

**Н. В. Блащук  
І. В. Маєвська  
М. М. Попович**

## **ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ СТОВПЧАСТОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ**

Вінницький національний технічний університет

*Виконане фізичне (на маломасштабних моделях) та математичне моделювання стовпчастого пальового фундаменту з різними геометричними параметрами та в різних ґрунтах.*

*Встановлено, що перерозподіл навантаження між палями фундаменту залежить від етапу навантаження і жорсткості ростверку. По мірі зростання навантаження на куц осереднене навантаження на палю у складі фундаменту зростає і для пальових фундаментів у піщаних ґрунтах перевищує несучу здатність одиночної палі. На початкових етапах завантаження при жорстких ростверках найбільше зусилля сприймають кутові палі, найменше – центральні, при подальшому збільшенні навантаження і наближенні його до граничного значення виникає перерозподіл зусиль з кутових і крайніх паль до центральної внаслідок вичерпання несучої здатності кутових паль. Для гнучких ростверків навантаження між палями групи спочатку розподіляється рівномірно, а по мірі зростання навантаження найбільше зусилля бере на себе центральна паля.*

*Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пальового фундаменту залежить від відносної довжини і кроку палі. Реалізація несучої здатності палі у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку палі та із збільшенням їх відносної довжини. При відносній довжині палі ( $l/d$ ) менше 15 їх розміри сумірні з розмірами ростверків в плані і такі пальові фундаменти краще розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив.*

*При збільшенні осьової відстані між палями частка навантаження, яку бере на себе ростверк, збільшується, оскільки збільшується площа контакту плити ростверку з ґрунтовим масивом; при збільшенні значення приведеної довжини палі навантаження, яке сприймає ростверк, зменшується, а палі беруть на себе більшу частку навантаження.*

*Використання одержаних залежностей при розрахунках дозволить забезпечити при проектуванні економію матеріалів палі на величину до 40%.*

*Ключові слова: стовпчастий пальовий фундамент, ґрунтова основа, палі, ростверк, перерозподіл навантаження, ступінь реалізації несучої здатності палі.*

### **Вступ**

Застосування паль в якості фундаментів промислових та цивільних будівель дозволяє майже виключити земляні роботи та механізувати процес влаштування фундаменту. В будівництві при влаштуванні пальового фундаменту виникає потреба в значних витратах, що призводить до збільшення вартості будівництва в цілому.

Існуючі методи розрахунку пальових фундаментів досить умовні [1]. В їх основу не в достатній мірі закладено аналіз механічних процесів, що виникають при їхньому навантаженні. Саме тому розміри пальових фундаментів визначаються розрахунком по принципу простого складання несучих здатностей одиночних паль, хоча гранична несуча здатність стовпчастого пальового фундаменту не є простим додаванням граничних несучих здатностей одиночних паль. Великою кількістю дослідів встановлено [2-5], що у складі стовпчастого пальового фундаменту частина навантаження передається на палі, а частина – на ростверк. В результаті адекватного врахування роботи елементів пальового фундаменту відбувається зменшення вартості фундаменту в цілому. Ці обставини зумовлюють доцільність та актуальність подальшого дослідження напружено-деформованого стану стовпчастого пальового фундаменту.

### **Результати досліджень**

Для виявлення якісної картини і вивчення особливостей сумісної роботи паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту було проведено фізичне моделювання на маломасштабних моделях.

При моделюванні ґрунтового середовища використовувався металевий лоток з геометричними розмірами 1800×1200×1000 мм, що заповнений піском середньої крупності з заданою щільністю та

вологістю. Враховуючи геометричні розміри лотка з піском, обмежені можливості упорної системи та можливість проведення після одного пересипання ґрунту випробування трьох моделей пального фундаменту був прийнятий масштаб фізичного моделювання 1:15. Для моделювання натурних паль довжиною 3 м, 4,5 м та 6 м з поперечним перерізом 30×30 см виготовлені дерев'яні моделі з поперечним перерізом 20×20 мм, довжиною 200, 300 і 400 мм. Кількість паль в куці прийнята сталою (9 штук).

З метою варіювання кроком паль було виготовлено три моделі ростверків, що дозволяють приймати крок паль 3d, 5d та 7d, де d – розмір поперечника палі. Моделі ростверків були виготовлені з залізобетону. Товщина моделей плит ростверків прийнята 50 мм, що відповідає товщині 750 мм у натурального ростверку і є достатньою для забезпечення їх жорсткості під час випробувань. Розміри моделей в плані 200×200 мм, 290×290 мм та 410×410 мм (рис. 1). Ростверки мають отвори для пропуску голів паль та систему анкерних болтів для забезпечення спільної роботи паль та ростверку (рис. 2).

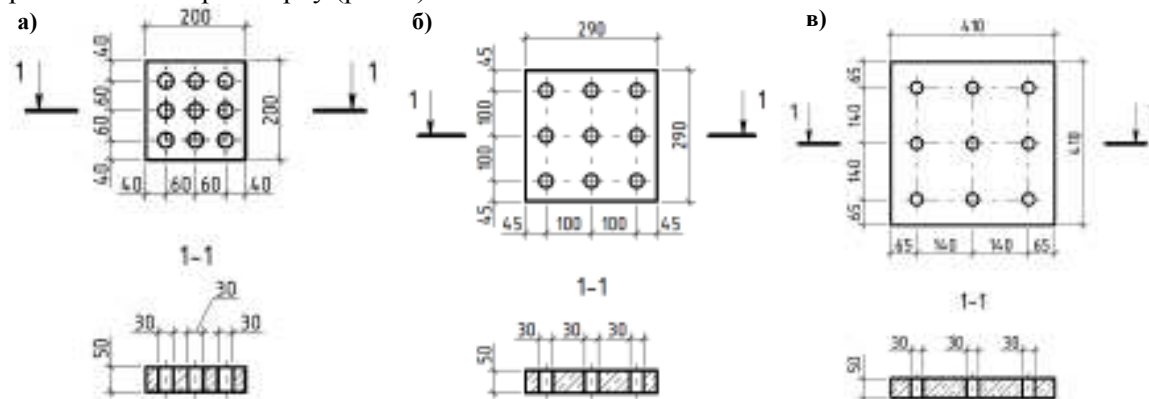


Рисунок 1 – Модель ростверку: а) розмірами 200×200 мм; б) розмірами 290×290 мм; в) розмірами 410×410 мм

Для замірювання частки навантаження, що припадає на кожну окрему палю куца, були виготовлені тензометричні наголовники для паль (поз.2 рис.2). Наголовники виконувались з відрізків квадратної труби, на яку наклеєні тензометричні датчики з опором по 100 Ом. Навантаження на ростверк передавалось за допомогою автомобільного домкрату, а для виміру зусилля, що передається, використовувався динамометр. Домкрат і динамометр розраховані на передачу навантаження до 5 т.

Для замірювання переміщень фундаменту використовувались система прогиномірів, встановлена на незалежній упорній системі, закріпленій на стінки лотка. На рис.3 показано зібрану систему для передавання навантаження на модель фундаменту.

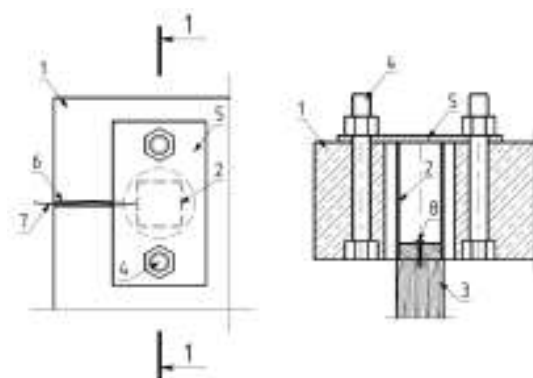


Рисунок 2 – Кріплення палі, ростверку і наголовника:  
1 – ростверк; 2 – тензометричний датчик (наголовник);  
3 – палія; 4 – болт; 5 – металева пластина; 6 – борозна для дроту; 7 – дріт від наголовника; 8 – шуруп



Рисунок 3 – Фізична модель ростверку 290 мм × 290 мм під час випробувань

Для аналізу відмінності поведінки паль і ростверку у складі кущового фундаменту і поведінки одиночної палі та плити ростверку проведено випробування одиночних паль різної довжини та плити ростверку без паль.

При плануванні модельного експерименту в якості незалежних змінних обрані основні геометричні параметри пального куца. Програму моделювання наведено в табл. 1.

## Програма фізичного випробування

Модель фундаменту	Крок паль	Довжина паль, мм
1 (200 мм × 200 мм)	3d	200
		300
		400
2 (290 мм × 290 мм)	5d	200
		300
		400
3 (410 мм × 410 мм)	7d	200
		300
		400

При даному експериментальному дослідженні, за рахунок недостатньої жорсткості балки-опору, яка знаходилась над лотком із ґрунтовим масивом, моделі пальових фундаментів не були доведені до втрати несучої здатності, тому при аналізі результатів досліджень проводилось визначення несучої здатності ростверку при певному значенні осідання моделі фундаменту.

У табл. 2 приведено результати експериментальних досліджень маломасштабних моделей пальових фундаментів при осіданні 2 мм, 3 мм, 4,5 мм, 6 мм, 10 мм та 15 мм.

Таблиця 2

## Результати експериментальних випробувань моделей пальових фундаментів

Осідання, мм	Крок паль	Приведена довжина паль, (l/d)	Навантаження на модель фундаменту, кН	Навантаження, яке сприймають палі, кН	Навантаження, яке сприймає ростверк, кН	Частка ростверку, %
S = 2	3d	10	5,50	2,07	3,43	62,36
		15	6,00	2,40	3,60	60,00
		20	11,60	8,64	2,96	25,52
	5d	10	8,00	4,05	3,95	49,38
		15	9,50	4,23	5,27	55,47
		20	15,00	9,26	5,74	38,27
	7d	10	9,00	5,63	3,37	37,44
		15	11,00	4,58	6,42	58,36
		20	21,00	11,90	9,10	43,33
S = 3	3d	10	7,00	3,30	3,70	52,86
		15	8,00	4,35	3,65	45,63
		20	14,00	11,90	2,10	15,00
	5d	10	11,00	5,40	5,60	50,91
		15	11,50	5,32	6,18	53,74
		20	18,00	13,04	4,96	27,56
	7d	10	12,00	7,65	4,35	36,25
		15	13,00	5,78	7,22	55,50
		20	25,00	17,10	7,90	31,60
S = 4,5	3d	10	8,50	4,42	4,08	48,00
		15	9,50	5,20	4,30	45,26
	5d	10	13,00	6,07	6,93	53,31
		15	14,00	6,75	7,25	51,79
	7d	10	15,00	7,65	7,35	49,00
		15	15,00	5,18	9,82	65,47
S = 6,0	3d	10	9,50	5,47	4,03	42,42
		15	11,00	6,00	5,00	45,45
	5d	10	15,00	6,90	8,10	54,00
		15	15,00	7,20	7,80	52,00
	7d	10	17,00	7,65	9,35	55,00
		15	-	-	-	-
S = 10,0	3d	10	11,50	7,20	4,30	37,39
		15	13,00	6,67	6,33	48,69
S = 15,0	3d	10	13,00	8,17	4,83	37,15
		15	14,50	7,38	7,12	49,10

Як видно з таблиці 2 при незначних деформаціях (на перших етапах завантаження) несуча здатність коротких паль реалізується не повністю, а довгі палі сприймають більше навантаження, ніж випробовані як одиночні. Для коротких паль неповну реалізацію несучої здатності можна пояснити негативним впливом переміщення ґрунту під подошвою ростверку. На ростверк у всіх випадках припадає більше навантаження, ніж на плиту без паль, що пояснюється ущільненням ґрунту в міжпальовому просторі під час забивання паль.

При подальшому завантаженні сума зусиль в палях куца перевищує суму несучих здатностей одночних паль. Зусилля, що сприймається ростверком, також зростає. Отже в цілому як палі, так і ростверк працюють в групі краще, ніж як окремі елементи.

Аналіз розподілу навантажень між палями в групі показав, що на цей розподіл чинять вплив етап завантаження і жорсткість ростверку.

На початкових етапах завантаження при жорстких ростверках найбільше зусилля сприймають кутові палі (рис. 4), найменше – центральні, при подальшому збільшенні навантаження і наближенні його до граничного значення виникає перерозподіл зусиль з кутових і крайніх паль до центральної внаслідок вичерпання несучої здатності кутових паль.

Для ростверку розмірами 410×410 мм (крок паль 7d), який є відносно гнучким (відношення висоти уступу плитної частини до його висоти 3:1) навантаження між палями групи спочатку розподіляється рівномірно, а по мірі зростання навантаження найбільше зусилля бере на себе центральна паля.

Була проаналізована реалізація несучої здатності паль у складі пальового фундаменту у порівнянні з несучою здатністю одиночної палі. при незначних навантаженнях і відносно коротких палях їх несуча здатність реалізується не повністю, але по мірі збільшення навантаження і відповідно осідань куца палі все більше включаються у роботу. при коротких палях спочатку зусилля в палях збільшуються інтенсивно, а потім цей процес уповільнюється. Подальше зростання навантаження на куц здійснюється за рахунок роботи ростверку та ущільненого ґрунту під фундаментом. При довжині паль 200 та 300 мм їх розміри сумірні з розмірами ростверків в плані, а такі пальові фундаменти краще розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив.

Для довгих паль характерне інтенсивне втягування паль у роботу, частка ростверку при цьому зменшується.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що при збільшенні осьової відстані між палями несуча здатність ростверку збільшується, оскільки збільшується площа контакту плити ростверку з ґрунтовим масивом; при збільшенні значення приведеної довжини паль навантаження, яке сприймає ростверк зменшується, так як більша частка навантаження сприймається палями.

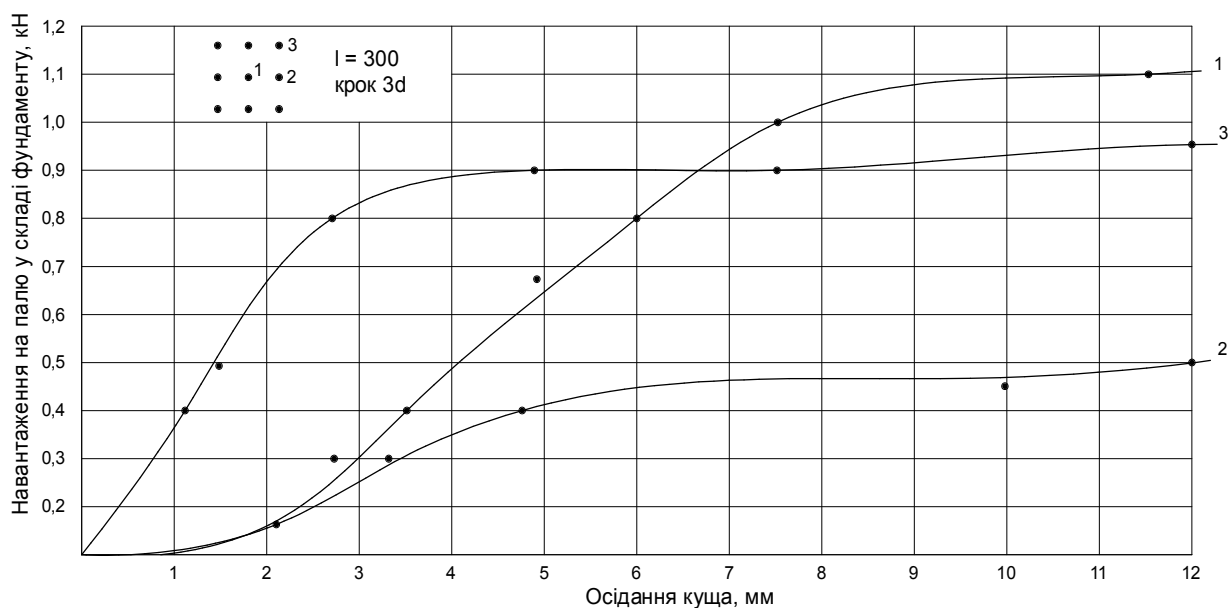


Рисунок 4 – Розподіл зусиль між палями фундаменту при довжині паль 300 мм та кроці 3d

На рис. 5 зображено графік залежності навантаження – крок паль при певному осіданні, а саме при  $S = 2$  мм та при  $S = 3$  мм, та при довжинах паль 200 мм, 300 мм та 400 мм. Аналізуючи даний рисунок та табл. 2, робимо висновок, що при збільшенні довжини паль несуча здатність фундаменту збільшується, при цьому частка навантаження, яке сприймає плита ростверку зменшується і досить на значну величину, тобто більшу частку навантаження сприймають палі.

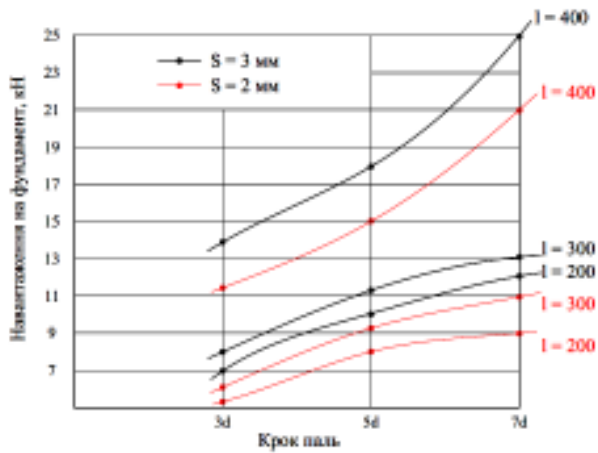


Рисунок 5 – Графік залежності навантаження – крок паль при довжині паль 200 мм, 300 мм та 400 мм

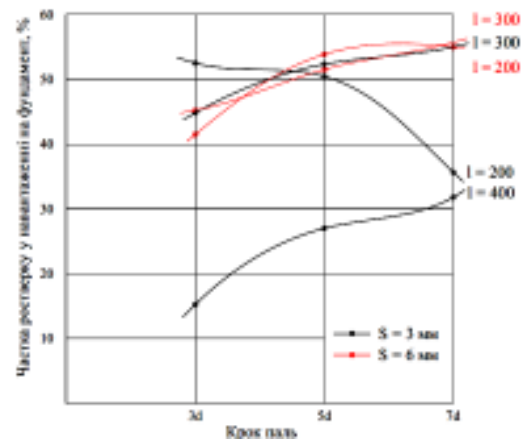


Рисунок 6 – Графік залежності частки ростверку – кроку паль при осіданні 3 мм, 6 мм та довжині паль 200 мм, 300 мм і 400 мм

Як видно із рис. 6, при збільшенні кроку паль несуча здатність плити ростверку збільшується, а при використанні паль більшої довжини (400 мм) зменшується у порівнянні з палями меншої довжини, 300 мм і 200 мм відповідно.

При довжині паль 300 мм при збільшенні осідання несуча здатність ростверку зростає. При кроці паль  $3d$  показник несучої здатності менший, так як площа плити ростверку в такому випадку найменша. Із збільшенням осіової відстані між палями до  $5d$  і  $7d$  несуча здатність плити ростверку вища ніж при кроці  $3d$ . Аналогічна ситуація і з палями найменшої довжини (200 мм) – із збільшенням кроку паль частка навантаження, яка сприймається плитою ростверку збільшується. Найбільш оптимальною довжиною паль за результатами фізичного моделювання є використання паль з приведеною довжиною  $(l/d) = 15$ .

Максимальна частка ростверку за результатами фізичного моделювання складає 65% від загального навантаження на модель пальового фундаменту при використанні паль довжиною 300 мм і при осіовій відстані між палями  $7d$ . При такому кроці паль площа плити ростверку максимальна. Мінімальна частка навантаження, яка сприймається плитою ростверку становить 15% від загального навантаження на модель пальового фундаменту при використанні паль довжиною 400 мм та при кроці паль  $3d$ .

Отримані результати експериментальних досліджень на маломасштабних моделях пальового фундаменту свідчать, що плита ростверку здатна сприйняти до 50% від загального навантаження на фундамент.

Для подальших досліджень було виконане математичне моделювання роботи під навантаженням стовпчастих пальових фундаментів в програмному комплексі «Plaxis 3D Foundation», програму моделювання наведено в табл.3.

Програма вивчення частки навантаження, що сприймається ростверком і палями у складі стовпчастого пальового фундаменту, передбачала наступні етапи:

- створення розрахункової схеми стовпчастого пальового фундаменту;
- дослідження залежності навантаження, що сприймається ростверком у складі стовпчастого пальового фундаменту, від довжини паль, їх кроку та характеристик ґрунту;
- побудова графіків залежності «осідання-навантаження».

При моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- за навантаження, що сприймається фундаментом, приймається значення зовнішнього навантаження без урахування ваги ростверку при деформаціях, що не перевищують допустимого значення 4 см;

- частка навантаження, що сприймається ростверком, визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без урахування площі паль;
- частка навантаження, що сприймається палями, визначається як різниця між загальним навантаженням на фундамент і навантаженням, що сприймається ростверком.

При чисельно-математичному моделюванні визначення частки ростверку у навантаженні на стовпчастий паливий фундамент використовувалися повномасштабні моделі. При кроці паль 3d ростверк мав габаритні розміри 2,4 м x 2,4 м; при кроці паль 5d – 3,6 м x 3,6 м; при кроці паль 7d – 4,8 м x 4,8 м; довжини паль 3 м, 6 м, 9 м, 12 м на однорідному ґрунтовому масиві з наступними характеристиками: пісок дрібний,  $\gamma = 16,6 \text{ кН/м}^3$ ,  $e = 0,67$ ,  $c = 2 \text{ кПа}$ ,  $\varphi = 32^\circ$ ,  $E = 28 \text{ МПа}$ .

На рис. 7 наведено графік залежності несучої здатності стовпчастого паливого фундаменту в цілому при довжині паль 3 м, 6 м, 9 м, 12 м.

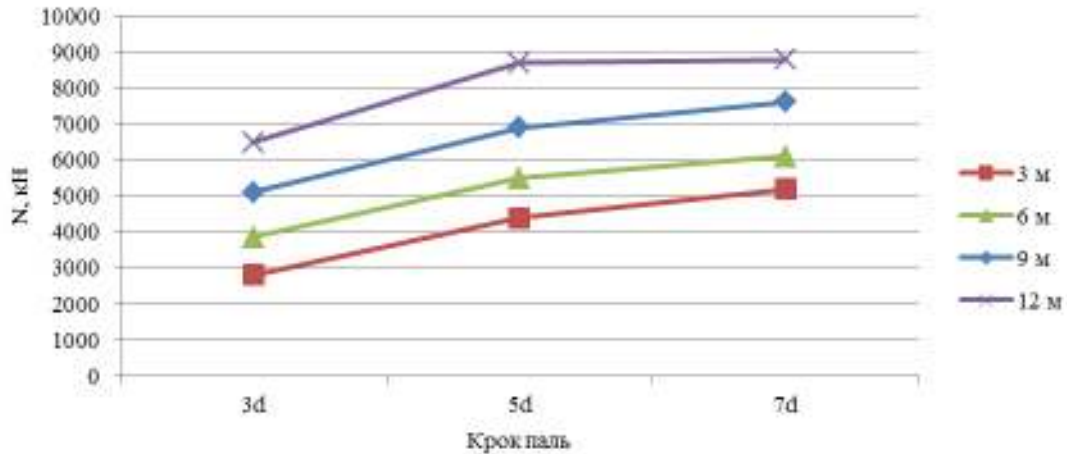


Рис.7. Графік залежності несучої здатності паливого фундаменту – крок паль

У табл. 3 наведені результати несучої здатності фундаменту в цілому.

Таблиця 3

#### Результати несучої здатності паливого фундаменту в цілому

Крок паль	Розміри ростверку, м	Несуча здатність, кН			
		L = 3 м	L = 6 м	L = 9 м	L = 12 м
3d	2,4 × 2,4	2800	3850	5100	6500
5d	3,6 × 3,6	4400	5500	6900	8700
7d	4,8 × 4,8	5200	6100	7620	8800

На рис. 8 наведений графік залежності частки плити ростверку у навантаженні на фундамент – крок паль при довжині паль 3 м, 6 м, 9 м, 12 м.

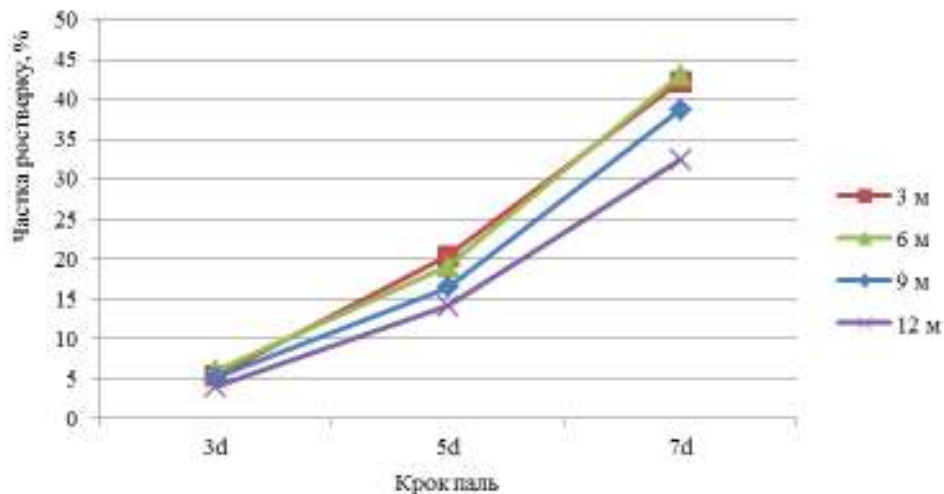


Рисунок 8 – Графік частки ростверку у навантаженні на фундамент – крок паль

У табл. 4 наведені результати чисельно-математичного моделювання по визначенню частки ростверку у навантаженні на стовпчастий пальовий фундамент.

Таблиця 4

**Частка ростверку у навантаженні на фундамент**

Крок паль і розміри ростверку, м	L = 3 м		L = 6 м		L = 9 м		L = 12 м	
	N, кН	%	N, кН	%	N, кН	%	N, кН	%
3d 2,4 × 2,4	148,50	5,30	232,65	6,00	260,37	5,10	255,42	3,93
5d 3,6 × 3,6	895,50	20,35	1047,33	19,04	1132,38	16,41	1225,94	14,10
7d 4,8 × 4,8	2194,10	42,19	2623,14	43,00	2911,70	38,72	2848,1	32,40

За результатами чисельно-математичного моделювання наведеними у табл. 4 очевидно, що частка ростверку залежить від довжини паль та осьової відстані між палями. При палях більшої довжини частка ростверку у навантаженні на фундамент знижується, так як площа по боковій поверхні паль досягає значної величини, тобто більшу частку навантаження сприймають палі. А при палях меншої довжини – навпаки збільшується.

### Висновки

На основі виконаних експериментальних досліджень на маломасштабних моделях та чисельно-математичного моделювання стовпчастих пальових фундаментів встановлено:

- несуча здатність пальового фундаменту з низьким ростверком перевищує суму несучих здатностей одночних паль;
- частка ростверку у навантаженні на фундамент залежить від ряду багатьох факторів, але найбільш впливовими факторами є довжина паль і осьова відстань між палями (крок паль);
- при збільшенні довжини паль несуча здатність плити ростверку зменшується, а при зменшенні довжини паль – навпаки збільшується;
- при збільшенні осьової відстані між палями несуча здатність плити ростверку збільшується, а при зменшенні і при мінімальній відстані – зменшується;
- робота палі в групі з низьким ростверком суттєво відрізняється від роботи одиночної палі. По мірі зростання навантаження осереднене навантаження на палю у складі фундаменту зростає і для пальових фундаментів у піщаних ґрунтах перевищує несучу здатність одиночної палі;
- перерозподіл навантаження між палями фундаменту залежить від етапу навантаження і жорсткості ростверку. На початкових етапах завантаження при жорстких ростверках найбільше зусилля сприймають кутові палі, найменше – центральні, при подальшому збільшенні навантаження і наближенні його до граничного значення виникає перерозподіл зусиль з кутових і крайніх паль до центральної внаслідок вичерпання несучої здатності кутових паль. Для гнучких ростверків навантаження між палями групи спочатку розподіляється рівномірно, а по мірі зростання навантаження найбільше зусилля бере на себе центральна палі;
- при відносній довжині паль ( $l/d$ ) менше 15 їх розміри сумірні з розмірами ростверків в плані і такі пальові фундаменти краще розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив;
- врахування того, що частку навантаження сприйматиме плита ростверку, призведе до економічного ефекту, так як будуть зменшенні витрати матеріалів на його влаштування;
- при влаштуванні фундаменту з несучим ростверком потрібно багато уваги приділяти стану ґрунтового масиву, що знаходиться під підшовою ростверку, адже порушення його природного стану може призвести до втрати його фізико-механічних властивостей.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009 Зміна №1. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. – (Національні стандарти України).
- [2] Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсиленних палями фундаментів : монографія / І. В. Маєвська, Н. В. Блашук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 168 с.
- [3] Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайних фундаментів / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков – М., Стройиздат, 1994. – 377 с. – Библиогр.: с. 374.

[4] Цимбал С.Й., Карцева С.Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28, с. 121-130.

[5] 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.

**Блащук Наталя Вікторівна** – к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет.

**Маєвська Ірина Вікторівна** – к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет.

**Попович Микола Миколайович** – к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет.

**N. Blashchuk**

**I. Maevska**

**M. Popovich**

## RETRIEVING RUN AWAY BETWEEN ELEMENTS PIER PILE FOUNDATIONS

Vinnitsia National Technical University

*Physical (on small scale models) and mathematical modeling of column pile foundation with different geometric parameters and in different soils are executed.*

*It is established that the redistribution of the load between the basement pile depends on the stage of loading and rigidity of the rafters. As the load on the bush increases, the average load on the cob in the foundation increases and for pile foundations in sandy soils exceeds the bearing capacity of a single crop. In the initial stages of loading at hard rafters, the greatest efforts are perceived by angular piles, the least - central, with further increase in load and its approximation to the limiting value there is a redistribution of efforts from the angles and extreme piles to the central due to the exhaustion of the bearing ability of angular piles. For flexible rafters, the load between the piles of the group is initially distributed evenly, and as the load increases, the central effort takes on the greatest effort.*

*The degree of implementation of the bearing capacity of the piles in the pile foundation depends on the relative length and pitch of the pile. Implementation of the bearing capacity of piles in the foundation increases with increasing pile steps and increasing their relative length. With a relative length of piles ( $l/d$ ) less than 15 their sizes are compatible with the size of the grille in the plan, and such pile foundations are better to be considered as the only ground-pile massif.*

*With an increase in the axial distance between the piles, the fraction of the load borne by the rafter increases as the area of contact of the plate of the rakeholder with the ground mass increases; when increasing the value of the reduced length of the piles load, which perceives the grill, decreases, and the piles take on a large proportion of the load.*

*The use of the obtained dependencies during calculations will allow to provide during the design saving of materials of piles up to 40%.*

*Keywords: columnar pile foundation, soil foundation, pile, grill, load redistribution, degree of implementation of the bearing capacity of the pile.*

**Blashchuk Natalya Viktorivna** – Ph.D., assistant professor of building, urban planning and architecture Vinnitsia National Technical University.

**Maevska Irina Viktorivna** – Ph.D., assistant professor of building, urban planning and architecture Vinnitsia National Technical University.

**Popovich Mykola Mykolajovych** – Ph.D., assistant professor of building, urban planning and architecture Vinnitsia National Technical University.

**Н. В. Блащук**

**І. В. Маєвська**

**М. М. Попович**

## ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СТОЛБЧАТЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Винницкий национальный технический университет

*Выполнено физическое (на мелкомасштабных моделях) и математическое моделирование столбчатого свайного фундамента с различными геометрическими параметрами и в различных почвах.*

*Установлено, что перераспределение нагрузки между сваями фундамента зависит от этапа нагрузки и жесткости ростверка. По мере роста нагрузки на куст усредненная нагрузка на сваю в составе фундамента растет и для свайных фундаментов в песчаных почвах превышает несущую способность одиночной сваи. На начальных этапах загрузки при жестких ростверках большие усилия воспринимают угловые сваи, меньше всего - центральные, при дальнейшем увеличении нагрузки и приближении его к предельному значению возникает перераспределение усилий с угловых и крайних свай на центральную вследствие исчерпания несущей способности угловых свай. Для гибких ростверков нагрузки между сваями группы сначала распределяются равномерно, а по мере роста нагрузки наибольшее усилие берет на себя центральная свая.*

*Степень реализации несущей способности сваи в составе свайного фундамента зависит от относительной длины и шага свай. Реализация несущей способности свай в составе фундамента повышается с увеличением*



шага свай и с увеличением их относительной длины. При относительной длине свай ( $l/d$ ) меньше 15 их размеры соизмеримы с размерами ростверков в плане и такие свайные фундаменты лучше рассматривать как единый грунто-свайный массив.

При увеличении осевого расстояния между сваями доля нагрузки, которую берет на себя ростверк, увеличивается, так как увеличивается площадь контакта плиты ростверка с грунтовым массивом; при увеличении значения приведенной длины свай нагрузка, воспринимает ростверк, уменьшается, а сваи берут на себя большую долю нагрузки.

Использование полученных зависимостей при расчетах позволит обеспечить при проектировании экономию материалов свай на величину до 40%.

Ключевые слова: столбчатый свайный фундамент, грунтовое основание, сваи, ростверк, перераспределение нагрузки, степень реализации несущей способности свай.

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

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

**Попович Николай Николаевич** – к.т.н., доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры Винницкого национального технического университета.