

## **УРАХУВАННЯ РОБОТИ РОСТВЕРКУ У СКЛАДІ СТРІЧКОВОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ ТА ПІДСИЛЕНОГО ПАЛЯМИ СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ**

*Наведено методику розрахунку допустимого навантаження на стрічковий пильовий фундамент та підсилений палями стрічковий фундамент мілкового закладання, що дозволяє враховувати роботу ростверку з урахуванням усіх найбільш впливових факторів.*

**Ключові слова:** *паля, ростверк, стрічковий фундамент, підсилення палями.*

## **УЧЕТ РАБОТЫ РОСТВЕРКА В СОСТАВЕ ЛЕНТОЧНОГО СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА И УСИЛЕННОГО СВАЯМИ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ**

*Приведена методика расчета допустимой нагрузки на ленточный свайный фундамент и усиленный сваями ленточный фундамент мелкого заложения, которая позволяет учитывать работу ростверка.*

**Ключевые слова:** *свая, ростверк, ленточный фундамент, усиление сваями.*

## **INCORPORATION OF GRILLAGE IN STRIP PILE FOUNDATION AND STRENGTHENED BY PILES OF STRIP SHALLOW FOUNDATION**

*There has been demonstrated the calculation procedure of accepted load on strip pile foundation and shallow foundation, strengthened by piles, whereby it allows to consider the work of grillage, taking into account the most powerful factors.*

**Keywords:** *pile, grillage, strip shallow foundation, strengthening by piles.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** При розрахунку допустимого навантаження на стрічкові пильові фундаменти та підсилені палями стрічкові фундаменти мілкового закладання (у випадку збільшення навантаження) робота ростверку, як правило, не враховується. Чинні на території України нормативні документи [1, 2] рекомендують урахувати роботу ростверку як реакцію ґрунтової основи під його подошвою, але такий підхід не дозволяє повністю оцінити його роботу.

Експериментальними дослідженнями [3, 4] встановлено, що ростверк залежно від кроку і довжини пиль здатний сприймати значну частину навантаження. Це дозволяє зменшити кількість пиль у складі стрічкового пильового фундаменту або підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкового закладання, відповідно зменшити тривалість їх улаштування, значно знизити вартість у цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** Аналіз попередніх досліджень роботи пильових фундаментів з низьким

ростверком різних авторів та результатів власного фізичного моделювання сумісної роботи існуючого фундаменту мілкого закладання, який підсилюється палями, на маломасштабних моделях [3] показав, що:

– частина зовнішнього навантаження передається ґрунту основи через підшову ростверку;

– при зміні кроку і довжини паль частини навантаження, що сприймається ростверком, змінюється;

– несуча здатність паль у складі пального фундаменту не завжди відповідає несучій здатності одиночної палі.

Але залишаються **не розв’язаними раніше частини загальної проблеми, яким присвячується стаття:**

– частка ростверку у несучій здатності фундаменту при влаштуванні паль підсилення крізь тіло існуючого фундаменту більша, ніж у випадку застосування виносних паль, тому в подальшому при чисельному моделюванні розглядається саме підсилення виносними палями;

– відсутні дослідження впливу типу паль на роботу пального фундаменту;

– виконані експериментальні дослідження не висвітлили в повній мірі сумісну роботу ростверку і паль та залежність частки ростверку у навантаженні на паливий фундамент від інженерно-геологічних умов, геометричних характеристик пального фундаменту.

**Постановка завдання.** У зв’язку з цим необхідними є чисельні дослідження НДС основи під підшовою ростверку та розробка нового методу розрахунку, який би дозволив адекватно враховувати роботу ростверку у складі стрічкового пального фундаменту та підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для вирішення поставленого завдання шляхом чисельного моделювання в програмному комплексі Plaxis 3D Foundation виконаний комплексний аналіз НДС системи «існуючий фундамент – палі підсилення – основа» та системи «ростверк – палі – основа» з урахуванням геометричних та конструктивних параметрів, а також фізико-механічних характеристик ґрунтів основи та способу улаштування палі (з вийманням чи без виймання ґрунту).

При чисельному моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:

– модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона – Мора;

– модель стрічкового фундаменту, що підсилюється, та стрічкового пального фундаменту зі співвідношенням сторін  $L/B \geq 10$  (рис.1);

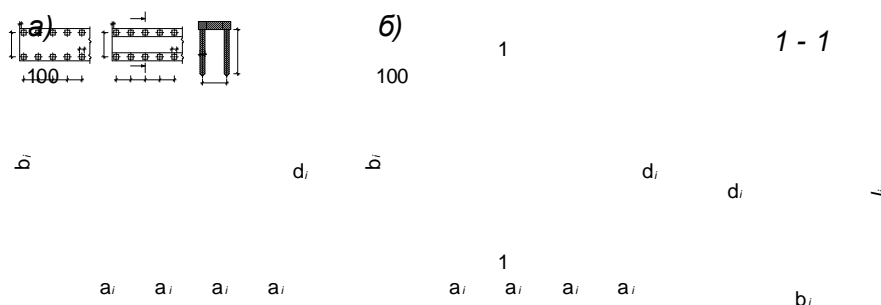


Рисунок 1 – Модель фундаменту: а – стрічкового пального фундаменту, б – підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання ( $a_i$  – крок паль у поздовжньому напрямку,  $b_i$  – відстань між рядами паль)

– палі – призматичні з поперечним розміром  $d=30$  см, довжиною 3, 6, 9, 12 та 15 м;

– способи влаштування паль – без виймання та з вийманням ґрунту;

– розташування паль – 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 – 40x60 м, з глибиною розмір змінюється залежно від довжини паль підсилення;
- за навантаження, що сприймає стрічковий фундамент мілкового закладання до підсилення, приймається значення, що відповідає розрахунковому опору основи. За допустиме навантаження після підсилення приймається величина, при якій досягається допустиме значення осідання;
- частка навантаження, що сприймається ростверком, визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без урахування площі паль.

При моделюванні роботи стрічкового пальового фундаменту були враховані наступні фази роботи:

- робота ґрунтової товщі без фундаментів (початкова фаза);
- улаштування стрічкового пальового фундаменту;
- робота стрічкового пальового фундаменту під дією вертикального навантаження.

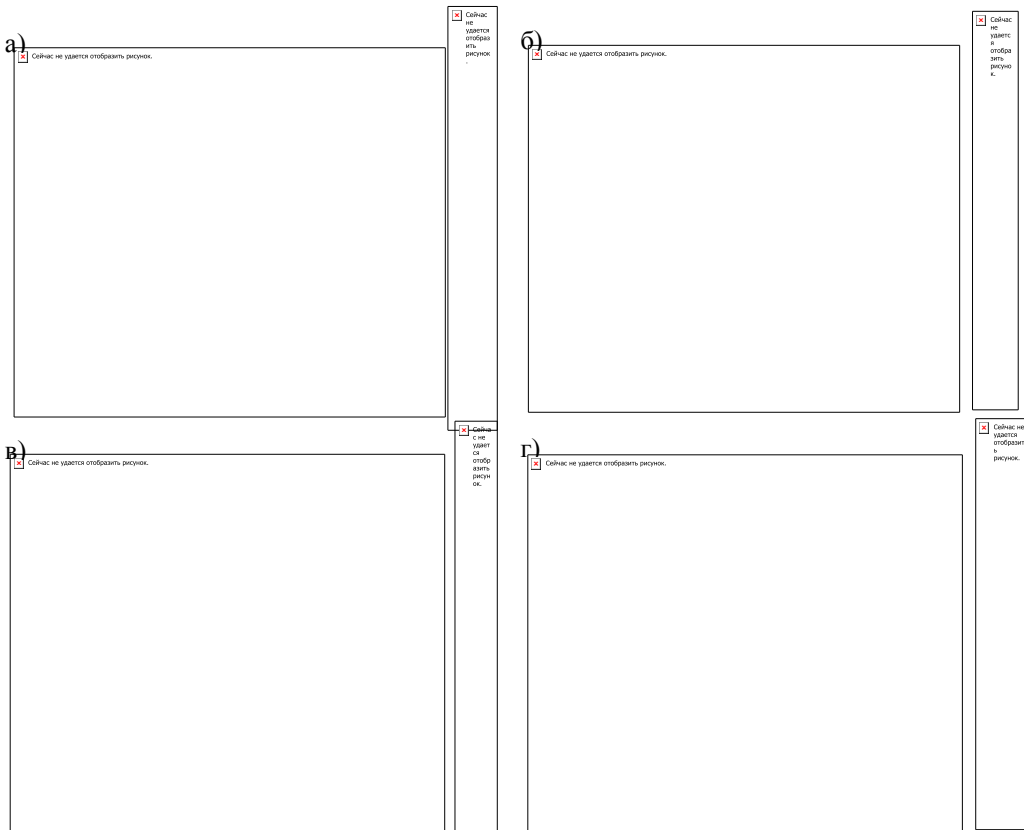
Для моделювання сумісної роботи існуючого фундаменту і паль при його підсиленні були враховані наступні фази роботи:

- робота ґрунтової товщі без фундаменту (початкова фаза);
- улаштування стрічкового фундаменту мілкового закладання;
- робота стрічкового фундаменту мілкового закладання під дією вертикального навантаження;
- улаштування паль підсилення;
- об'єднання ростверком паль підсилення та існуючого фундаменту;
- сумісна робота існуючого фундаменту і паль при його підсиленні під дією вертикального навантаження.

На рис. 2 наведено НДС основи при моделюванні роботи існуючого фундаменту мілкового закладання, що підсилюється палями.

За результатами чисельного моделювання виконано комплексний аналіз факторів, що впливають на НДС системи «паль – ростверк – основа». Виявлено, що найбільш впливовими факторами є:

- 1) крок паль у 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, 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. Вибір ґрунтових умов був здійснений таким чином, щоб охопити характерні діапазони реального змінювання комплексу фізико-механічних характеристик для глинистих та піщаних ґрунтів;
- 6) несуча здатність окремої палі у складі підсиленого фундаменту реалізується не повністю. Зі збільшенням поздовжнього кроку паль та відстані між рядами паль несуча здатність палі у складі підсиленого фундаменту наближається до несучої здатності одиночної палі.



*Рисунок 2 – НДС ґрунту в основі фундаменту при підсиленні палями довжиною  $b$  м з поздовжнім кроком  $bd$  на різних етапах роботи:  
 а – існуючий фундамент до підсилення; б – улаштування паль підсилення;  
 в – об'єднання паль підсилення з існуючим фундаментом; г – довантаження*

Залежності зміни частки навантаження, що сприймає ростверк стрічкового пальового фундаменту, від цих факторів мають такий же характер, як для підсиленого палями фундаменту. Однак величина частки навантаження, що сприймає ростверк стрічкового пальового фундаменту, менша, ніж для підсиленого. У стрічковому пальовому фундаменті ростверк починає сприймати навантаження одночасно з палями, а в підсиленому фундаменті роль ростверку виконує існуючий фундамент, який до підсилення сприймає навантаження, тобто характер розподілення навантаження між палями підсилення і ростверком інший. Виявлено, що різниця між величиною навантаження на ростверк у цих випадках відповідає навантаженню, що сприймає фундамент мілкового закладання до підсилення.

До результатів чисельного моделювання було додано граничні умови, що витікають з фізичної сутності роботи підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкового закладання та новоствореного стрічкового пальового фундаменту. В результаті кореляційного аналізу отримано функціональні залежності для визначення ефекту сумісної роботи (формула (1)) існуючого фундаменту і паль при його підсиленні та ростверку і паль у складі стрічкового пальового фундаменту. Адекватність запропонованих функціональних залежностей підтверджується збіжністю з результатами чисельних досліджень.

На основі запропонованої аналітичної залежності (формула (1)) розроблено методику розрахунку стрічкового пальового фундаменту та підсиленого палями фундаменту мілкового закладання.

Область застосування методики:

– під подошвою ростверку розташований ґрунт з модулем деформації  $E > 5$  МПа;

- палі за характером роботи в ґрунті висячі;
- дворядове розташування паль;
- об'єднання паль підсилення ростверком з існуючим фундаментом жорстке.

Послідовність розрахунку:

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

2. Вибір типу та довжини паль, визначення геометричних параметрів пального фундаменту. При розрахунку підсиленого палями стрічкового фундаменту мілко закладання в першому наближенні приймається кількість і крок паль без урахування роботи існуючого фундаменту.

3. Визначення ефекту сумісної роботи ростверку і паль ( $\alpha$ ):

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

де  $l$  – довжина палі, м;  $f_0$  – початковий опір по боковій поверхні (опір по боковій поверхні у верхній зоні довжини палі);  $a$  – крок паль уздовж ряду, м;  $b$  – відстань між рядами паль, м;  $d$  – поперечний розмір палі, м;  $E$  – приведений модуль деформації ґрунту, що визначається згідно з п.1.3 [4]:

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

де  $b$  – коефіцієнт, який визначає частину навантаження, що передається нижнім кінцем палі, визначають за табл. п.1.2 [4];  $E_f$  – осереднений у межах довжини палі модуль деформації ґрунтової основи, кПа, що контактує з бічною поверхнею, визначається за формулою п.1.4 [4];  $E_p$  – 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 [4];  $k_p$  – коефіцієнт умов роботи ґрунту під нижнім кінцем палі, визначають згідно з п.1.5 [4].

4. Визначення допустимого навантаження на групу паль:

$$F_p = n \cdot \zeta_p \cdot N, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість паль підсилення, шт.;  $\zeta_p$  – коефіцієнт, що враховує ступінь реалізації несучої здатності палі по ґрунту у складі пального фундаменту, залежить від ґрунтових умов, довжини та відстані між палями та визначається для підсилених палями стрічкових фундаментів мілко закладання за табл. 1 залежно від кроку паль та виду ґрунту, що знаходиться під вістрям палі. При визначенні допустимого навантаження на стрічковий паливий фундамент при поздовжньому кроці паль  $a = 3d$  коефіцієнт  $\zeta_p = 0,65$  для піщаних та  $\zeta_p = 0,85$  для глинистих ґрунтів, а при  $a > 3d$  приймається  $\zeta_p = 1$ ;  $N$  – допустиме навантаження на одиночну палу, що визначається згідно з [4].

5. Визначення допустимого навантаження на стрічковий паливий фундамент:

$$F_\Sigma = \frac{F_p}{1 - \alpha}. \quad (4)$$

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта  $\zeta_p$

Поздовжній крок паль	Ґрунт під вістрям палі									
	піщаний			глинистий при показнику текучості $I_L$						
	пилуватий	дрібний	середньої крупності	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3d	0,4	0,35	0,3	0,44	0,4	0,39	0,34	0,28	0,28	0,22
6d	0,69	0,63	0,52	0,75	0,71	0,58	0,53	0,47	0,5	0,39
9d	0,8	0,77	0,68	0,92	0,88	0,7	0,67	0,64	0,67	0,55
12d	0,8	0,78	0,7	0,97	0,9	0,85	0,81	0,76	0,78	0,61

Примітка 1. Для поздовжнього кроку ( $a$ ) палі більше  $12d$  значення  $\zeta_p$  приймати як для  $a = 12d$ .

Примітка 2. Для палі, що влаштовані з виїманням ґрунту, значення  $\zeta_p$  збільшувати на 30% (при  $\zeta_p > 1$  приймати  $\zeta_p = 1$ ).

Примітка 3. Для проміжних значень поздовжнього кроку та показника текучості значення  $\zeta_p$  знаходити інтерполяцією.

Визначення допустимого навантаження на підсилений палями стрічковий фундамент мілкого закладання:

$$F_{\Sigma} = F_{r0} + \frac{F_p}{1 - \alpha}; \quad (5)$$

$$F_{r0} = P \cdot A, \quad (6)$$

де  $A$  – площа стрічкового фундаменту до підсилення;  $P$  – середній тиск під подошвою стрічкового фундаменту.

6. Збільшення поздовжнього кроку палі і повторне визначення ефекту сумісної роботи ростверку і палі (п. 2). За потребою можна варіювати також довжиною палі.

7. Вибір оптимального варіанта, тобто такого, де робота ростверку максимально використовується (оптимальний крок і оптимальна довжина палі).

При виборі оптимального кроку палі підсилення слід враховувати, що величина допустимого навантаження на підсилений фундамент при зміні поздовжнього кроку палі змінюються в діапазоні від 3 до 25 %. Тобто при більшому кроці і меншій кількості палі може бути досягнута необхідна величина допустимого навантаження на підсилений фундамент, що дозволить знизити вартість робіт з улаштування підсилення (порівняно з меншим поздовжнім кроком і відповідно більшою кількістю палі).

#### **Висновки:**

1. Чисельним моделюванням за методом скінченних елементів досліджено НДС систем «ростверк – палі – основа» та «існуючий фундамент – палі підсилення – основа» з розглядом етапів улаштування фундаментів та підсилення відповідно.

2. Запропонована методика розрахунку допустимого навантаження на стрічковий пальовий фундамент та підсилений палями стрічковий фундамент мілкого закладання, що враховує роботу ростверку з урахуванням найбільш впливових факторів. Застосування цієї методики дозволить зменшити кількість палі, знизити вартість улаштування.

3. Запропонована таблиця, яка дає змогу більш обґрунтовано призначати кількість палі та врахувати несучу здатність окремої палі у складі підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання залежно від геометричних параметрів та виду ґрунту.

#### *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, бурин'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. *Маєвська, І.В. Дослідження впливу кроку і довжини паль при підсиленні стрічкових фундаментів мілкого закладання на несучу здатність / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка – Вип.3 (28). – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – С.138 – 143.*

4. *Сернов, В.А. Совместная работа свай с ростверками в песчаных и глинистых грунтах: дис. на соискание научной степени канд. техн. наук: 05.23.02 / Сернов Вячеслав Александрович. – Минск, 2010. – 181 с.*

*Надійшла до редакції 15.09.2012*

*© І.В. Маєвська, Н.В. Блащук*