

**МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ**

УДК 624.15

**РІЗНИЦЯ В РОБОТІ ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ І ПІДСИЛЕНОГО ПАЛЯМИ  
СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ  
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

І. В. Маєвська, Н. В. Блащук, С. О. Цимбал

*В роботі наведені результати фізичного моделювання роботи нового пальового фундаменту і підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкового закладання.*

*Встановлено, що 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. Величина частки навантаження, що сприймає ростверк стрічкового пальового фундаменту, менша ніж для підсиленого.*

**Ключові слова:** *пальовий фундамент, підсилений палями стрічковий фундамент мілкового закладання, ростверк, паля, основа, робота ростверку.*

**РАЗНИЦА В РАБОТЕ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА И УСИЛЕННОГО СВАЯМИ  
ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

И. В. Маевская, Н. В. Блащук, С. А. Цымбал

*В работе приведены результаты физического моделирования работы нового свайного фундамента и усиленного сваями ленточного фундамента мелкого заложения.*

*Установлено, что в ленточном свайном фундаменте ростверк начинает воспринимать нагрузку одновременно со сваями, а в усиленном фундаменте роль ростверка выполняет существующий фундамент, который до усиления воспринимает нагрузки, то есть характер распределения нагрузки между сваями усиления и ростверка другой. Размер доли нагрузки, которую воспринимает ростверк ленточного свайного фундамента, меньше чем для усиленного.*

**Ключевые слова:** *свайный фундамент, усиленный сваями ленточный фундамент мелкого заложения, ростверк, свая, основание, работа ростверка*

**DIFFERENCE IN WORK PILE FOUNDATION PILES AND REINFORCED PILES  
SHALLOW STRIP FOUNDATIONS AS A RESULT OF PHYSICAL MODELING**

I. Maievska, N. Blashchuk, S. Tsybal

*The work prevedeni results of physical modeling of the new pile foundation piles and reinforced strip foundation shallow.*

*Found that the tape pile foundation grillage begins to perceive simultaneously load piles, and reinforced foundation grillage performs the role of the existing foundation, which is to gain the load, that is the nature of load distribution between the piles and gain another raft. The value share of the load, perceiving pile foundation grillage tape, less than amplified.*

**Keywords:** *pile foundations, reinforced piles shallow strip foundations, grillage, pile, base, work grillage.*

**Вступ**

Палі і пальові фундаменти використовуються досить давно і в різних ґрунтових умовах, але при їх проектуванні залишається ще дуже багато питань. Актуальними серед них є: врахування роботи низького ростверку, перерозподіл навантаження між палями групи, різниця в роботі одиночної палі і палі в групі («кущовий ефект») і ряд інших. Невизначеність у вирішенні цих питань не дозволяє на даний час адекватно визначати несучу здатність пальових фундаментів

різних типів і підсилених палями фундаментів при реконструкції.

При розрахунку пальових фундаментів все навантаження від будівлі найчастіше повністю передається на палі, хоча діючі норми рекомендують враховувати роботу ростверку за рахунок реакції ґрунтової основи під подошвою без конкретних кількісних рекомендацій.

У підсиленому палями стрічковому фундаменті ростверком служить існуючий до підсилення фундамент і додатковий ростверк над палями. При проектуванні підсилений фундамент за особливостями роботи під навантаженням найчастіше умовно приводять до звичайного пальового стрічкового фундаменту. Різниця в їх роботі до теперішнього часу не досліджувалася.

Дослідженнями встановлено [1-3], що ростверк залежно від кроку і довжини паль здатний сприймати значну частину навантаження, а палі, навпаки, реалізують свою роботу в складі пальового фундаменту не повністю. У підсилених палями фундаментах в якості ростверку працює старий фундамент мілкового закладення. При врахуванні роботи ростверку як нових пальових, так і підсилених палями фундаментів можна знизити вартість і трудомісткість робіт з влаштування фундаментів.

### Основна частина

Проведені різними авторами дослідження [1-3] впливу низького ростверку на роботу пальового фундаменту показали, що частина навантаження передається на ґрунт подошвою ростверку, а несуча здатність паль в складі пальового фундаменту не завжди відповідає несучій здатності поодинокій палі.

Встановлені фактори, від яких залежить роль низького ростверку в роботі фундаменту, величина «кушового ефекту» і характер перерозподілу навантаження між палями групи. Але проведені досліджень поки недостатньо для практичних рекомендацій з визначення кількісного співвідношення між сумою несучих здатностей поодиноких паль і несучою здатністю групи паль з низьким ростверком.

При розрахунках підсилених фундаментів вони, як правило, розглядаються як нові пальові фундаменти без врахування роботи фундаменту мілкового закладення до підсилення. Це не зовсім коректно, оскільки при підсиленні існуючий фундамент як ростверк сприймає значно більшу частину зовнішнього навантаження у порівнянні з ростверком звичайного пальового фундаменту. Проведені раніше експериментальні дослідження роботи фундаменту мілкового закладення [1], підтвердили, що підсилений палями фундамент мілкового закладення не можна розглядати як новий пальовий і була запропонована методика врахування роботи фундаменту мілкового закладення у складі новоствореного пальового фундаменту.

Різниця в підході до розрахунку нових пальових фундаментів і пальових фундаментів, що створені при підсиленні фундаментів мілкового закладення в чинних нормах, полягає в тому, що при розрахунку нових фундаментів робота ростверку не враховується взагалі (за рекомендаціями чинних українських норм [5]), враховується введенням на несучу здатність палі в куші підвищуючого коефіцієнту 1,15 (за рекомендаціями чинних російських норм [6]), а при розрахунку підсилених палями фундаментів рекомендується враховувати несучу здатність існуючого фундаменту без будь-яких кількісних рекомендацій.

Лише в білоруських нормах [7] і в російських нормах для плитно-пальових фундаментів [6] є певні кількісні рекомендації з розрахунку внеску низького ростверку в несучу здатність фундаменту.

Для дослідження якісної картини сумісної роботи паль і низького ростверку в складі існуючого фундаменту мілкового закладення і паль при його підсиленні під дією вертикального навантаження в залежності від геометричних параметрів і технології влаштування паль підсилення (крізь тіло існуючого фундаменту чи виносні палі) в роботі [1] проведено фізичне моделювання на маломасштабних моделях в лабораторних умовах.

Фізичне маломасштабне моделювання роботи фундаментів являється доступним і, як показує досвід, дозволяє отримати достатньо достовірну якісну картину поведінки пальових фундаментів під навантаженням. Його перевагою є можливість багаторазового повторення і широкого варіювання розмірами і розміщенням паль.

В даній роботі проведено дослідження якісної картини сумісної роботи паль і низького ростверку в складі нового пальового фундаменту під дією вертикального навантаження в залежності від геометричних параметрів, а також співставлено результати фізичного

моделювання пальового фундаменту і підсиленого палями стрічкового фундаменту мілкого закладання [1]. Серії дослідів проводились так, щоб геометричні параметри нових і підсилених пальових фундаментів були однаковими, що дозволяє оцінити різницю в їх роботі.

При плануванні модельного експерименту в якості незалежних змінних приймаються основні геометричні і конструктивні параметри, які характеризують стрічковий паловий фундамент:

$L/d$  – приведена довжина паль;

$a$  – крок паль (в поздовжньому напрямку);

$b$  – відстань між рядами паль.

Модельні випробування проводились у лотку розмірами 1800x1200x1000 мм. В якості ґрунту використано пісок середньої крупності. Аналізуючи розміри лотка для збереження непорушеної картини напруженого стану в ґрунтовій основі навколо пальового фундаменту, а також параметри опорної рами для передачі навантаження обрано масштаб моделювання 1:15. Використовувались моделі паль з дерева квадратного перерізу 20x20 мм, довжиною 200, 300, 400 мм і моделі ростверку (існуючого фундаменту) – металеві жорсткі ростверки.

В процесі досліджень заміряли деформації і навантаження на кожен палець. На модель фундаменту прикладали навантаження, величина якого контролювалась динамометром або манометром (у випадку використання гідравлічних домкратів). Переміщення паль визначали за допомогою прогиномірів, а для визначення навантаження, що приходить на кожен палець, виготовлено спеціальні наголовники.

Для досліджень роботи нового пальового фундаменту було використано ті самі дві металеві моделі, що й для досліджень роботи фундаменту мілко закладання при підсиленні палями [1]. Модель №1 відображає роботу фундаменту при підсиленні палями крізь його тіло, а модель №2 – при влаштуванні виносних паль. Модель №1 являє собою жорстку металеву плиту з отворами, що розміщені на відстані  $3d$ . Це забезпечує використання плити при кроці паль  $3d$  і  $6d$ .

Модель №2 дозволяє відобразити роботу підсиленого стрічкового фундаменту мілко закладання у варіанті влаштування виносних паль та роботу новоствореного стрічкового пальового фундаменту. Дана модель виконана збірною металевою, вона складається з основної частини, що моделює роботу існуючого фундаменту до підсилення, та елементів ростверку для моделювання роботи після підсилення палями.

Було виконано три серії дослідів при різному кроці паль у ростверку, а також при змінній довжині паль для кожної моделі стрічкового пальового фундаменту. В таблиці 1 наведено програму модельних випробувань.

Таблиця 1 – Програма модельних випробувань

Група дослідів	Крок паль у поздовжньому напрямку ( $a$ )	Відстань між рядами паль ( $b$ )	Модель фундаменту	Довжина паль, мм
1	3d	7d	1	200
				300
				400
		5d	2	200
				300
				400
2	6d	7d	1	200
				300
				400
		5d	2	200
				300
				400

Для передачі і розподілення навантаження на плиту ростверку зверху встановлюється жорстка балка.

Всі модельні випробування проводились з наступною послідовністю:

1) вкладання піску в лоток пошарово ( $\delta = 15$  см) з ущільненням кожного шару і контролем отриманої щільності;

- 2) встановлення ростверку у лотку;
- 3) занурення паль разом із тензометричними трубками у відповідності із прийнятою послідовністю;
- 4) закріплення паль у ростверку для забезпечення їх сумісної роботи;
- 5) передача статичного навантаження на пальовий фундамент ступенями з витримкою кожного ступеня до умовної стабілізації деформацій (не більше 0,25 мм за 15 хв. спостережень) до досягнення навантаженням граничного значення для пального фундаменту (навантаження збільшувалось до моменту руйнування основи, зовнішньою ознакою якого вважалась поява тріщин основи).

Для передачі і вимірювання навантаження використовувалися відповідно автомобільний домкрат і динамометр (для моделі №1), які розраховані на максимальне навантаження 5 т, та гідравлічні домкрати і манометр (для моделі №2), які розраховані на максимальне навантаження 10 т. В якості упорної системи для домкрата було використано металеву раму. Вся дослідна конструкція показана на рис. 1 і рис. 2.



Рисунок 1 – Експериментальне дослідження моделі №1



Рисунок 2 – Експериментальна модель №2 під час завантаження

В результаті проведеного фізичного моделювання було отримано несучу здатність фундаменту мілкого закладання до підсилення (модель №1 – 15 кН, модель №2 – 16 кН) та після його осідання, а також окремо навантаження, що сприймають палі і ростверк у складі підсиленого фундаменту [1].

Несуча здатність підсиленого фундаменту при кроці 3d склала 32, 38 і 44 кН при довжині паль відповідно 20, 30 і 40 см; при кроці 6d – 30, 32 і 38 кН. Несуча здатність нового пальового фундаменту при кроці 3d склала 18, 22 і 26 кН при довжині паль відповідно 20, 30 і 40 см; при кроці 6d – 20, 24 і 26 кН.

При кроці паль 3d несуча здатність ростверку підсиленого фундаменту склала 24-24,15 кН, при кроці паль 6d – 24,7-24,9 кН [1]. При кроці паль 3d несуча здатність ростверку нового фундаменту склала 6,8; 8 та 9,6 кН, при кроці паль 6d – 13,6; 17 та 18,4 кН відповідно при довжині паль 20, 30 та 40 см.

На рисунках 3 та 5 зображено графіки залежності осідання – навантаження при кроці 3d і 6d для моделей №1 та моделі №2 при моделюванні роботи підсиленого палями фундаменту мілкого закладання та нового пальового фундаменту при різних довжинах паль 20, 30 і 40 см. Як видно з графіків, при однакових значеннях навантаження осідання підсиленого фундаменту менше за осідання новоствореного пальового фундаменту.

На рисунку 5 зображено графіки залежності несучої здатності від довжини паль при кроці 3d і 6d для підсиленого фундаменту і нового фундаменту для моделі №1.

На рисунку 6 зображено графік залежності несучої здатності ростверку від довжини паль при кроці 3d і 6d для підсиленого фундаменту (а) та новоствореного (б) для моделі №1.

На рисунку 7 зображено графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, від довжини паль для обох моделей [1]. З графіку видно, що із зростанням кроку (від 3d до 6d) збільшується частка, яку складає несуча здатність ростверку.

З рисунку 7 видно, що частка ростверку у несучій здатності фундаменту при влаштуванні паль підсилення крізь тіло існуючого фундаменту (для моделі №1) більша ніж у випадку застосування виносних паль (для моделі №2) [1].

На рисунку 8 зображено графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі нового та підсиленого фундаменту, від довжини паль для моделі 1. З графіку видно, що із зростанням кроку (від 3d до 6d) збільшується частка, яку складає несуча здатність ростверку.

Із збільшенням довжини паль частка, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, зменшується (табл.2). При збільшенні приведеної довжини паль (відношення довжини палі до розміру поперечного перерізу) від 10 до 20 частка, яку складає несуча здатність ростверку, зменшується від 75 до 38% [1].

Із збільшенням кроку паль у поздовжньому напрямку несуча здатність ростверку збільшується.

Також зростання частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, відбувається при збільшенні відстані між палями у поперечному напрямку для стрічкових фундаментів. Для моделі №1 відстань між палями в поперечному напрямку складає 13 см, а для моделі №2 – 9,4 см. З табл. 2 і рис. 6 видно, що частка ростверку у несучій здатності фундаменту для моделі №1 має більше значення ніж для моделі №2 при однакових кроках і довжині паль [1].

Також зростання частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, відбувається при збільшенні відстані між палями у поперечному напрямку для стрічкових фундаментів. Для моделі №1 відстань між палями в поперечному напрямку складає 13 см, а для моделі №2 – 9,4 см. З табл. 2 і рис. 3 видно, що частка ростверку у несучій здатності фундаменту для моделі №1 має більше значення ніж для моделі №2 при однакових кроках і довжині паль [1].

Із збільшенням довжини паль від 20 до 30 см частка, яку складає несуча здатність ростверку у складі нового пальового фундаменту, збільшується. Із збільшенням довжини паль від 30 до 40 см частка залишається практично сталою.

Частка ростверку у складі нового пальового фундаменту менша у порівнянні з часткою ростверку у складі підсиленого фундаменту.

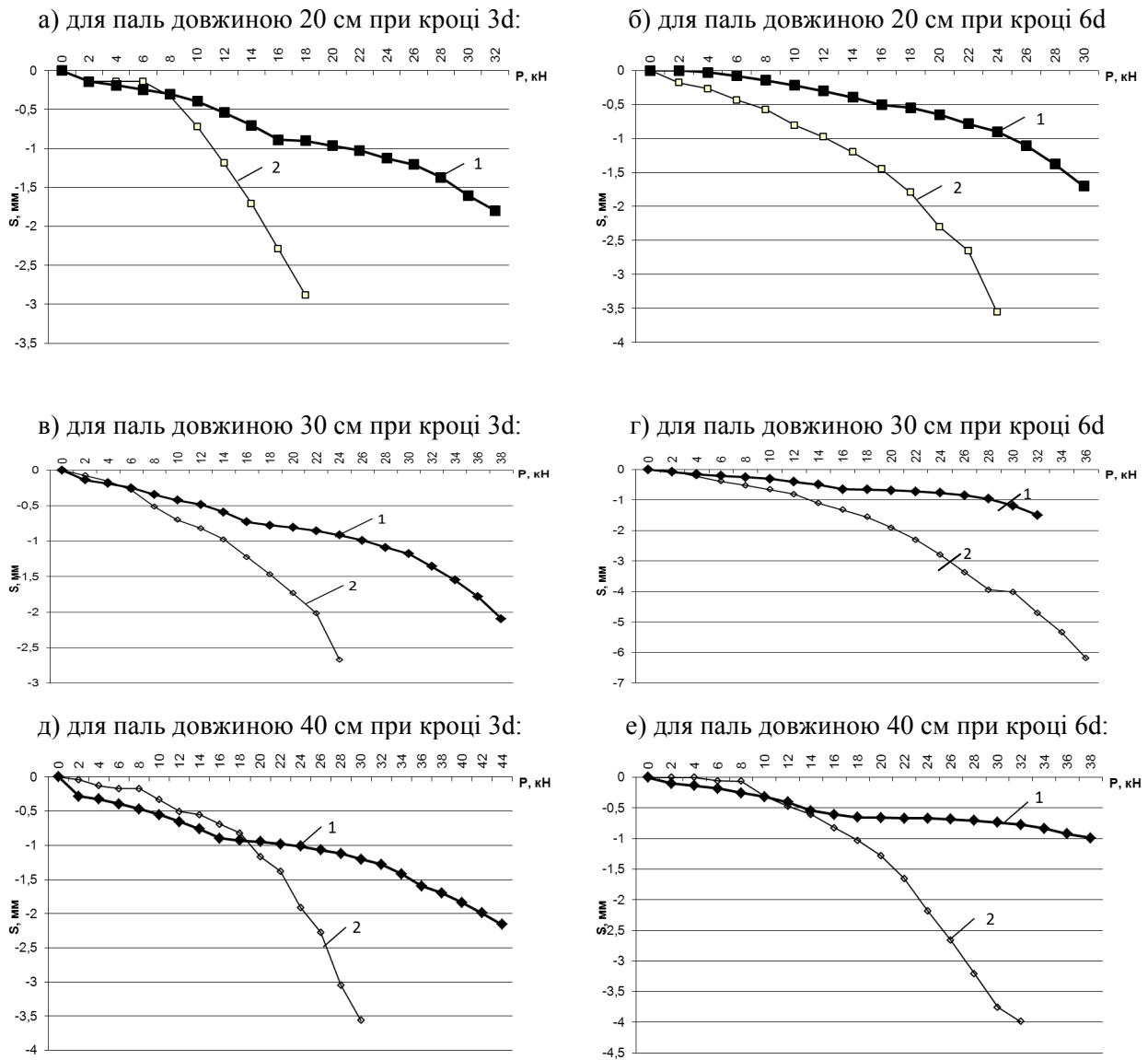


Рисунок 3 – Графіки залежності осідання – навантаження для моделі №1 при різній довжині і кроці паль: 1 – підсилений палями стрічковий фундамент мілко закладання, 2 – новий паливовий фундамент

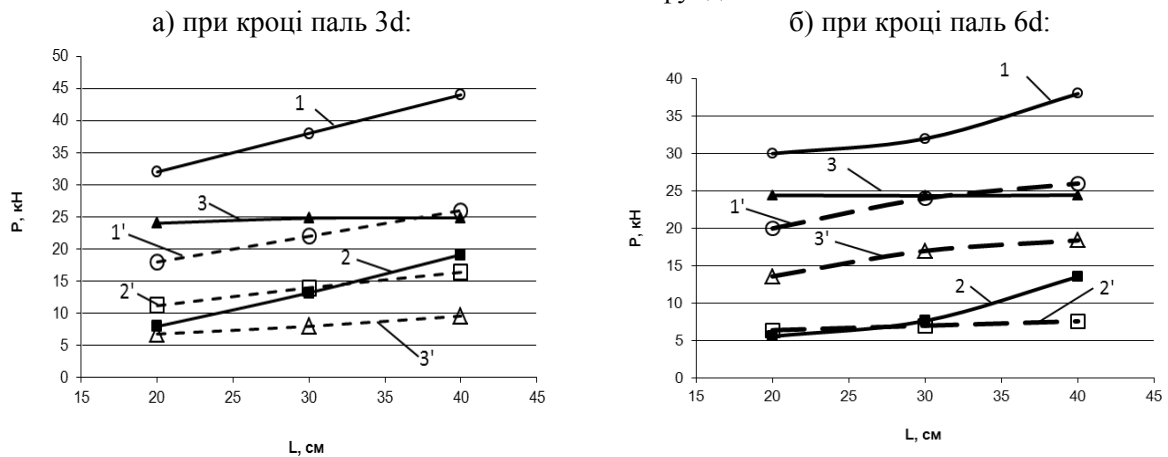


Рисунок 4 – Графік залежності несучої здатності фундаменту для моделі №1 від довжини паль: 1 та 1' – несуча здатність фундаменту в цілому підсиленого та нового відповідно; 2 та 2' – несуча здатність паль у складі підсиленого та нового фундаментів;

3 та 3' – несуча здатність ростверку підсиленого та нового фундаменту відповідно

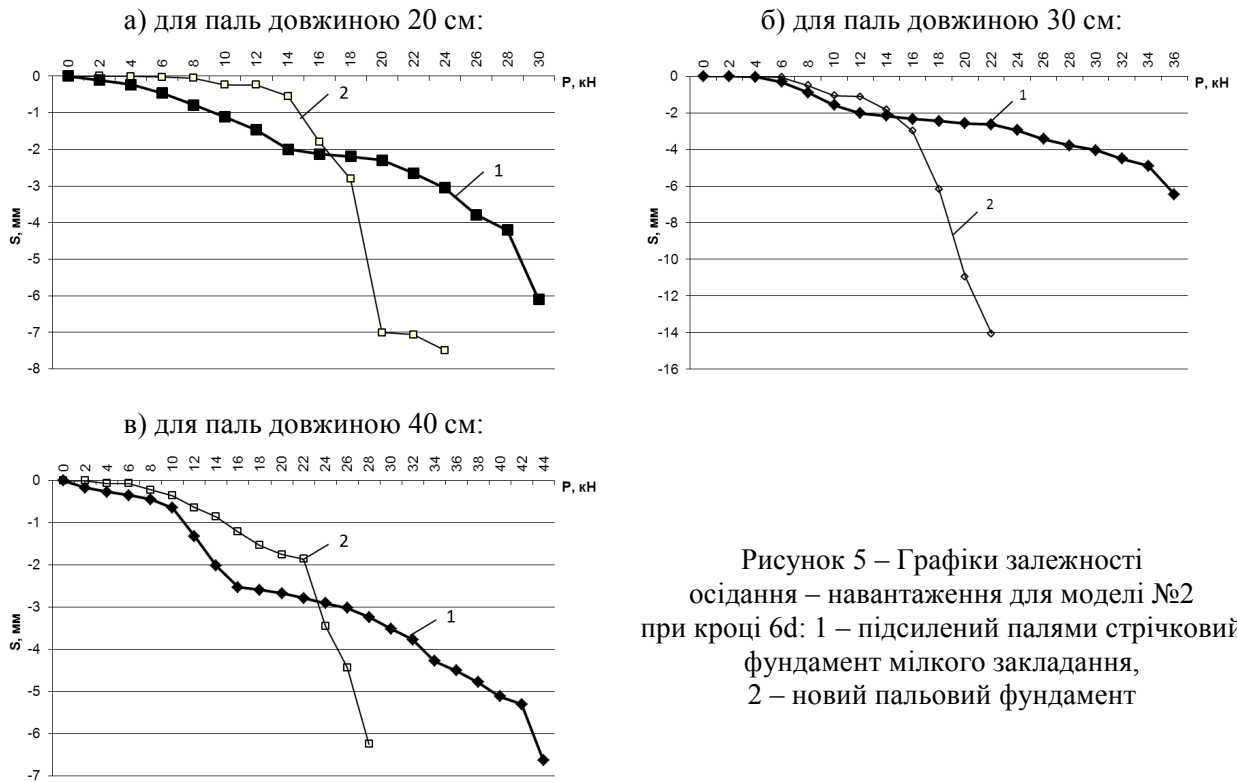


Рисунок 5 – Графіки залежності осідання – навантаження для моделі №2 при кроці 6d: 1 – підсилений палями стрічковий фундамент мілкого закладання, 2 – новий паливий фундамент

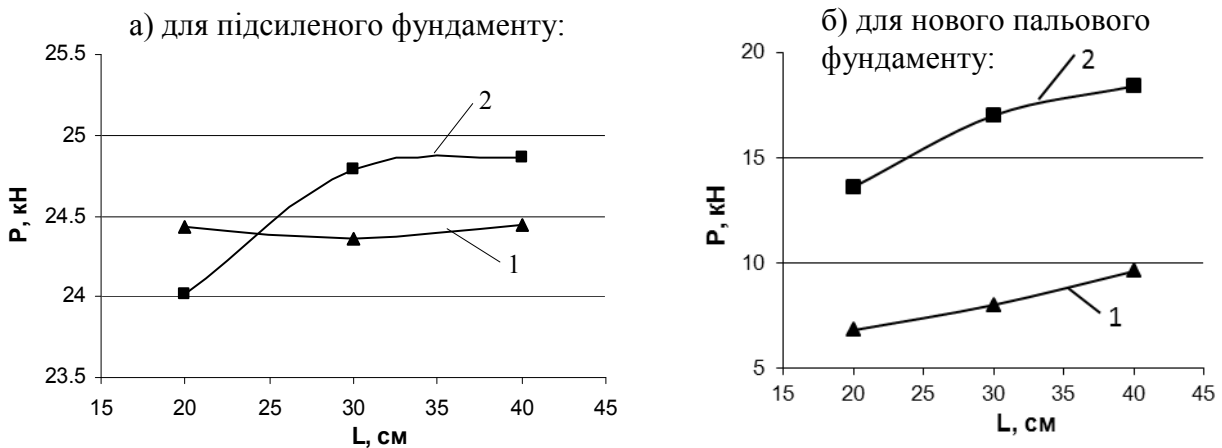


Рисунок 6 – Залежність несучої здатності ростверку для моделі №1 від кроку і довжини паль: 1- при кроці 3d; 2 – при кроці 6d

Таблиця 2 – Частка ростверку у несучій здатності підсиленого фундаменту, %

Крок паль		Довжина паль, см		
		20	30	40
Модель №1	3d	75,06	65,24	56,5
	6d	81,4	76,13	64,34
Модель №2	3d	52	45	38,5
	6d	63,3	55,6	45,45

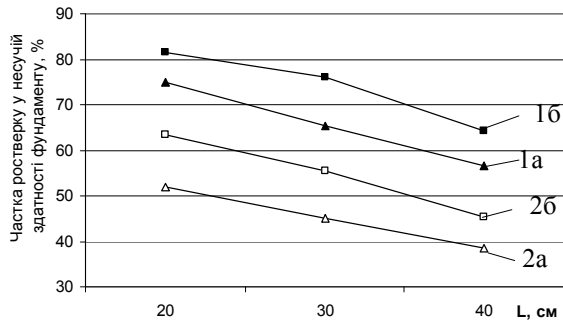


Рисунок 7 – Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, від довжини паль [1]:  
1a і 1б – модель №1 при кроці паль 3d і 6d відповідно; 2a і 2б – модель №2 при кроці паль 3d і 6d відповідно

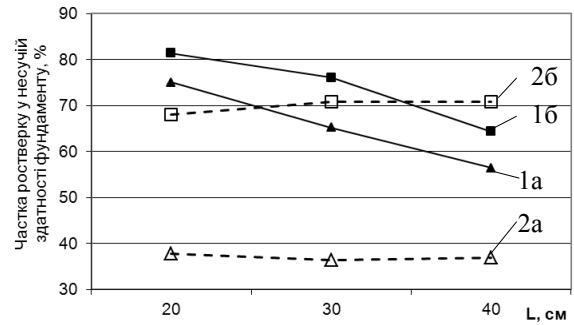


Рисунок 8 – Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверку, від довжини паль (модель 1):  
1a і 1б – підсилений фундамент при кроці паль 3d і 6d відповідно; 2a і 2б – новий фундамент при кроці паль 3d і 6d відповідно

Таблиця 3 – Частка ростверку у несучій здатності підсиленого фундаменту та нового фундаменту (модель 1), %

Крок паль		Довжина паль, см		
		20	30	40
підсилений палями фундамент мілко́го закладання	3d	75,06	65,24	56,5
	6d	81,4	76,13	64,34
новий пальовий фундамент	3d	37,8	36,4	36,9
	6d	68	70,8	70,8

### Висновки

1. Розроблено маломасштабні моделі пальових фундаментів, які дозволяють моделювати роботу пальового фундаменту, фундаменту мілко́го закладання до та після підсилення, враховувати технологію влаштування паль підсилення, а також варіювати довжиною та кроком паль. Складено програму та методику фізичного моделювання роботи нового пальового фундаменту на маломасштабних моделях.

2. Проведені дослідження на маломасштабних моделях на піщаному ґрунті дозволяють зробити такі висновки:

- частка, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, перевищує 38% і залежить від довжини і кроку паль та технології їх влаштування;
- частка, яку складає несуча здатність ростверку у складі нового пальового фундаменту, перевищує 29% і залежить від довжини і кроку паль;
- для підсилених фундаментів зі збільшенням відносної довжини паль частка, яку складає несуча здатність ростверку, зменшується. Зі збільшенням приведеної довжини паль від 10 до 20 частка, яку складає несуча здатність ростверку, зменшується від 75 до 38%;
- зі збільшенням кроку паль уздовж ряду (від 3d до 6d) частка, яку складає несуча здатність ростверку, збільшується;
- зі збільшенням відстані між палями в поперечному напрямку (для стрічкових фундаментів) частка, яку складає несуча здатність ростверку, також збільшується;
- частка ростверку у несучій здатності підсиленого фундаменту при влаштуванні паль підсилення крізь тіло існуючого фундаменту більша ніж у випадку застосування виносних паль.

3. Оскільки відсоток участі ростверку у розподіленні загального навантаження значний, то це означає, що врахування ростверку дасть змогу економити значну частину коштів.

4. Результати фізичного моделювання роботи підсиленого палями стрічкового фундаменту



мілко́го закладання та нового пальового фундаменту на маломасштабних моделях свідчать про необхідність та доцільність врахування роботи ростверку.

#### Перелік використаних джерел

1. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів : монографія / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 168 с.
2. 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.
3. Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков – М., Стройиздат, 1994. – 377 с. – Библиогр.: с. 374.
4. Разница в работе ростверка свайного фундамента и усиленного сваями ленточного фундамента мелкого заложения / Н. В. Блащук, И. В. Маевская // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2014. - №3. - С.231-242.
5. 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 ).
6. Проектирование и устройство свайных фундаментов : СП 50-102-2003. - [Одобрено постановлением Госстроя РФ от 21.06.2003 г. №96]. – М.: ГП ЦПП, 2004. – 94 с.
7. 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.

**Маєвська Ірина Вікторівна** – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Блащук Наталія Вікторівна** – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Цимбал Сергій Олександрович** – студент Вінницького національного технічного університету.

**Маевская Ирина Викторовна** – к.т.н., доцент кафедри строительства, городского хозяйства и архитектуры Винницкого национального технического университета.

**Блащук Наталья Викторовна** – к.т.н., доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры Винницкого национального технического университета.

**Цимбал Сергей Александрович** – студент Винницкого национального технического университета.

**Maievskia Irina** – Ph.D., assistant professor of construction, municipal economy and architecture Vinnytsia National Technical University.

**Blashchuk Natalya** – Ph.D., assistant professor of construction, municipal economy and architecture Vinnytsia National Technical University.

**Tsymbal Sergiy** – Student Vinnytsia National Technical University.