

УДК 625.154.5:624.131.384

ЛОТКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ДОТИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ ВЗДОВЖ ПАЛІ, ЯКА ПОПЕРЕДНЬО НЕЗ'ЄДНАНА З ФРАГМЕНТОМ РОСТВЕРКУ

СЕДІН В. Л.¹ *д.т.н., проф.*,
БІКУС К. М.² *к.т.н., доц.*,
КОВБА В. В.³ *асп.*

^{1*} Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

^{3*} Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: kovba-vladislav@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

Анотація. Мета. Лабораторно дослідити НДС основи фрагменту пальового фундаменту при окремому, послідовному навантаженні його елементів, отримати якісну картину впливу процесу почергового залучення елементів пальового фундаменту до роботи на зміну сил додаткового дотичного напруження і тертя вздовж бічної поверхні палі. **Методика.** Проведено три серії випробувань: I серія – навантажувалась плита з'єднана з палею (імітує роботу фрагменту класичного пальового фундаменту, деформації основи якого буде прийнято за 100 %); під час II і III серій елементи фрагменту пальового фундаменту було задіяно до роботи поступово (навантажувалась плита, нез'єднана з палею, а згодом плита і паля з'єднанні між собою), але під час III серії додатково було довантажено палею за умови відсутності з'єднання з плитою. **Результати.** Під час 1-го етапу II і III серій випробувань зафіксовано деформації ґрунту під плитою, які спровокували переміщення палі (нез'єднаної з фрагментом плити). **Наукова новизна.** Лабораторно зафіксовано утворення додаткових дотичних напружень навколо палі, нез'єднаної з фрагментом плити при навантаженні плити, приблизно на глибину 1,2...1,8 від ширини фрагменту плити. **Практична значимість.** Модель фрагменту пальового фундаменту, елементи якого залучаються до роботи почергового, здатний сприймати і витримувати більше навантаження в порівнянні з одночасним навантаженням плити і палі. Почергова мобілізація всіх складових пальового фундаменту дозволить збільшувати їх рівень надійності та використовувати максимальний потенціал ґрунтових основ, що може бути додатковим фактором збереження ресурсів на зведення пальових фундаментів у цілому.

Ключові слова: лоткові дослідження; поетапне навантаження фрагменту пальового фундаменту; додаткові дотичні напруження; деформації ґрунту

ЛОТКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВДОЛЬ СВАИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НЕСОЕДИНЕННОЙ С ФРАГМЕНТОМ РОСТВЕРКА

СЕДИН В. Л.¹ *д.т.н., проф.*,
БІКУС Е. М.² *к.т.н., доц.*,
КОВБА В. В.³ *асп.*

^{1*} Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

^{3*} Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: kovba-vladislav@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

Аннотация. *Цель.* Лабораторно исследовать НДС основания фрагмента свайного фундамента при отдельном, последовательном нагружении его элементов, получить качественное изображение влияния процесса поочередного включения в работу элементов свайного фундамента на изменение сил дополнительного касательного напряжения и трения вдоль боковой поверхности сваи. *Методика.* Проведено три серии испытаний: I серия – нагружалась плита, соединенная со свайей (имитирует работу фрагменту классического свайного фундамента, деформации основания которого будут приняты за 100 %); во время II и III серий элементы фрагмента свайного фундамента были включены в работу постепенно (нагружалась плита, несоединенная со свайей, а потом плита и свая, соединенные между собой), но в III серии дополнительно была догружена свая при условии отсутствия ее соединения с плитой. *Результаты.* Во время 1-го этапа II и III серий испытаний зафиксировано деформации грунта под плитой, спровоцировавшие перемещения сваи (несоединенной с фрагментом плиты). *Научная новизна.* Лабораторно зафиксировано возникновение дополнительных касательных напряжений вокруг сваи, несоединенной с фрагментом плиты при нагружении плиты, на глубину 1,2...1,8 от ширины фрагменту плиты. *Практическая значимость.* Модель фрагмента свайного фундамента, элементы которого включаются в работу поочередно, способна воспринимать и выдерживать большую нагрузку в сравнении с одновременным нагружением плиты и сваи. Поочередная мобилизация всех составляющих свайного фундамента позволит увеличивать их уровень надежности и использовать максимальный потенциал грунтовых оснований, что может стать дополнительным фактором сохранения ресурсов на возведение свайных фундаментов в целом.

Ключевые слова: лотковые исследования; поэтапное нагружение фрагмента свайного фундамента; дополнительные касательные напряжения; деформации грунта

TRAY INVESTIGATION OF TANGENTIAL STRESS ALONG THE PILE, WHICH ISN'T PREVIOUSLY CONNECTED WITH A FRAGMENT OF RAFT

SEDIN V. L.¹ *Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
BIKUS K. M.² *Ph. D., Assos. prof.,*
KOVBA V. V.³ *postgraduate student.*

^{1*} Foundation Engineering Department, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Foundation Engineering Department, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

^{3*} Foundation Engineering Department, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 47-02-63, e-mail: kovba-vladislav@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

Annotation. *Purpose.* Laboratory research of the stress-strain state of base fragment of pile foundation with individual, or sequential loading of its elements, to obtain a qualitative picture of the process' influence of the alternate involvement the pile foundations' elements to work on the forces' behavior of additional tangential stress and friction along the lateral surface of the pile. *Methodology.* Two series of tests were carried out: first series - the plate connected with the pile was loaded (it imitates the work of the classical pile foundation fragment, which deformation of the base will be taken as 100%). During the 2nd and 3rd series, the elements of the pile foundation fragment were gradually applied to the work (loaded plate, not connected with the pile, and subsequently the plate and the pile were interconnected), but during the third series, additionally, the pile was loaded in the absence of the connection to the stove. *Results.* During the 1-st stage of the second and third series of tests deformation of the soil under the plate, that caused the displacement of the pile (unconnected with the piece of plate), was recorded. *Originality.* Laboratory recorded the occurrence of additional tangential stresses around the pile, unconnected with the piece of plate under loading plate, to the depth of 1,2...1,8 of the width of the piece of plate. *Practical value.* The model of the pile foundations' fragment, the elements of which are involved to the work of the rotate, is capable of perceiving and withstand greater loads in comparison with the simultaneous loading of the piles' foundation's fragment. Sequential mobilization of all components of the pile foundation will help increase their trust level and to utilize the maximum potential of the ground bases, which could be an additional factor in the preservation of resources for the construction of pile foundations in general.

Keywords: flume research; gradual loading of the pile foundation fragment; additional tangential stresses; soil deformation.

Вступ

Геотехнічне будівництво є галуззю яка потенційно має великі запаси ресурсів ґрунтових основ, наданих нам природою, та несучої здатності фундаментів при їх сумісній роботі з основами та надземними конструкціями.

Проектування і експлуатація пильових фундаментів на слабких ґрунтах та в складних

інженерно-геологічних умовах пов'язано з їх нерівномірним осіданням, яке викликано дією сил негативного тертя вздовж паль, зниженням їх несучої здатності, тощо.

Основне навантаження від будівлі, як правило, сприймають палі, але відомо, що несуча здатність паль з часом знижується через виникнення негативного тертя, а через тривалу стабілізацію,

переміщення ґрунту утворює пустоти під плитою ростверку [12], в результаті чого вона втрачає можливість передавати навантаження на ґрунт. Плита ростверку може забезпечувати додатковий резерв несучої здатності, а у випадку дефекту паль або помилок інженерно-геологічних вишукувань плита ростверку може сприйняти утворене, в результаті цих негативних явищ, надмірне навантаження [10].

Дослідженням сил додаткового довантаження паль вздовж бічної поверхні силами тертя, діюча яких направлена зверху до низу, і має назву в багатьох джерелах "негативне тертя", займалося багато вчених: Бахолдін Б.В., Берман В.І., Грутман М.С., Далматов Б.І., Россіхін Ю.В., Григорян А.О., Вјетрум Л., Вромс В.В., Ролос Н.Г. та інші [1, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 7, 11].

Заслужують уваги комплексні дослідження проведені Fellenius В.Н., які дозволили з'ясувати, що всі палі будуть піддаватися дії сил негативного тертя вздовж бічної поверхні під час всього строку їх життєвого циклу [8], і доведено, що переміщення в 1-2 мм достатньо для активації тертя вздовж бічної поверхні [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Заслужує подальшого дослідження пропозиція Метелюка М.С. із влаштування пальових фундаментів методом стадійного завантаження, який передбачає наскрізні отвори в ростверку і його роботу (на першій стадії) як плити/стрічки, включення в загальну роботу пальового фундаменту паль на другій стадії. Ця ідея в подальшому вдосконалювалась багатьма дослідниками та винахідниками (влаштування багатошарових ростверків тощо).

Проф. І. П. Бойко наголошує, що будівля зазвичай зумовлює якусь одну величину осідання, і система пальового фундаменту при цьому не може бути мобілізована одночасно, це означає те, що щось обов'язково недораховується, що потенціал інших складових фундаменту обов'язково використовуються не на повну. Тому залучення до роботи елементів пальового фундаменту для використання резервів несучої здатності й ресурсів основи має сьогодні першочергове значення.

Сьогодні у багатьох країнах світу ефективним і раціональним рішенням фундаменту є використання пальових фундаментів, з залученням до роботи ростверку, з майже рівномірним розподіляється між ним і палями та застосування прогресивних конструкцій фундаментів, з можливістю регулювання напружено-деформованого стану [4, 5]. Проведені дослідження [2], доводять, що першочергове навантаження плити дає змогу змінити значення плити в роботі пальового фундаменту та підвищити її відсоткове співвідношення.

Мета

У зв'язку з вищевикладеним, виникла необхідність лабораторно дослідити НДС основи

фрагменту пальового фундаменту при окремому, послідовному навантаженні його елементів, і отримати якісну картину впливу процесу почергового залучення елементів пальового фундаменту до роботи на зміну сил додаткового дотичного напруження і тертя (негативного тертя).

Планування та методика лоткових досліджень

Поперечний переріз моделі палі складає 35×35 мм, довжина палі – 635 мм, розмір плити відповідає 5 d палі.

Особливістю даного лотку для випробувань є можливість змінюватися положення домкрату по висоті. Завдяки шпилькам з нарізаною різьбою діаметром 10 мм та довжиною 180 мм, та довжині балки за допомогою заздалегідь розроблених отворів. Описання каркасу лотку, прилади та деталі, що використовувалися на стенді детально наведено у роботі [3].

Лоток наповнювався піщаним ґрунтом з такими характеристиками: вологість – 5,26%; насипна щільність у вологому стані – 1260 кг/м³, насипна щільність у сухому стані – 1600 кг/м³. Для наочного спостереження переміщень пісок засипався пошарово, межа між якими була помічена крейдою. Товщина кожного шару піску становила 15 мм ± 2 мм. Ущільнення ґрунту проводили трамбуванням.

Навантаження на плиту передавалося за допомогою гідравлічного домкрату з максимальним навантаженням 5 т. Між домкратом та плитою було встановлено динамометр зразковий ДЗСМ 3-5 (рис. 1), за допомогою якого контролювалися етапи навантаження.

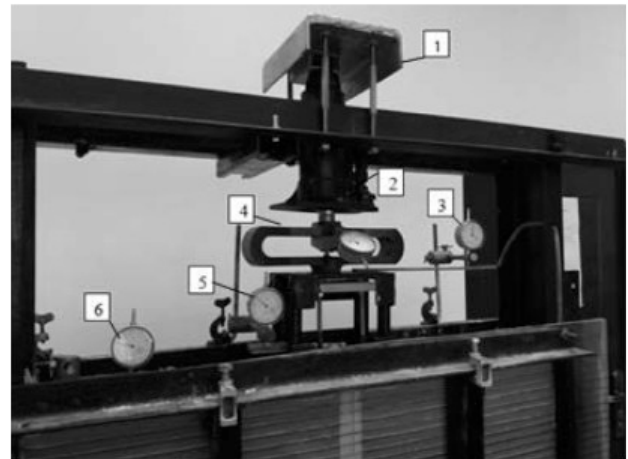


Рис. 1. Прилади та деталі, що використовувалися на стенді: 1 – опора домкрату (пластина 12 мм); 2 – домкрат гідравлічний 5 т (230-490 мм); 3 – прогиномір (для визначень переміщень плити); 4 – динамометр ДЗСМ 3-5; 5 – прогиномір (для визначень переміщень палі); 6 – прогиномір (для визначень переміщень ґрунту) / Fig. 1. Devices and parts that were used on the stand: 1 – the support of the Jack (plate 12 mm); 2 – hydraulic Jack 5 t (230-490 mm); 3 – the motion sensor (definitions of the displacements of the plate); 4 – exemplary compression mechanical sensor 3-5; 5 – the motion sensor (definition of

displacement piles); 6 – the motion sensor (to determine the displacements of the soil)

Дослідження деформованого стану основи фрагменту пального фундаменту при поетапному навантаженні його елементів проведено у три серії (див. табл. 1). У таблиці 1 наведено значення максимальних осідань фрагменту плити S_{\max} при максимальних навантаженнях P_{\max} для кожного етапу, кожної серії випробувань.

Під час I серії навантажувалась плита (імітує ростверк) з'єднана з палею (імітує роботу фрагменту класичного пального фундаменту, деформації основи якого буде прийнято за 100 % для оцінки результатів інших серій лоткових експериментів) (див. рис. 2а).

Таблиця 1
Значення максимальних осідань при максимальних навантаженнях для кожного етапу, кожної серії випробувань / values of maximal settlement with maximal loads (pressures) for each stage, each test run

Серія випробувань	Послідовність і етапи навантаження фрагменту пального фундаменту	Значення максимальних навантажень, P_{\max} , кН	Значення максимальних осідань, S_{\max} , мм
I	плита з'єднана з палею	0,67	51,16
II	1-й етап: плита, що нез'єднана з палею	0,63	35,98
	2-й етап: плита з'єднана з палею	0,67	45,17
III	1-й етап: плита, що не з'єднана з палею	0,37	20,68
	2-й етап: паля (відсутнє з'єднання з плитою)	30,88	0,533
	3-й етап: плита з'єднана з палею	0,67	40,71

Під час II і III серій елементи фрагменту пального фундаменту було задіяні до роботи поступово (навантажувалась плита, нез'єднана з палею, а згодом плита і паля з'єднанні між собою) (див. рис. 2б,в), але під час III серія додатково було довантажено палею за умови відсутності з'єднання з плитою (див. рис. 2в).

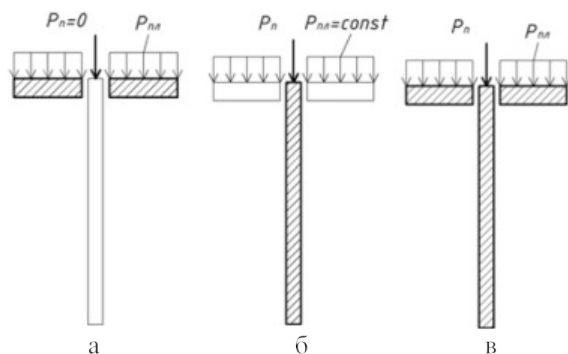


Рис. 2. Схематичне зображення трьох серій випробувань: а – I серія; б – II серія; в – III серія / Fig. 2. Schematic representation of three series of tests: a – I test run; b – II test run; c – III test run

I серія випробувань

I серія випробувань проводилась в один етап. Суть випробувань I серії (див. рис. 3) полягала у визначенні залежності переміщень від величин навантаження, яке ступенями прикладалося до фрагменту пального фундаменту, зокрема до пластини плити, до осідання 51,16 мм при максимальному навантаженні 0,67 кН.

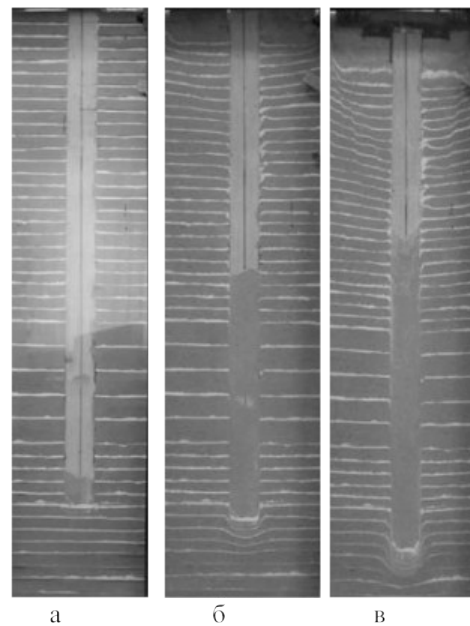


Рис. 3. Деформований стан основи I серії випробувань: а – до випробування; б – при навантаженні 0,39 кН; в – при навантаженні 0,67 кН / Fig. 3. Strain state of the foundation and a series of tests: a – before the test; b – at the load of 0.39 kN; at the load 0,67 kN

За результатами спостережень побудовано графік залежності осідання від навантаження $S=f(P)$, параметри якого наведені на рис. 4. Залежність деформацій ґрунту від навантаження має приблизно лінійний характер.

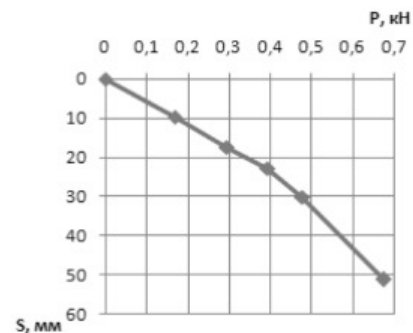


Рис. 4. Графік "навантаження – осідання" при I серії випробувань – (фрагмент плити з'єднаної з палею) /

Fig. 4. Schedule "load - settlement" in the first series of tests - (fragment of plate connected with pile)

II серія випробувань

II серія випробувань проводилась в два етапи (див. табл. 1). На 1-му етапі навантажувалась тільки фрагмент плити, що нез'єднана з палею (навантаження до палі не прикладалося). На 2-му етапі не знімаючи прикладеного навантаження на 1-му етапі, до роботи було залучено палю для сумісної роботи (шляхом з'єднання пластини) і навантажувалась фрагмент плити і палю з'єднанні між собою.

На 1-му етапі II серії випробувань можна умовно вважати роботу плити на ґрунтовій основі армованій палями (палю спочатку є елементом армування, а потім елементом конструкції фундаменту).

Зона деформації, яка формується під підошовою фрагменту плити, залежить від її розмірів. Зі збільшенням навантаження на плиту при 1-му етапі переміщувалась не тільки плита, а й палю. На рис. 5б зафіксовано утворення додаткових дотичних напружень навколо палі, нез'єднаної з фрагментом плити при навантаженні плити, які спричинили переміщення ґрунту приблизно на глибину 1,2...1,8 від ширини фрагменту плити. Помічена тенденція до збільшення додаткових дотичних напружень зі збільшенням навантаження на фрагмент плити. На рисунку 5в показано деформований стан після залучення до роботи палі.

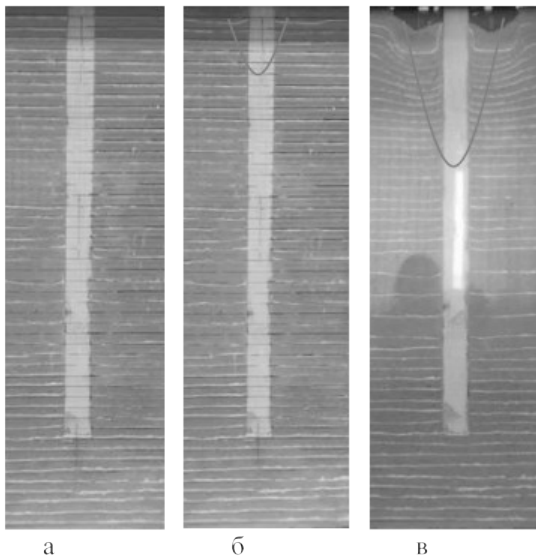


Рис. 5. Деформований стан основи при II серії випробувань: а – до випробування; б – 1-й етап (навантажувалась плита, нез'єднана з палею); в – 2-й етап (плита і палю з'єднанні між собою) / Fig. 5. Basis' strained state at the second series of tests: a - before the test; b - 1st stage (plate's fragment not connected with pile was loaded); c - 2nd stage (plate connected with pile)

Результати спостережень занесені у таблицю 2, де наведено значення осідань (переміщення плити і палі) фрагменту плити при відповідних навантаженнях

кожного етапу випробувань. Після 4 завантаження була задіяна до роботи палю.

За результатами спостережень побудований графік залежності осідання фрагменту пального фундаменту від навантаження $S=f(P)$ в залежності від етапу випробувань, параметри якого наведені на рис. 6, де зображено дві криві. Крива 1 (до навантаження 0,55 кН) відповідає переміщенням палі, нез'єднаної з фрагментом плити, викликаних додатковими дотичними напруженнями у ґрунті. В результаті обтиснення палі ґрунтом вона була переміщена до її включення майже на 3 мм.

Таблиця 2

Переміщення плити і палі при відповідних навантаження / the movement of plate and pile with the appropriate loads

Етапи випробування	№ п/п ступені завантаження	Навантаження, $P_{пл}, кН$	Переміщення плити, $S_{пл}, мм$	Переміщення палі, $S_{п}, мм$
1-й	1	0,15	9,82	0,19
	2	0,29	16,94	0,43
	3	0,43	25,01	1,63
	4	0,55	35,32	2,64
		$P_{пл+п}, кН$	$S_{пл+п}, мм$	$S_{п}, мм$
2-й	5	0,58	36,61	*3,93
	6	0,63	38,62	*5,94
	7	0,67	45,17	*12,49

Примітка: *помічено переміщення тільки палі, які фіксував прилад, після об'єднання палі і фрагменту плити

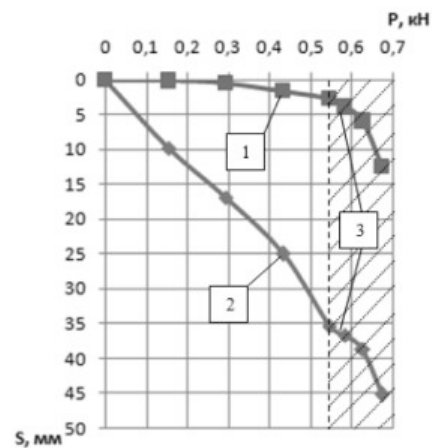


Рис. 6. Графік "навантаження – осідання" при II серії випробувань: 1 – переміщення палі при 1-му етапі; 2 – переміщення плити при 1-му етапі (до навантаження 0,55 кН); 3 – ділянка переміщень при 2-му етапі / Fig. 6. "Load – settlement" schedule at the second test run: 1 – piling movement at the 1st stage; 2 – plate movement during the 1st stage (up to the load of 0.55 kN); 3 – area movements when the 2nd stage

Після навантаження 0,55 кН крива 2 переходить у зону 3 і відповідає 2-му етапу випробувань. Зменшення осідань після навантаження 0,55 кН

пояснюється залученням до роботи палі, що на графіку помітно зміною куту нахилу кривої 3 до 2.

III серія випробувань

III серія випробувань проводилась в три етапи (див. табл. 2.1). На 1-му етапі навантажувалась тільки фрагмент плити, що нез'єднана з палею (навантаження до палі не прикладалося). На 2-му етапі, не знімаючи прикладеного навантаження до плити, окремо навантажувалась палля. Під час навантаження палі плита була зафіксована, тобто прикладене зусилля не змінювалося. На 3-му етапі не знімаючи прикладеного навантаження на 1-му і 2-му етапах, до роботи було залучено палю для сумісної роботи (шляхом з'єднання пластини) і навантажувалась фрагмент плити і палля з'єднанні між собою для сумісної роботи як однієї системи (конструкції). 1-й етап III серії випробувань відповідає 1-му етапу II серії, а 3-й етап III серії відповідає 2-му етапу II серії. Деформований стан основи III серії випробувань наведено на рис. 7.

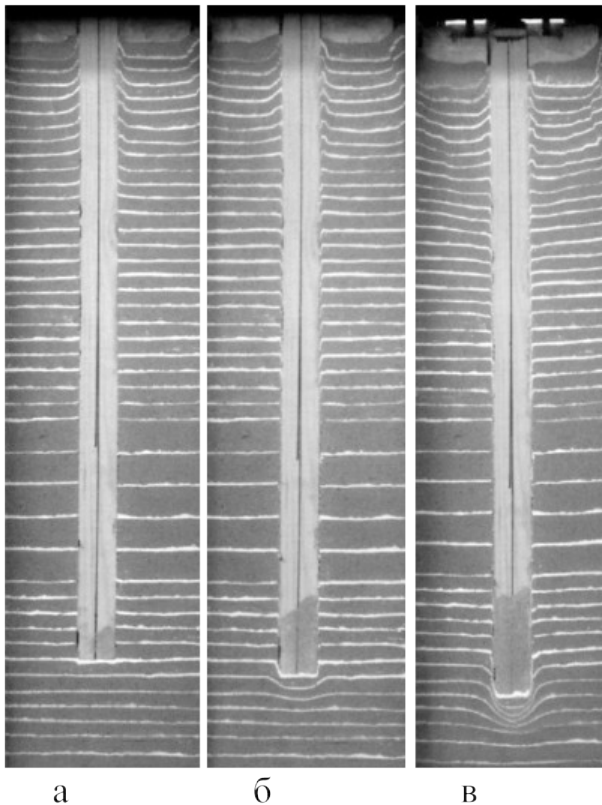


Рис. 7. Деформований стан основи III серії випробувань: а – 1-й етап (навантажувалась плита, нез'єднана з палею); б – 2-й етап (не знімаючи прикладеного навантаження до плити, навантажувалась окремо палля); в – 3-й етап (навантажувалися з'єднанні між собою плита і палля) / Fig. 7. Basis' strained state at the third series of tests: a – 1st stage (plate's fragment not connected with pile was loaded); b – 2nd stage (without taking off the load applied to the plate, pile was loaded separately); c – 3rd stage (interconnected plate's fragment and pile were loaded)

Результати спостережень занесені у таблицю 3, де наведено значення осідань фрагментів плит при заданих навантаженнях кожного етапу випробувань.

За результатами спостережень III серії випробувань (рис. 8) побудований графік залежності осідання фрагменту пального фундаменту від навантаження $S=f(P)$, параметри якого наведені на рис. 8. Крива 1 відповідає переміщенням плити, крива 2 – переміщенням палі, нез'єднаної з фрагментом плити, викликаних додатковими дотичними напруженнями у ґрунті. В результаті обтиснення палі ґрунтом вона була переміщена до її включення на 3 мм. Крива 3 відповідає переміщенням палі при її безпосередньому навантаженні, а крива 4 – переміщенням плити і палі, об'єднаних для сумісної роботи.

Таблиця 3

Переміщення плити і палі при відповідних навантаженнях / the movement of plate and pile with the appropriate loads

Серія випробувань	№ п/п	Переміщення плити $S_{пл}$, мм	Навантаження плити, $P_{пл}$, кН	Навантаження палі, $P_{п}$, кН	Переміщення палі, $S_{п}$, мм
1-й	1	9,61	0,16	-	0,39
	2	18,18	0,33	-	0,88
	3	21,68	0,365	-	1,32
2-й	4	21,68	0,365	0,09	10,78
	5	21,68	0,365	0,19	17,02
	6	21,68	0,365	0,23	21,51
		$S_{пл+п}$, мм	$P_{пл+п}$, кН	$S_{п}$, мм	
3-й	7	29,88	0,582	*28,98	
	8	32,71	0,641	*31,81	
	9	45,02	0,694	*44,12	

Примітка: *помічено переміщення тільки палі, які фіксував прилад, після об'єднання палі і фрагменту плити

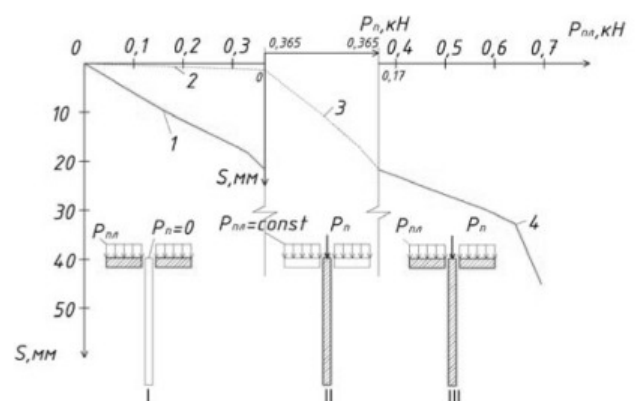


Рис. 8. Графік "навантаження – осідання" при III серії випробувань: 1 – 1-й етап, навантаження тільки фрагменту плити; 2 – 2-й етап, навантаження окремо палі (відсутнє з'єднання з плитою, навантаження на плиту стали); 3 – 3-й етап, навантаження фрагменту плити з'єднаної з палею / Fig. 8. "Load – settlement" schedule at the third test run of plates' fragment: 1 – 1st stage, only plate's

fragment was loaded; 2 – 2nd stage, pile was loaded separately (there is no connection with the plate, the load on the plate is constant); 3 – third stage (interconnected plate's fragment and pile were loaded)

Було зафіксовано переміщення палі, за рахунок її довантаження при навантаженні окремо плитної частини і фундаменту. Спочатку деформації виникають в окремих точках масиву і в міру збільшення навантаження поширюються, розвиваються, захоплюючи все більші області. Також було зафіксовано утворення напрямлення маркерів (див. рис. 9) у різні сторони в межах переходу знаку тертя.

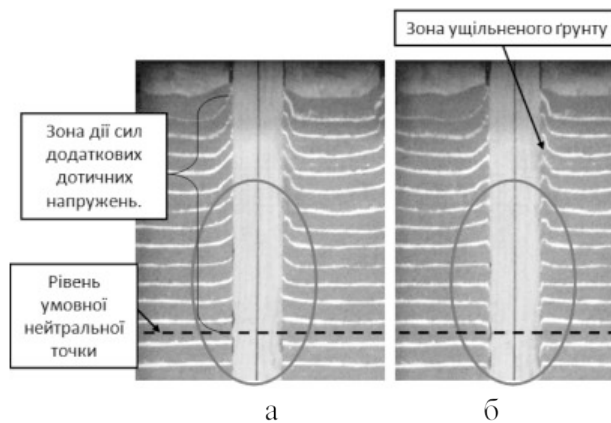


Рис. 9. Зображення впливу процесу почергового залучення елементів пальового фундаменту до роботи на поведінку сил додаткового дотичного напруження і тертя вздовж бічної поверхні палі: а – навантажувалась плита, нез'єднана з палєю; б – не знімаючи прикладеного навантаження до плити, навантажувалась окремо палія / Fig. 9. Basis' strained state at the third series of tests: a – plate's fragment was loaded; b – without taking off the load applied to the plate, pile was loaded separately

В залежності від способу улаштування, ґрунтових умов при переміщенні палі навколо її поверхні утворюється щільна ґрунтова зона, товщина якої сягає 3-10 мм. Деякі вчені, що займаються удосконаленням способів і підходів до проектування пальових фундаментів, обов'язковим етапом вважають визначення розташування нейтральної точки (див. рис. 9), де сили додаткового тертя, що діють вздовж бічної поверхні палі змінюють свою напрямляючу у протилежну сторону.

Результати

З аналізу графіку (див. рис. 10) зрозуміло, що модель фрагменту фундаменту, елементи якого

залучаються до роботи почергового, здатний сприймати і витримувати більше навантаження в порівнянні з одночасним навантаженням плити і палі (класичним способом).

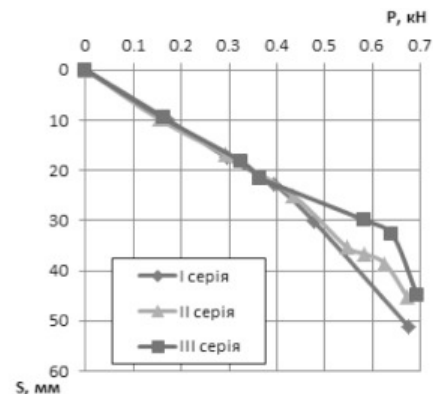


Рис. 10. Порівняння графіків "навантаження – осідання" трьох серій випробувань / Fig. 10 Comparison of the "load- settlement " schedules of three series of tests

Висновки

1. При навантаженні фрагменту плити, нез'єднаного з палєю, палія переміщується за рахунок утворення додаткових дотичних напружень у ґрунті навколо палі, під фрагментом плити.

2. Більшість наукових досліджень і робіт направлена на ліквідацію сил негативне тертя за рахунок зниження несучої здатності фундаментів. За умови поетапного залучення до роботи елементів пальового фундаменту додаткове напруження викликає попередньо напружений стан основи на деякому проміжку, який потім за рахунок довантаження палі корисно використовується, що пояснюється зміною умов роботи бічної поверхні палі у цій зоні (що можна заздалегідь враховувати і використовувати за аналогією як і попередньо напружену арматуру в залізобетонних конструкціях).

3. Поетапне залучення до роботи елементів пальового фундаменту сприяє зменшенню осідань і дає можливість передавати більше навантаження в порівнянні з одночасним навантаженням плити і палі.

4. Таким чином, почергова мобілізація всіх складових пальового фундаменту дозволить збільшувати їх рівень надійності та використовувати максимальний потенціал ґрунтових основ, що може бути додатковим фактором збереження ресурсів на зведення пальових фундаментів у цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бахолдин Б. В. Исследование напряженно-деформируемого состояния сваи и околоосвайного грунта при его осадке / Б.В. Бахолдин, В. И. Берман // Труды института. Выпуск 65 : Свайные фундаменты / науч. ред. Б. В. Бахолдин ; Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. – Москва, 1975. – С. 35-44.

2. Бойко І. П. Дослідження перерозподілу зусиль у фундаменті при різних варіантах розташування паль / І. П. Бойко, В. Л. Підлущкий // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ, 2015. – Вип. 37. – С. 64-73.
3. Сєдін В. Л. Лоткові дослідження напружено-деформованого стану основи пального фундаменту при поетапному навантаженні його елементів / Сєдін В. Л., Бікус К. М., Ковба В. В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. Серия: «Стародубовские чтения 2017» / ГВУЗ «Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры» ; под. общей редакцией В. И. Большакова. – Днепро, 2017. – Вып. 96. – С. 145-150.
4. Соломин В. И. Адаптивное управление параметрами грунтов и фундаментов при возведении сооружений / Соломин В. И., Лушников В. В., Оржеховский Ю. Р. // Сб. трудов СПбГАСУ. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 337-342.
5. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings / H. Brandl // Slovak, 2005. – Slovak University of Technology, 2006. – P. 1-12.
6. Bjerrum L. Reduction of negative skin friction on steel piles to rock / L. Bjerrum, I. Johannessen, O. Eide // Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. vol. 2, Mexico, 1969. – Vol. 2, pp. 27-33.
7. Bozozuk M. Bearing capacity of pile preloaded by downdrag / M. Bozozuk // Proc. of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, June 15-19, 1981, Stockholm – 1981, PP. 631-636.
8. Fellenius, B. H. Negative skin friction and settlement of piles / B. H. Fellenius // Second International Seminar, Pile Foundations, Nanyang Technological Institute, November 28 – 30, Singapore, 1984, 12p
9. Fellenius, B. H. Downdrag on piles in clay due to negative skin friction / B. H. Fellenius, B. Broms // Canadian Geotechnical Journal, November, 1972, Quebec, 1972, Vol. 9, No. 4, pp. 323 - 337.
10. Poulos H.G. Piled Raft Foundations for Tall Buildings/ Poulos H.G., Small J.C., Chow H. // Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 42, No.2, 2011. – PP. 78-84.
11. Poulos, H.G. Laboratory study of pile skin friction in calcareous sand / H.G. Poulos K. F. Chan // Proc. GeoTech. Eng., 17 (2), 1986 – PP. 235-257.
12. Tan Y.C. Design of Piled Raft Foundation on Soft Ground. / Tan Y.C., Chow, C.M. // GSM-IEM Forum: The roles of Engineering geology & geotechnical engineering in construction works, 2004. – PP. 1-20.

REFERENCES

1. Baholdin B. V. Issledovanie napryazhenno-deformiruemogo sostoyaniya svai i okolosvajnogo grunta pri ego osadke / B.V. Baholdin, V. I. Berman // Trudy instituta. Vypusk 65 : Svajnye fundamenty / nauch. red. B. V. Baholdin ; Nauch.-issled. in-t osnovanij i podzemnyh sooruzhenij Gosstroya SSSR. - Moskva, 1975. - S. 35-44.
2. Bojko I. P. Doslidzhennya pererospodilu zusil' u fundamenti pri riznih variantah roztashuvannya pal' / I. P. Bojko, V. L. Pidluc'kij // Osnovi i fundamenti : mizhvidom. nauk.-tehn. zb. / Kiïv. nac. un-t bud-va i arhit. - Kiïv, 2015. - Vip. 37. - S. 64-73.
3. Sedin V. L. Lotkovi doslidzhennya napruzhenno-deformovanogo stanu osnovi pal'ovogo fundamentu pri poetapnomu navantazhenni jogo elementiv / Sedin V. L., Bikus K. M., Kovba V. V. // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie : sb. nauch. tr. Seriya: «Starodubovskie chteniya 2017» / GVUZ «Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury» ; pod. obschej redakciej V. I. Bol'shakova. - Dnipro, 2017. - Vyp. 96. - S. 145-150
4. Solomin V. I. Adaptivnoe upravlenie parametrami gruntov i fundamentov pri vozvedenii sooruzhenij / Solomin V. I., Lushnikov V. V., Orzhehovskij Yu. R. // Sb. trudov SPBGASU. - Sankt-Peterburg, 2012. - S. 337-342.
5. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings / H. Brandl // Slovak, 2005. - Slovak University of Technology, 2006. - P. 1-12.
6. Bjerrum L, Johannessen I. Eide O. Reduction of negative skin friction on steel piles to rock, "Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. vol. 2, 1969.
7. Bozozuk M. Bearing capacity of pile preloaded by downdrag, Proc. of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm 15-19 June 1981
8. Fellenius, B. H. (1984). Negative skin friction and settlement of piles. Second International Seminar, Pile Foundations, Nanyang Technological Institute, Singapore, November.
9. Fellenius B., Broms B, Negative skin friction acting on steel pipe pile in clay. Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. vol.2, 1969.
10. Poulos H.G. Piled Raft Foundations for Tall Buildings/ Poulos H.G., Small J.C., Chow H. // Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 42, No.2, 2011. - RR. 78-84.
11. Poulos, H.G. and K.F. Chan, 1986. Laboratory study of pile skin friction in calcareous sand. Proc. GeoTech. Eng., 17 (2): 235-257.
12. Tan Y.C. Design of Piled Raft Foundation on Soft Ground. / Tan Y.C., Chow, C.M. // GSM-IEM Forum: The roles of Engineering geology & geotechnical engineering in construction works, 2004. - RR. 1-20.

Поступила до редколегії 29.08.2017