Ефективність використання ростверку підвищеної площі у складі стовпчастого пальового фундаменту

Ірина МАЄВСЬКА[1], Наталя БЛАЩУК[2], Олександр ШМУНДЯК[3]

Вінницький національний технічний університет
95, Хмельницьке шосе, Вінниця, Україна, 21000,
[1] irina.mayevskaja@gmail.com, orcid.org/ 0000-0001-5999-6824
[2] blaschuk@vntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9764-0271
3 shmund@ukr.net, https://orcid.org/0009-0005-4025-873X

DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.7-21

Анотація. В даній роботі пропонується використати ідею комплексного фундаменту, що використовується для плитних ростверків, для стовпчастого пальового фундаменту. При масовому проєктуванні, визначивши потрібну кількість паль, виходячи тільки з їх несучої здатності, намагаються розмістити їх в кущі якомога компактніше, щоб скоротити витрати на ростверк, робота якого не враховується. Якщо розмістити палі на значній відстані одна від одної або компактно розмістити їх під колоною, але розміри ростверку прийняти доволі значними, це може компенсувати незначну кількість паль включенням у роботу ростверку.

Виконане математичне моделювання роботи пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK. Проведене дослідження реалізації роботи пальового фундаменту з ґрунтовою основою в залежності від розміру ростверку, довжини, кількості, розміщення паль в ростверку та ґрунтових умов. Дослідженнями розглядається однорідний піщаний та глинистий ґрунт основи. Показане, що в випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундаменту в цілому, а також окремих його елементів підвищується. З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундаменту. Відомо, що паля є значно більш дорогою конструкцією, ніж ростверк, тому зменшення кількості паль при збільшенні габаритів ростверку в цілому може призвести до більш економічного рішення.

Проведення математичного моделювання роботи пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу SOFiSTiK підтвердило основні висновки щодо розподілу зусиль між елементами пальового фундаменту, одержані раніше за допомогою фізичного моделювання на маломасштаб-



Ірина МАЄВСЬКА
доцент кафедри
будівництва, міського господарства
та архітектури
к.т.н., доц.



Наталя БЛАЩУК
доцент кафедри
будівництва, міського господарства
та архітектури
к.т.н., доц.



Олександр ШМУНДЯК
аспірант кафедри
будівництва, міського господарства
та архітектури

них моделях та за допомогою програмного комплексу «Plaxis 3D Foundation».

Ключові слова. Стовпчастий пальовий фундамент, ростверк підвищеної площі, забивна паля, перерозподіл навантажень, ступінь реалізації несучої здатності, комплексний пальовий фундамент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Пальовий фундамент зазвичай складається з трьох компонентів: ростверк, палі і грунтове середовище (Muhammad Rehan Hakro and others, 2022; Burland J. and others, 1985; Ali M and others, 2020; Mandolini, A. and others, 2013). Призначення паль крім сприйняття навантаження – зменшення осідання споруди. Відносна жорсткість компонентів пальового фундаменту визначає характер розподілу навантаження між ними. Численні дослідження дозволили одержати більш глибоке уявлення про складність умов роботи пальового фундаменту, коли змінними є умови навантаження, відносна довжина паль (L/D), їх кількість, відстань між ними, піддатливість ґрунту і жорсткість ростверку.

Включення в роботу з грунтом низького ростверку часто визначає ефективність роботи фундаменту в цілому. Однак, впровадження фундаментів з несучим ростверком у будівництво стримується недостатньою кількістю теоретичних досліджень, відсутністю необхідної нормативної бази та обмеженим досвідом проєктування таких конструкцій.

На теперішній час серед проєктувальників і будівельників набуло популярності використання комбінованих плитно-пальових фундаментів (Кріпак В., 2023). Це конструктивне рішення вважається одним з найбільш ефективних розробок в галузі фундаментобудування останнього десятиліття. Комбінований плитно-пальовий фундамент (КППФ) відрізняється тим, що в системі «пальове поле – плитний ростверк – грунтова основа» частину навантаження від будівлі сприймають палі, а частину – плитний ростверк. Плитний ростверк працює в даному випадку як фундаментна плита, підкріплена палями. Через урахування опору ґрунту під підошвою плитного ростверку в роботі комбінованих плитно-пальових фундаментів реалізується резерв їх економічної ефективності: зменшення кількості паль, зниження витрат арматури сталі, зменшення товщини ростверку.

В Україні дослідженню роботи плитно-пальових фундаментів присвячені роботи (Кріпак В. та ін., 1997; Цимбал С. Й та ін., 2004; Седін В Л. Та ін., 2013; Петренко В. Д. та ін., 2021; Самородов О. В., 2015; Самородов О. В., 2016; Самородов О. та ін., 2023). Відомі як експериментальні дослідження роботи таких фундаментів, так і практичне впровадження їх в реальному будівництві. Комбіновані пальово-плитні фундаменти пропонуються і у роботах зарубіжних дослідників (Ana Cláudia Frade de Faria, 2017; Katzenbach R and others,2013; Katzenbach R., 2009; Balakumar V and others, 2021; Wang Y., 2016).

Ідея розрідженого розміщення паль у складі кущових пальових фундаментів подається у ряді робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Зазвичай у цих роботах розглядаються конкретні приклади розміщення різної кількості паль у межах ростверка певних розмірів, причому як правило, ці ростверки мають значні розміри (розраховані на кількість паль 16 – 25 шт. при стандартному кроці 3d).

Так, у роботах Elwakil A. Z., Azzam W. R. (Elwakil A. Z. and others, 2016), Lua Thi Hoang, Tatsunori Matsumoto (Lua Thi Hoang and others, 2020), Irfan Jamil et al. (Irfan Jamil and others, 2022) , Mostafa Elsawwaf et al. (Mostafa Elsawwaf and others, 2022) наводяться результати фізичного моделювання стовпчастого пальового фундаменту з різною кількістю паль (4-25 шт.) різної довжини при сталих розмірах ростверку. В результаті проведених досліджень зроблений висновок, що по мірі зменшення довжини паль і їх кількості навантаження, яке сприймає ростверк, збільшується.

За результатами, одержаним всіма дослідниками, збільшення несучої здатності пальового фундаменту відбувається непро-

порційно збільшенню кількості паль. Отже, при меншій кількості паль ефективно використовується ростверк, що підтверджує можливість використання ідеї комплексного фундаменту для пальових кущів.

Дослідження питання підвищення ефективності стовпчастих пальових фундаментів проводилось і математичними методами, наприклад Fekadu Melese (Fekadu Melese, 2022), Mostafa Elsawwaf et al. (Mostafa Elsawwaf and others, 2022) та ін. Концепція проєктування полягає у зменшення кількості паль за рахунок використання роботи ґрунту під ростверком.

Якщо проаналізувати навантаження на фундамент при однакових осіданнях, то збільшення кількості паль призводить до збільшення навантаження, яке сприймає фундамент, але у значно меншій степені, ніж можна було очікувати.

Над питаннями розподілу зусиль між елементами пальового фундаменту працюють науковці кафедри БМГА ВНТУ. Зокрема у статях (Маєвська І. В. та ін., 2023; Маєвська І. В. та ін., 2022; Маєвська І. В та ін., 2021) висвітлені результати досліджень стовпчастих пальових фундаментів, зокрема за умови зменшення кількості паль у межах сталого розміру ростверку. Проводилось фізичне моделювання пальових кущів з 9 паль та математичне моделювання у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation.

Врахування спільної роботи всіх елементів пальового фундаменту може підвисити ефективність і надійність проєктних рішень з використанням достовірного внеску окремих елементів пальового фундаменту у загальну несучу здатність, тому тема дослідження є актуальною і має практичне значення.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження ефективності використання ростверків підвищеної площі у складі стовпчастих пальових фундаментів за допомогою математичного моделювання просторової роботи пальового фундаменту в грунтовому середовищі з використанням ПК SOFiSTiK, що ґрунтується на методі скінченних елементів (МСЕ).

Була поставлена задача виявити влив геометричних чинників на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундаменту із зниженою кількістю паль та підвищеною площею ростверку.

Крім геометричних параметрів паль досліджувався вплив таких параметрів: характер розміщення паль в плані, фізико-механічні характеристики ґрунтів основи на ефективність роботи елементів пальового фундаменту.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведене дослідження реалізації роботи пальового фундаменту з ґрунтовою основою в залежності від розмірів ростверку, довжини, кількості паль, їх розміщення у ростверку та ґрунтових умов з використанням ПК SOFiSTiK (Маєвська І. В та ін., 2024). Дослідженнями розглядається однорідний піщаний та глинистий ґрунт основи.

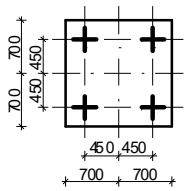
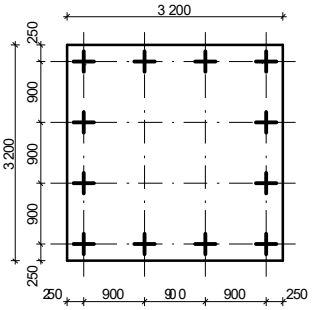
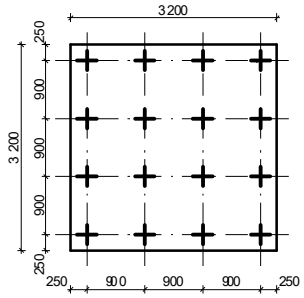
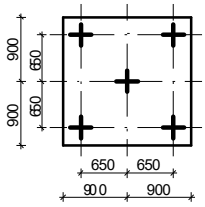
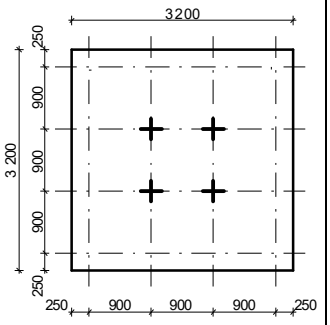
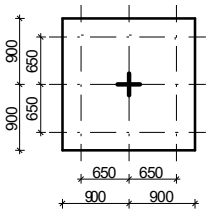
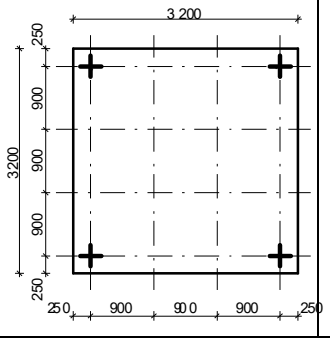
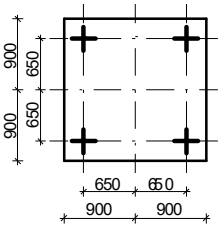
При математичному моделюванні за початкову експериментальну модель нового пальового фундаменту були прийняті такі параметри:

- модель ґрунту – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель пальового фундаменту під колону – ростверк товщиною 0,7 м з підколонником розмірами в плані 0,5х0,5 м і забивні палі із бетону С20/25 (В25) поперечного перерізу 0,3 х 0,3 м;
- палі довжиною 3,0 м;
- палі довжиною 10,0 м.

Варіювання кількістю паль і розмірами ростверку в плані здійснюється згідно з табл. 1. Кожна група дослідів повторюється двічі: для основи з піщаного ґрунту і для основи з глинистого ґрунту.

Моделювання сумісної роботи ростверку і паль виконане на однорідній піщаній та глинистій основі. Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, $\gamma = 18{,}6$ кН/м^3, $e = 0{,}67$, $c = 2$ кПа, $\varphi = 32°$, $E = 28$ МПа. Характеристики глинистого ґрунту: суглинок, $\gamma = 18{,}5$ кН/м^3, $e = 0{,}75$, $c = 23$ кПа, $\varphi = 21°$, $E = 14$ МПа.

Табл. 1. Програма математичного моделювання роботи пальового фундаменту
Tabl. 1. Mathematical modeling program for pile foundation work

Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль	Група дослідів	Довжина та поперечний розмір паль	Крок і кількість паль
1	L = 3 м, d = 0,3 м		5	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м			L = 10 м, d = 0,3 м	
2	L = 3 м, d = 0,3 м		6	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м			L = 10 м, d = 0,3 м	
3	L = 3 м, d = 0,3 м		7	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м			L = 10 м, d = 0,3 м	
4	L = 3 м, d = 0,3 м		8	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, = 0,3 м			L = 10 м, d = 0,3 м	

Додатково до програми моделювання включені такі дослідження:

- моделювання роботи одиночних паль довжиною 3 та 10 м у відповідних ґрунтах;
- моделювання роботи ростверків відповідних розмірів як фундаменту мілкого закладання у відповідних ґрунтах.

Навантаження на фундамент передається у вигляді зосередженої сили, прикладеної до підколонику (рис. 1).

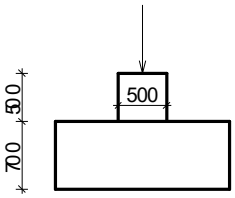


Рис. 1. Схема прикладання навантаження на ростверк

Fig. 1. Scheme of load application to the grillage

Програмний комплекс дозволяє одержати залежності навантаження-осідання, величини зусиль у палях, розподіл напружень і осідань по підошві ростверку.

Розміри змодельованого ґрунтового масиву для максимального зменшення впливу крайових ефектів на осідання палі прийняті в плані 20х20 м, та завтовшки 20 м.

Побудовані моделі стовпчастого пальового фундаменту зображені на рисунку 2.

Величина навантаження на моделі збільшувалась до тих пір, поки величина осідання не становила більше 40 мм.

На рис. 3, 4 для прикладу зображені результати моделювання фундаменту з 16 паль з розмірами ростверку 3,2х3,2 м (група дослідів 2) для паль довжиною 10 м при навантаженні на кущ 1000 кН.

З рисунку3 видно, що найбільше осідання спостерігається посередині ростверку, оскільки до нього прикладене зосереджене навантаження від колони. Відповідно найбільші напруження під підошвою ростверку спостерігаються по його периметру. Зусилля в палях розподіляються нерівномірно: найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. Одержані результати з визначення напружено-деформованого стану відповідають відомим результатам попередніх дослідників (Маєвська І. В та ін., 2023).

Одержані графіки осідання-навантаження мають практично лінійний характер. В зв’язку з цим аналіз результатів розрахунків виконувався в межах навантаження на палю на межі пропорційності, ре (ДБНВ.2.1–10:2009, 2012). Для визначення цієї межі попередньо були виконані ручні розрахунки несучої здатності і осідань паль у відповідних грунтах. Результати розрахунків показали, лінійний характер залежності осідання-навантаження можна очікувати в межах навантаження, при якому осідання групи паль не перевищує 40 мм.

За несучу здатність одиночної палі також приймались значення навантаження, що призвело до деформації 40 мм (критерій втрати несучої здатності при польових випробуваннях паль (ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94), 1996).

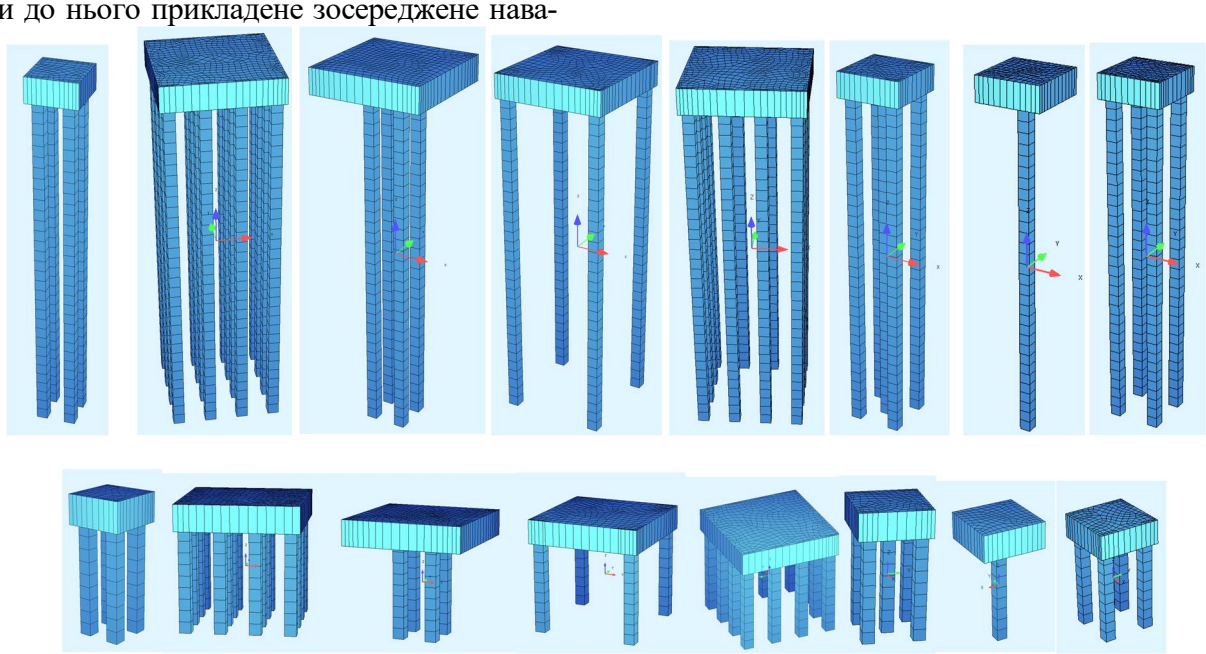


Рис. 2. Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту при довжині паль 10 та 3 м

Fig. 2. Design models of columnar pile foundations with pile lengths of 10 and 3 m

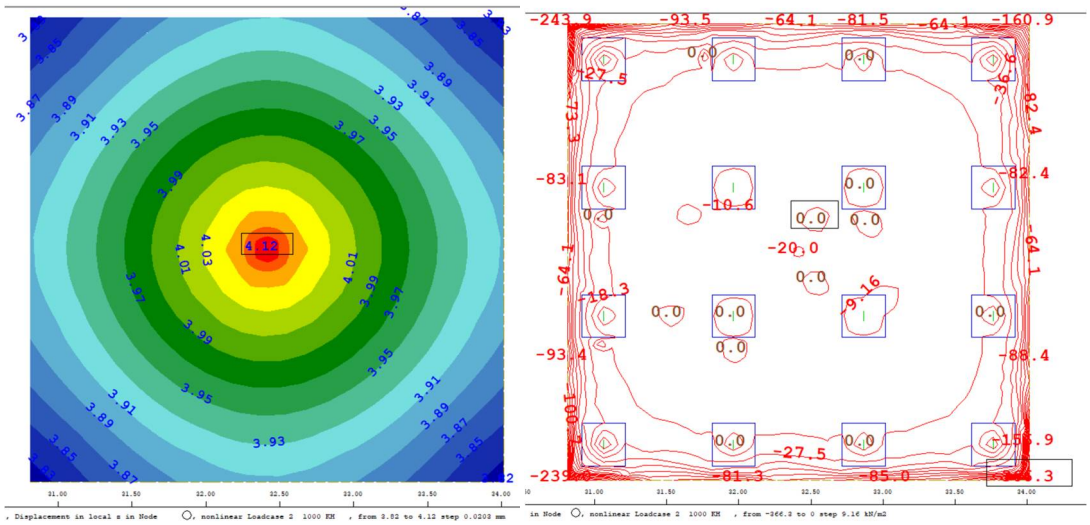


Рис. 3. Осідання ростверку та напруження під підошвою ростверку
Fig. 3. Settlement of the grillage and stresses under the grillage sole

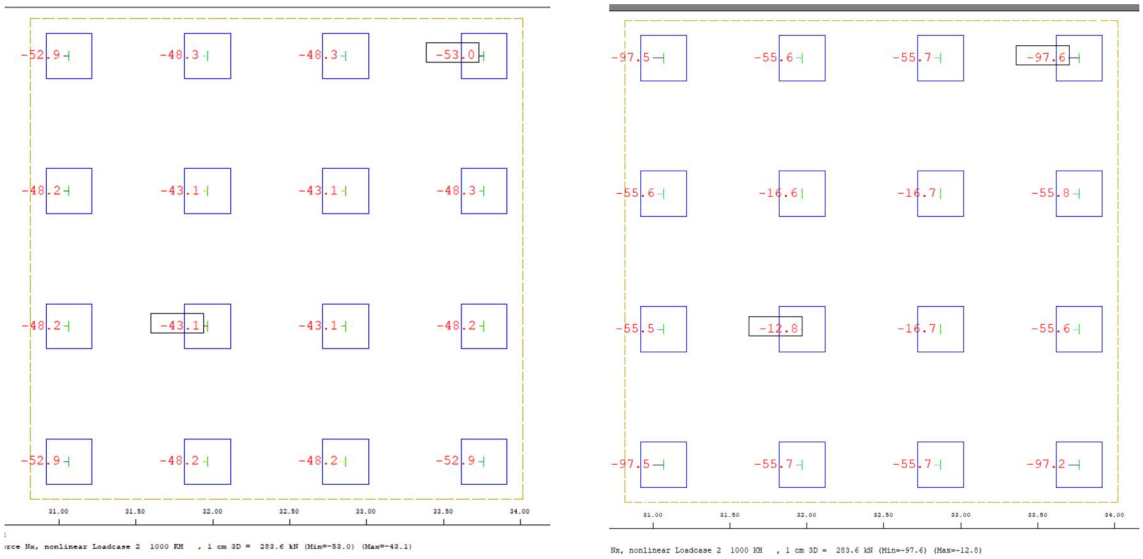


Рис. 4. Розподіл зусиль між палями для піщаного грунту та для глинистого грунту
Fig. 4. Force distribution between piles for sandy soil and clay soil

Для детального аналізу було визначене навантаження на групу паль за результатами моделювання в SOFiSTiK при осіданні 40 мм. Крім загального навантаження на кущ визначались такі параметри:

- осереднене навантаження на палю фундаменту;
- сума зусиль, які сприймають палі в групі;
- навантаження, що сприймається ростверком;
- величина кущового ефекту (відношення навантаження на кущ до суми несучих здатностей одиночних паль);
- частка навантаження, яка сприймається ростверком;
- ступінь реалізації несучої здатності паль (відношення осередненого навантаження на палю фундаменту до несучої здатності одиночної палі); ступінь реалізації несучої здатності ростверку (відношення навантаження, яке сприймає ростверк у складі фундаменту, до навантаження, яке сприймає ростверк як фундамент мілкого закладання при такому ж значенні осідання).

Визначались також значення сумарної несучої здатності паль як одиночних, та несучої здатності ростверку як фундаменту мілкого закладання при такому ж осіданні. Результати моделювання наведені в таблицях 2 та 3.

Табл. 2. Порівняння роботи пальового фундаменту у піщаному ґрунті з роботою його окремих елементів при осіданні куща s = 40,0 мм
Tabl. 2. Comparison of pile foundation performance in sandy soil with the performance of its individual elements at bush settlement s = 40.0 mm

Довжина паль, мм	№ схеми	Розміри ростверку,	Кількість паль в кущі, шт	При роботі кожного з елементів як окремого				При роботі у складі фундаменту							
				Несуча здатність одиночної палі, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається плитою ростверку без паль, кН	Навантаження на кущ, як сума окремих елементів кН	Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН	Сума зусиль в палях куща, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Навантаження на кущ, кН	Кущовий ефект	Частка ростверку, %	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
3 м	1	1,4×1,4	4	560	2240	2000	4240	494,0	1976	464	2440	1,09	23,2	0,882	0,232
	2	3,2×3,2	16		8960	4700	13660	261,7	4187	2353	6540	0,73	36,0	0,467	0,501
	3	3,2×3,2	4		2240	4700	6940	361,0	1444	3586	5030	2,24	71,3	0,645	0,763
	4	3,2×3,2	4		2240	4700	6940	492,0	1968	3567	5530	2,47	64,5	0,879	0.759
	5	3,2×3,2	12		6720	4700	11420	310,6	3730	2520	6250	0,93	40,3	0,555	0,536
	6	1,8×1,8	5		2800	2600	5400	460,2	2301	1699	4000	1,43	42,5	0,822	0,653
	7	1,8×1,8	1		560	2600	3160	634,0	634,0	2156	2790	4,98	77,3	1,130	0,829
	8	1,8×1,8	4		2240	2600	4840	516,0	2065	1700	3765	1,68	45,2	0,921	0,654
10 м	1	1,4×1,4	4	1000	4000	2000	6000	594,0	2376	1624	4000	1,00	40,6	0,590	0,812
	2	3,2×3,2	16		16000	4700	20700	348,7	5579	3281	8860	0,55	37,0	0,348	0,698
	3	3,2×3,2	4		4000	4700	8700	549,0	2196	3804	6000	1,50	63,4	0,549	0,845
	4	3,2×3,2	4		4000	4700	8700	675,0	2700	3940	6640	1,66	59,4	0,675	0,839
	5	3,2×3,2	12		12000	4700	16700	426,2	5113	3237	8350	0,70	38,8	0,426	0,689
	6	1,8×1,8	5		5000	2600	7600	578,3	2890	1980	4870	0,97	40,7	0,578	0,761
	7	1,8×1,8	1		1000	2600	3600	808,0	808,0	2277	3085	3,09	73,9	0,808	0,876
	8	1,8×1,8	4		4000	2600	6600	640,0	2560	2040	4600	1,15	44,3	0,640	0,784

Табл. 3. Порівняння роботи пальового фундаменту у глинистому ґрунті з роботою його окремих елементів при осіданні куща s = 40,0 мм
Tabl. 3. Comparison of the performance of a pile foundation in clay soil with the performance of its individual elements at a bush settlement of s = 40.0 mm

Довжина паль, мм	№ схеми	Розміри ростверку, м	Кількість паль в кущі, шт	При роботі кожного з елементів як окремого				При роботі у складі фундаменту							
				Несуча здатність одиночної палі, кН	Сума зусиль в палях, кН	Навантаження, що сприймається плитою ростверку без паль, кН	Навантаження на кущ, як сума окремих елементів, кН	Осереднене навантаження на палю фундаменту, кН	Сума зусиль в палях куща, кН	Навантаження, що сприймається ростверком, кН	Навантаження на кущ, кН	Кущовий ефект	Частка ростверку, %	Ступінь реалізації несучої здатності паль	Ступінь реалізації несучої здатності ростверку
3 м	1	1,4×1,4	4	470	1880	1000	2880	286,0	1142	378	1520	0,81	24,9	0,609	0,378
	2	3,2×3,2	16		7520	2340	9860	164,1	2624	787	3410	0,45	23,1	0,349	0,336
	3	3,2×3,2	4		1880	2340	4220	223,0	893	1657	2550	1,36	65,0	0,474	0,708
	4	3,2×3,2	4		1880	2340	4220	294,0	1180	1650	2830	1,50	58,3	0,626	0,705
	5	3,2×3,2	12		5640	2340	7980	202,7	2432	964	3400	0,60	28,4	0,431	0,412
	6	1,8×1,8	5		2350	1300	3650	264,2	1321	679	2000	0,85	34,0	0,562	0,526
	7	1,8×1,8	1		470	1300	1770	364,0	368,0	1048	1420	3,02	73,8	0,783	0,806
	8	1,8×1,8	4		1880	1300	3180	300,0	1200	743	1943	1,03	38,3	0,638	0,571
10 м	1	1,4×1,4	4	620	2480	1000	3480	470,0	1880	639	2520	1,02	25,4	0,758	0,639
	2	3,2×3,2	16		9920	2340	12260	323,2	5170	611	5780	0,58	10,6	0,521	0,261
	3	3,2×3,2	4		2480	2340	4820	456,0	1824	1644	3470	1,40	47,4	0,735	0,703
	4	3,2×3,2	4		2480	2340	4820	519,0	2076	1691	3770	1,12	44,9	0,837	0,723
	5	3,2×3,2	12		7440	2340	9780	368,5	4422	918	5340	0,72	17,2	0,594	0,392
	6	1,8×1,8	5		3100	1300	4400	451,0	2255	745	3000	0,97	24,8	0,727	0,573
	7	1,8×1,8	1		620	1300	1920	605,0	605,0	1082	1690	2,72	64,0	0,976	0,832
	8	1,8×1,8	4		2480	1300	3780	505,0	2020	791	2810	1,13	28,1	0,815	0,609

Частка ростверку у несучій здатності фундаменту несуттєво збільшується по мірі зростання навантаження. Ступінь реалізації ростверку також змінюється дуже незначно. Ростверк включається у роботу при певному значенні осідання, але потенційна можливість ростверку сприймати навантаження реалізується не повністю і після перших етапів навантаження залишається сталою.

На підставі результатів розрахунків можна дослідити також процес розподілу навантаження між палями фундаментів. В кущах з 4 паль (групи дослідів 1, 3, 4, 8) навантаження розподіляються між палями рівномірно. В кущах з 16 паль (група дослідів 2) на початкових етапах навантаження кутові палі довжиною 10 м сприймають на 20% більше навантаження, ніж центральні та крайні в середині ряду для піщаних ґрунтів і в 5 разів більше для глинистих. Зі збільшенням навантаження на фундамент і зростанням осідань доля центральної палі зменшується (різниця між кутовими і центральними палями складає 30% як для піщаних, так і для глинистих ґрунтів). Кутові палі довжиною 3 м сприймають на 60% більше навантаження ніж центральні для піщаних ґрунтів і в 4 рази більше для глинистих. Зі збільшенням навантаження на фундамент доля центральної палі зменшується (різниця між кутовими і центральними палями складає 70% як для піщаних, так і для глинистих ґрунтів). Отже, нерівномірність розподілу навантажень між палями групи при коротких палях значно більша.

В кущах з 5 паль (група дослідів 6) нерівномірність розподілу зусиль між кутовими та центральною палею складає від 11 до 20%.

На рис. 5 та 6 наведена залежність загального навантаження на кущ від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль. На рис. 5 залежності побудовані для кущів з площею ростверку 3,2×3,2 = 10,24 м^2, а на рис. 6 для кущів з площею ростверку 1,8×1,8 = 3,24 м^2. Таким чином залежності побудовані виходячи з компонування кущів при постійних розмірах ростверку.

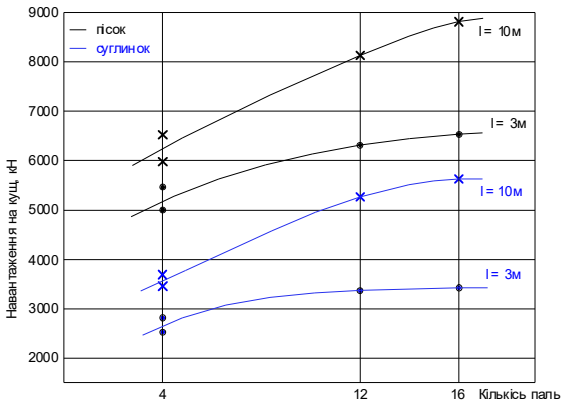


Рис. 5. Графіки залежності навантаження на кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^2 від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 5. Graphs of the load on a bush with a grillage of 3.2 × 3.2 = 10.24 m2 on the number of piles in the group and the type of soil at different pile lengths

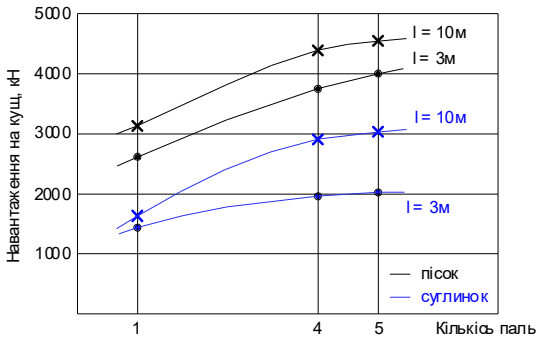


Рис. 6. Графіки залежності навантаження на кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 6. Graphs of the load on a bush with a grillage of 1.8 × 1.8 = 3.24 m2 on the number of piles in the group and the type of soil at different pile lengths

З рисунків видно, що зменшення кількості паль у 4-5 разів у межах постійної площі ростверку призводить до зменшення навантаження, яке сприймає кущ, лише у 1,23-1,54 разів для триметрових паль і у 1,37-1,76 разів для десятиметрових. Це свідчить про більш ефективне використання паль при застосуванні комбінованого варіанта пальового фундаменту. При цьому більший ефект виникає для коротких паль. З графіків також можна зробити висновок, що для глинистого, більш піддатливого ґрунту,

ефективність зменшення кількості паль дещо менша.

На рис. 7 наведена залежність загального навантаження на кущ від площі ростверку та виду ґрунту при різній довжині паль за умови сталої кількості паль в групі 4 шт.

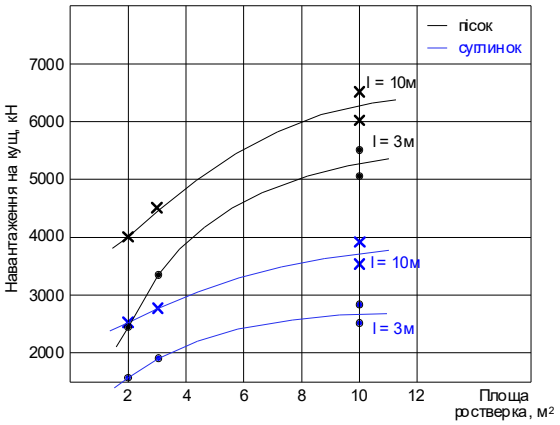


Рис. 7. Графіки залежності навантаження на кущ з 4 паль від площі ростверку та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 7. Diagrams of the load on a 4-pile bush depending on the grillage area and soil type at different pile lengths

Графіки рис. 7 показують, що за рахунок збільшення площі ростверку можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 рази (для коротких паль цей ефект більший, він також більший для піщаного ґрунту).

Програма дослідження дозволила також проаналізувати характер розміщення паль комбінованого фундаменту в межах ростверку:

- варіанти розміщення паль в середині куща (під місцем прикладання навантаження (групи дослідів 3 та 7);
- варіанти розміщення паль по периметру куща (групи дослідів 4, 5 та 8).

Аналіз результатів моделювання (табл. 2, 3 та рис. 5 – 7) показує більшу ефективність розміщення паль у комбінованому фундаменті по периметру куща.

В таблицях 2, 3 та на рис. 7 – 9 наведений вплив розмірів ростверку, довжини та кількості паль та виду ґрунту на частку ростверку у навантаженні, яке сприймає фундамент.

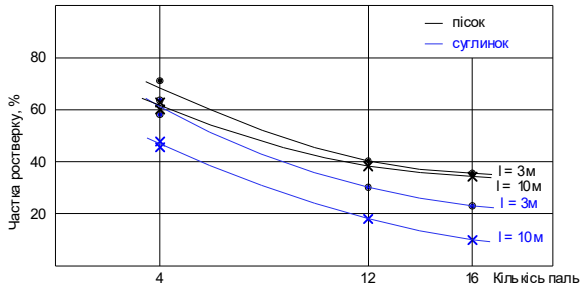


Рис. 7. Графіки залежності частки ростверку у навантаженні на кущ з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м2від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 7. Graphs of the share of grillage in the load on a bush with grillage of 3.2 × 3.2 = 10.24 m2 versus the number of piles in the group and the type of soil at different

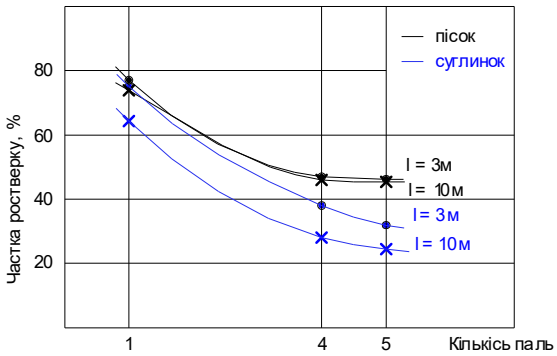


Рис. 8. Графіки залежності частки ростверку у навантаженні на кущ з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м2від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 8. Graphs of the share of grillage in the load on a bush with grillage 1.8 × 1.8 = 3.24 m2 on the number of piles in the group and the type of soil at different

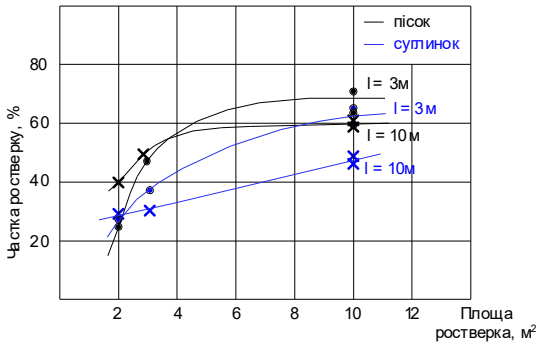


Рис. 9. Графіки залежності частки ростверку у навантаженні на кущ з 4 паль від площі ростверку та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 9. Graphs of the share of grillage in the load on a 4-pile bush as a function of grillage area and soil type at different pile lengths

Як бачимо частка ростверку у несучій здатності фундаменту тим менше, чим більше кількість паль при постійному розмірі ростверку. Довжина паль впливає на частку ростверку несуттєво. Для піщаних ґрунтів частка ростверку дещо більша, ніж для глинистих.

При незмінній кількості паль збільшення площі ростверку призводить до збільшення його частки у навантаженні на кущ, досягаючи доволі великих значень 50-70%.

Маючи навантаження на ростверк в групі і несучу здатність ростверку як фундаменту мілкого закладання, а також несучу здатність одиночної палі і середнє навантаження на палю в групі, можна проаналізувати ступінь реалізації несучої здатності окремих елементів пальового фундаменту.

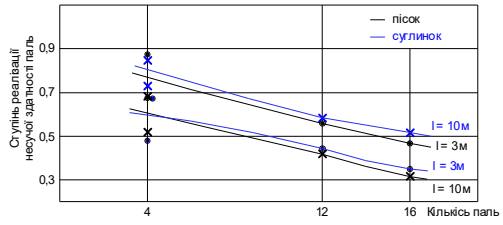


Рис. 10. Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^2 від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 10. Graphs of the degree of realization of the bearing capacity of piles in a bush with a grillage of 3.2 × 3.2 = 10.24 m2 as a function of the number of piles in the group and soil type at different pile lengths

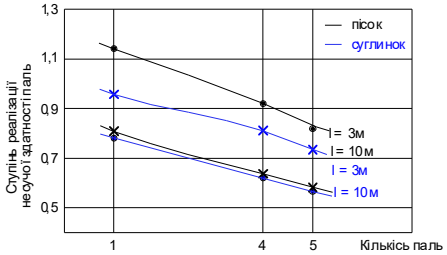


Рис. 11. Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^2 від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 11. Graphs of the degree of realization of the bearing capacity of piles in a bush with a grillage of 1.8 × 1.8 = 3.24 m2 on the number of piles in the group and the type of soil at different pile lengths

У таблицях 2, 3 та на рис. 10 – 15 наведена залежність ступеню реалізації несучої здатності ростверку і паль у складі пальового фундаменту.

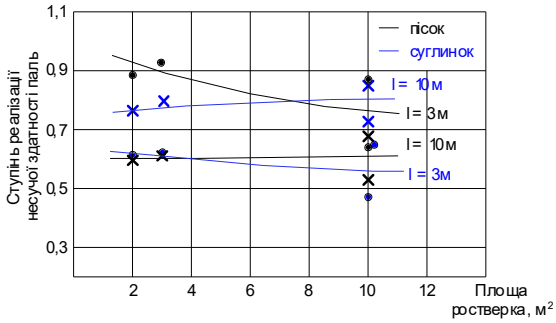


Рис. 12. Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності паль у кущі з 4 паль від площі ростверку та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 12. Graphs of the degree of realization of the bearing capacity of piles in a 4-pile cluster on the grillage area and soil type at different pile lengths

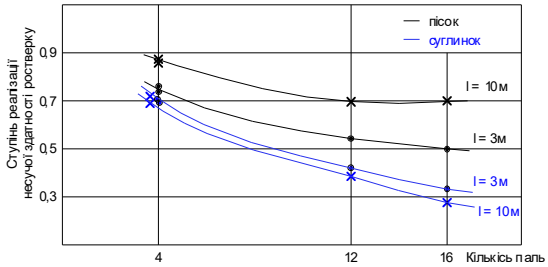


Рис. 13. Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком 3,2×3,2 = 10,24 м^2 від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 13. Graphs of the degree of realization of the bearing capacity of the grillage in a bush with a grillage of 3.2 × 3.2 = 10.24 m2 on the number of piles in the group and the type of soil at different pile lengths

Як бачимо з таблиць і рисунків, із збільшенням кількості паль у групі при сталих розмірах ростверку гірше реалізують себе як палі, так і ростверк.

При великій кількості паль ступінь реалізації їх несучої здатності коливається в діапазоні 0,3-0,6, при незначній кількості відповідно в діапазоні 0,5-1,1. Довжина паль впливає на реалізацію їх несучої здатності неоднозначно. В глинистих ґрунтах краще реалізують себе довгі палі, а в піщаних ґрунтах – короткі. При сталій кількості паль площа ростверку мало впливає на реалізацію їх несучої здатності.

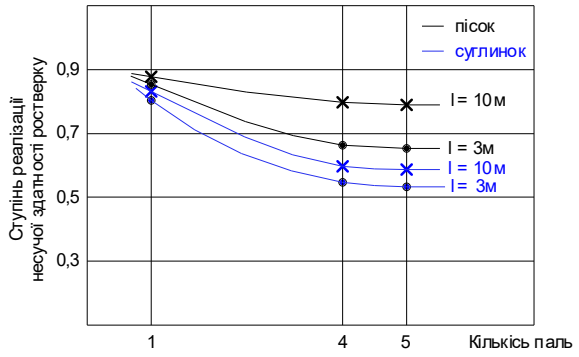


Рис. 14. Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з ростверком 1,8×1,8 = 3,24 м^{2}від кількості паль в групі та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 14. Graphs of the degree of realization of the bearing capacity of the grillage in a bush with a grillage of 1.8 × 1.8 = 3.24 m^2 on the number of piles in the group and the type of soil at different pile lengths

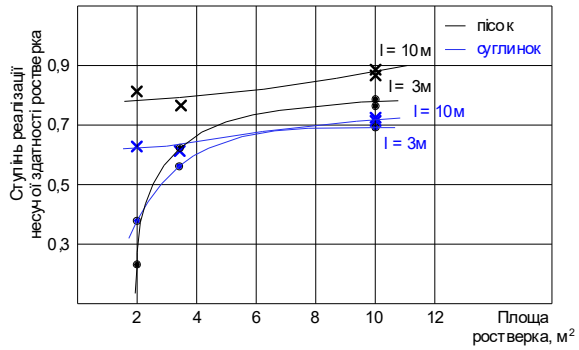


Рис. 15. Графіки залежності ступеня реалізації несучої здатності ростверку у кущі з 4 паль від площі ростверку та виду ґрунту при різній довжині паль

Fig. 15. Graphs of the degree of realization of the bearing capacity of the grillage in a 4-pile cluster on the grillage area and soil type at different pile lengths

Ступінь реалізації тиску під ростверком знаходиться в межах 0,2-0,85. При сталих розмірах ростверку основними чинниками, що впливають на ступінь реалізації його несучої здатності, є кількість паль і вид ґрунту. Збільшення кількості паль, яке призводить до збільшення компактності їх розміщення, спричинює неповне використання роботи ростверку. Так, при традиційному компактному розміщенні паль (групи дослідів 1, 2, 6) ступінь реалізації несучої здатності ростверку коливається в діапазоні 0,2-0,75, тоді як при розрідженому їх розміщенні в комбінованому фундаменті цей діапазон 0,65-0,85. В глинистих ґрунтах ступінь реалізації тиску під ростверком нижче, ніж в піщаних.

При сталій кількості паль збільшення площі ростверку суттєво збільшує реалізацію його несучої здатності.

Аналіз результатів показує, що в випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундаменту в цілому, а також окремих його елементів підвищується.

Таким чином з метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундаменту.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. В випадку застосування комплексних пальових фундаментів з розрідженим розміщенням паль і збільшеною площею ростверку ефективність роботи фундаменту в цілому, а також окремих його елементів підвищується.

2. Зменшення кількості паль у 4-5 разів у межах постійної площі ростверку призводить до зменшення навантаження, яке сприймає кущ, лише у 1,23-1,54 разів для триметрових паль і у 1,37-1,76 разів для десятиметрових. Це свідчить про більш ефективне використання паль при застосуванні комбінованого варіанта пальового фундаменту.

3. За рахунок збільшення площі ростверку можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 рази (для коротких паль цей ефект більший, він також більший для піщаного ґрунту у порівнянні з глинистим).

4. При незмінній кількості паль збільшення площі ростверку призводить до збільшення його частки у навантаженні на кущ, досягаючи доволі великих значень 50-70%.

5. Аналіз результатів моделювання показує більшу ефективність розміщення паль у комбінованому фундаменті по периметру куща, ніж у його центральній частині.

6. При великій кількості паль ступінь реалізації їх несучої здатності коливається в діапазоні 0,3-0,6, при незначній кількості відповідно в діапазоні 0,5-1,1. Довжина паль впливає на реалізацію їх несучої здатності неоднозначно. В глинистих ґрунтах краще реалізують себе довгі палі, а в піщаних ґрунтах – короткі. При сталій кількості паль площа ростверку мало впливає на реалізацію їх несучої здатності.

7. При традиційному компактному розміщенні паль (групи дослідів 1, 2, 6) ступінь реалізації несучої здатності ростверку коливається в діапазоні 0,2-0,75, тоді як при розрідженому їх розміщенні в комбінованому фундаменті цей діапазон 0,65-0,85. В глинистих ґрунтах ступінь реалізації тиску під ростверком нижче, ніж в піщаних.

8. При сталій кількості паль збільшення площі ростверку суттєво збільшує реалізацію його несучої здатності.

З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундаменту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Zaheer Almani, Mujahid Ali, Fahid Aslam, Roman Fediuk, Sergey Klyuev, Alexander Klyuev, Linar Sabitov (2022). Numerical Analysis of Piled-Raft Foundations on Multi-Layer Soil Considering Settlement and Swelling. *Buildings, 12*. 1-23.
2. Burland, J., Burbidge, M., Wilson, E., Terzaghi, K. (1985). Settlement of Foundations on Sand and Gravel. *Proc. Inst. Civ. Eng. 78*. 1325–1381.
3. Ali, M., Abbas, S., Khan, M.I., Gad, M.A., Ammad, S., Khan, A. (2020). Experimental Validation of Mander's Model for Low Strength Confined Concrete Under Axial Compression. *In Proceedings of the 2020 Second International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs (51154)*. 1–6.
4. Mandolini, A., di Laora, R., Mascarucci, Y. (2013). Rational Design of Piled Raft. *Procedia Eng., 57.* 45–52.
5. Кріпак, В. (2023). Комплексний плитно-пальовий фундамент. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 1(13). 30-40.
6. Кріпак, В., Бакур Хасіб. (1997). Особливості розрахунку і проектування фундаментної системи «З/б плита-грунтова основа-палі». *Праці Міжнародної ювілейної конференції з питань надійності будівельних констр.* Полтава.
7. Цимбал, С. Й., Карцева, С. Л. (2004). Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку. *Основи і фундаменти, вип. 28*. 121-130.
8. Седін, В Л., Бікус, Е. М., Дюльдев, А. О., Мельник, А. М. (2013). Впровадження комбінованого плитно-палевого фундаменту в Україні на прикладі будівництва підземного паркінгу в м. Одеса. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 3(38). Т.2.* 321-329.
9. Петренко, В. Д., Крисан, В. І., Крисан, В. В., Чегодаєв, І. С. (2021). Досвід спорудження пальово-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах. *Збірник наукових праць «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика».* №19. 78-84.
10. Самородов, О. В. (2015). Метод оптимального проектування пальово-плитних фундаментів багатоповерхових будівель за гранично допустимими осіданнями. *Науковий вісник будівництва. Вип. 1(79).* 96-100.
11. Самородов, О. В. (2016). Нова конструкція плитно-пальового фундамента. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 1 (214).* 58-65.
12. Самородов, О., Табачніков, С., Дитюк, О., Бондар, О. (2023). Польові дослідження напруженого стану системи «грунтова основа – комбінований пальово-плитний фундамент» багатофункціонального комплексу у місті Харкові. *Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип.46.* 38-48.
13. Ana Cláudia Frade de Faria. (2017). Foundation solutions for large buildings using combined piled-raft foundations. *Engineering, Environmental Science.* 10 p.
14. Katzenbach, R., Choudhury, D. (2013). Combined Pile-Raft Foundation Guideline. *ISSMGE.* 23 p.
15. .Katzenbach, R., et al. (2009). Instrumentationand Monitoring of a Piled Raft Foundation on Soft Soil. *Proceedings of the 17th Inter-*

national Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 1850-1853.
16. Balakumar, V., Min. J. Huang, Erwin Oh, Nilan S. Jayasiri, Richard Hwang, Balasubramaniam, A. S. (2021). Piled Raft on Sandy Soil. *An Observational Study. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol. 52 No. 3.* 51-65.
17. Phung Duc. (2016). Long Prediction of Piled Raft Foundation Settlement. A Case Study. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol. 47 No. 1.* 1-6.
18. Wang, Y., et al. (2016). Experimental Study on the Stress State of Piled Raft Foundation sunder Different Loading Conditions. *Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering)*. 1345-1356.
19. Elwakil, A. Z., Azzam, W. R. (2016). Experimental and numerical study of piled raft system. *Alexandria Engineering Journal. Volume 55, Issue 1*. 547-560.
20. Lua Thi Hoang, Tatsunori Matsumoto. (2020). Long-term behavior of piled raft foundation models supported by jacked-in piles on saturated clay. *Soils and Foundations, 60 (2020).* 198–217.
21. Fekadu Melese. (2022). Improved Performance of Raft Foundation Using Detached Pile Columns in Loose Subsoil Conditions. *Advances in Civil Engineering. Volume 2022(11).* 18 p.
22. Irfan Jamil, Irshad Ahmad, Wali Ullah, Mahmood Ahmad, Mohanad Muayad Sabri Sabri, Ali Majdi. (2022). Experimental Study on Lateral and Vertical Capacity of Piled Raft and Pile Group System in Sandy Soil. *Applied Science. 2022, 12*. 2-18.
23. Mostafa Elsawwaf, Marwan Shahien, Ahmed Nasr, and Alaaeldin Magdy. (2022). The behavior of piled rafts in soft clay: Numerical investigation. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials 2022, 31*. 426–434.
24. Маєвська, І. В., Блащук, Н. В. (2023). *Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів.* Вінниця : ВНТУ.
25. Маєвська, І. В. Попович, М.М., Кремінська, Ю. О. (2022). Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту за результатами фізичного моделювання. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*, №2(33). 108-118.
26. Маєвська, І. В., Блащук, Н. В., Кремінська, Ю. О. Особливості роботи пальових кущів з коротких паль за даними числового моделювання. *Основи та фундаменти, вип.43.* 30-39.
27. Маєвська, І. В., Ганущак, Ю. В. (2024). Математичне моделювання роботи комплексного стовпчастого пальового фундаменту. *Збірник матеріалів LIII Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету.*https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20500/17070.
28. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009. (2012) [Чинний від 2012-07-01 до 2019.01.01]. К.: Мінрегіонбуд України.
29. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Метод польових випробувань палями. ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94). (1996) [Чинний від 1996-04-01]. К.: Мінрегіон України.

REFERENCES

1. Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Zaheer Almani, Mujahid Ali, Fahid Aslam, Roman Fediuk, Sergey Klyuev, Alexander Klyuev, Linar Sabitov (2022). Numerical Analysis of Piled-Raft Foundations on Multi-Layer Soil Considering Settlement and Swelling. *Buildings, 12*. 1-23. [in English].
2. Burland, J., Burbidge, M., Wilson, E., Terzaghi, K. (1985). Settlement of Foundations on Sand and Gravel. Proc. Inst. Civ. Eng. 78. 1325–1381. [in English].
3. Ali, M., Abbas, S., Khan, M.I., Gad, M.A., Ammad, S., Khan, A. (2020). Experimental Validation of Mander's Model for Low Strength Confined Concrete Under Axial Compression. In Proceedings of the 2020 Second International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs (51154). 1–6. [in English].
4. Mandolini, A., di Laora, R., Mascarucci, Y. (2013). Rational Design of Piled Raft. Procedia Eng., 57. 45–52. [in English].
5. Kripak, V. (2023). Kompleksnyi plytno-palovyi fundament [Complex slab and pile foundation]. *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka, 1(13).* 30-40. [in Ukrainian].
6. Kripak, V., Bakur Khasib. (1997). Osoblyvosti rozrakhunku i proektuvannia fundamentnoi systemy «Z/b plyta-hruntova osnova-pali». [Features of calculation and design of the foundation system «reinforced concrete slab-soil base-

piles»]. *Pratsi Mizhnarodnoi yuvileinoi konferentsii z pytan nadiinosti budivelnykh konstr.* Poltava. [in Ukrainian].
7. Tsymbal, S. Y., Kartseva, S. L. (2004). Metodyka rozrakhunku palovykh fundamentiv z urakhuvanniam roboty rostverku. [Calculation methodology for pile foundations taking into account grillage operation]. *Osnovy i fundamenty, vyp. 28.* 121-130. [in Ukrainian].
8. Sedin, V L., Bikus, E. M., Diuldev, A. O., Melnyk, A. M. (2013). Vprovadzhennia kombinovanoho plytno-palevoho fundamentu v Ukraini na prykladi budivnytstva pidzemnoho parkinhu v m. Odesa. [Implementation of a combined slab and pile foundation in Ukraine on the example of the construction of an underground car park in Odesa]. *Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo). Vyp. 3(38). T.2.* 321-329. [in Ukrainian].
9. Petrenko, V. D., Krysan, V. I., Krysan, V. V., Chehodaiev, I. S. (2021). Dosvid sporudzhennia palovo-plytnoho fundamentu v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. [Experience in the construction of pile-slab foundations in difficult engineering and geological conditions]. *Zbirnyk naukovykh prats «Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka». №19*. 78-84. [in Ukrainian].
10. Samorodov, O. V. (2015). Metod optymalnoho proektuvannia palovo-plytnykh fundamentiv bahatopoverkhovykh budivel za hranychno dopustymymy osidanniamy. [Method of optimal design of pile-slab foundations of multistorey buildings by maximum permissible settlements]. *Naukovyi visnyk budivnytstva. Vyp. 1(79).* 96-100. [in Ukrainian].
11. Samorodov, O. V. (2016). Nova konstruktsiia plytno-palovoho fundamenta. [New design of the slab and pile foundation]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. Vyp. 1 (214)*. 58-65. [in Ukrainian].
12. Samorodov, O., Tabachnikov, S., Dytiuk, O., Bondar, O. (2023). Polovi doslidzhennia napruzhenoho stanu systemy «hruntova osnova – kombinovanyi palovo-plytnyi fundament» bahatofunktsionalnoho kompleksu u misti Kharkovi. [Field studies of the stress state of the system 'soil base - combined pile-slab foundation' of a multifunctional complex in Kharkiv]. *Osnovy ta fundamenty: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Vyp.46.* 38-48. [in Ukrainian].
13. Ana Cláudia Frade de Faria. (2017). Foundation solutions for large buildings using combined piled-raft foundations. *Engineering, Environmental Science.* 10 p. [in English].
14. Katzenbach, R., Choudhury, D. (2013). Combined Pile-Raft Foundation Guideline. *ISSMGE.* 23 p. [in English].
15. .Katzenbach, R., et al. (2009). Instrumentationand Monitoring of a Piled Raft Foundation on Soft Soil. *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 1850-1853. [in English].
16. Balakumar, V., Min. J. Huang, Erwin Oh, Nilan S. Jayasiri, Richard Hwang, Balasubramaniam, A. S. (2021). Piled Raft on Sandy Soil. *An Observational Study. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol. 52 No. 3.* 51-65. [in English].
17. Phung Duc. (2016). Long Prediction of Piled Raft Foundation Settlement. A Case Study. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol. 47 No. 1.* 1-6. [in English].
18. Wang, Y., et al. (2016). Experimental Study on the Stress State of Piled Raft Foundation sunder Different Loading Conditions. *Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering)*. 1345-1356. [in English].
19. Elwakil, A. Z., Azzam, W. R. (2016). Experimental and numerical study of piled raft system. *Alexandria Engineering Journal. Volume 55, Issue 1*. 547-560. [in English].
20. Lua Thi Hoang, Tatsunori Matsumoto. (2020). Long-term behavior of piled raft foundation models supported by jacked-in piles on saturated clay. *Soils and Foundations, 60 (2020).* 198–217. [in English].
21. Fekadu Melese. (2022). Improved Performance of Raft Foundation Using Detached Pile Columns in Loose Subsoil Conditions. *Advances in Civil Engineering. Volume 2022(11).* 18 p. [in English].
22. Irfan Jamil, Irshad Ahmad, Wali Ullah, Mahmood Ahmad, Mohanad Muayad Sabri Sabri, Ali Majdi. (2022). Experimental Study on Lateral and Vertical Capacity of Piled Raft and Pile Group System in Sandy Soil. *Applied Science. 2022, 12*. 2-18. [in English].
23. Mostafa Elsawwaf, Marwan Shahien, Ahmed Nasr, and Alaaeldin Magdy. (2022). The behavior of piled rafts in soft clay: Numerical investigation. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials 2022, 31*. 426–434. [in English].
24. Maievska, I. V., Blashchuk, N. V. (2023). *Robota pal i rostverku u skladi stovpchastykh palovykh fundamentiv*. [Operation of piles and

grillage as part of columnar pile foundations]. Vinnytsia : VNTU. [in Ukrainian].
25. Maievska, I. V. Popovych, M.M., Kreminska, Yu. O. (2022). Riznytsia v roboti korotkykh i dovhykh pal u skladi stovpchastoho palovoho fundamentu za rezultatamy fizychnoho modeliuvannia. [Difference in the performance of short and long piles in a columnar pile foundation based on the results of physical modelling]. *Suchasni tekhnolohii, materialy ta konstruktsii v budivnytstvi, №2(33).* 108-118. [in Ukrainian].
26. Maievska, I. V., Blashchuk, N. V., Kreminska, Yu. O. Osoblyvosti roboty palovykh kushchiv z korotkykh pal za danymy chyslovoho modeliuvannia. [Peculiarities of operation of pile bushes from short piles according to numerical modelling]. *Osnovy ta fundamenty, vyp.43.* 30-39. [in Ukrainian].
27. Maievska, I. V., Hanushchak, Yu. V. (2024). Matematychne modeliuvannia roboty kompleksnoho stovpchastoho palovoho fundamentu. [Mathematical modelling of a complex columnar pile foundation]. *Zbirnyk materialiv LIII Naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu.* https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20500/17070. [in Ukrainian].
28. Osnovy ta fundamenty sporud: DBN V.2.1-10-2009. (2012) [Chynnyi vid 2012-07-01 do 2019.01.01]. K.: Minrehionbud Ukrainy. [in Ukrainian].
29. Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Hrunty. Metod polovykh vyprobuvan paliamy. DSTU B V.2.1-1-95 (HOST 5686-94). (1996) [Chynnyi vid 1996-04-01]. K.: Minrehion Ukrainy. [in Ukrainian].

Efficiency of using an increased area grillage as part of a columnar pile foundation

Irina MAEVSKA,
Natalya BLASHCHUK
Oleksandr SHMUNDYAK

Summary. In this paper, we propose to apply the idea of an integrated foundation used for slab grillage to a columnar pile foundation. In mass design, having determined the required number of piles based only on their bearing capacity, they try to place them in a pile as compactly as possible to reduce the cost of the grillage, whose work is not taken into account. If the piles are placed at a considerable distance from each other or compactly placed under the column, but the grillage size is sufficiently large, this can compensate for the small number of piles by including the grillage in the work.

The mathematical modelling of the pile foundation operation was performed using the SOFiSTiK software package. A study of the implementation of the pile foundation with a soil foundation was carried out, depending on the grillage size, length, number, placement of piles in the grillage and soil conditions. Homogeneous sandy and clayey foundation soil is considered. It is shown that in the case of using complex pile foundations with sparse pile placement and increased grillage area, the efficiency of the foundation as a whole and its individual elements increases. In order to save materials, it is possible to reduce the number of piles in a group while increasing the grillage size without losing the bearing capacity of the foundation. It is known that a pile is a much more expensive structure than a grillage, so reducing the number of piles while increasing the overall size of the grillage can lead to a more economical solution.

The mathematical modelling of the pile foundation operation using the SOFiSTiK software package confirmed the main conclusions on the distribution of forces between the elements of the pile foundation, obtained earlier by physical modelling on small-scale models and using the Plaxis 3D Foundation software package.

Key words. columnar pile foundation, grillage of increased area, driven pile, load redistribution, degree of bearing capacity realisation, complex pile foundation.