

РОЗРАХУНОК ПІДСИЛЕННЯ СТРІЧКОВИХ ФУНДАМЕНТІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ ПАЛЯМИ

Блащук Н.В.

Вінницький національний технічний університет
м. Вінниця, Україна

АНОТАЦІЯ: Розглянуто чисельне моделювання сумісної роботи існуючого стрічкового фундаменту мілкового закладання і паль при його підсиленні. Отримана математична залежність для визначення частки несучої здатності існуючого фундаменту у складі підсиленого.

АННОТАЦИЯ: Рассмотрено числовое моделирование совместной работы ленточного фундамента мелкого заложения и свай при его усилении. Получена математическая зависимость для определения доли несущей способности существующего фундамента в составе усиленного.

ABSTRACT: The numerical design of joint work of band shallow foundation and piles is considered at his strengthening. It is got mathematical dependence for determination of stake of bearing strength of existent foundation in composition increased.

Ключові слова: стрічковий фундамент мілкового закладання, підсилення палями, ростверк, система паля-ростверк-основа.

ВСТУП

На теперішній час будівництво досить часто здійснюється за рахунок ущільнення існуючої забудови або її реконструкції, що потребує підсилення фундаментів. Одним з найпоширеніших способів є підсилення палями. Таке підсилення виконують досить часто при збільшенні поверховості і навантаження, а також при погіршенні несучих властивостей основи. Суттєвим недоліком використання методів підсилення палями є відсутність аналітичного методу врахування роботи існуючого фундаменту.

При розрахунку підсилення стрічкових фундаментів мілкового закладання палями навантаження від будівлі повністю передається на палі, в нормах [7] рекомендується роботу існуючого фундаменту не враховувати зовсім або враховувати частково, але методика врахування роботи існуючого фундаменту в складі нового на сьогоднішній день відсутня.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Необхідно дослідити частку роботи існуючого фундаменту у складі підсиленого і, як наслідок, отримати математичну залежність для визначення частки роботи існуючого фундаменту як ростверку у складі підсиленого при різних ґрунтових умовах і геометричних параметрах підсиленого фундаменту.

В даній роботі виконано моделювання напружено-деформованого стану системи «існуючий стрічковий фундамент мілкового закладання, що підсилюється палями - основа» при різних параметрах основи та змінному кроці і довжині паль підсилення за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation в умовах вирішення просторової задачі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В розрахунках були прийняті наступні передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель стрічкового фундаменту мілкового закладання з співвідношенням сторін $L/B \geq 10$;
- палі підсилення – призматичні палі $d=30$ см, довжиною 3, 6, 9, 12 та 15 м;
- розташування паль підсилення у два ряди з різних сторін існуючого фундаменту;
- відстань між рядами паль підсилення 5d, 7d та 9d;
- крок паль у поздовжньому напрямку 3d, 6d, 9d та 12d;
- розміри розрахункової області в плані 40x60 м, по глибині розмір змінний в залежності від довжини паль;
- за несучу здатність підсиленого фундаменту приймалось значення зовнішнього навантаження з урахуванням ваги ростверку при величині осідання 0,1 м;
- несуча здатність ростверку визначалась як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без врахування площі паль.

Для чисельного моделювання в Plaxis 3D було використано модель ростверку підсиленого фундаменту, що дозволяла при різних кроках паль

досягнути однакового розбиття на кластери в площині. В результаті моделювання було отримано несучу здатність підсиленого фундаменту в цілому і несучу здатність ростверку зокрема при різній довжині і кроці палі, в різних ґрунтових умовах. Результати моделювання в однакових ґрунтових умовах при відстані між рядами палі 5d наведені в таблиці 1, де a_i – крок палі в поздовжньому напрямку, м; d_i – розмір поперечного перерізу палі, м; l_i – довжина палі, м; F_i – несуча здатність підсиленого фундаменту в цілому, кН; F_{di} – несуча здатність ростверку, кН; F_{di}/F_i – частка несучої здатності ростверку.

Таблиця 1 – Результати моделювання роботи підсиленого палями стрічкового фундаменту при різному поздовжньому кроці і різній довжині палі

№	a_i , м	l_i , м	F_i , кН	F_{di} , кН	F_{di}/F_i
1	0.9	3	30807	5875	0.191
2	1.8	3	29260	10800	0.369
3	2.4	3	27934	15584	0.558
4	3.6	3	27381	15973	0.583
5	0.9	6	37437	2740	0.073
6	1.8	6	35392	7074	0.200
7	2.4	6	33459	12774	0.382
8	3.6	6	31470	14771	0.469
9	0.9	9	46243	2818	0.061
10	1.8	9	43514	6237	0.143
11	2.4	9	40310	10261	0.255
12	3.6	9	37437	12839	0.343
13	0.9	12	56222	2818	0.050
14	1.8	12	52796	5651	0.107
15	2.4	12	49150	8644	0.176
16	3.6	12	45945	11508	0.250
17	0.9	15	66830	2183	0.033
18	1.8	15	63846	5525	0.087
19	2.4	15	61857	8260	0.134
20	3.6	15	53901	11336	0.210

На рисунку 1 наведено графіки залежності частки несучої здатності ростверку в складі підсиленого фундаменту від довжини і кроку палі в поздовжньому напрямку. Як видно з рис.1 при збільшенні довжини палі частка несучої здатності ростверку в складі підсиленого фундаменту зменшується, при збільшенні відстані між палями – збільшується, що не одноразово підтверджувалось дослідями Голубкова В.Н. [2-3],

Дорошкевич Н.М., Яблочкова В.Д. [9], Знаменського В.В. [4, 9], Бартоломея А.А. [1], Сернова В.О. [8] та інших. В таблиці 2 наведено результати моделювання роботи підсиленого фундаменту для довжини паль 9 м при різному кроці в поздовжньому напрямку та між рядами паль.

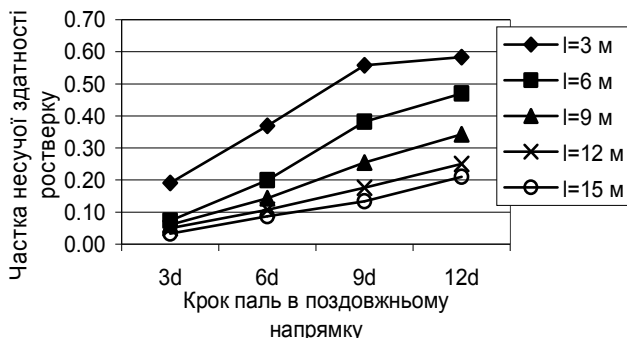


Рисунок 1 – Залежність частки несучої здатності ростверку для певної довжини паль при різному кроці в поздовжньому напрямку

Таблиця 2 – Результати моделювання роботи підсиленого палями стрічкового фундаменту при різному кроці в поздовжньому напрямку і між рядами для паль довжиною 9 м

№	a _i , м	При кроці між рядами паль								
		5d			7d			9d		
		F _i , кН	F _{di} , кН	F _{di} /F _i	F _i , кН	F _{di} , кН	F _{di} /F _i	F _i , кН	F _{di} , кН	F _{di} /F _i
1	0.9	46243	2818	0.061	49862	3124	0.063	57756	6291	0.109
2	1.8	43514	6237	0.143	46105	7386	0.160	55215	9026	0.163
3	2.4	40310	10261	0.255	42490	13066	0.308	52231	12645	0.242
4	3.6	37437	12839	0.343	40912	15623	0.382	50132	13753	0.274

Результати моделювання при різній деформованості ґрунтової основи для паль довжиною 9 м наведені в таблицях 3 і 4, також на рис.2 наведено графіки залежності частки несучої здатності ростверку при різному кроці паль від модуля деформації. При дослідженнях прийняті два варіанти ґрунтової основи: 1 – однорідна (з практично незмінним модулем деформації по всій товщі) рис.2а; 2 – двошарова (під підшовною ростверку в межах половини довжини палі залягає ґрунт з меншим модулем деформації ніж в решті частини товщі) рис.2б. З даних, що наведені в таблицях 3 і 4 та на рисунку 2, видно, що частка несучої здатності

ростверку у складі підсиленого фундаменту більша у ґрунтах з більшим значенням модуля деформації для однорідних ґрунтів. Якщо ж ґрунтова товща складена різними шарами, то частка несучої здатності ростверку більша у випадках залягання під підошвою менш стисливих ґрунтів.

Таблиця 3 – Частка несучої здатності ростверку (F_{di}/F_i) при різному значенні модуля деформації (E) для однорідної ґрунтової основи

Палі $L=9$ м, $d=0,3$ м, крок в поперечному напрямку $5d$	a_i , м	Однорідна ґрунтова товща при E , МПа				
		5	10	15	20	32
	0,9	0,045	0,043	0,049	0,059	0,061
	1,8	0,077	0,100	0,108	0,128	0,143
	2,7	0,118	0,160	0,167	0,212	0,254
	3,6	0,183	0,240	0,242	0,299	0,343

Таблиця 4 – Частка несучої здатності ростверку (F_{di}/F_i) при різному значенні модуля деформації (E) під підошвою ростверку і нижнім кінцем палі

Палі $L=9$ м, $d=0,3$ м, крок в поперечному напрямку $5d$; під нижнім кінцем палі ґрунт з $E=32$ МПа	a_i , м	Модуль деформації під підошвою ростверку E , МПа			
		5	10	20	32
	0,9	0,021	0,031	0,045	0,061
	1,8	0,055	0,078	0,112	0,143
	2,7	0,084	0,131	0,185	0,254
	3,6	0,133	0,213	0,291	0,343

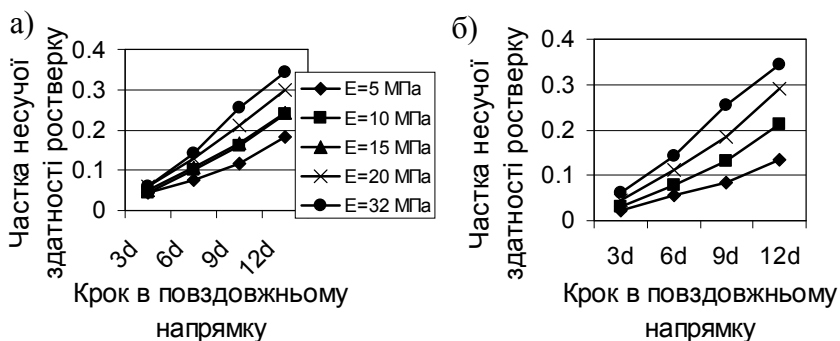


Рисунок 2 – Залежність частки несучої здатності ростверку від модуля деформації ґрунтової основи: а – для однорідної ґрунтової основи; б – для ґрунтової основи з різним модулем деформації під підошвою ростверку та $E=32$ МПа в решті ґрунтової товщі

МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Проаналізувавши отримані при чисельному моделюванні дані, можна зробити висновок, що частку несучої здатності ростверку у складі підсиленого фундаменту можна виразити наступним чином:

$$F_{di}/F_i = f(d_i, l_i, a_i, b_i, E_i) \quad (1)$$

де d_i – розмір поперечного перерізу палі, м;
 l_i – довжина палі, м;
 a_i – крок паль в повздовжньому напрямку, м;
 b_i – крок між рядами паль, м;
 E_i – модуль деформації ґрунту основи, МПа.

Параметри l , a_i , b_i можна виразити через d , що зменшить кількість невідомих у функції (1). Шляхом статистичної обробки даних за допомогою пакету прикладних програм Matlab було отримано функціональну залежність для визначення частки несучої здатності ростверку у складі підсиленого фундаменту:

$$F_{di}/F_i = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot e^{-\frac{l \cdot a_i^{0.75}}{d}} / \left(\frac{a_i}{d}\right) \quad (2)$$

де k_1 – коефіцієнт, що залежить від відстані між палями;
 k_2 – коефіцієнт, що залежить від модуля деформації ґрунтової товщі основи;
 k_3 – коефіцієнт, що залежить від однорідності ґрунтової товщі основи.

Знаючи частку несучої здатності ростверку у складі підсиленого фундаменту, можна знайти несучу здатність підсиленого фундаменту:

$$F_i = \left(1 + \frac{F_{di}}{F_i}\right) \cdot F_i^{\text{СНип}} \quad (3)$$

де $F_i^{\text{СНип}}$ – несуча здатність пальового фундаменту згідно [7], що визначається як сума несучих здатностей паль.

Для оцінки та аналізу несучої здатності підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання, що отримана за формулами (2) та (3), в таблиці 5 наведено значення F_i , що отримані при моделюванні в Plaxis; $F_i^{\text{СНип}}$ згідно [7]; F_i згідно з рекомендаціями [6], де частка ростверку враховується як добуток площі ростверку на розрахунковий опір ґрунту основи.

На рисунку 3 наведено графіки залежності частки несучої здатності ростверку, що отримані шляхом моделювання та за формулою 2, від кроку паль при їх різній довжині. Адекватність запропонованої формули (2) для визначення частки ростверку підтверджується збіжністю з результатами чисельного моделювання.

Таблиця 5 – Несуча здатність підсиленого фундаменту, що визначена різними методами

№	a_i , м	l_i , м	F_{di}/F_i Plaxis	F_{di}/F_i згідно ф.(2)	F_i , кН Plaxis	$F_i^{\text{СНип}}$, кН	F_i , кН згідно [8]	F_i , кН згідно ф. (3)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.9	3	0.191	0.153	30807	19567	22450	25895
2	1.8	3	0.369	0.392	29260	12508	11674	16247
3	2.4	3	0.558	0.495	27934	10155	8082	12084
4	3.6	3	0.583	0.626	27381	8979	6286	10220
5	0.9	6	0.073	0.043	37437	31917	35000	36496
6	1.8	6	0.200	0.207	35392	18930	18200	21963
7	2.4	6	0.382	0.307	33459	14601	12600	16463
8	3.6	6	0.469	0.455	31470	12437	9800	14256
9	0.9	9	0.061	0.014	46243	48417	45800	46439
10	1.8	9	0.143	0.118	43514	27510	23816	26628
11	2.4	9	0.255	0.201	40310	20541	16488	19809
12	3.6	9	0.343	0.344	37437	17057	12824	17231
13	0.9	12	0.050	0.005	56222	57867	60800	61103
14	1.8	12	0.107	0.071	52796	32424	31616	33848
15	2.4	12	0.176	0.137	49150	23943	21888	24885
16	3.6	12	0.250	0.266	45945	19703	17024	21547
17	0.9	15	0.033	0.002	66830	71667	74700	74842
18	1.8	15	0.087	0.044	63846	39600	38844	40536
19	2.4	15	0.134	0.095	61857	28911	26892	29456
20	3.6	15	0.210	0.209	53901	23567	20916	25281

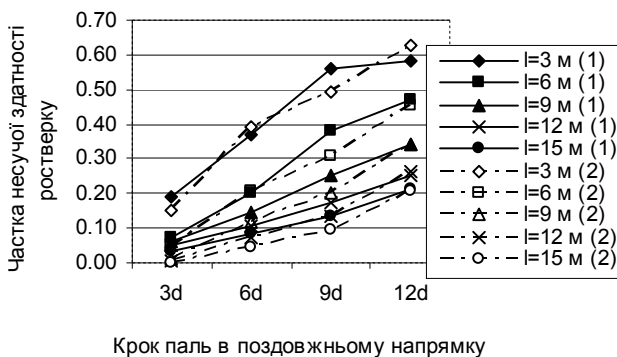


Рисунок 3 – Графіки залежності частки несучої здатності ростверку від кроку паль при їх різній довжині: 1 – частка, що отримана за результатами моделювання; 2 – частка, що отримана за формулою (2)

ВИСНОВКИ

1. При збільшенні кроку паль частка несучої здатності існуючого фундаменту як ростверку підсиленого збільшується від 5 до 60 %.
2. При збільшенні довжини паль при однаковому їх кроці частка несучої здатності існуючого фундаменту як ростверку підсиленого зменшується.
3. Значне збільшення частки несучої здатності існуючого фундаменту у складі підсиленого спостерігається при поздовжньому кроці $\geq 4d$.
4. Проектування підсилення палями з використанням розробленої методики дозволить одержати економічний ефект, при тому, що рекомендовані величини збільшення частки ростверку надані з певною обережністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бартоломей А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов / Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. – М., Стройиздат, 1994. – 377 с. – Библиогр.: с. 374. – ISBN 5-274-01174-8.
2. Голубков В.Н. Несущая способность свайных оснований / Голубков В.Н. – М.: Машстройиздат, 1950. – 144 с.
3. Голубков В.Н. Материалы полевых исследований совместной деформации свайных фундаментов и их оснований / Голубков В.Н. – Одесса: ОИСИ, 1966. – 138 с.
4. Знаменский В.В. Инженерный метод расчета горизонтально нагруженных групп свай : Учебное пособие для вузов / Знаменский В.В. – М.: Изд-тво АСВ, 2000. – 128 с. – ISBN 5-93093-050-3.
5. Маєвська І.В. Математичне моделювання підсиленого палями стрічкового фундаменту / І.В. Маєвська, Н.В. Блащук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – №2(9). – С.128-133.
6. Рекомендации по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками : Р 5.01.015.05 – [Срок действия: с 1.01.2006 г. по 1.01.2011г.]. – Минск: Научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «СТРОЙТЕХНОРМ», 2005. – 24с.
7. Свайные фундаменты : СНиП 2.02.03-85. – [Введен в действие с 1-01-1987]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
8. 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.
9. Чунюк Д. Ю. Расчет комбинированных плитно-свайных фундаментов: дис. на соискание научной степени канд. техн. наук: 05.23.02 / Чунюк Дмитрий Юрьевич. – Москва, 2002.– 136 с.