

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЕННЯ СТРІЧКОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ПАЛЯМИ  
З УРАХУВАННЯМ РОБОТИ ІСНУЮЧОГО ФУНДАМЕНТУ**

І. В. Маєвська, Н. В. Блащук

*В статті виконано комплексний аналіз факторів, які впливають на частку навантаження, що сприймає існуючий фундамент як ростверк після підсилення палями. За результатами кореляційного аналізу з елементами математичного моделювання отримано функціональну залежність частки навантаження, що сприймає ростверк, яка покладена в основу методики розрахунку підсилення стрічкових фундаментів палями з урахуванням роботи існуючого фундаменту. Застосування даної методики дозволить зменшити кількість паль підсилення, що суттєво знизить вартість влаштування підсилення фундаментів мілкового закладання палями.*

*В статье выполнен комплексный анализ факторов, которые влияют на долю нагрузки, воспринимаемой существующим фундаментом как ростверком после усиления сваями. По результатам корреляционного анализа с элементами математического моделирования получена функциональная зависимость доли нагрузки, воспринимаемой ростверком, которая заложена в основу методики расчета усиления ленточных фундаментов сваями с учетом работы существующего фундамента. Использование данной методики дает возможность уменьшить количество свай усиления, что существенно снизит стоимость устройства усиления фундаментов мелкозаложенного сваями.*

*The paper made complex analysis of the factors that affect the share of the load, which takes the existing foundation as a grillage after amplification piles. As a result of correlation analysis with elements of mathematical modeling obtained by the functional dependence of the load valleys that takes grillage, which laid the basis for calculation methods to strengthen the foundations of piles of tape with the work of the existing foundation. Using this technique makes it possible to reduce the number of piles of amplification, which significantly reduce the cost of the device to strengthen the foundations of shallow piles.*

**Вступ**

Підсилення фундаментів палями виконують особливо часто у випадках збільшення поверховості будівлі і навантаження, а також у зв'язку з погіршенням несучої здатності основи. Незважаючи на те, що палі застосовуються давно і в різних ґрунтових умовах, залишається ще досить багато питань. Актуальним серед них є врахування роботи існуючого фундаменту. При розрахунку такого підсилення навантаження від будівлі частіше за все повністю передається на палі.

В нормах [1, 2] рекомендується роботу існуючого фундаменту не враховувати зовсім або враховувати частково, але методика врахування роботи існуючого фундаменту в складі нового на сьогоднішній день відсутня.

Як показали результати фізичного та чисельного моделювання сумісної роботи існуючого фундаменту і паль при його підсиленні [3, 4, 5], в залежності від ґрунтових умов і геометричних параметрів підсиленого фундаменту, частка несучої здатності існуючого фундаменту в складі підсиленого може сягати 50 %, а в окремих випадках і більше.

Врахування сумісної роботи існуючого стрічкового фундаменту і паль при його підсиленні дозволить приймати більш раціональні рішення при проектуванні, що в свою чергу приведе до значної економії матеріальних та трудових ресурсів.

Для вирішення поставленої задачі виконано кореляційний аналіз даних, що отримані за результатами чисельного моделювання сумісної роботи існуючого фундаменту та паль при його підсиленні, з метою отримання функціональної залежності несучої здатності існуючого фундаменту від ряду факторів. На основі цієї залежності розроблено методику розрахунку підсилення стрічкових фундаментів мілкового закладання палями з урахуванням роботи існуючого фундаменту.

### Результати чисельного моделювання сумісної роботи існуючого фундаменту та паль при його підсиленні

Результатами експериментальних досліджень впливу низького ростверку на роботу пальового фундаменту різних авторів, а також даними фізичного моделювання сумісної роботи існуючого фундаменту мілкого закладання та паль при його підсиленні на маломасштабних моделях [3] встановлено, що факторами, які впливають на частку навантаження, що сприймає низький ростверк пальового фундаменту чи існуючий фундамент мілкого закладання, що підсилюється палями, є: вид паль, довжина паль, розмір поперечного перерізу палі, крок паль в поздовжньому напрямку, відстань між рядами паль підсилення, фізико-механічні характеристики ґрунту.

При чисельному моделюванні були прийняті такі передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель стрічкового фундаменту, що підсилюється, з співвідношенням сторін  $L / B \geq 10$ ;
- палі підсилення – призматичні з поперечним розміром  $d = 30$  см, довжиною 3, 6, 9, 12 та 15 м;
- способи влаштування паль підсилення: без виймання та з вийманням ґрунту;
- розташування паль підсилення у два ряди;
- відстань між рядами паль підсилення 5d, 7d та 9d;
- крок паль підсилення у поздовжньому напрямку 3d, 6d, 9d та 12d;
- розміри розрахункової області в плані 40×60 м, по глибині розмір змінний в залежності від довжини паль підсилення;
- за навантаження, що сприймає стрічковий фундамент мілкого закладання, до та після підсилення, приймається значення зовнішнього навантаження з урахуванням ваги ростверку при деформаціях, що не перевищують допустимого значення;
- частка навантаження, що сприймається ростверком, визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без врахування площі паль.

Було проведено 6 серій чисельних модельних експериментів:

- варіювались довжина та крок в поздовжньому напрямку паль підсилення, що влаштовані без виймання ґрунту, в однорідних піщаних (I підгрупа) та глинистих (III підгрупа) ґрунтах;
- варіювались довжина та крок в поздовжньому напрямку паль підсилення, що влаштовані з вийманням ґрунту, в однорідному піщаному (II підгрупа) ґрунті;
- варіювались крок паль, що влаштовані без виймання ґрунту, довжиною 9 м в поздовжньому напрямку та ґрунтові умови (підгрупа IV);
- варіювались відстань між рядами (5d, 7d та 9d) та крок в поздовжньому напрямку паль підсилення довжиною 9 м, що влаштовані без виймання ґрунту, в однорідних піщаних (V підгрупа) та глинистих (VI підгрупа) ґрунтах;

Також було проведено моделювання роботи одиничних паль різної довжини в різних ґрунтових умовах для оцінювання роботи окремої палі у складі підсиленого фундаменту.

Виконано комплексний аналіз факторів, що впливають на несучу здатність системи паля-ростверк-основа. Виявлено, що найбільш впливовими факторами є:

1. Крок паль в поздовжньому напрямку – зі збільшенням кроку паль частка навантаження, що сприймає ростверк у складі підсиленого фундаменту, зростає;
2. Відстань між рядами паль – зі збільшенням відстані між рядами паль частка навантаження, що сприймає ростверк, зростає;
3. Довжина паль підсилення – зі збільшенням довжини палі частка навантаження, що сприймає ростверк, зменшується;
4. Тип палі - частка навантаження, що сприймає ростверк, прямо пропорційно залежить від способу влаштування паль підсилення. При підсиленні палями, які влаштовані з вийманням ґрунту, частка навантаження, що сприймає ростверк, більша, ніж при підсиленні палями, що влаштовані без виймання ґрунту (при порівнянні крок та довжина паль, відстань між рядами паль, ґрунтові умови не змінювались);
5. При варіюванні ґрунтових умов закономірностей зміни частки навантаження, що сприймає ростверк, від окремих характеристик ґрунту не виявлено;
6. Несуча здатність окремої палі у складі підсиленого фундаменту реалізовується не повністю. Зі збільшенням поздовжнього кроку паль та відстані між рядами паль несуча здатність палі у складі підсиленого фундаменту наближається до несучої здатності одиничної палі.

Аналіз результатів моделювання методом скінченних елементів дозволив виявити основні закономірності взаємодії системи паля-ростверк-основа. Для побудови математичної моделі цієї системи було опрацьовано результати числового моделювання методами математичної статистики [6-8] та за допомогою програмного комплексу MATLAB.

До результатів числового моделювання було додано граничні умови, що витікають з фізичної сутності роботи підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання. В результаті кореляційного аналізу отримано функціональну залежність (1) для визначення ефекту сумісної роботи існуючого фундаменту і паль при його підсиленні, яка покладена в основу методики розрахунку.

Для оцінки адекватності отриманої функціональної залежності (1) було виконано зіставлення результатів розрахунків з результатами чисельного моделювання. Похибка для всього діапазону даних, окрім  $a_i/d_i < 4$  (криві 4 та 4' на рис. 1), не перевищувала 10 %.

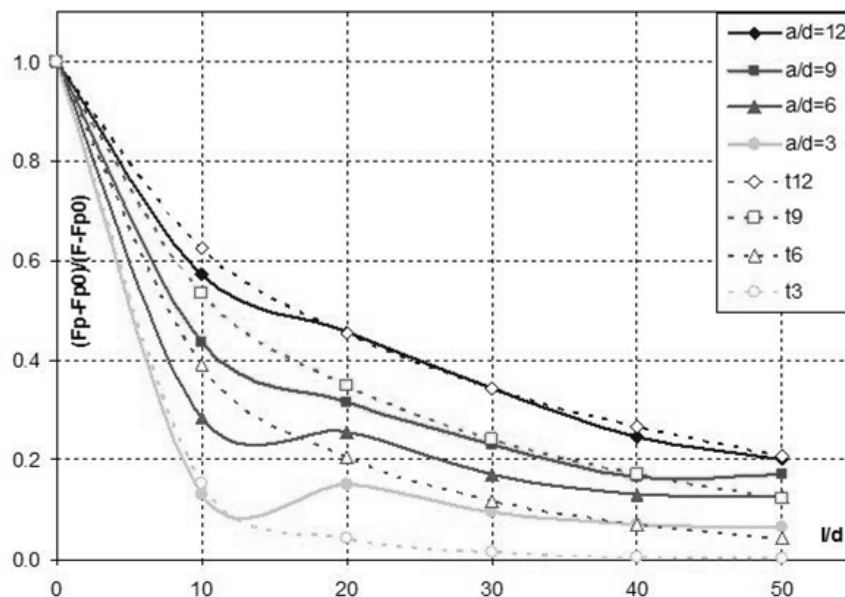


Рис. 1. Ізолінії поверхонь, отриманих у Plaxis та за запропонованою функціональною залежністю (1), в проекції на площину « $F_{pi}/F_i - l_i/d_i$ »:

1, 2, 3, 4 – ізолінії поверхонь, отриманих у Plaxis для поздовжнього кроку паль підсилення 3d, 6d, 9d та 12d, відповідно; 1', 2', 3', 4' – ізолінії поверхонь, отриманих за запропонованою залежністю (1) для поздовжнього кроку паль підсилення 3d, 6d, 9d та 12d, відповідно ( $F_{pi}$  - частка навантаження, що сприймає ростверк;  $F_i$  – навантаження на підсилений фундамент в цілому)

#### Методика розрахунку підсилення стрічкових фундаментів палями з урахуванням роботи існуючого фундаменту

На основі виявлених закономірностей у роботі підсиленого палями стрічкового фундаменту та отриманої функціональної залежності для визначення частки навантаження, що сприймає ростверк, було розроблено методику розрахунку підсилення стрічкових фундаментів палями з урахуванням роботи існуючого фундаменту.

Область застосування методики:

- під подошвою існуючого фундаменту мілкого закладання розташований ґрунт з модулем деформації  $E > 5$  МПа;
- палі підсилення за характером роботи в ґрунті висячі;
- палі підсилення, що влаштовані з вийманням та без виймання ґрунту;
- палі підсилення, що влаштовані крізь тіло існуючого фундаменту, та виносні;
- дворядове розташування паль підсилення;
- об'єднання паль підсилення ростверком з існуючим фундаментом.

Послідовність розрахунку:

1. Оцінювання інженерно-геологічних умов будівельного майданчика та визначення навантаження на фундамент.

2. Вибір типу та довжини паль підсилення, способу їх улаштування, визначення геометричних параметрів підсиленого фундаменту. В першому наближенні приймається кількість і крок паль без врахування роботи існуючого фундаменту.

3. Визначення ефекту сумісної роботи існуючого фундаменту мілкого закладання і паль при його підсиленні ( $\alpha$ ) за формулою:

$$\alpha = \left( \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot l^2 \cdot (f_0/E)}{a \cdot b}} \right) \cdot e^{-(l/d)^{0.75}/(a/d)}, \quad (1)$$

де  $l$  – довжина палі, м;

$f_0$  – початковий опір по боковій поверхні (опір по боковій поверхні в верхній зоні довжини палі);

$a$  – крок паль, м;

$b$  – відстань між рядами паль, м;

$d$  – поперечний розмір палі, м;

$E$  – зведений модуль деформації ґрунту, що визначається згідно з п. 1.3 [1]:

$$E = (1 - b)k_f E_f + k_p b E_p, \quad (2)$$

де  $b$  – коефіцієнт, який визначає частину навантаження, що передається нижнім кінцем палі, визначають за табл. п. 1.2 [1];

$E_f$  – осереднений у межах довжини палі модуль деформації ґрунтової основи, кПа, що контактує з бічною поверхнею, визначається за формулою п. 1.4 [1];

$E_p$  – модуль деформації під нижнім кінцем палі, кПа, визначається в межах одного діаметра вище і чотирьох нижче позначки нижнього кінця палі;

$k_f$  – коефіцієнт умов роботи ґрунту вздовж бічної поверхні палі, визначають згідно з п. 1.5 [1];

$k_p$  – коефіцієнт умов роботи ґрунту під нижнім кінцем палі, визначають згідно з п. 1.5 [1].

4. Визначення допустимого навантаження на групу паль:

$$F_{паль} = n \cdot \zeta_n \cdot N, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість паль підсилення, шт.;

$\zeta_n$  – коефіцієнт, що враховує ступінь реалізації несучої здатності палі по ґрунту у складі підсиленого фундаменту, залежить від ґрунтових умов, довжини та відстані між палями;

$N$  – допустиме навантаження на одиничну палю, що визначається згідно з [1].

5. Визначення допустимого навантаження на підсилений фундамент:

$$F_{\Sigma} = F_{0b} + \frac{F_{паль}}{1 - \alpha}, \quad (4)$$

$$F_{0b} = R \cdot A_{існ}, \quad (5)$$

де  $A_{існ}$  – площа існуючого фундаменту до підсилення;

$R$  – розрахунковий опір ґрунту під подошвою ростверка.

6. Збільшення повздовжнього кроку паль і визначення ефекту сумісної роботи існуючого фундаменту мілкого закладання і паль при його підсиленні (п. 2). За потребою можна варіювати також довжиною палі.

7. Вибір оптимального варіанта підсилення, тобто такого, де робота ростверка максимально використовується (оптимальний крок і оптимальна довжина паль підсилення).

Дану методику розрахунку було апробовано при розрахунку підсилення фундаментів на реальних об'єктах:

- реконструкція ВАТ "Банк Універсальний" будинку на проспекті Шевченка, 27 у м. Львові. Проект виконаний СП «Основа-Солсиф»;
- училище культури та мистецтв в м. Житомир. Проект підсилення виконаний НДЛ ЕфБК ВНТУ.

Застосування методики розрахунку підсилення стрічкових фундаментів мілкового закладання палями з урахуванням роботи існуючого фундаменту дозволило зменшити кількість паль підсилення.

#### Висновки

- Розроблена методика розрахунку підсилення стрічкових фундаментів мілкового закладання палями з врахуванням роботи існуючого фундаменту як ростверку підсиленого, яку можна застосовувати для практичних розрахунків.
- Співставлення результатів розрахунків з даними чисельного моделювання підтверджує, що функціональна залежність покладена в основу методики, найбільш близько відображає умови сумісної роботи існуючого фундаменту і паль підсилення.
- Розрахунок за даною методикою дозволяє зменшити кількість паль підсилення за рахунок врахування роботи існуючого фундаменту як ростверку новоствореного, при тому, що рекомендовані величини збільшення частки ростверку надані з певною обережністю.

#### Використана література

1. Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. Зміна 1 – [Чинні від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011 – 55 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Підсилення фундаментів будівель та споруд, побудованих на лесових ґрунтах, буріон'єкційними палями : ВБН В.2.1-1-97. [Чинні від 1998-05-01]. – К.: Українська державна корпорація по виконанню монтажних і спеціальних будівельних робіт, 1997 – 44 с. – (Відомчі будівельні норми України).
3. Блащук Н. В. Дослідження впливу кроку і довжини паль при підсиленні стрічкових фундаментів мілкового закладання на несучу здатність / Н. В. Блащук, І. В. Маєвська // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка – Вип. 3 (28). – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – с. 138-143.
4. Блащук Н. В. Математичне моделювання підсиленого палями стрічкового фундаменту / Н. В. Блащук, І. В. Маєвська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця: УНІВЕРСМ-Вінниця. – 2010. – № 2(9). – С. 128-133.
5. Блащук Н. В. Кореляційний аналіз факторів, що впливають на частку несучої здатності старого стрічкового фундаменту у складі нового після підсилення палями / Н. В. Блащук, І. В. Маєвська, В. О. Попов, К. О. Черноскутова // журнал «Вісник ВПІ». – 2011 – № 5. – С. 23-27.
6. Гутер Р. С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. – М. : Физматгиз, 1962. – 356 с.
7. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство / Л. З. Румшинский. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
8. Чкалова О. Н. Основы научных исследований / О. Н. Чкалова. – К: Вища школа, 1978. – 120 с.

**Маєвська Ірина Вікторівна** – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

**Блащук Наталя Вікторівна** – асистент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.