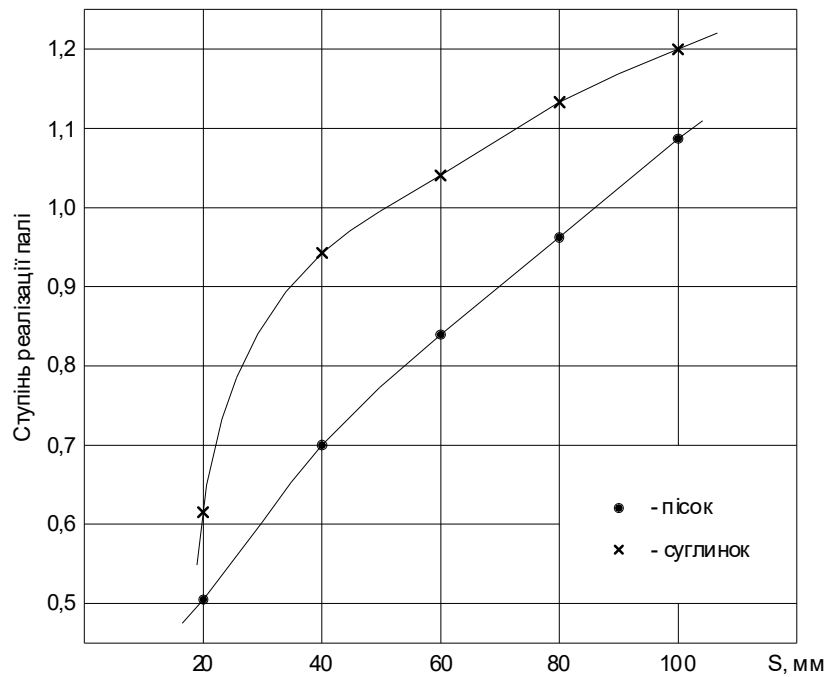


Рис. 12 - Залежність ступеня реалізації несучої здатності палі у складі пального фундаменту від величини осідання

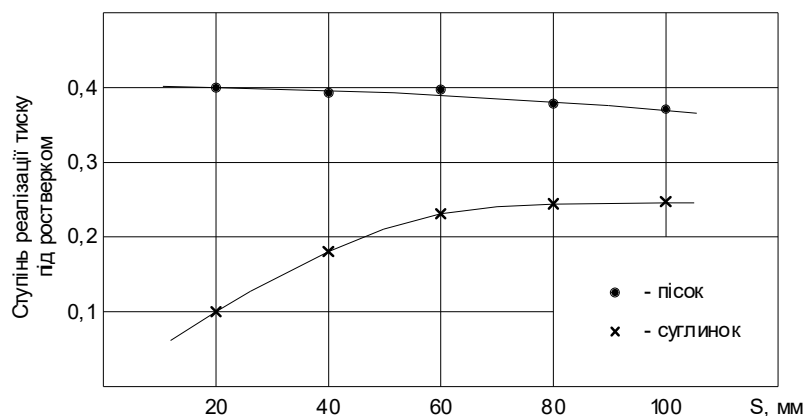


Рис. 13 – Залежність ступеня реалізації тиску під подошвою ростверку у складі стовпчастого пального фундаменту від величини осідання

Як бачимо частка ростверку у несучій здатності фундаменту збільшується по мірі зростання навантаження, оскільки збільшується тиск під подошвою ростверка. Ступінь реалізації ростверка практично не змінюється для піщаної основи і несуттєво зростає для глинистої. Отже, ростверк поступово включається у роботу, але потенційна можливість ростверка сприймати навантаження реалізується не повністю і при певному значенні осідання залишається сталою.

Паля у складі куца, як і при фізичному моделюванні, поступово реалізує свою несучу здатність і при значних значеннях осідання сприймає навантаження, більше за граничне навантаження одиночної палі. Отже на певному етапі навантаження ступінь реалізації несучої здатності палі починає перевищувати одиницю.

Ростверк краще реалізує себе у піщаному ґрунті, а палі – у глинистому, але якісний характер зміни ступеня реалізації палі і ростверку по мірі зростання навантаження для піщаних і глинистих ґрунтів аналогічний.

За критичне значення осідання, для якого доцільно визначати ступені реалізації несучої здатності елементів пального фундаменту, що можуть пропонуватись для використання при проектуванні, можна приймати максимальне значення осідання фундаменту, але при цьому до визначення ступеня реалізації палі треба ставитись з обережністю, без надмірного його завищення.

Висновки

1. Паля у складі куца, як за результатами фізичного моделювання, та і за результатами математичного моделювання, поступово реалізує свою несучу здатність по мірі зростання навантаження і при значних значеннях осідання сприймає навантаження, більше за граничне навантаження одиночної палі. Отже на певному етапі навантаження ступінь реалізації несучої здатності палі починає перевищувати одиницю.

2. Частка ростверку у несучій здатності фундаменту збільшується по мірі зростання навантаження, оскільки збільшується тиск під подошвою ростверка. Ступінь реалізації ростверка практично не змінюється для піщаної основи і несуттєво зростає для глинистої. Отже, ростверк поступово включається у роботу, але потенційна можливість ростверка сприймати навантаження реалізується не повністю і при певному значенні осідання залишається сталою.

3. Для аналізу характеру перерозподілу зусиль між елементами пального фундаменту може бути використане моделювання у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation.

4. За критичне значення осідання, для якого доцільно визначати ступені реалізації несучої здатності елементів пального фундаменту, що можуть пропонуватись для використання при проектуванні, можна приймати максимальне значення осідання фундаменту, але при цьому до визначення ступеня реалізації палі треба ставитись з обережністю, без надмірного його завищення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових палювих та підсиленних палями фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 168 с.
2. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Чобанова К. А. Вплив виду ґрунту на сумісну роботу палі і ростверка в кушовому палювому фундаменті. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в*

будівництві. Науково-технічний збірник ВНТУ. Вінниця: УНІВЕРСМ-Вінниця. 2013. №2. С.40-47.

3. Блащук Н.В., Маєвська І.В., Попович М.М. Перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*: міжнародний н/т журнал ВНТУ, №1(24). Вінниця, 2018. С. 36-44.

4. Маєвська І.В., Блащук Н.В. Перерозподіл зусиль між елементами однорядного стрічкового пальового фундаменту *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*: міжнародний н/т журнал ВНТУ, Вінниця. – 2019. – №1(26). – С.43-52.

5. Кримняк Я. М., Маєвська І.В. Робота забивних паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту. Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2021), Вінниця, ВНТУ, 2021 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11077>.

6/ Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайних фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков – М., Стройиздат, 1994. – 377 с.

7. 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> .

8. Кремінська Ю.О., Маєвська І.В. Фізичне моделювання пальових кушів з короткими та довгими палями. *Енергоефективність в галузях економіки України-2021*: міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листоп. 2021р. Вінниця, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/view/13939>.

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

Maievskaya Iryna— 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.

Наталя Вікторівна Блащук— канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. E-mail: blaschuk@vntu.edu.ua.

Natalia V. Blashchuk - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa. E-mail: blaschuk@vntu.edu.ua.