

ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ У РІЗНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Аналізувались результати фізичних досліджень на маломасштабних моделях і математичного моделювання за допомогою трьох різних програмних комплексів: Plaxis, SOFiSTiK, ЛІРА-САПР 2024. При моделюванні варіювались кількість, довжина і крок паль, площа ростверків, вид ґрунту основи. Деякі вхідні параметри повторювались при моделюванні різними шляхами, отже можна порівняти результати досліджень, проведених різними методами. Математичне моделювання за допомогою різних програмних комплексів в цілому дозволяє зробити однакові висновки в якісній картині розподілу зусиль між палями і ростверком. Жоден з програмних комплексів не дозволяє достовірно визначити кількісні параметри розподілу зусиль між елементами пальового фундаменту. Для підтвердження кількісних параметрів необхідний фізичний експеримент.

Розрахунки у всіх програмних комплексах доводять, що ступінь реалізації роботи ростверку і паль у складі пальового фундаменту суттєво підвищується при збільшенні кроку паль. Отже, найбільш ефективну роботу показують пальові фундаменти з коротких паль при збільшеній відстані між ними.

Ключові слова: програмний комплекс, математичне моделювання, стовпчастий пальовий фундамент, ростверк, забивна паля, перерозподіл навантажень,

Abstract

The results of physical studies on small-scale models and mathematical modeling were analyzed using three different software packages: Plaxis, SOFiSTiK, LIRA-SAPR 2024. During the modeling, the number, length and pitch of piles, the area of the grillages, and the type of base soil were varied. Some input parameters were repeated during the modeling in different ways, so it is possible to compare the results of studies conducted using different methods. Mathematical modeling using different software packages generally allows us to draw the same conclusions in the qualitative picture of the distribution of forces between piles and grillage. None of the software packages allows us to reliably determine the quantitative parameters of the distribution of forces between the elements of the pile foundation. A physical experiment is necessary to confirm the quantitative parameters.

Calculations in all software packages prove that the degree of implementation of the work of the grillage and piles in the composition of the pile foundation increases significantly with an increase in the pitch of the piles. Therefore, pile foundations made of short piles with an increased distance between them perform the most effectively.

Keywords: software package, mathematical modeling, columnar pile foundation, grillage, driven pile, load redistribution

Вступ

Для можливості порівняння результатів досліджень різними методами вибір параметрів для варіювання здійснювався аналогічно раніше проведеним дослідженням.

Були використані результати фізичного моделювання магістранта Кременської Ю. О. [1]. Варіювалась кількість паль при сталій площі ростверку. Випробувались для кожного куца два варіанти довжини паль. Додатково випробувався ростверк без паль (як фундамент мілкового закладання) та палі двох типорозмірів як одиночні.

Були використані результати математичного моделювання за допомогою програмного комплексу Plaxis, виконані у магістерських роботах Малишева О. М. [2], Кримняка Я. М. [3], Кременської Ю. О. [4], Ткачук А. А. [5]. Моделювання стовпчастих пальових фундаментів за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK було виконане Ганущаком Ю. В. [6], моделювання за допомогою програмного комплексу Ліра виконане Грисюком В. М. Та Шмундяком О. Ю.

У всіх випадках варіювались крок паль, розміри ростверку, довжина паль, вид ґрунту. Для можливості порівняння результатів у всіх випадках розглядались два види ґрунту:

пісок дрібний з характеристиками $\gamma = 18,6 \text{ кН/м}^3$, $e = 0,67$, $c = 2 \text{ кПа}$, $\varphi = 32^\circ$, $E = 28 \text{ МПа}$; суглинок з характеристиками $\gamma = 18,5 \text{ кН/м}^3$, $e = 0,75$, $I_L = 0,25-0,5$, $c = 23 \text{ кПа}$, $\varphi = 21^\circ$, $E = 14 \text{ МПа}$.

Результати чисельного моделювання системи «ростверк – палі – основа»

Для прикладу на рис. 1 наведена розрахункова модель пальового фундаменту для групи дослідів 1 при довжині паль 3,0 м та 10 м при моделюванні у програмному комплексі Ліра.

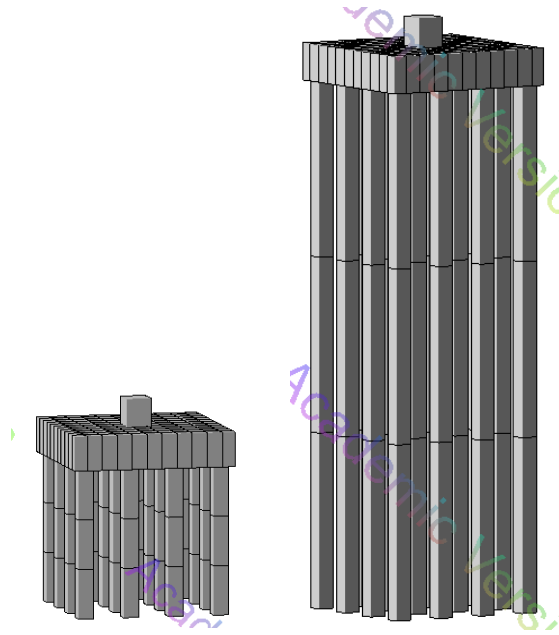


Рисунок 1 – Розрахункова модель пальового фундаменту для групи дослідів 1 при довжині паль 3,0 м та 10 м при моделюванні у програмному комплексі Ліра

Результатами досліджень для всіх груп дослідів є залежності навантаження-осідання для пальових кушів, ростверків без паль та одиночних паль, величини зусиль у палях, розподіл напружень і осідань по підшві ростверка.

На рис. 2 показаний розподіл зусиль між палями.

На рис. 3, 4 наведені кольорові діаграми тиску під підшвою ростверку та осідань ростверку

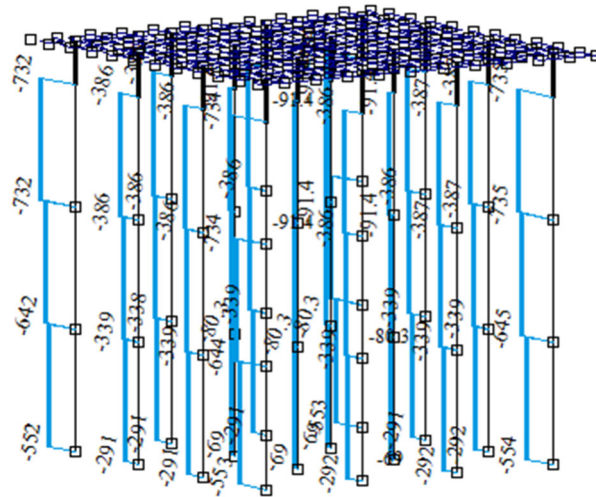


Рисунок 2 – Розподіл зусиль між палями групи в глинистому ґрунті при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1

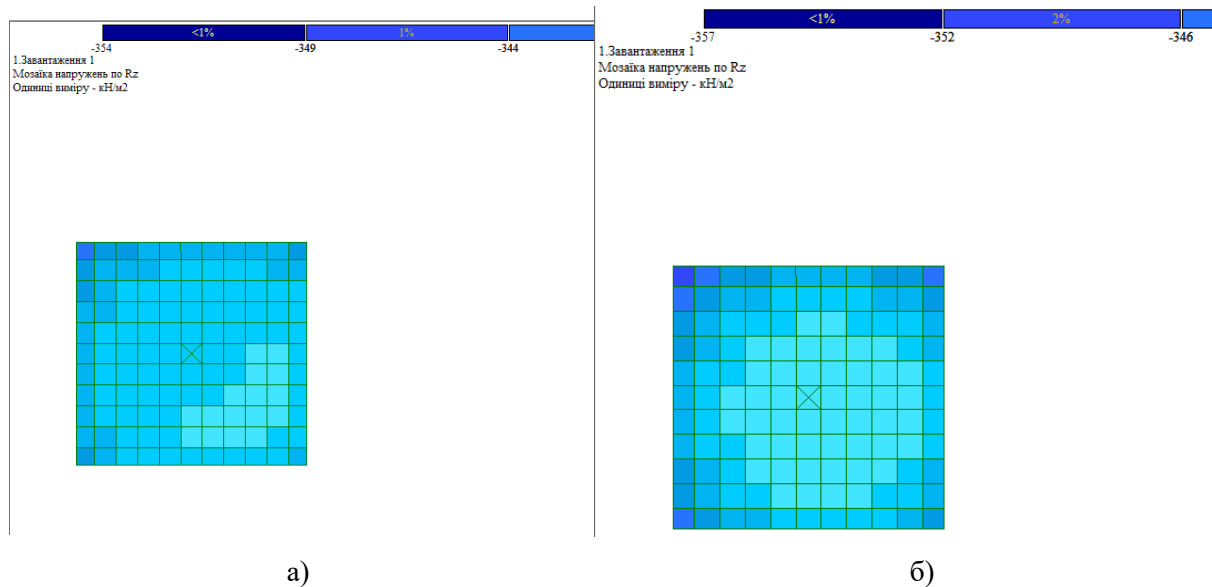


Рисунок 3 – Кольорові діаграми тиску під підшовною ростверк при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1: а – в піщаному ґрунті; б – в глинистому ґрунті

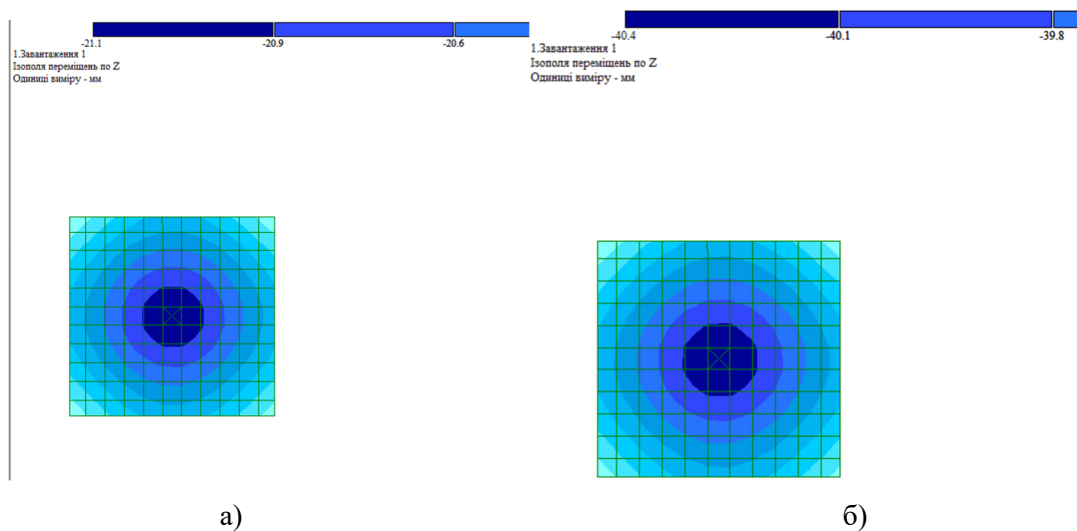


Рисунок 4 – Кольорові діаграми осідань під підшовною ростверк при навантаженні 10000 кН в групі дослідів 1: а – в піщаному ґрунті; б – в глинистому ґрунті

Порівняльний аналіз результатів дослідження груп паль за допомогою різних програмних комплексів

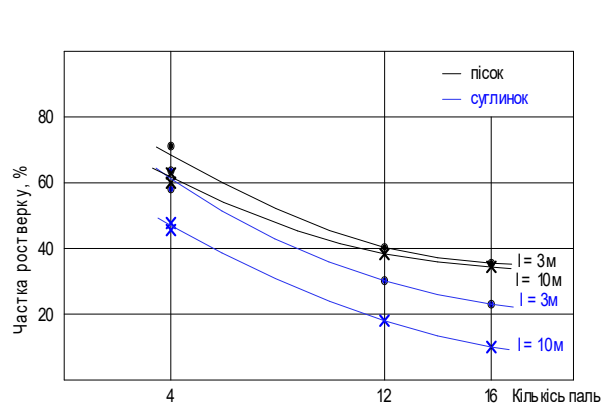
Зазвичай при аналізі роботи елементів пального фундаменту в групі розглядають такі показники:

- частка ростверку у навантаженні, яке сприймає фундамент;
- ступінь реалізації несучої здатності паль (у порівнянні з несучою здатністю одиночної палі);
- ступінь реалізації тиску під ростверком (у порівнянні з тиском, що виникає під ростверком без паль при такому ж значенні осідання).

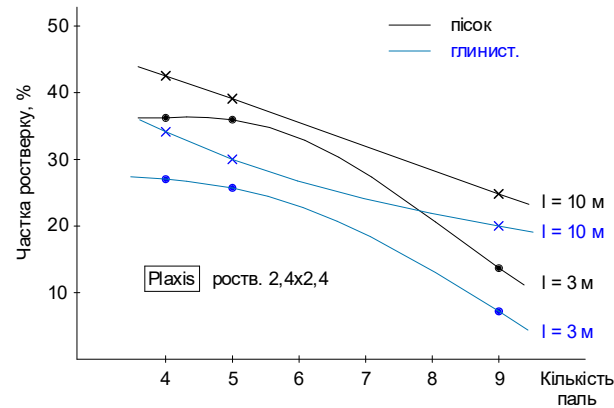
На рис. 5 - 7 наведені графіки залежності частки ростверку у несучій здатності фундаменту в залежності від кількості паль при сталих розмірах ростверка та від площі ростверка при сталій кількості паль.

На рис. 8 – 10 наведені графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у складі палових фундаментів. Зміна ступеню реалізації тиску під ростверком наведена на рис. 11 – 13.

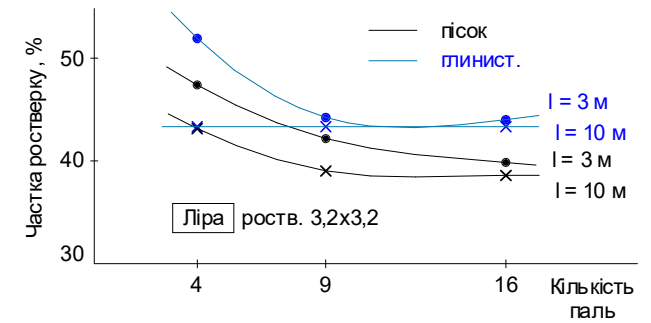
Для порівняння аналізованих показників з результатами фізичного експерименту на маломасштабних моделях на рис. 14 наведені відповідні залежності згідно з [1]. Фізичний експеримент на піщаному ґрунті показав дещо кращі результати щодо включення у роботу ростверку та паль, але якісний характер залежностей підтверджується математичним моделюванням незалежно від виду програмного комплексу.



SOFiSTiK (ростверк 3,2x3,2)

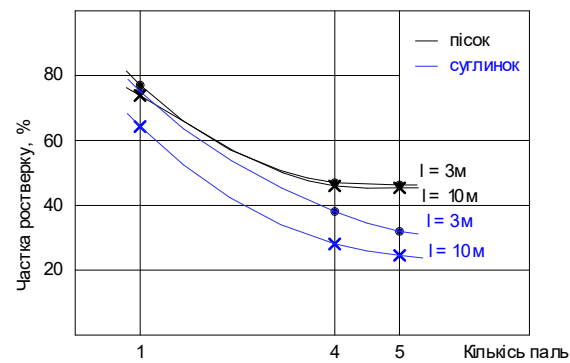


Plaxis

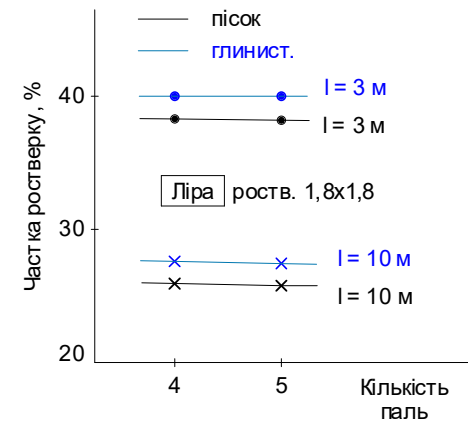


Ліра

Рисунок 5 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з ростверком 3,2x3,2 м (2,4x2,4 м для Plaxis) від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

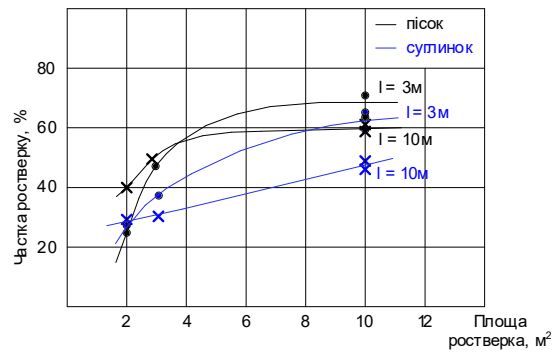


SOFiSTiK

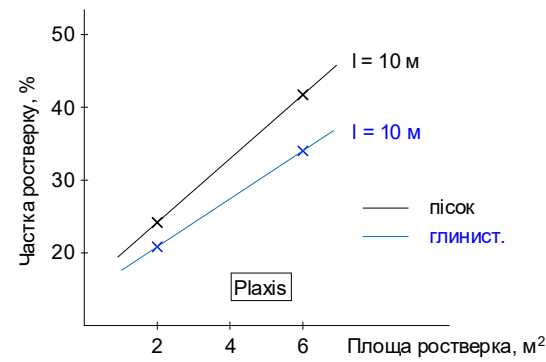


Ліра

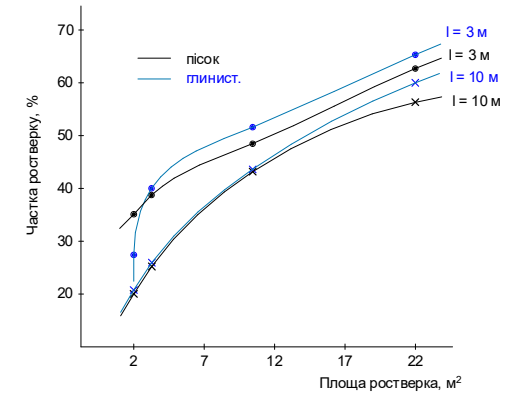
Рисунок 6 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з ростверком 1,8x1,8 = 3,24 м² від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK

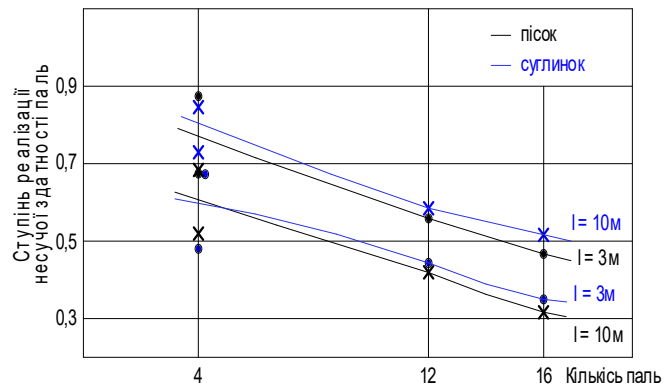


Plaxis

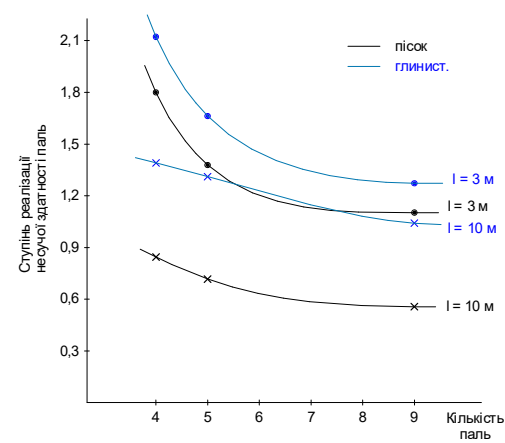


Ліра

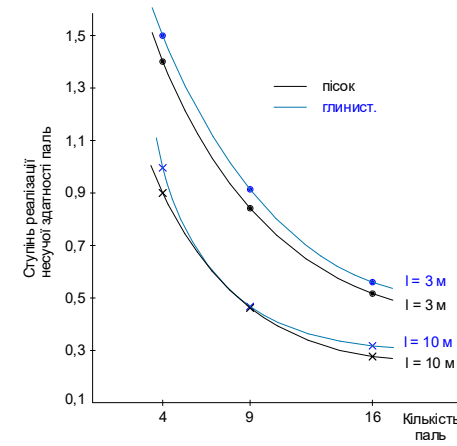
Рисунок 7 – Графіки залежності частки ростверка у навантаженні на куц з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK

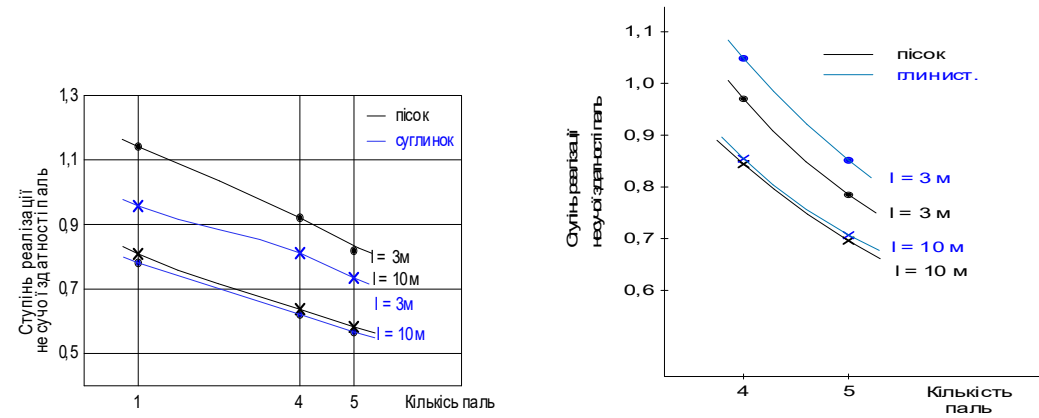


Plaxis (ростверк 2,4x2,4 м)



Ліра

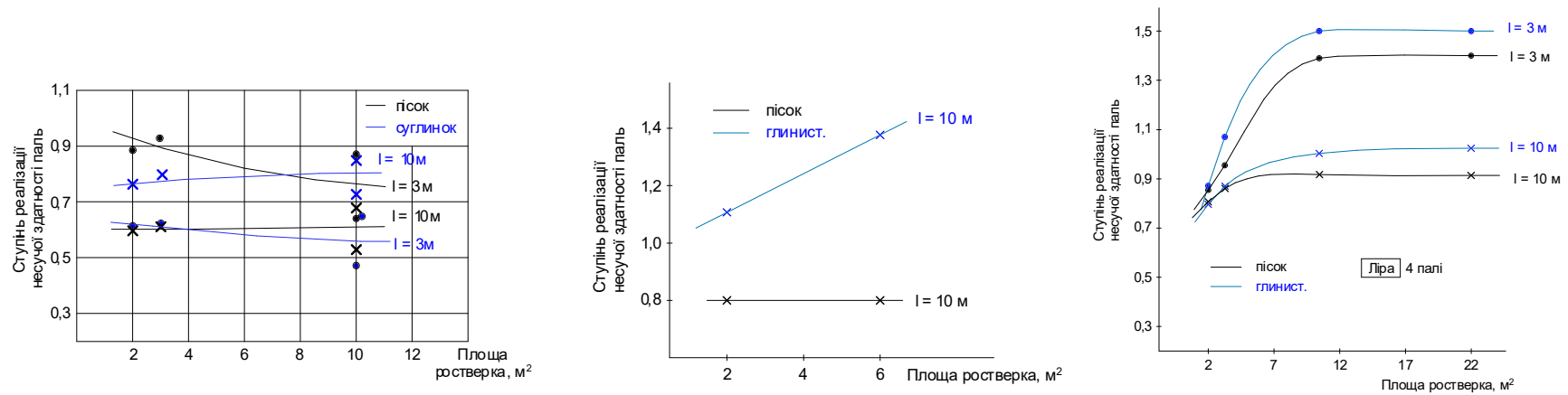
Рисунок 8 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у куці з ростверком 3,2x3,2 = 10,24 м² від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK

Ліра

Рисунок 9 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у куці з ростверком $1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ м}^2$ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різних довжині паль

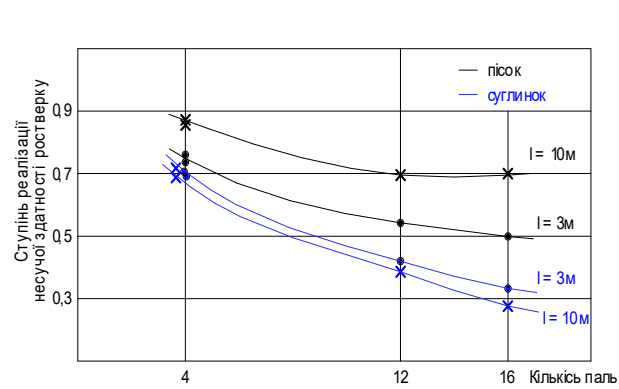


SOFiSTiK

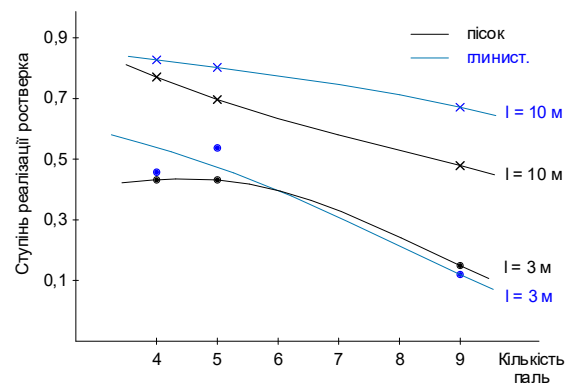
Plaxis

Ліра

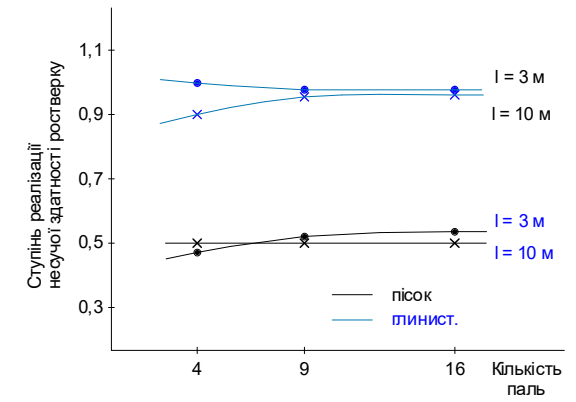
Рисунок 10 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у куці з 4 паль від площі ростверка та виду ґрунту при різних довжині паль



SOFiSTiK

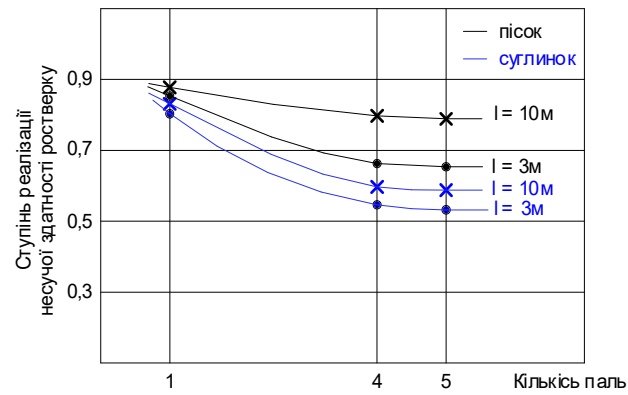


Plaxis (ростверк 2,4x2,4)

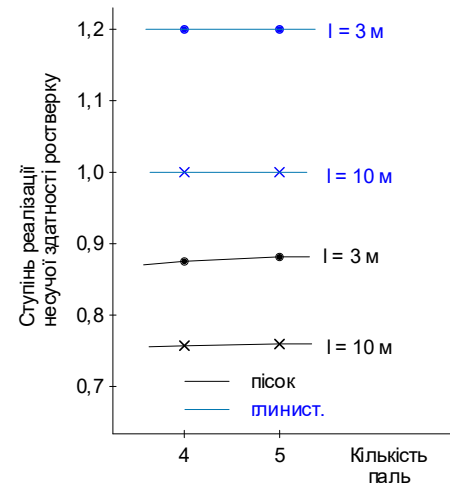


Ліра

Рисунок 11 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком 3,2×3,2 м від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль



SOFiSTiK



Ліра

Рисунок 12 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м² від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

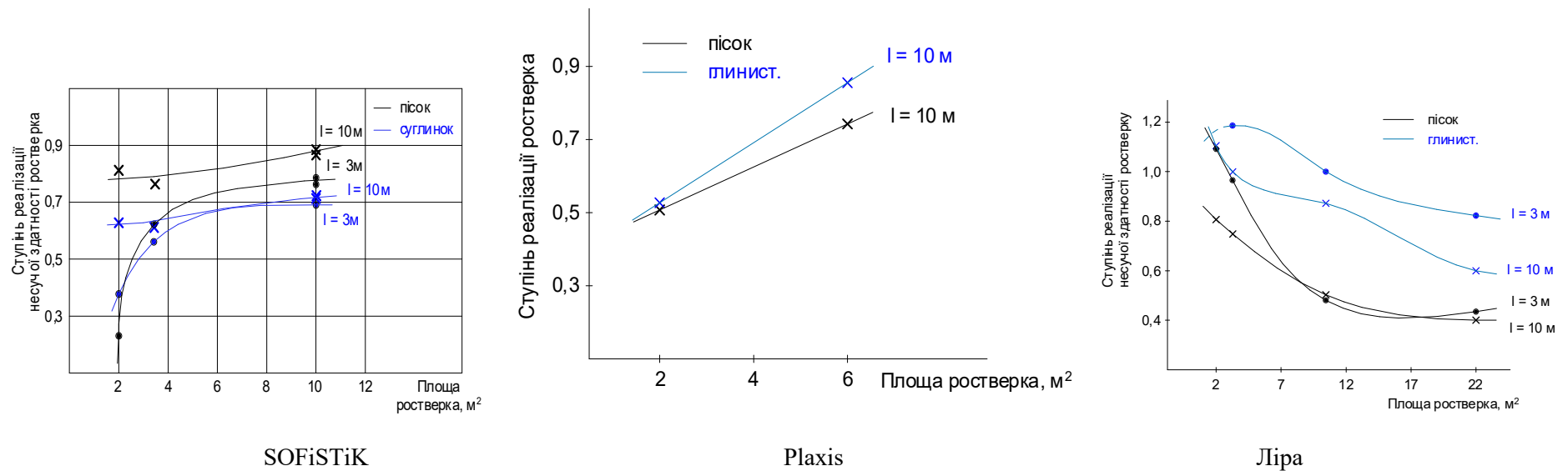


Рисунок 13 – Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у куші з 4 палів від площі ростверка та виду ґрунту при різній довжині палів

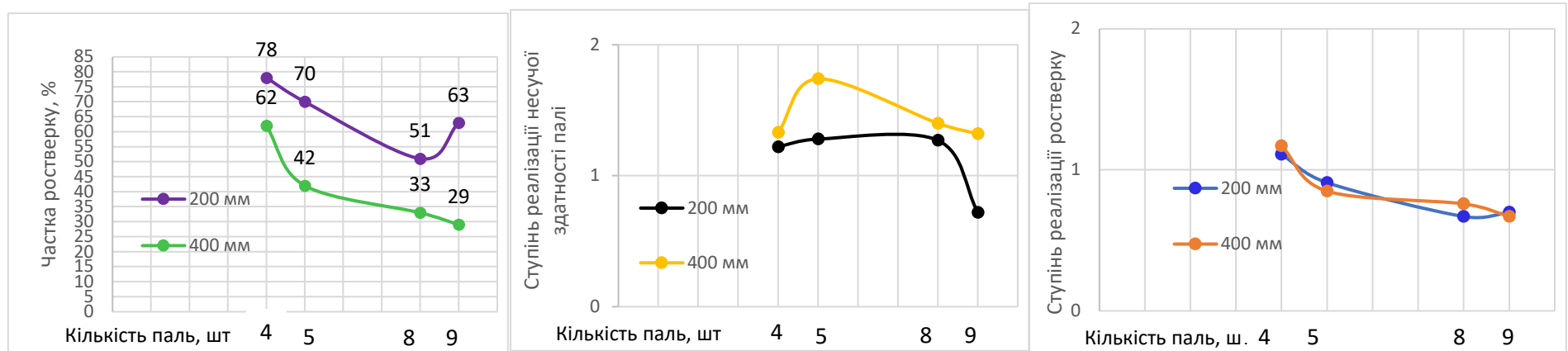


Рисунок 14 – Графік залежності частки ростверку, ступеня реалізації несучої здатності палів та ступеня реалізації ростверку у палевому фундаменті з різною довжиною та кількістю палів при сталому розмірі ростверку за результатами маломштабного фізичного експеримента [1]

Висновки

1. Математичне моделювання за допомогою різних програмних комплексів в цілому дозволяє зробити однакові висновки в якісній картині розподілу зусиль між палями і ростверком.
2. Характер розподілу напружень і переміщень по підшві ростверка при використанні різних програмних комплексів виявився аналогічним. А саме, найбільше осідання спостерігається в місці прикладання зосередженого навантаження від колони посередині ростверка. Найбільші напруження під підшвою ростверка спостерігаються в зоні його периметру. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану якісно відповідають відомим результатам попередніх дослідників.
3. Для визначення критерія несучої здатності груп паль були виконані ручні розрахунки несучої здатності і осідань пальових фундаментів, паль і ростверків у відповідних ґрунтах за вимогами норм. Результати розрахунків показали, що критерієм визначення навантаження, яке сприймає група паль, для розрахунків в різних програмних комплексах слугують різні значення переміщень:
 - для програмного комплексу Ліра - осідання 15 мм.
 - при використанні програмного комплексу SOFiSTiK таким критерієм була деформація 40 мм,
 - при використанні програмного комплексу Plaxis – 100 мм.
4. Всі програмні комплекси дозволили зробити висновок, що при сталих розмірах ростверка основними чинниками, що впливають на ступінь реалізації несучої здатності пальового фундаменту, є кількість паль, їх крок і вид ґрунту. Збільшення кількості паль, яке призводить до збільшення компактності їх розміщення, спричинює неповне використання роботи ростверка і паль. При сталій кількості паль збільшення площі ростверка збільшує реалізацію його несучої здатності.
5. Жоден з програмних комплексів не дозволяє достовірно визначити кількісні параметри розподілу зусиль між елементами пальового фундаменту. Для підтвердження кількісних параметрів необхідний фізичний експеримент.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маєвська І. В. Попович М.М., Кремінська Ю. О. Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту за результатами фізичного моделювання. „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. 2022. №2(33). С. 108-118.
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. 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>.
4. Маєвська І. В., Блащук Н.В., Кремінська Ю. О. Особливості роботи пальових кушів з коротких паль за даними числового моделювання. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип.43. К.: КНУБА, 2021. С.30-39. <http://bf.knuba.edu.ua/issue/view/15533>.
5. Блащук Н. В., Ткачук А. А., Шевчук Є. О. Перерозподіл зусиль між елементами кушового пальового фундаменту в залежності від кількості паль. *Матеріали конференції «LI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2022)»*, Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15454>.
6. Ганущак Ю. В., Маєвська І. В. Математичне моделювання роботи комплексного стовпчастого пальового фундаменту. Збірник матеріалів LIII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету ВНТУ. Вінниця, 2024. 10 с. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20500/17070>.

Грисюк Віталій Михайлович — магістр, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vg072293@gmail.com.

Шмундяк Олександр Юрійович – аспірант, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shmund@ukr.net.

Маєвська Ірина Вікторівна — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com.

Hrysiuk Vitaliy Mykhailovych – Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vg072293@gmail.com .

Shmundyak Oleksandr YU — Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : shmund@ukr.net

Maievskaya Irina Victorivna – associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com