

Ефект від зміни конструктивної схеми підсилення стрічкових фундаментів короткими палями

Ірина Маєвська¹, Наталя Блащук², Лілія Городнік³

Вінницький національний технічний університет
95, Хмельницьке шосе, Вінниця, Україна, 21000,
¹ irina.mayevskaja@gmail.com, orcid.org/ 0000-0001-5999-6824
² blaschuk@vntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9764-0271
³ lb.16b.zabashtanska@gmail.com

DOI: 10.32347/0475-1132.45.2022.68-80

Анотація. У роботі виконано математичне моделювання підсилення стрічкового фундаменту мілкою закладання короткими палями у двох варіантах: підсилення у рівні підшови існуючого фундаменту, підсилення від поверхні ґрунту. Для порівняння в обох варіантах розглянуті короткі палі різної довжини. Для перевірки можливості визначення несучої здатності підсиленого фундаменту як умовного фундаменту мілкою закладання виконане математичне моделювання умовного фундаменту для обох варіантів конструктивного рішення. При математичному моделюванні варіюється не тільки довжина, а і крок паль підсилення, а також ґрунтові умови. Проаналізовано отримані результати з порівнянням усіх варіантів.

Результати розрахунків показали, що при використанні коротких паль ефективно переходити до варіанту підсилення, коли немає потреби у відкопуванні траншей до рівня підшови існуючого фундаменту, з розміщенням ростверку новоствореного фундаменту в рівні вимощення або підлоги. Такий варіант виключає трудомісткі роботи з ручного відкопування траншей, а також дозволяє виконувати роботи з підсилення не малими захватками, а довільним чином. Загалом це дає можливість значно скоротити витрати праці, часу та коштів.

Дослідженнями встановлено, що збільшення кроку паль призводить до зменшення несучої здатності підсиленого фундаменту як для коротких, так і для довгих паль, а розгляд фундаментів як умовних масивів найбільш відповідає варіанту з кроком паль 3d (600 мм).

Результати розрахунків також показали, що несуча здатність підсиленого фундаменту, одержана за моделюванням в Plaxis, перевищує



Ірина Маєвська
доцент кафедри
будівництва, міського господарства
та архітектури
к.т.н., доц.



Наталя Блащук
доцент кафедри
будівництва, міського господарства
та архітектури
к.т.н., доц.



Лілія Городнік
магістр кафедри
будівництва, міського господарства
та архітектури

несучу здатність, підраховану за рекомендаціями норм. Отже, реалізація несучої здатності паль і ростверку новоствореного пальового фундаменту при підсиленні покращує спільну роботу його елементів.

Ключові слова. Короткі палі, паля, підсилення, моделювання, ростверк.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На теперішній час сучасні комп'ютерні технології дають можливість виконувати складні математичні дослідження, розрахунки та моделювання для вирішенні задач з механіки ґрунтів.

Доволі популярним та вартим подальшого дослідження напружено-деформованого стану системи «палія-ростверк-основа» та «існуючий фундамент – палія підсилення - основа» є використання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. Найпоширенішим із яких є метод скінченних елементів (МСЕ), який закладено в основу доволі сучасного програмного комплексу «Plaxis 3D Foundation» [1].

Не дивлячись на широке застосування палієвих фундаментів і велику кількість досліджень, недостатньо вивченими є ряд факторів, що впливають на несучу здатність і осідання при їх роботі в різних ґрунтових умовах. Зокрема, відомі з практики пропозиції щодо використання коротких палієвих підсилення, не підкріплені жодними рекомендаціями стосовно методики їх розрахунку.

Нормами [2] пропонуються різні конструктивні схеми підсилення стрічкових фундаментів паліями. Для розгляду обрані два варіанти, представлені на Рис. 1.

У даній роботі за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation виконано математичне моделювання підсилення фундаментів короткими паліями у двох різних варіантах, а саме: 1) підсилення з рівня підшви існуючого фундаменту та 2) підсилення з поверхні ґрунту.

При моделюванні передбачено виконати підсилення фундаментів мілкою закладання у двох різних ґрунтових умовах з варіюванням кроку, довжини, а також зміною виду розташування голови палієвої відносно підшви фундаменту, що дозволить з'ясувати доцільність використання коротких палієвих при підсиленні фундаментів. В якості коротких розглядалися палієві з співвідношенням довжини до діаметра від 5 до 25.

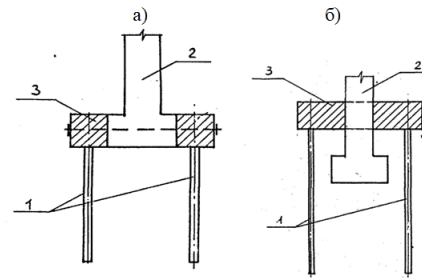


Рис.1. Конструктивні схеми підсилення фундаментів паліями: а) вертикальні палі, які влаштовуються за межами існуючого фундаменту і з'єднуються ростверками в рівні підшви існуючого фундаменту; б) вертикальні парні палі, які влаштовуються за межами існуючого фундаменту і з'єднуються з фундаментом вище його підшви балковим ростверком [2].

Fig.1. Structural schemes of strengthening foundations with piles: a - vertical piles, which are determined outside the existing foundation and are connected by grillage at the level of the sole of the existing foundation; b) - vertical paired piles that are connected outside the existing foundation and are connected to the foundation above its sole by a beam grillage [2].

Було зроблене припущення, що в випадку застосування коротких палієвих, їх несуча здатність у складі фундаменту реалізується не повністю при тому, що значну частку навантаження бере на себе ростверк. Тоді варто перевірити, чи можна при проектуванні замінювати групу палієвих з ростверком на ґрунто-палієвий масив, який має габарити умовного фундаменту.

Ставилась також задача з'ясувати, при якому кроці і довжині палієвих підсилення, робота палієвого фундаменту може бути прирівняна до роботи ґрунто-палієвого масиву.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Прийнятою початковою експериментальною моделлю є стрічковий фундамент мілкою закладання висотою 300 мм, шириною 1 м, глибиною закладання 1 м, що сприймає постійне навантаження 200 кН/м [3].

У першому варіанті виконуємо підсилення існуючого фундаменту короткими палями з головою у рівні підшви (Рис. 2).

До розрахунку приймаємо такі параметри:

- тип палі – вдавлюванні з металевих труб;
- модель ґрунту – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- фундамент, що підсилюються – стрічковий мілкового закладання;
- палі довжиною 1,0 м з кроком 600 та 1200 мм;
- палі довжиною 5,0 м з кроком 600 та 1200 мм;
- діаметр палі 0,2 м;
- висота ростверку – 600 мм;
- ростверк – 2,6 м x 10 м;
- характеристики ґрунту: пісок дрібний, щільний $\gamma = 19,2 \text{ кН/м}^3$, $e = 0,59$, $c = 4 \text{ кПа}$, $\varphi = 31^\circ$, $E = 28 \text{ МПа}$ та суглинок $\gamma = 18,5 \text{ кН/м}^3$, $e = 35$, $c = 23 \text{ кПа}$, $\varphi = 21^\circ$, $E = 14 \text{ МПа}$ [4].

Програма моделювання підсилення роботи фундаменту наведена у таблиці 1.

Табл. 1. Програма математичного моделювання підсилення роботи фундаменту у рівні підшви
Table 1. The program of mathematical modeling of strengthening the work of the foundation at the level of the sole

| Група дослідів | Довжина та поперечний розмір палі | Крок палі |
|----------------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | L = 1 м, d = 0,2 м | 600 мм |
| 2 | | 1200 мм |
| 3 | L = 5 м, d = 0,2 м | 600 мм |
| 4 | | 1200 мм |

У другому варіанті виконуємо підсилення існуючого фундаменту короткими палями без викопування траншей, заглиблюючи голову палі на 500 мм з метою улаштування ростверку (Рис. 3). Такий спосіб доволі гарно мінімізує працю, витрачену на земляні роботи.

Параметри конструктивних та фізичних характеристик аналогічні попередньому варіанту.

У останньому етапі математичного моделювання виконаємо перевірку підсиленого фундаменту, як умовного, мілкового закладання з глибиною закладання в рівні нижніх кінців палі (відповідно 2,0 м та 6,0 м). При

цьому ґрунто-пальовий масив моделюється як суцільний фундамент призматичної форми з питомою вагою, що дорівнює осередненому значенню питомої ваги бетону і ґрунту у складі умовного фундаменту. Ширина умовного фундаменту – 2,6 м.

У кожному з варіантів підсилення за мету поставлено перевірити та порівняти чи збігатимуться результати випробувань та значення осідання при прикладанні однакового навантаження. Також заплановано виконати моделювання роботи поодиноких паль різної довжини та ростверків як фундаментів мілкового закладання в різних ґрунтових умовах.

Для чисельного моделювання сумісної роботи існуючого фундаменту і палі при його підсиленні було прийнято такі вихідні дані:

- палі підсилення (поперечний розмір $d = 20 \text{ см}$, довжиною 1 та 5 м) з кроком $3d$ (34 шт.) та $6d$ (18 шт.) при варіанті підсилення фундаменту палями від рівня підшви (рис. 1), ростверк розмірами $2,6 \times 10 \text{ м}$;
- палі підсилення (поперечний розмір $d=20 \text{ см}$, довжиною 1 та 5 м) з кроком $3d$ (34 шт.) та $6d$ (18 шт.) при варіанті підсилення фундаменту палями з рівня поверхні ґрунту (рис. 2), ростверк розмірами $2,6 \times 10 \text{ м}$.

Моделі проектованого фундаменту з кроком палі 600 мм та 1200 мм зображено відповідно на Рис. 4 та 5 відповідно.

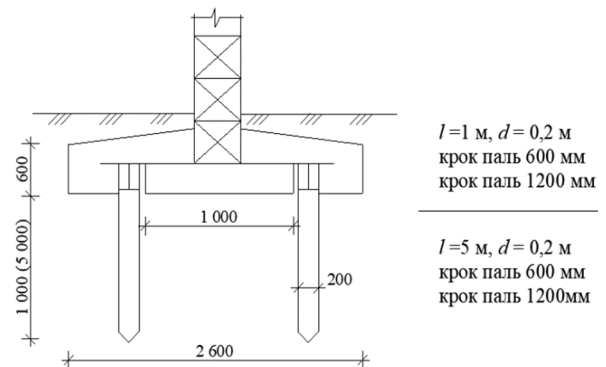


Рис.2. Модель підсилення фундаменту у рівні підшви.

Fig.2. Model of foundation reinforcement at the sole level.

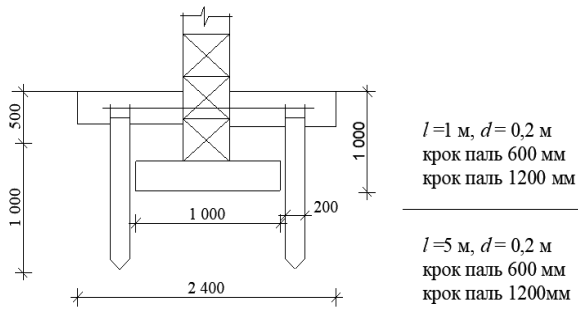


Рис.3. Модель підсилення фундаменту з рівня поверхні ґрунту.

Fig.3. Foundation reinforcement model from the level of the soil surface.

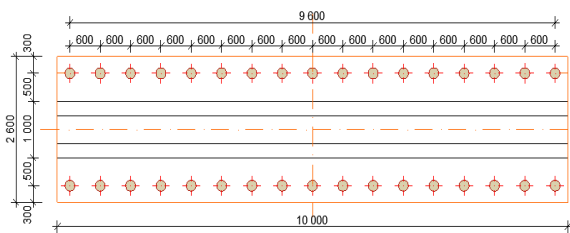


Рис.4. Модель фундаменту з розміщенням палей кроком 600 мм.

Fig.4. Model of the foundation with the placement of piles in steps of 600 mm.

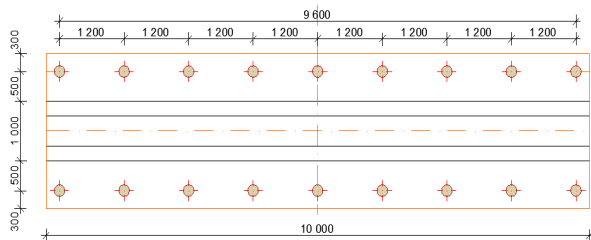


Рис.5. Модель фундаменту з розміщенням палей кроком 1200 мм.

Fig.5. Model of the foundation with placement of piles in 1200 mm increments.

При розрахунках з використанням моделі Кулона-Мора (як і для решти моделей), що реалізована в Plaxis, генеруються початкові горизонтальні напруження в ґрунті.

Моделювання поставлених задач у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation було виконано у такій послідовності:

- моделювання ґрунтового масиву;
- моделювання існуючого фундаменту на відповідній глибині закладання;
- моделювання ростверку та палей підсилення у відповідних координатах;

- вибір та задання ґрунтових умов;
- прикладення навантаження;
- виконання побудови 3D моделей;
- перехід до розрахункової частини роботи. При моделюванні були враховані наступні фази роботи:

- робота ґрунтової товщі без фундаменту (початкова фаза);
- влаштування стрічкового фундаменту мілкового закладання;
- робота стрічкового фундаменту мілкового закладання під дією вертикального навантаження до 200 кН/м.п.;
- улаштування палей підсилення та об'єднання їх ростверком з існуючим фундаментом;
- сумісна робота існуючого фундаменту і палей при його підсиленні під дією вертикального навантаження, до досягнення заданої величини осідання (100 мм).

Наведемо моделі підсилення палями стрічкового фундаменту у варіанті закладання палей у рівні підшови, від поверхні ґрунту та методом умовного фундаменту на прикладі палей довжиною 1 м.

Модель підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкового закладання в програмі Plaxis 3D Foundation при кроці 3d для палей підсилення довжиною 1 м, у варіанті закладання палей у рівні підшови приведена на Рис. 6 та у варіанті закладання палей від поверхні ґрунту приведена на Рис. 7.

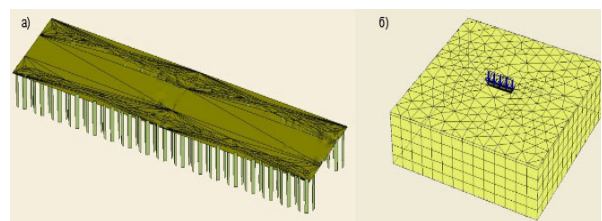


Рис.6. Розрахункова модель підсиленого палями фундаменту у варіанті закладання палей від рівня підшови при кроці палей 3d (l=1 м) (а) та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту (б).

Fig.6. The calculated model of the pile-reinforced foundation in the option of laying piles from the sole level with a pile pitch of 3d (l=1 m) (a) and the location of the model under the action of a vertical load in the soil mass (b).

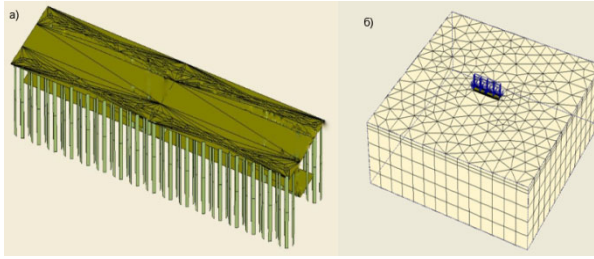


Рис.7. Розрахункова модель підсиленого палями фундаменту у варіанті закладання паль від поверхні ґрунту при кроці паль $3d$ ($l=1$ м) (а) та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту (б).

Fig.7. The calculated model of the pile-reinforced foundation in the option of laying piles from the soil surface with a pile pitch of $3d$ ($l=1$ m) (a) and the location of the model under the action of a vertical load in the soil massif (b).

На рисунку 8 наведено приклад мозаїки деформацій ґрунтової основи для паль підсилення довжиною 1 та 5 м при поздовжньому кроці $3d$ для двох варіантів підсилення та для моделювання підсиленого фундаменту як умовного для піщаних ґрунтів. Характер деформацій у глинистих ґрунтах не відрізняється.

З мозаїк видно, що для коротких паль зона впливу напруженого стану для підсиленого палями фундаменту і умовного фундаменту практично однакові. Для більш довгих паль моделювання умовного фундаменту призводить до переміщення напруженої зони на значно більшу глибину. Таким чином підхід до розгляду пального фундаменту як умовного фундаменту мілкого закладання при підсиленні стрічкових фундаментів може бути прийнятним лише для варіанту коротких паль.

Виконавши математичне моделювання підсилення стрічкового фундаменту у трьох варіантах в програмі Plaxis 3D Foundation, було отримано результати по залежностях осідання від навантаження при різних довжинах та кроці паль на різних ґрунтах.

На рисунку 9 наведено графіки залежності осідання – навантаження фундаменту до - I стадія та після підсилення - II стадія при кроці паль $3d$, довжиною паль 1 та 5 м у

піщаному ґрунті. Крива осідання-навантаження для I стадії роботи фундаменту до підсилення для розглянутих випадків практично співпадає.

На рисунку 10 наведено графіки залежності осідання – навантаження фундаменту до - I стадія та після підсилення - II стадія при кроці паль $3d$, довжиною паль 1 та 5 м у глинистому ґрунті.

Порівнюючи графіки, бачимо, що умовний фундамент відносно вибивається із інших продемонстрованих графіків що дає підставу зробити висновок, що заміна пального фундаменту умовним не дає бажаного результату. Замінювати паливий фундамент на умовний фундамент мілкого закладання з метою визначення його несучої здатності досить некоректно.

На рисунку 11 наведено графіки залежності осідання – навантаження фундаменту до - I стадія та після підсилення - II стадія при кроці паль $6d$, довжиною паль 1 та 5 м у піщаному ґрунті. Крива осідання-навантаження для I стадії роботи фундаменту до підсилення для розглянутих випадків практично співпадає. На рисунку 12 наведено графіки залежності осідання – навантаження фундаменту до - I стадія та після підсилення - II стадія при кроці паль $6d$, довжиною паль 1 та 5 м у глинистому ґрунті.

З одержаних залежностей видно, що в випадку підсилення фундаменту дуже короткими палями (співвідношення довжини до поперечника $l/d=5$) різниці в поведінці підсиленого фундаменту при улаштуванні їх від рівня підосви або від рівня поверхні ґрунту практично не спостерігається. При підсиленні ж більш довгими палями ця різниця виникає. Збільшення глибини закладання нижнього кінця палі при підсиленні від рівня підосви мало б призводити до покращення роботи фундаменту, але переважає включення у роботу додаткового ростверку в рівні поверхні ґрунту (при однакових осіданнях фундамент з підсиленням від поверхні може сприйняти більше навантаження).

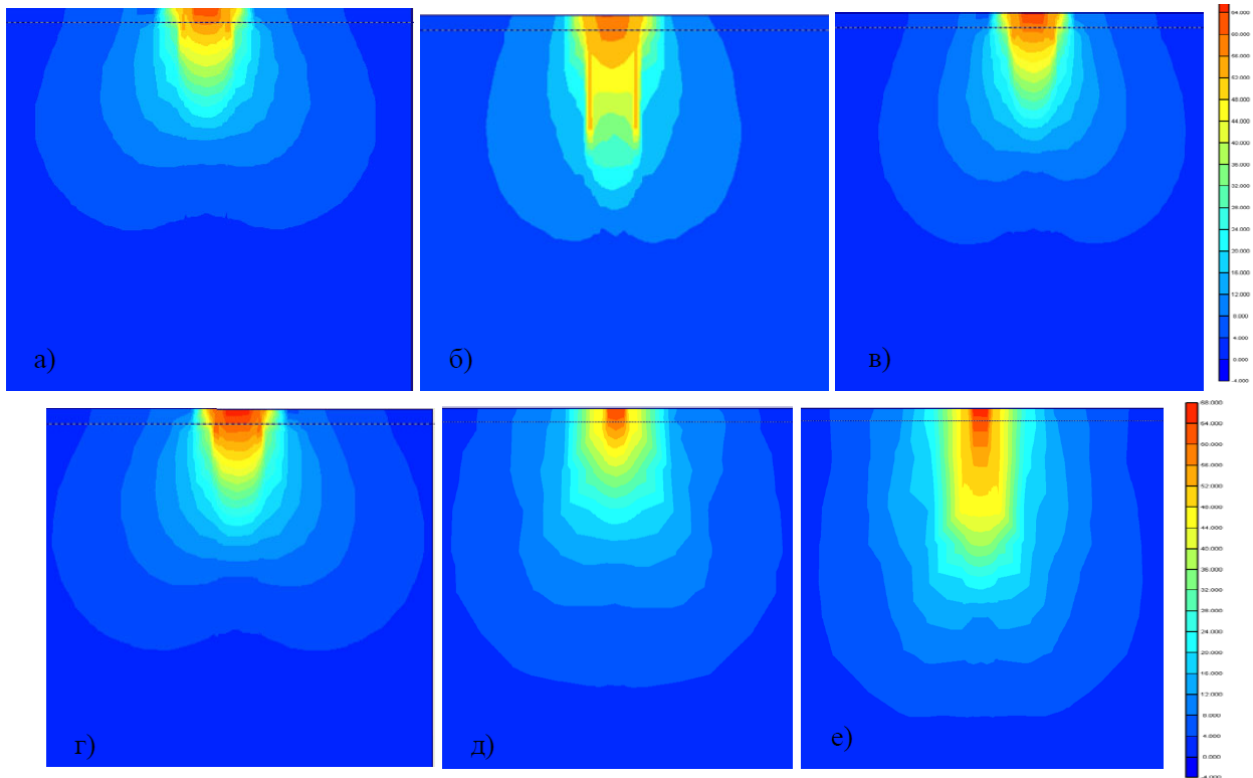


Рис.8. Мозаїки деформації ґрунту в основі підсиленого фундаменту палями з кроком 3d у піщаному ґрунті: а) паля 1 м – підсилення від поверхні ґрунту; б) паля 5 м – підсилення від поверхні ґрунту; в) паля 1 м – підсилення від рівня підшви фундаменту; г) паля 5 м – підсилення від рівня підшви фундаменту; д) умовний фундамент 1 м; е) умовний фундамент 5 м.

Fig.8. Mosaics of soil deformation at the base of the foundation reinforced with piles with a step of 3d in sandy soil: a) pile 1 m - reinforcement from the soil surface; b) pile 5 m - reinforcement from the soil surface; c) pile 1 m - reinforcement from the level of the base of the foundation; d) pile 5 m – reinforcement from the level of the base of the foundation; e) conditional foundation of 1 m; e) conditional foundation of 5 m.

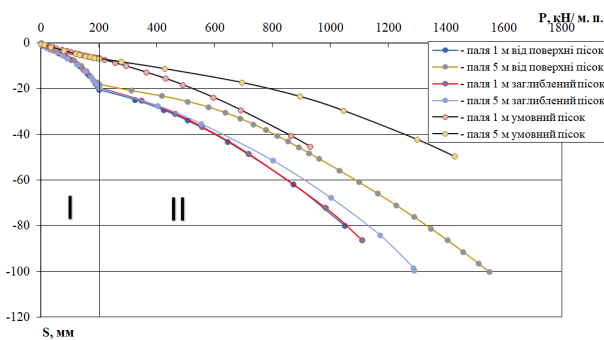


Рис.9. Графіки залежності осідання – навантаження фундаменту з кроком палей 3d у піщаному ґрунті: I стадія – робота фундаменту до підсилення; II стадія – робота підсиленого палями фундаменту.

Fig.9. Graphs of dependence of subsidence - load of the foundation with the pitch of piles 3d in sandy soil: I stage - work of the foundation before reinforcement; The II stage is the work reinforced with piles.

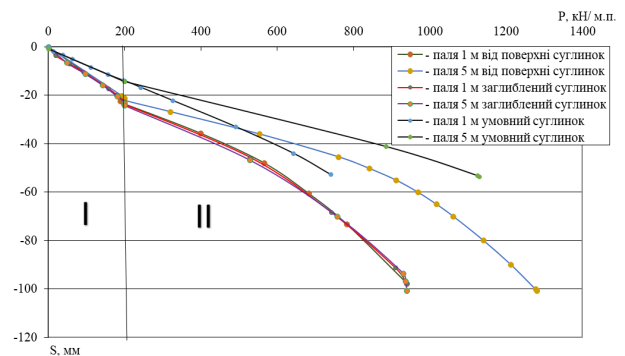


Рис.10.Графіки залежності осідання – навантаження фундаменту з кроком палей 3d у глинистому ґрунті: I стадія – робота фундаменту до підсилення; II стадія – робота підсиленого палями фундаменту.

Fig.10. Graphs of dependence of subsidence - load of the foundation with pile pitch 3d in clay soil: Stage I - work of the foundation before reinforcement; The II stage is the work of the pile-reinforced foundation.

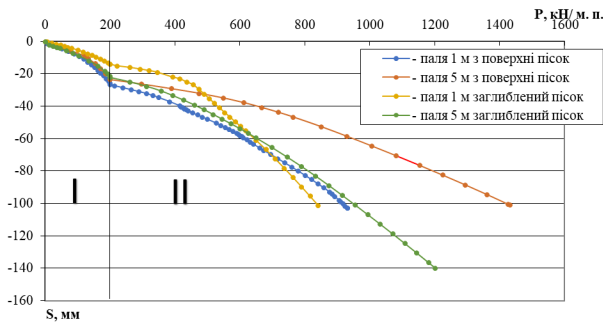


Рис.11.Графіки залежності осідання – навантаження фундаменту з кроком палей 6d у піщаному ґрунті: I стадія – робота фундаменту до підсилення; II стадія – робота підсиленого палями фундаменту.

Fig.11. Graphs of the dependence of settlement - load of the foundation with a pitch of piles 6d in sandy soil: I stage - work of the foundation before reinforcement; The II stage is the work of the pile-reinforced foundation.

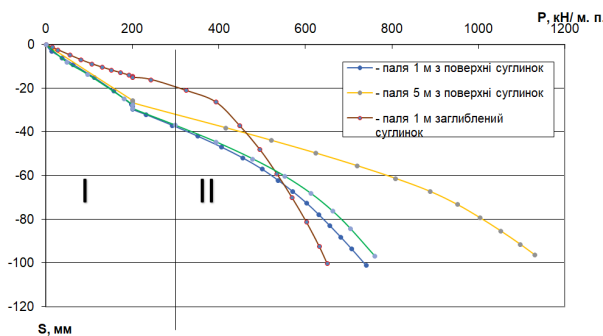


Рис.12.Графіки залежності осідання – навантаження фундаменту з кроком палей 6d у глинистому ґрунті: I стадія – робота фундаменту до підсилення; II стадія – робота підсиленого палями фундаменту.

Fig.12. Graphs of the dependence of settlement - load of the foundation with a pile pitch of 6d in clay soil: Stage I - work of the foundation before reinforcement; The II stage is the work of the pile-reinforced foundation.

З мозаїк деформацій видно, що для коротких палей зона впливу напруженого стану для підсиленого палями фундаменту і умовного фундаменту практично однакові. Для більш довгих палей моделювання умовного фундаменту призводить до переміщення напруженої зони на значно більшу глибину. Таким чином підхід до розгляду пального фундаменту як умовного фундаменту мілкового закладання при підсиленні

стрічкових фундаментів може бути прийнятним лише для варіанту дуже коротких палей. Перехід до проектування підсиленого фундаменту як до такого масиву може призвести до завищення очікувань і відповідно до ненадійного рішення.

Слід при цьому відзначити, що найкраща збіжність між поведінкою підсиленого фундаменту та відповідного умовного фундаменту спостерігається для коротких палей при кроці 3d (600 мм).

Такий крок відповідає оптимальному кроку 0,6 м, одержаному за пропозиціями, висунутими у роботах Самородова А. В. [5].

В результаті виконання моделювання одиночних палей та плит ростверків як фундаментів мілкового закладання у двох різних ґрунтових умовах було визначено їх несучу здатність.

По отриманих результатах експерименту було зроблено порівняння роботи пального фундаменту з плитою ростверку та роботою його окремих елементів у розрахунку на довжину ростверку 2,4 м (таблиця 2). Частка навантаження, яку сприймають палі фундаменту, визначається за результатами розрахунку у програмному комплексі Plaxis, частка навантаження, яку сприймає ростверк, визначалась як різниця між навантаженням на фундамент та сумою зусиль в палях. Несуча здатність елементів визначалась при осіданні 100 мм.

Результати розрахунків показали, що несуча здатність підсиленого фундаменту, одержана за моделювання в Plaxis, перевищує несучу здатність, підраховану за рекомендаціями норм. Отже, реалізація несучої здатності палей і ростверку новоствореного пального фундаменту при підсиленні покращує спільну роботу його елементів.

Графіки залежності несучої здатності фундаменту в цілому, ростверку окремо та палей в залежності від довжини палей при кроці палей 3d та 6d при підсиленні від поверхні та з підшви фундаменту зображено на рисунках 13 та 14.

Графіки залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту з різними ґрунтовими умовами, від довжини палей та типу розмі-

щення їх у ґрунті при кроці паль 3d і 6d зображено на рисунках 15 та 16.

З одержаних залежностей видно, що в випадку підсилення фундаменту дуже короткими палями ($l/d=5$) різниці в поведінці підсиленого фундаменту при улаштуванні їх від рівня підшови або від рівня поверхні ґрунту практично не спостерігається. При підсиленні ж більш довгими палями ця різниця стає суттєвою. Збільшення глибини закладання нижнього кінця палі при підсиленні від рівня підшови мало б призводити до покращення роботи фундаменту, але

переважає включення у роботу додаткового ростверку в рівні поверхні ґрунту (при однакових осіданнях фундамент з підсиленням від поверхні може сприйняти більше навантаження).

Дослідження показало, що збільшення кроку паль призводить до зменшення несучої здатності підсиленого фундаменту як для коротких, так і для довгих паль, а розгляд фундаментів як умовних масивів найбільш відповідає варіанту з кроком паль 3d (600 мм).

Табл. 2. Порівняння роботи пального фундаменту з плитою ростверку з роботою його окремих елементів

Table 2. Comparison of the operation of a pile foundation with a grid plate with the operation of its individual elements

| Довжина паль, см | Крок паль | При роботі у складі фундаменту | | | | | При роботі кожного з елементів як окремого | | | |
|--|-----------|--|------------------------------------|--|------------------------------|---------------------|--|-------------------------|---|--|
| | | Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН | Сума зусиль в палях підсилення, кН | Навантаження, що сприймається ростверком, кН | Навантаження на фундамент кН | Частка ростверку, % | Несуча здатність одиночної палі, кН | Сума зусиль в палях, кН | Навантаження, що сприймається плитою ростверку без паль, кН | Навантаження фундамент, як сума окремих елементів кН |
| Палі від поверхні (пісок) | | | | | | | | | | |
| 1 м | 3d | 113,4 | 907,2 | 1612,8 | 2520 | 64 | 119,4 | 955,2 | 2238,4 | 3193,6 |
| | 6d | 206,46 | 825,8 | 1406,2 | 2232 | 63 | | 477,6 | | 2716,0 |
| 5 м | 3d | 274,35 | 2194,8 | 1525,2 | 3720 | 41 | 231,9 | 1855,2 | 2238,4 | 4093,6 |
| | 6d | 592,02 | 2368,1 | 1063,9 | 3432 | 31 | | 927,6 | | 3166,0 |
| Палі від підшови фундаменту (пісок) | | | | | | | | | | |
| 1 м | 3d | 86,58 | 692,64 | 1971,4 | 2664 | 74 | 119,4 | 955,2 | 2238,4 | 3193,6 |
| | 6d | 100,8 | 403,2 | 1612,8 | 2016 | 80 | | 477,6 | | 2716,0 |
| 5 м | 3d | 85,14 | 681,1 | 2414,9 | 3096 | 78 | 231,9 | 1855,2 | 2238,4 | 2087,7 |
| | 6d | 85,5 | 342,0 | 1938,0 | 2280 | 85 | | 927,6 | | 3166,0 |
| Палі від поверхні (суглинок) | | | | | | | | | | |
| 1 м | 3d | 84,6 | 676,8 | 1579,2 | 2256 | 70 | 111,7 | 893,6 | 1642,9 | 2536,5 |
| | 6d | 102,12 | 408,5 | 1367,5 | 1776 | 77 | | 446,8 | | 2089,7 |
| 5 м | 3d | 218,9 | 1751,1 | 1320,9 | 3072 | 43 | 221,7 | 1773,6 | 1642,9 | 3416,5 |
| | 6d | 401,7 | 1606,8 | 865,2 | 2472 | 35 | | 886,8 | | 2529,7 |
| Палі від підшови фундаменту (суглинок) | | | | | | | | | | |
| 1 м | 3d | 76,14 | 609,12 | 1646,9 | 2256 | 73 | 111,7 | 893,6 | 1642,9 | 2536,5 |
| | 6d | 74,1 | 296,4 | 1263,6 | 1560 | 81 | | 446,8 | | 2089,7 |
| 5 м | 3d | 62,04 | 496,3 | 1759,7 | 2256 | 78 | 221,7 | 1773,6 | 1642,9 | 3416,5 |
| | 6d | 123,12 | 492,48 | 1331,5 | 1824 | 84 | | 886,8 | | 2529,7 |

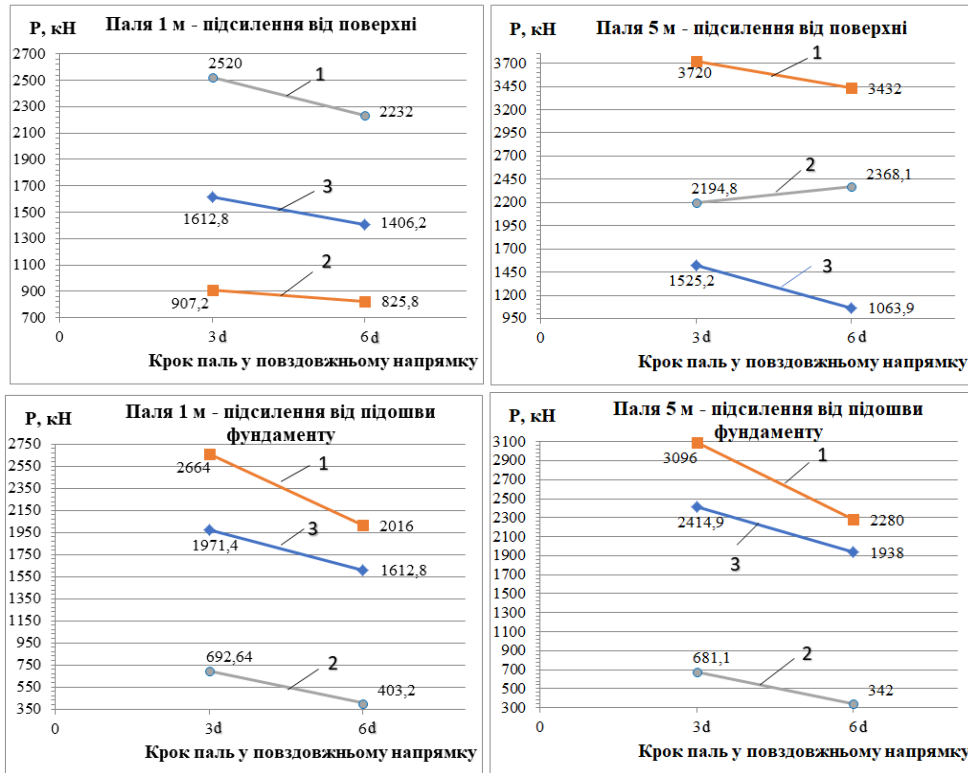


Рис. 13. Графіки залежності несучої здатності фундаменту у піщаному ґрунті від кроку палей : 1 – несуча здатність фундаменту в цілому; 2 – несуча здатність палей; 3 – несуча здатність ростверку.
 Fig. 13. Graphs of the dependence of the bearing capacity of the foundation in sandy soil on the pitch of the piles: 1 – bearing capacity of the foundation as a whole; 2 – bearing capacity of piles; 3 – bearing capacity of the grillage.

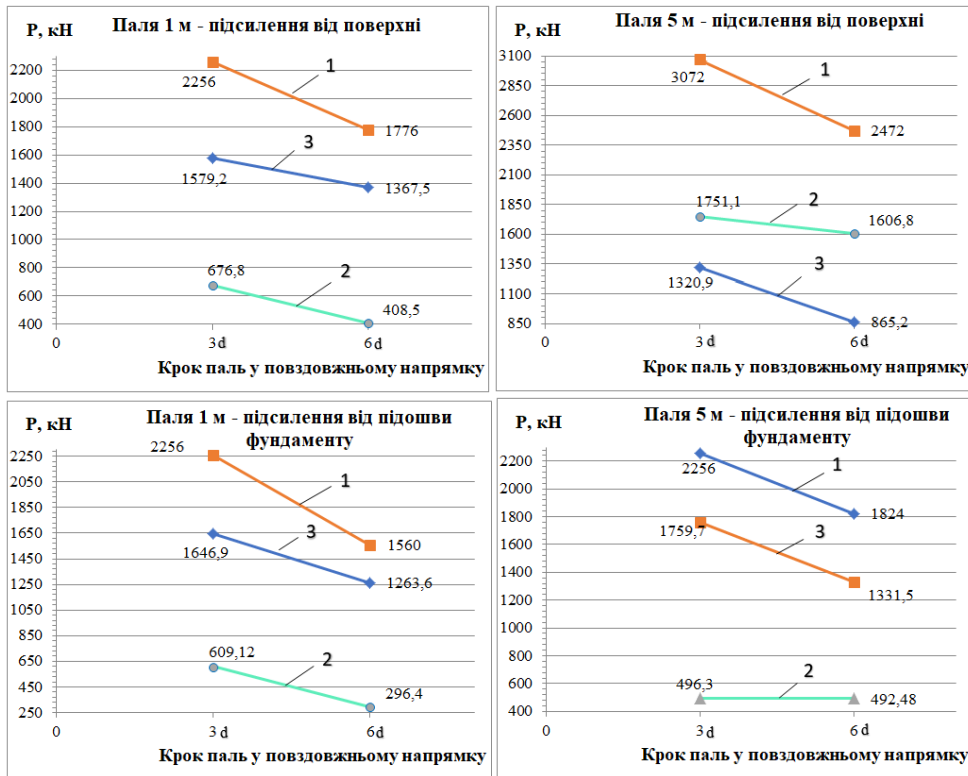


Рис. 14. Графіки залежності несучої здатності фундаменту у глинистому ґрунті від кроку палей : 1 – несуча здатність фундаменту в цілому; 2 – несуча здатність палей; 3 – несуча здатність ростверку.
 Fig. 14. Graphs of the dependence of the bearing capacity of the foundation in clay soil on the pitch of the piles: 1 – bearing capacity of the foundation as a whole; 2 – bearing capacity of piles; 3 – bearing capacity of the grillage.

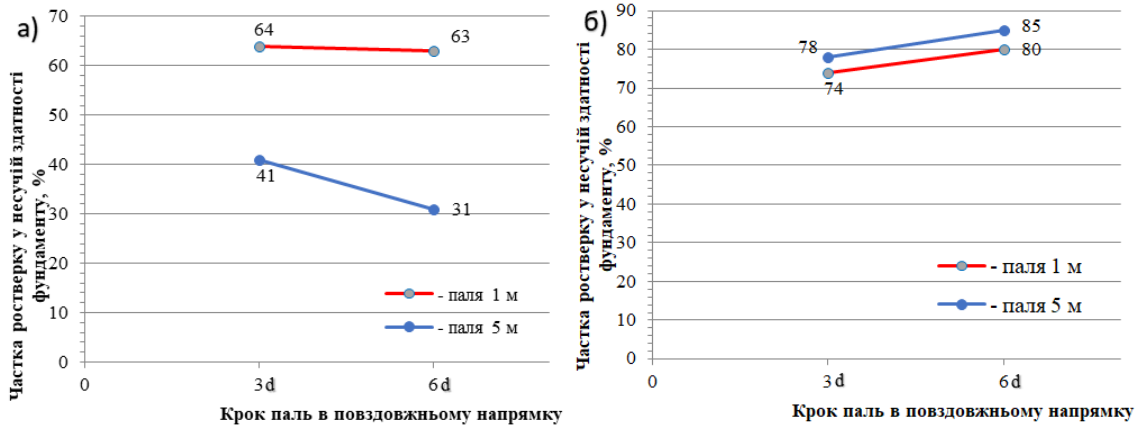


Рис. 15. Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту у піщаному ґрунті: а) підсилення від поверхні, б) підсилення від підшови ростверку.
 Fig. 15. Graph of the dependence of the share of the load-bearing capacity of the grillage as part of a reinforced foundation in sandy soil: a) reinforcement from the surface, b) reinforcement from the sole of the grillage.

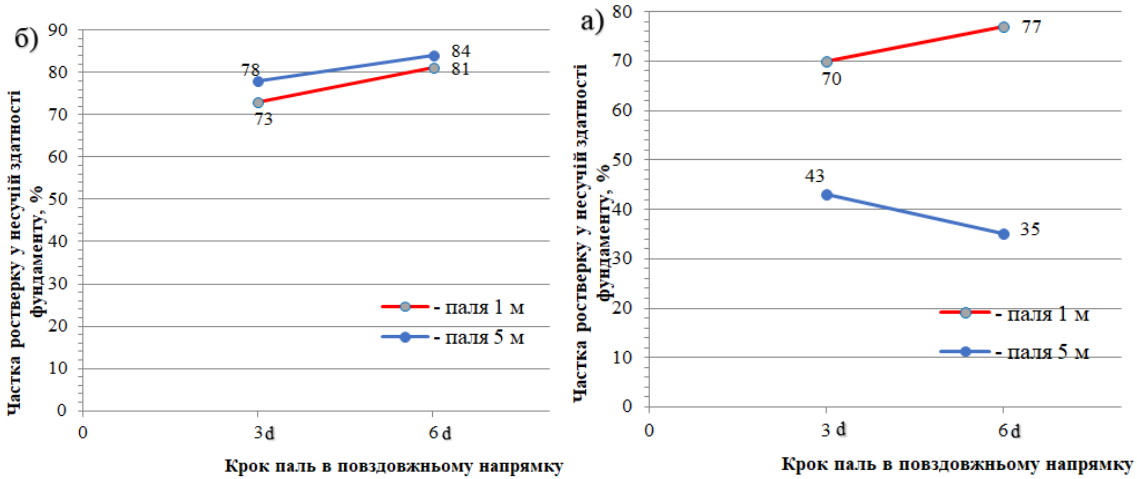


Рис. 16. Графіки залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту у глинистому ґрунті: а) підсилення від поверхні, б) підсилення від підшови ростверку.
 Fig. 16. Graphs of the dependence of the share of the load-bearing capacity of the grillage as part of the reinforced foundation in clay soil: a) reinforcement from the surface, b) reinforcement from the sole of the grillage.

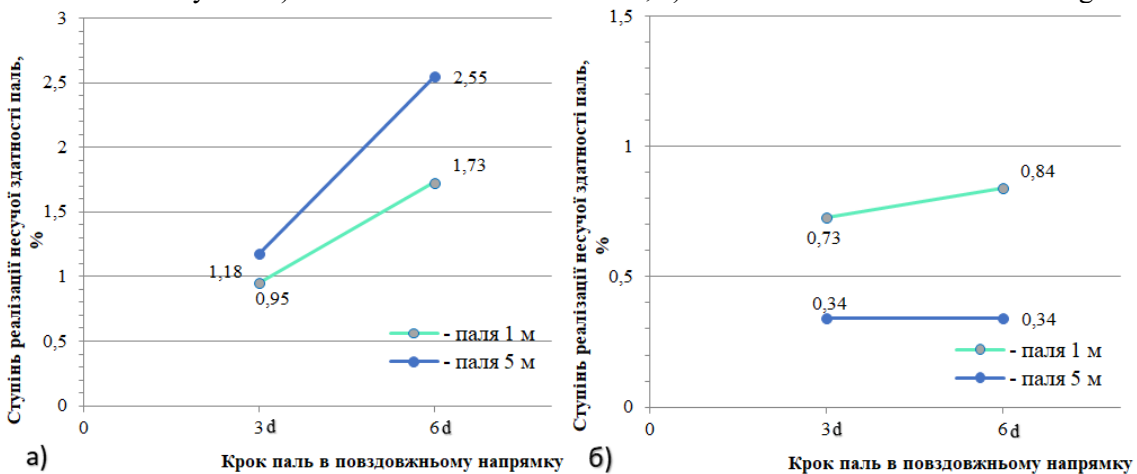


Рис. 17. Залежність ступеню реалізації несучої здатності палі у піщаному ґрунті у складі фундаменту від кроку і довжини палей: а) підсилення від поверхні, б) підсилення від підшови фундаменту.
 Fig. 17. Dependence of the degree of implementation of the bearing capacity of piles in sandy soil as part of the foundation on the pitch and length of the piles: a) reinforcement from the surface, b) reinforcement from the sole of the foundation.

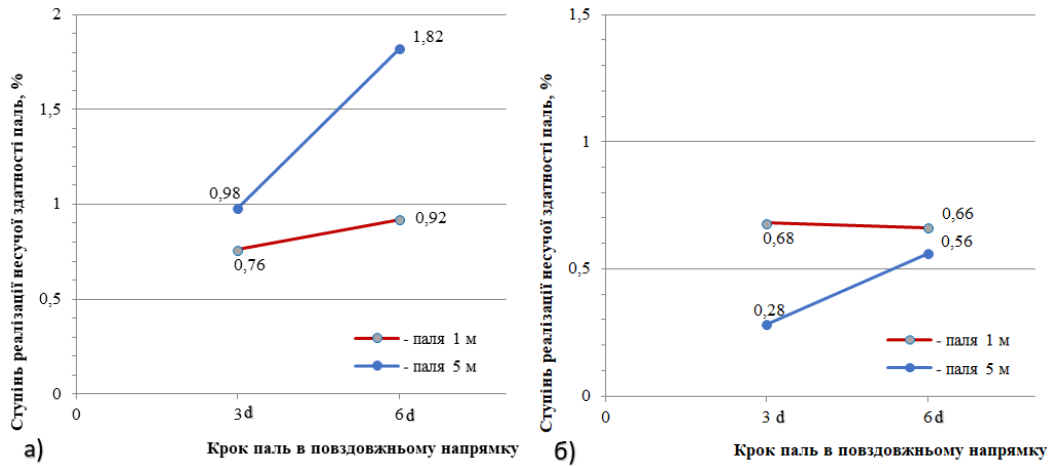


Рис. 18. Залежність ступеню реалізації несучої здатності палі у глинистому ґрунті у складі фундаменту від кроку і довжини палі: а) підсилення від поверхні, б) підсилення від підшви фундаменту.
 Fig. 18. Dependence of the degree of implementation of the load-bearing capacity of the pile in clay soil as part of the foundation on the pitch and length of the piles: a) reinforcement from the surface, b) reinforcement from the sole of the foundation.

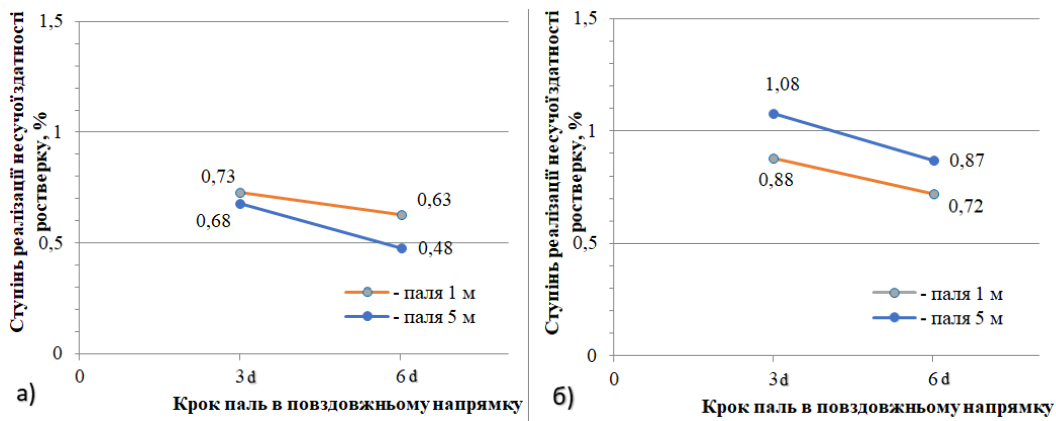


Рис. 19. Графік залежності ступеня реалізації ростверку у піщаному ґрунті у складі фундаменту від кроку і довжини палі: а) підсилення від поверхні, б) підсилення від підшви фундаменту.
 Fig. 19. Graph of the dependence of the degree of implementation of the grid in sandy soil as part of the foundation from the pitch and length of the piles: a) reinforcement from the surface, b) reinforcement from the sole of the foundation.

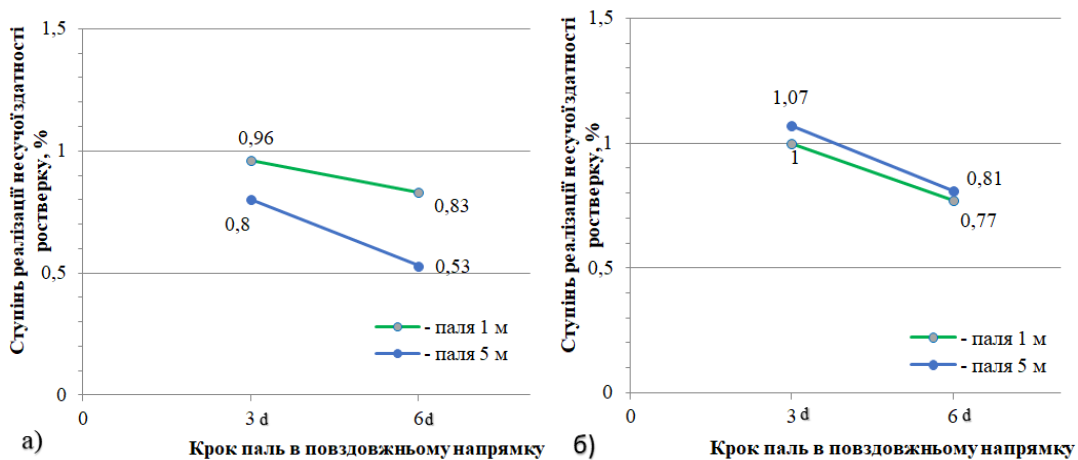


Рис. 20. Графік залежності ступеня реалізації ростверку у глинистому ґрунті у складі фундаменту від кроку і довжини палі: а) підсилення від поверхні, б) підсилення від підшви фундаменту.
 Fig. 20. Graph of the dependence of the degree of implementation of the grid in clay soil as part of the foundation from the pitch and length of the piles: a) reinforcement from the surface, b) reinforcement from the sole of the foundation.

Ступінь реалізації несучої здатності паль визначався як відношення осередненої несучої здатності палі у складі фундаменту до несучої здатності одиночної палі. Ступінь реалізації тиску під ростверком - як відношення частки навантаження, яку сприймає ростверк у складі фундаменту, до навантаження, яке сприймає плита ростверку, працюючи без паль. У таблиці 3 наведені результати обробки параметрів математичного експерименту.

Табл. 3. Ступінь реалізації несучої здатності паль та ростверку

Table 3. The degree of implementation of the load-bearing capacity of piles and grid

| Довжина, см | Крок паль | Ступінь реалізації несучої здатності палі | Ступінь реалізації несучої здатності ростверку |
|---------------------------------------|-----------|---|--|
| Палі від поверхні (пісок) | | | |
| L=1м | 3d | 0,95 | 0,73 |
| | 6d | 1,73 | 0,63 |
| L=5м | 3d | 1,18 | 0,68 |
| | 6d | 2,55 | 0,48 |
| Палі від підшви фундаменту (пісок) | | | |
| L=1м | 3d | 0,73 | 0,88 |
| | 6d | 0,84 | 0,72 |
| L=5м | 3d | 0,34 | 1,08 |
| | 6d | 0,34 | 0,87 |
| Палі від поверхні (суглинок) | | | |
| L=1м | 3d | 0,76 | 0,96 |
| | 6d | 0,92 | 0,83 |
| L=5м | 3d | 0,98 | 0,8 |
| | 6d | 1,82 | 0,53 |
| Палі від підшви фундаменту (суглинок) | | | |
| L=1м | 3d | 0,68 | 1,0 |
| | 6d | 0,66 | 0,77 |
| L=5м | 3d | 0,28 | 1,07 |
| | 6d | 0,56 | 0,81 |

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. При використанні коротких паль ефективно переходити до варіанту підсилення, коли немає потреби у відкопуванні траншей до рівня підшви існуючого фундаменту, з розміщенням ростверку новоствореного фундаменту в рівні вимощення або підлоги. Такий варіант виключає трудомісткі роботи з ручного відкопування траншей, а також дозволяє виконувати роботи з підсилення не

малими захватками, а довільним чином. Загалом це дає можливість значно скоротити витрати праці, часу та коштів.

2. Моделювання підсиленого фундаменту як умовного ґрунто-пального масиву показало, що перехід до проектування підсиленого фундаменту як до такого масиву може призвести до завищення очікувань і відповідно до ненадійного рішення.

3. Порівнюючи ґрунтові масиви глинистого та піщаного виду, з побудованих графіків та мозаїк деформацій ґрунту, можна чітко спостерігати, що піщаний ґрунтовий масив краще передає навантаження та дає менші осідання при більшому навантаженні, але якісна картина перерозподілу зусиль між елементами підсиленого фундаменту зберігається.

4. Застосування коротких паль при підсиленні стрічкових фундаментів (довжина паль сумірна з шириною ростверку підсиленого фундаменту) є достатньо ефективним. Порівняння несучої здатності підсиленого фундаменту при застосуванні дуже коротких та більш довгих паль показує, що при збільшенні довжини паль у 5 разів, а їх несучої здатності як одиночних майже вдвічі призводить до збільшення несучої здатності підсиленого фундаменту лише на 20-50%. Це вказує на те, що ефективність застосування коротких паль підсилення вища у порівнянні з довгими.

5. Збільшення кроку коротких паль підсилення незначно впливає на несучу здатність підсиленого фундаменту, що дає можливість економити витрати на палі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маєвська І.В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів: монографія / І.В. Маєвська, Н.В. Блащук // Вінниця: ВНТУ, – 2013. – 168 с.
2. ВБН В.2.1-1-97. Підсилення фундаментів будівель та споруд, побудованих на лесових ґрунтах, буріон'екційними палями. [Чинний від 1998-05-01]. – К.: Укрмонтажспецбуд, – 1997. – 42 с.
3. Маєвська І.В. Планування експерименту дослідження підсилення фундаменту мілко-го закладання короткими палями. /

I.V. Maevska, L.A. Horodnik // *Інноваційні технології в будівництві: тези міжнар. наук.-техн. конф. м.Вінниця, 10-12 лист. 2020р.* – Вінниця, 2020. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10847>.

4. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 36 с.
5. Самородов А.В. Проектирование эффективных комбинированных свайных и плитных фундаментов многоэтажных зданий: монография. / А.В. Самородов // Харьков: «Типография Мадрид», – 2017. – 204 с.

REFERENCES

1. Maevska I.V., Blashchuk N.V. (2013). Urakhuvannya roboty rostverku u skladi strichkovykh pal'ovyykh ta pidsylenykh palyamy fundamentiv: monohrafiya [Taking into account the operation of the grid in the composition of strip pile and pile-reinforced foundations: monograph]. Vinnytsya: VNTU, 168. (in Ukrainian).
2. VBN V.2.1-1-97. (1997). Pidsylennya fundamentiv budivel' ta sporud, pobudovanykh na lesovykh hruntakh, buroin'yektsiynymy palyamy [Reinforcement of the foundations of buildings and structures built on loess soils with bore-injection piles]. Chynnyy vid 1998-05-01. K.: Ukrmontazhspetsbud, 42. (in Ukrainian).
3. Maevska I.V., Horodnik L.A. (2020). Planuvannya eksperymentu doslidzhennya pidsylennya fundamentu milkoho zakladannya korotkymy palyamy [Planning of the research experiment of strengthening the foundation of shallow laying with short piles]. *Innovatsiyni tekhnolohiyi v budivnytstvi: tezy mizh-nar. nauk.-tekhn. konf. m. Vinnytsya, 10-12 lyst. 2020 r.* Vinnytsya, 2020. (in Ukrainian) URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10847>.
4. Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia: DBN V.2.1-10:2018 [Bases and foundations of buildings and structures. Substantive provisions]. (2018). Kyiv: Ukrarhbuildinform, 36 (in Ukrainian).
5. Samorodov A.V. (2017). Proektyrovanye éffektivnykh kombinyrovannykh svaynykh y plytnykh fundamentov mnohoétazhnykh zdanyu: monohrafiya [Design of effective combined pile and slab foundations of high-rise buildings: monograph]. Khar'kov: «Typohrafiya Madryd». 204. (in Russian).

The effect of changing the structural scheme of reinforcing strip foundations with short piles

Irina Maevska,
Natalya Blashchuk
Liliya Horodnik

Summary. In the work, mathematical modeling of the reinforcement of the strip foundation of shallow laying with short piles is performed in two variants: reinforcement at the level of the sole of the existing foundation, reinforcement from the soil surface. For comparison, short piles of different lengths are considered in both versions. In order to verify the possibility of determining the bearing capacity of the reinforced foundation as a conditional foundation of shallow laying, mathematical modeling of the conditional foundation was performed for both variants of the design solution. In mathematical modeling, not only the length varies, but also the pitch of the reinforcement piles, as well as soil conditions. The obtained results were analyzed with a comparison of all options.

The results of the calculations showed that when using short piles, it is effective to switch to the reinforcement option, when there is no need to dig trenches to the level of the sole of the existing foundation, with the placement of the riser of the newly created foundation at the level of the paving or floor. This option excludes time-consuming work of manual digging of trenches, and also allows you to perform reinforcement work not with small grabs, but in an arbitrary manner. In general, this makes it possible to significantly reduce costs of labor, time and money.

Research has established that increasing the pitch of the piles leads to a decrease in the bearing capacity of the reinforced foundation for both short and long piles, and the consideration of the foundations as conditional arrays is most consistent with the option with a pile pitch of 3d (600 mm).

The results of the calculations also showed that the bearing capacity of the reinforced foundation, obtained by modeling in Plaxis, exceeds the bearing capacity calculated according to the recommendations of the standards. Therefore, the implementation of the load-bearing capacity of the piles and grillage of the newly created pile foundation during reinforcement improves the joint operation of its elements.

Keywords. Short piles, pile, reinforcement, modeling, grillage.