

УДК 624.131 : 624.15

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.90.915

НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЧАТКОВИХ ОСІДАНЬ ПАЛЬ, ЯКІ НЕ З'ЄДНАНІ З ПЛИТОЮ, У СКЛАДІ КОМБІНОВАНОГО ПЛИТНО-ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

САМОРОДОВ О. В.^{1*}, *докт. техн. наук, проф.*,

ДИТЮК О. Є.², *аспір.*,

ТАБАЧНИКОВ С. В.³, *канд. техн. наук, доц.*

^{1*} Кафедра геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд, Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (050) 301-76-99, e-mail: osamorodov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4395-9417

² Кафедра геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд, Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (093) 828-95-31, e-mail: lexej098@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8363-6132

³ Кафедра геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд, Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (093) 253-02-86, e-mail: s.v.tabachnikov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2619-8612

Анотація. Постановка проблеми. Запатентовано корисну модель конструкції комбінованого плитно-пального фундаменту (КППФ), що складається з плитної частини і палі, при цьому між плитною частиною і палями виконується зазор висотою Δ . Тобто передбачається розподіл осідань (опорів) основи під плитою, а потім під палями (після шарнірного з'єднання палі з плитою), виходячи з умови про неперевищення гранично допустимого осідання s_u будівлі чи споруди. При цьому необхідно додатково враховувати початкове осідання палі, яке виникає від впливу довантажувальної сили тертя, що діє по її бічній поверхні в межах стисливої товщі при початковому завантаженні основи плитною частиною тиском, для коригування величини зазору Δ . **Мета статті** – натурні дослідження початкових осідань палі від дії довантажувальних сил тертя, що діють уздовж її бічної поверхні, у великорозмірному комбінованому плитно-пальному фундаменті для виявлення нових залежностей та їх узагальнення. **Висновки.** На підставі польових досліджень виявлено якісно нову залежність деформації палі від дії довантажувальних сил тертя ґрунту, яка показує «ефект прослизання палі уверх» унаслідок перевищення силами тертя сил опору по її бічній поверхні з проявом зворотних (пружних) деформацій ґрунтової основи палі.

Ключові слова: *палі; ґрунтова основа; довантажувальні сили тертя; осідання; прослизання; деформація; зворотна; пружна; комбінований плитно-пальовий фундамент*

FIELD INVESTIGATION OF THE INITIAL SETTLEMENTS OF PILE NOT CONNECTED TO THE RAFT IN A COMBINED RAFT-PILE FOUNDATION

SAMORODOV O.V.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

DYTIUK O.Ye.², *Postgrad. Stud.*,

TABACHNIKOV S.V.³, *Cand. Sc. (Tech.) (PhD), Assoc. Prof.*

^{1*} Department of Geotechnics, Underground and Hydrotechnical Structures, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 40, Sumska St., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 (050) 301-76-99, e-mail: osamorodov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4395-9417

² Department of Geotechnics, Underground and Hydrotechnical Structures, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 40, Sumska St., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 (093) 828-95-31, e-mail: lexej098@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8363-6132

³ Department of Geotechnics, Underground and Hydrotechnical Structures, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 40, Sumska St., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 (093) 253-02-86, e-mail: s.v.tabachnikov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2619-8612

Abstract. Problem statement. The patented useful model for the design of the combined raft-pile foundation (CRPF), consisting of a raft part and piles, with a gap of height Δ is made between the raft part and the piles. That is, the

distribution of settlements (resistances) of the soil base under the raft and then under the piles (after the hinged connection of the piles with the raft) is assumed, based on the condition of not exceeding the maximum allowable settlement s_u of the building or structure. The initial settlement of the piles, which arises from the effect of the additional loading (negative) friction force acting on their lateral surface within the compressible layer during the pressure loading of the soil base raft part, must additionally be taken into account to correct the value of the gap Δ . **The purpose of the article** is to conduct field investigation of the piles initial settlements under the action of additional loading (negative) friction forces acting along their lateral surface in a large-scale combined raft-pile foundation to identify new dependencies and generalize them. **Conclusions.** On the basis of field studies, a qualitatively new dependence of the pile deformation on the action of additional ground friction forces has been revealed, which shows the "pile up-slip effect" due to the excess of resistance forces on its lateral surface with manifestation of inverse (elastic) deformations of the ground base of the pile. On the basis of field investigation, a qualitatively new dependence of the pile deformation on the effect of soil additional loading (negative) friction forces was revealed, which shows the "effect of the pile slipping upwards" due to exceeding the negative friction forces the resistance forces on its lateral surface with the manifestation of reverse (elastic) deformations of the pile soil base, which indicates the need to take this phenomenon into account when determining the gap between the raft part and the piles in projects of similar CRPF.

Keywords: pile; soil base; negative friction forces; sinking; slipping; deformation; reverse; elastic; combined raft-pile foundation

Мета – натурні дослідження початкових осідань палей від дії довантажувальних сил тертя, що діють уздовж їх бічної поверхні, у великорозмірному комбінованому плитно-пальовому фундаменті для виявлення нових залежностей та їх узагальнення.

Вступ. Запатентована корисна модель комбінованого плитно-пальового фундаменту (КППФ) [1] (рис. 1) складається з

плитної частини 1 і палей 2 діаметром d , при цьому між плитною частиною і палями виконується зазор 3 висотою Δ . Для технологічної зручності забезпечення відсутності контакту між плитою і головами палей в межах бетонної підготовки 4 під плитою зазор може бути заповнений низькомодульним матеріалом. Ґрунтова основа позначена 5.

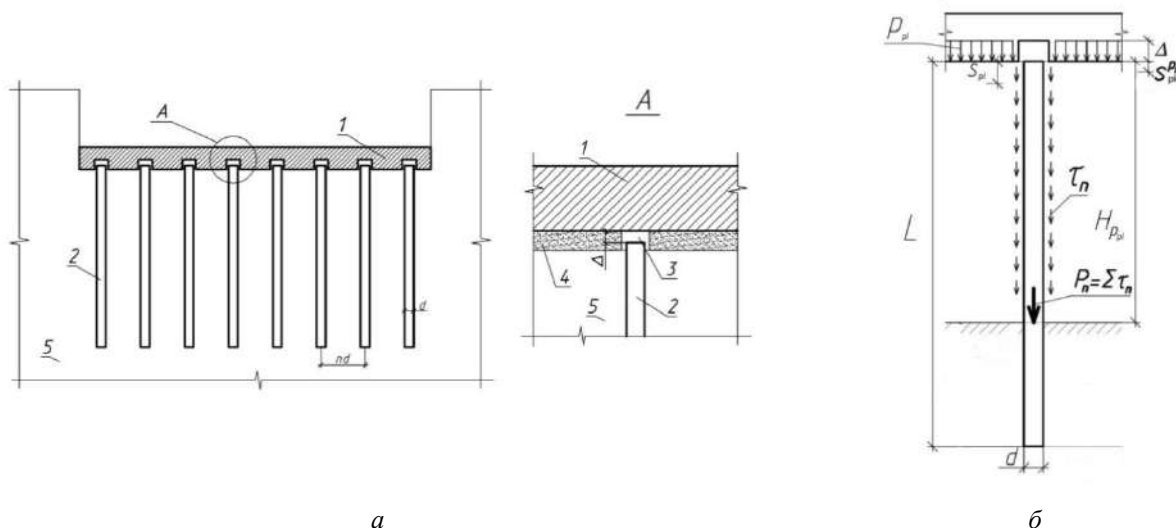


Рис. 1. Комбінований плитно-пальовий фундамент: а – загальна схема; б – розрахункова схема до визначення початкових осідань палей $s_{pile}^{P_n}$ у КППФ у процесі деформування основи під плитою

Зазор висотою Δ між плитою та палями (рис. 1) визначається на підставі інженерної методики [2], де передбачається розподіл осідань (опорів) основи під плитою s_{pl} , а потім під палями s_N (після шарнірного з'єднання палей з плитою), виходячи з умови

про неперевищення гранично допустимого осідання s_u будівлі чи споруди [3]:

$$s_{pl} + s_N \leq s_u. \quad (1)$$

Однак додатково необхідно враховувати початкове осідання палей $s_{pile}^{P_n}$ (рис. 2), яке

виникає від впливу довантажувальної сили тертя P_n , що діє по їх бічній поверхні в межах стислої товщі H_{ppl} при початковому завантаженні основи плитною частиною тиском p_{pl} , для коригування величини зазору Δ :

$$\Delta = s_{pl} - s_{pile}^{P_n} \quad (2)$$

Із цього наукового напрямку становить інтерес останні роботи, проведені під керівництвом проф. В. Л. Седіна [4; 5], де автори у польових умовах досліджували на повномасштабному фрагменті плитно-пального фундаменту включення в роботу паль за відсутності контакту з плитою, що дозволило виявити деякі окремі залежності деформацій паль від інтенсивності тиску під

плитою. Але дослідження початкових осідань паль у натурних комбінованих плитно-пальових фундаментах для виявлення нових залежностей та їх узагальнення залишається актуальним завданням.

Матеріали і методи досліджень.

Об'єктом спостереження стала житлова 9-поверхова будівля з технічним поверхом та підвалом, розташована по вул. Миру, 5 у м. Харків. Проектна організація та генеральний підрядник – ПрАТ «Трест Житлобуд-1» (м. Харків). Науково-технічний супровід проектування основи та фундаменту виконав ХНУБА [6].

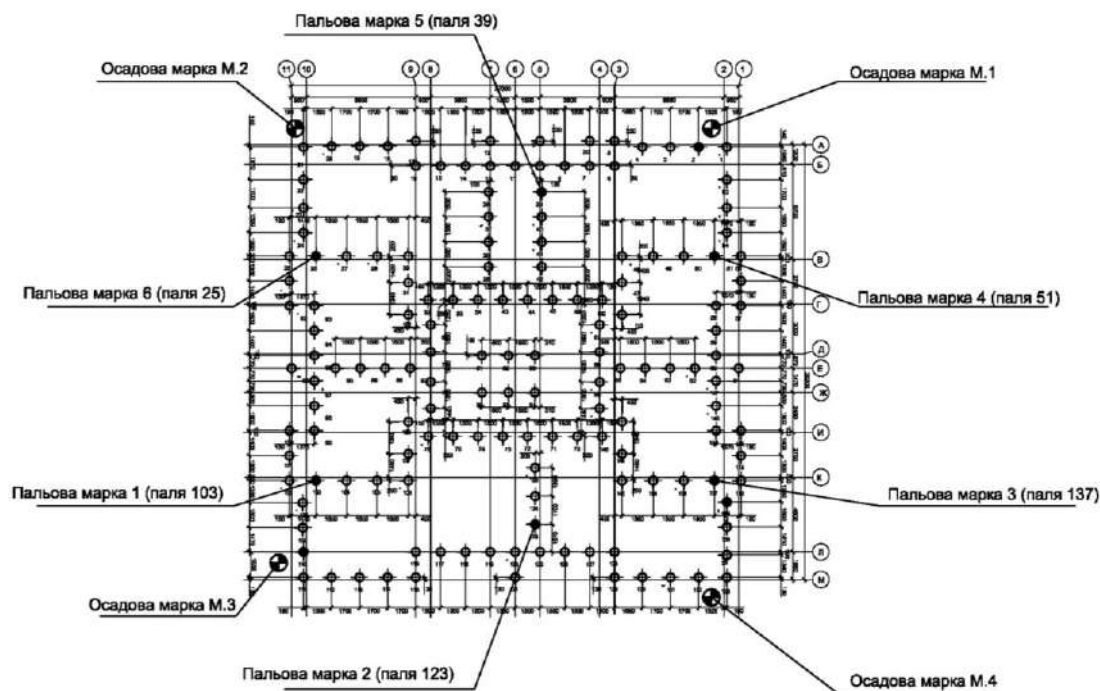


Рис. 2. План-схема розташування дослідних паль та осадових марок

Висота будівлі складає 35 м (від верху фундаменту). Конструктивна схема будівлі – безкаркасна з повздовжніми і поперечними стінами та збірними плитами перекриття. Несучі стіни будівлі виконані із силікатної цегли товщиною 510 та 380 мм. Перекриття – багатопустотні залізобетонні плити товщиною 220 мм. Стіни підвалу – збірні, з бетонних блоків різної товщини від 400 до 800 мм.

Конструкція монолітного комбінованого плитно-пального фундаменту складається з

плитної частини розмірами у плані $26,2 \times 27,0$ м товщиною 800 мм з лінійним розташуванням під несучими стінами буронабивних паль діаметром $d = 500$ мм та довжиною $L = 10$ м $> H_{ppl}$, які не з'єднані з плитою (див. рис. 2).

Для комбінованого фундаменту (див. рис. 3, 4) було прийнято проектний розподіл опору між плитою та палями – «50/50», тобто 50 % сприймає плитна частина та 50 % – палі, тому проектний зазор між

плитою та палями прийнято $\Delta = 5$ см згідно з методикою [2].

Також прийнята величина зазору забезпечувала виключення наднормативного крену будівлі у разі можливого аварійного

локального замочування просідних ґрунтів ІГЕ-3 під фундаментною плитою в процесі будівництва; але цього не сталося. Фізико-механічні властивості ґрунтів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Усереднені (по глибині) фізико-механічні властивості ґрунтів

Характеристика ґрунту	Умовні позначення	Од. вим.	Шар		
			3 – Суглинки твердої консистенції, у водонас. стані – м'якопластичної консистенції, просідні	4 – Піски дрібні, маловологі, середньої щільності, неоднорідні із включеннями твердих супісків	5 – Суглинки твердої консистенції, в водонасиченому стані – тугопластичної консистенції із включенням дрібних пісків
Питома вага ґрунту	γ	кН/м ³	17,15	17,14	18,19
Питома вага водонасиченого ґрунту	γ_{sat}	кН/м ³	18,66	18,96	18,81
Питома вага частин ґрунту	γ_s	кН/м ³	26,70	25,37	26,55
Питома вага зваж. у воді ґрунту	γ_{sb}	кН/м ³	9,22	9,48	9,36
Питома вага сухого ґрунту	γ_d	кН/м ³	14,79	15,56	15,06
Природна вологість	w	д. од.	0,18	0,12	0,23
Вологість на межі текучості	w_L	д. од.	0,34	–	0,34
Вологість на межі пластичності	w_p	д. од.	0,20	–	0,23
Вологість при повному водонасиченні	w_{sat}	д. од.	0,28	0,23	0,27
Показник текучості	I_L	д. од.	-0,18	–	-0,01
Показник текучості водонасиченого ґрунту	I_{Lsat}	д. од.	0,60	–	0,3
Число пластичності	I_p	д. од.	0,14	–	0,14
Кут внутрішнього тертя	φ	град.	19,00	28,00	21,00
Питоме зчеплення ґрунту	c	МПа	0,02	0,009	0,02
Коефіцієнт пористості	e	д. од.	0,81	0,63	0,77
Пористість	n	д. од.	0,45	0,38	0,44
Модуль деформації в природному стані	E	МПа	11,00	19,00	16,00
Модуль деформації у водонасиченому стані	E_{sat}	МПа	7,00	19,00	13,00
Ступінь вологості	S_r	д. од.	0,60	0,47	0,8
Початковий тиск просідання	p_{sl}	МПа	0,11	–	–

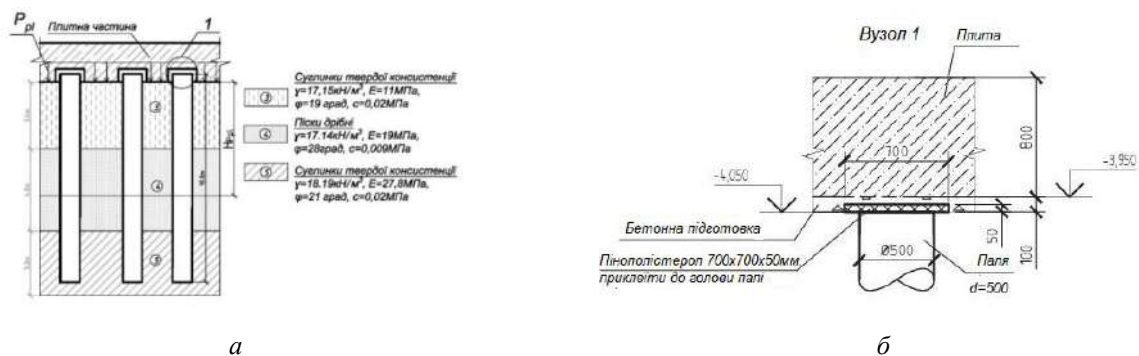


Рис. 3. Схема КППФ: а – на інженерно-геологічному розрізі; б – вузол «плита – палія»

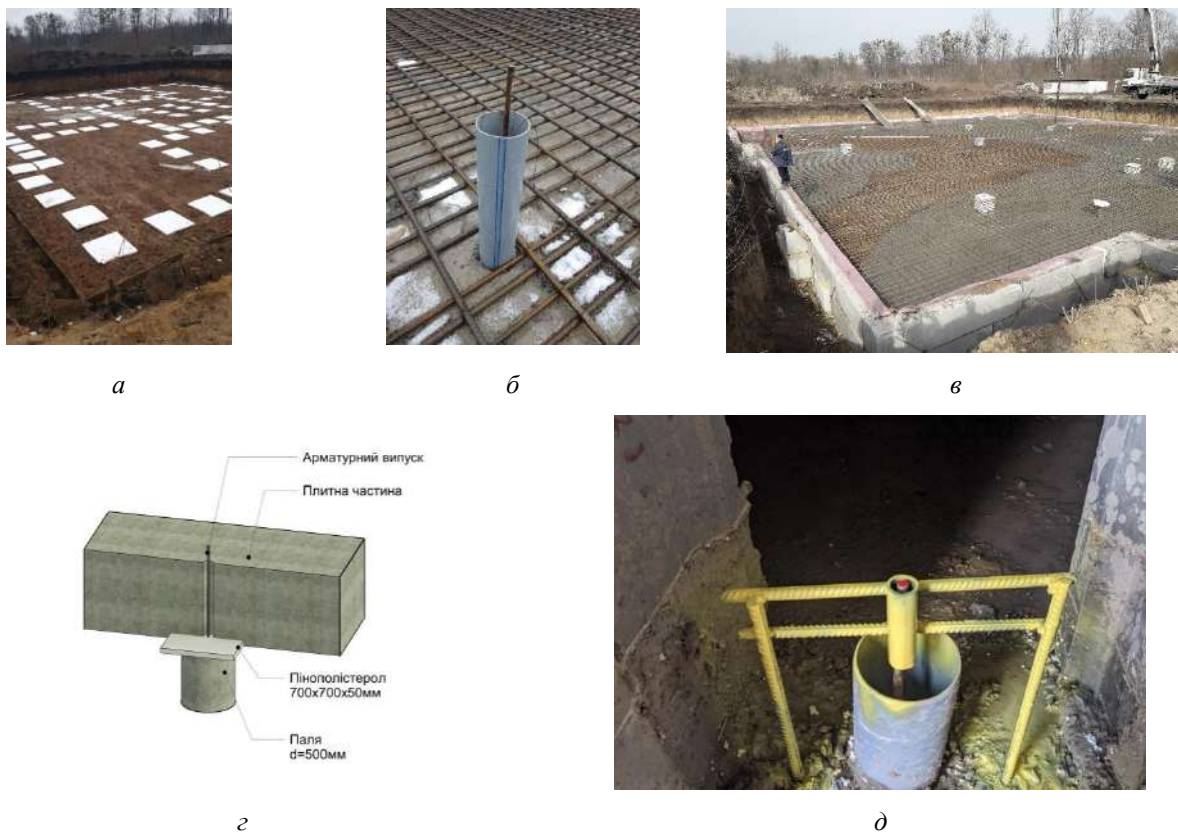


Рис. 4. Процес улаштування КППФ та застосувань для дослідження початкових осідань палі: а – улаштування низькомодульного матеріалу (пінополістиролу) над головами палі; б – металевий випуск із палі у захисній гільзі (трубі); в – улаштування монолітної плити; г – аксонометрична схема; д – спеціальна конструкція реперної системи на поверхні плити для визначення деформацій палі

Починаючи з липня 2020 року проводилися паралельні дослідження деформацій шести палі та осідань будівлі згідно з науковою тематикою кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд (ГПГС) ХНУБА у рамках науково-технічного супроводу об'єкта будівництва (виконавець геодезичних робіт – к. т. н., доц. Т. А. Наливайко).

Спостереження за осіданнями s_{pl} будівлі проводилися в процесі будівництва та експлуатації методами високоточного нівелювання II класу. Визначено позначки осадкових марок М.1, М.2, М.3 та М.4, що були закладені в рівні цокольного поверху будівлі (див. рис. 2 та 5, а).



Рис. 5. Види будівлі: а – в процесі будівництва; б – в процесі експлуатації

У роботі використано нівелір Н-05 (див. рис. 5, а) та інварну нівелірну рейку РН-05. Нівелювання виконано в прямому і зворотному напрямках шляхом суміщення. На кожній станції за спостереженнями основних і додаткових шкал обчислено перевищення a_z , a_n та їх різниця $h = a_z - a_n$, яка не перевищувала 0,7 мм.

Для прямого і зворотного ходів по кожній секції (між суміжними реперами в ході) обчислено суми перевищень прямого $[h]_п$ і зворотного $[h]_з$ ходів. Розбіжності f_x не перевищували $\pm 2,1\sqrt{L}$ мм (L – довжина ходу в км) при кількості станцій менше ніж 15.

Для точності підрахунків використано програму Microsoft Excel, а порівняння результатів проводилось у програмі ARMGEO.

Осідання палі на кожному етапі дослідження визначалося за формулою:

$$s_{pile}^{P_n} = s_{pl} - u_{pile}, \quad (3)$$

де s_{pl} – осідання плити (будівлі), мм; u_{pile} – деформація палі відносно плити, мм, що визначається штангенциркулем згідно зі схемою на рисунку 6, а.

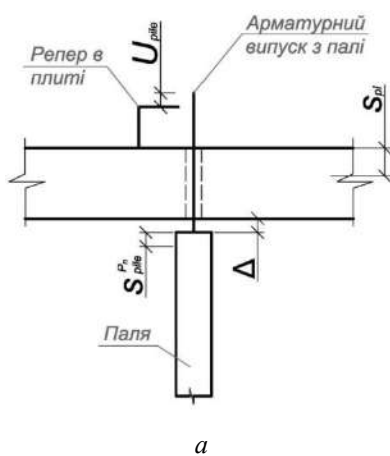


Рис. 6. Визначення деформації палі u_{pile} : а – схема деформування; б – визначення u_{pile} за допомогою штангенциркуля

Результати дослідження. На рисунку 7 для кожного етапу схематично наведено значення осідань осадових марок (М.1, М.2,

М.3 і М.4) та деформацій шести окремих палей у плані у вигляді наочних діаграм згідно з план-схемою на рисунку 2.

Таблиця 2

Значення середніх осідань елементів КППФ

Дата заміру	Поверховість	Середній тиск під подошвою плитної частини	Середнє значення осідання плитної частини (будівлі)	Середнє значення початкових осідань палей на підставі статистичної обробки даних	Стислива товща основи плитної частини (теоретична величина)
мм.рр	n	p_{pl} , кПа	s_{pl} , мм	$s_{pile}^{P_n}$, мм	$H_{p_{pl}}$, м
07.2020	Цоколь	25 (умовно 0,0)	0,00	0,00	0
09.2020	3	60,6	-3,33	-2,28	3
11.2020	6	85,1	-4,58	-1,91	4,2
03.2021	9	109,6	-13,18	-8,54	5,8
07.2021	10	118,8	-13,53	-6,86	8,2

У таблиці 2 для кожного етапу дослідження наведено значення середніх осідань плити s_{pl} та початкових осідань палей

$s_{pile}^{P_n}$ (на підставі статистичної обробки даних для шести палей) від реального

контрольованого тиску під плитою p_{pl} (враховувалася тільки власна вага зведених конструкцій без підвищувальних

коефіцієнтів), а на рисунку 8 наведено відповідні графіки залежностей.

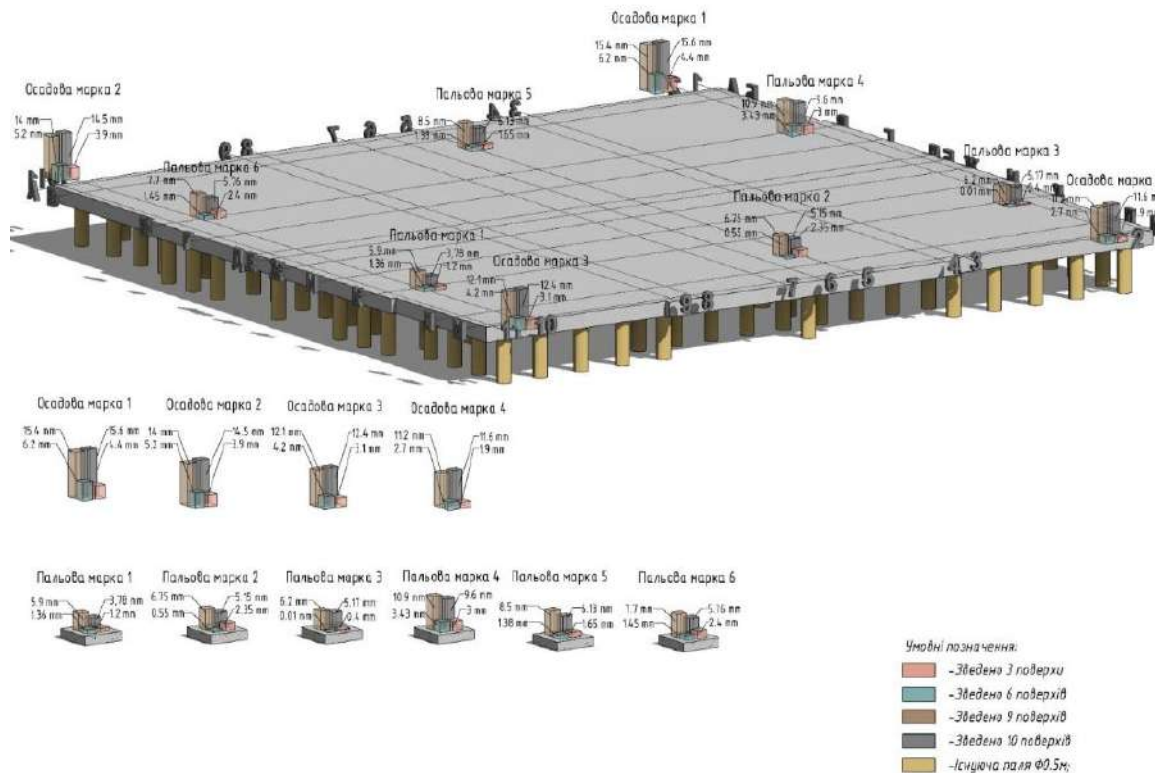


Рис. 7. Осідання плити s_{pl} та деформації палль u_{pile} на кожному етапі дослідження

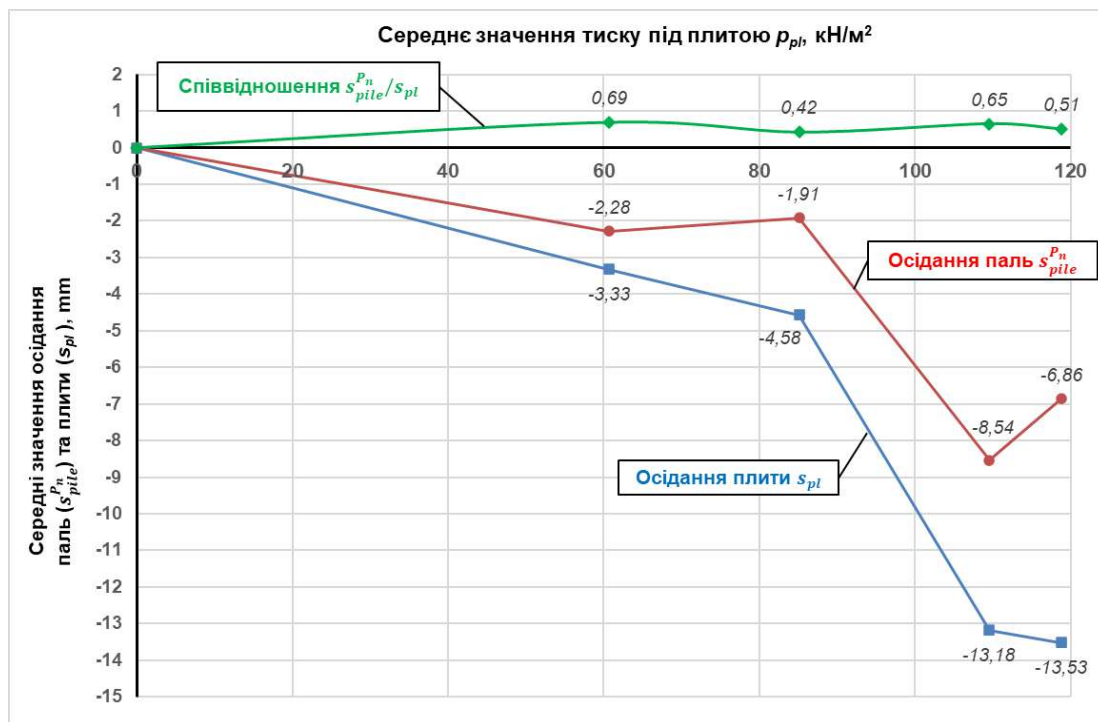


Рис. 8. Графіки залежностей середніх осідань плити s_{pl} та початкових осідань палль s_{pile}^{Pn} від середнього тиску під плитою p_{pl} та їх співвідношення

Як видно з графіка абсолютних осідань паль на рисунку 8, має місце «ефект прослизання паль уверх» за різних тисків під подошвою плити, що пояснюється перевищенням довантажувальними силами тертя сил опору по бічній поверхні паль із проявом зворотних (пружних) деформацій їх ґрунтової основи. Слід зазначити, що такий характер спостерігається для всіх шести паль у різних місцях у плані (див. рис. 7) та не пов'язаний зі статистичною обробкою результатів експерименту.

Висновки

Проведено натурні дослідження початкових осідань паль, які не з'єднані з плитою, у складі комбінованого плитно-пального фундаменту. Аналіз результатів дослідження дозволяє зробити такі висновки:

1. Підтверджується вплив довантажувальних сил тертя по бічній поверхні паль на їх осідання, що спостерігалось

також іншими дослідниками [4; 5]. Але у цьому випадку можна констатувати, що за реалізації тиску під подошвою плити до $p_{pl} \approx 120$ кПа співвідношення стабілізованих осідань паль до осідання плити у великорозмірному фундаменті становить: $S_{pile}^{Pn}/s_{pl} \geq 1/2$, на відміну від результату: $S_{pile}^{Pn}/s_{pl} \approx 1/3$ у роботах [4; 5], де досліджувався квадратний фундамент із незначними розмірами у плані $2,6 \times 2,6$ м з однією забивною палею 350×350 мм довжиною 8,5 м, яка була розташована посередині фундаменту.

2. Уперше виявлено якісно нову залежність деформації паль від дії довантажувальних сил тертя ґрунту, яка показує «ефект прослизання паль уверх» внаслідок перевищення силами тертя сил опору по їх бічній поверхні з проявом зворотних (пружних) деформацій ґрунтової основи паль.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самородов О. В., Дитюк О. Є., Муляр Д. Л., Табачников С. В. Патент на корисну модель № 148444, Україна МПК E02D 27/12 (2006/1). Комбінований плитно-пальовий фундамент. Заявл. 09.11.2020. Опубл. 11.08.2021. Харківський національний університет будівництва та архітектури. Бюл. № 32. 4 с.
2. Самородов А. В. Проектирование эффективных комбинированных свайных и плитных фундаментов многоэтажных зданий : монография. Харьков: Типография Мадрид, 2017. 204 с.
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ : Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2018. 36 с.
4. Седін В. Л., Ковба В. В., Бікус К. М. Натурні дослідження деформацій фрагмента пальового фундаменту при статичному навантаженні ростверку, не з'єданого з палею. *Проблеми геотехніки – 2017 : тези Другої міжнар. конф.* Київ : КНУБА, 2017. С. 111–113.
5. Ковба Владислав Валерійович. Перерозподіл зусиль в пальовому фундаменті з урахуванням послідовного навантаження його складових елементів. Дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 «Основи і фундаменти». Дніпро, 2018. 240 с.
6. Самородов О. В., Кротов О. В., Стріжельчик Г. Г., Дитюк О. Є., Купрейчик А. Ю. Геотехнічне обґрунтування технічного рішення комбінованого плитно-пального фундаменту з розрахунком у системі «основа – фундамент – споруда» у рамках науково-технічного супроводу об'єкта будівництва «Нове будівництво житлового комплексу по пр. Московському (між пр. Індустріальним (колиш. пр. Фрунзе) і вул. Дванадцятого квітня). Будинок № 5» : звіт з науково-дослідницької роботи. Керівник: д. т. н. О. В. Самородов. Харків: ХНУБА, 2019. 58 с.

REFERENCES

1. Samorodov O.V., Dytyuk O.Ye., Mulyar D.L. and Tabachnikov S.V. *Patent na korysnu model' № 148444, Ukrayina MPK E02D 27/12 (2006/1). Kombinovanyu plytno-pal'ovyy fundament. Zayavl. 09.11.2020. Opubl. 11.08.2021* [Utility model patent no. 148444, Ukraine IPC E02D 27/12 (2006/1). Combined raft-pile foundation Application dtd November 09, 2020. Publ. on August 11]. Kharkiv : National University of Civil Engineering and Architecture, 2021, bull. no. 32, 4 p. (in Ukrainian).
2. Samorodov A.V. *Proektirovanie effektivnykh kombinirovannykh svainykh i plitnykh fundamentov mnogoetazhnykh zdaniy* [Design of effective combined pile and raft foundations of multi-storey buildings]. Kharkiv : Madrid Printing House, 2017, 204 p. (in Russian).

3. *DBN B.2.1-10:2018. Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennya* [DBN B.2.1-10:2018. Bases and foundations of buildings and structures. Main provisions.] Kyiv : Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, State Enterprise Ukrarkhbudinform, 2018, 36 p. (in Ukrainian).

4. Sedin V.L., Kovba V.V. and Bikus K.M. *Naturni doslidzhennya deformatsiy frahmentu pal'ovoho fundamentu pry statychnomu navantazhenni rostverku, ne z'yednanoho z paleyu* [Field studies of deformations of a fragment of a pile foundation under static loading of a grid not connected to the pile text]. *Problemy heotekhniki – 2017 : tezy Druhoyi mizhnarodnoyi konferentsiyi* [Problems of Geotechnics – 2017 : abstracts of the Second International Conference]. Kyiv : KNUBA, 2017, pp. 111–113. (in Ukrainian).

5. Kovba Vladyslav Valeriyovych. *Pererozpdil zusyly v pal'ovomu fundamenti z urakhuvannyam poslidovnoho navantazhennya yoho skladovykh elementiv. Dys. ... kand. tekhn. nauk : spets. 05.23.02 «Osnovy i fundamenti»* [Redistribution of forces in a pile foundation taking into account the successive loading of its component elements. Diss. ... Candidate Technical Sciences : spec. 05.23.02 "Bases and foundations"]. Dnipro, 2018, 240 p. (in Ukrainian).

6. Samorodov O.V., Krotov O.V., Strizhel'chuk G.G., Dytiuk O.Ye. and Kupreychuk A.Yu. *Heotekhnichne obgruntuvannya tekhnichnoho rishennya kombinovanoho plymo-pal'ovoho fundamentu z rozrakhunkom u systemi «osnova – fundament – sporuda» u ramkakh naukovu-tekhnichnoho suprovodu ob'yektu budivnytstva «Nove budivnytstvo zhytloвого комплексу по пр. Московс'кому (миж пр. Industrial'nym (kolysh. пр. Frunze) i vul. Dvanadtsyatoho kvitnya). Budynok №5» : zvit z naukovu-doslidnoyi roboty* [Geotechnical substantiation of the technical solution of the combined slab-pile foundation with the calculation in the “soil base - foundation – structure” system as part of the scientific and technical support of the construction object “New construction of a residential complex on Ave. Moskovskii (between Industrialny Ave. (former Frunze Ave.) and Twelveth April Str.). Building No. 5” : research report]. Supervisor : Dr. Sc. (Tech.) O.V. Samorodov. Kharkiv : KhNUBA, 2019, 58 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 11.11.2022.