

УДК 624.154.1:137.37

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ФРАГМЕНТУ ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ ПРИ ПОЕТАПНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ У ЛОТКУ

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, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

² Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

^{3*} Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38(056)756-33-43, e-mail: vladislavkovba@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

Анотація. Постановка проблеми. Дослідження зміни напружено-деформованого стану (НДС) основи моделі фрагмента пального фундаменту (ПФ) залежно від зміни послідовності навантаження його елементів. **Методика.** У лабораторних умовах в об'ємному лотку проведено три серії випробувань моделей фрагментів (ПФ), що різнилися сполученнями навантажень, площею навантаження ґрунту під плитою ростверку і залученням до роботи моделі палі. **Результати.** Лабораторно досліджено зміну НДС основи моделі фрагмента ПФ залежно від зміни послідовності навантаження його елементів та вплив попереднього статичного навантаження палі на зниження її осідання у складі фрагмента ПФ. **Наукова новизна.** Серії випробувань моделей фрагментів ПФ за поетапного навантаження їх елементів (І і ІІІ серія) показали, що така послідовність навантаження дозволяє фрагменту ПФ сприймати більші навантаження за умови однакових значень осідань. Моделі фрагмента ПФ, у яких додатково навантажувалася паля (ІІІ серія), показали здатність сприймати ще більші навантаження порівняно з ІІ серією. **Практична значимість.** За умови поетапного залучення до роботи всіх елементів фрагмента ПФ виникає попередньо напружений стан основи (додаткові дотичні напруження) навколо моделі палі на деякому проміжку, який сприяє переміщенню моделі палі, не з'єднаної з фрагментом плити. Лабораторно підтверджено залежність про те, що чим більша площа навантаження ґрунту під плитою ростверку, тим більші переміщення моделі палі, не з'єднаної з фрагментом плити. У реальному будівництві цей ефект може використовуватися для попереднього навантаження палі і сприяти вирівнюванню осідань палей у межах пального поля ще до передачі експлуатаційних навантажень.

Ключові слова: поетапне навантаження фрагмента пального фундаменту; додаткові дотичні напруження; модель палі, не з'єднана з фрагментом плити

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ ФРАГМЕНТА СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА ПРИ ПОЭТАПНОМ НАГРУЖЕНИИ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ В ЛОТКЕ

СЕДИН В. Л.¹ *д. т. н., проф.*,

БИКУС 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, Днепро, 49600, Украина, 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, Днепро, 49600, Украина, 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, Днепро, 49600, Украина, тел. +38(056)756-33-43, e-mail: vladislavkovba@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

Аннотация. Постановка проблемы. Исследование изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) основания модели фрагмента свайного фундамента (СФ) в зависимости от изменения последовательности нагружения его элементов. **Методика.** В лабораторных условиях в объемном лотке проведены три серии испытаний моделей фрагментов СФ, различающиеся сочетанием нагрузок, площадью нагружения ґрунта под плитой ростверка и включением в работу модели сваи. **Результаты.** Лабораторно исследовано изменение НДС основания модели фрагмента СФ в зависимости от изменения последовательности нагружения его элементов и влияние предварительного статического нагружения сваи на снижение ее осадки в составе фрагмента СФ. **Научная новизна.** Серии испытаний моделей фрагментов СФ, при поэтапном

нагружении их элементов (II и III серия) показали, что такая последовательность нагружения позволяет фрагменту СФ воспринимать большие нагрузки при одинаковых значениях осадок. Модели фрагмента СФ в которых дополнительно нагружалась свая (III серия), показали способность воспринимать еще большие нагрузки в сравнении со II серией. **Практическая значимость.** При поэтапном включении в работу всех элементов фрагмента СФ возникает предварительно напряженное состояние основания (дополнительные касательные напряжения) вокруг модели сваи на некотором промежутке, способствующее перемещению модели сваи, не соединенной с фрагментом плиты. Лабораторно подтверждена зависимость: чем больше площадь нагружения грунта под плитой ростверка, тем больше перемещение модели сваи, не соединенной с фрагментом плиты. В реальном строительстве такой эффект может полезно использоваться для предварительного нагружения свай и способствовать выравниванию осадок свай в свайном поле еще до передачи эксплуатационных нагрузок.

Ключевые слова: поэтапное нагружение фрагмента свайного фундамента; дополнительные касательные напряжения; модель сваи, не соединенной фрагментом плиты

INVESTIGATION OF STRAIN STATE OF BASE OF THE FRAGMENT'S MODEL OF THE PILE FOUNDATION DURING STAGED LOADING OF ITS ELEMENTS IN THE SOIL TANK

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, Pridniprovs'k State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

² Foundation Engineering Department, Pridniprovs'k State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-1287-666X

^{3*} Foundation Engineering Department, Pridniprovs'k State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, +38(056)756-33-43, e-mail: vladislavkovba@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

Summary. Purpose. Changes of stress strain state of the fragment's model of the pile foundation's base depending on load sequence change should be investigated. **Methodology.** There are laboratory three test runs of the fragment's model of the pile foundation carried out at the soil tank, unlike staged of loading and square of weight square on the soil under the plate raft with the including of pile. **Results.** There are laboratory confirmations of change of strain-stress state of pile foundation base depending on its elements' load sequence change and confirmations of the influence of piles preloading on their settlement reduction. **Originality.** Carried out series of tests under the spatial invert with step-by-step loading of model elements of pile foundation fragments (the II and III test runs) showed that such sequence of foundation load allows it to take heavier loads under the condition of the same values of settlement. The model of pile foundation's fragment with additional loading of pile (III test run) showed that such sequence of foundation load allows it to take heavier loads in comparison to the I test run. **Practical value.** Upon condition of staged including of all elements of the pile foundation, prestressed strain state (additional skin frictions), around the model of the pile, at some point, which facilitates the movement of the pile's model, not connected with the plate. There are laboratory confirmations of dependencies that the more the weight square under the plate is, the greater the displacement of pile's fragment. This effect can be useful for preloading piles in the real building, and to help align the piles' settling within the limits of the pile field, before the transfer of operational loads.

Keywords: staged loading of the pile foundation's fragment; additional skin frictions; model of the pile not connected with the plate's fragment

Вступ. Стрімке зростання багатоповерхового і висотного будівництва потребує більш ретельного врахування абсолютних деформацій і майже ювелірного прогнозування відносних нерівномірних осідань пальових фундаментів (ПФ). Для таких будівель зазвичай проектують ПФ з плитними ростверками під усю будівлю чи під частини будівлі з найбільш зосередженими навантаженнями від конструкцій. Експлуатація ПФ із плитними

ростверками на слабких грунтах та у складних інженерно-геологічних умовах може спричинити осідання ґрунту основи під плитою ростверку в експлуатаційний період [12], в результаті чого утворюються порожнини і плита ростверку втрачає можливість передавати навантаження на ґрунт, і в разі перевищення осідань допустимих меж може спровокувати руйнування конструкцій.

Геотехнічне будівництво - це галузь, яка потенційно має великі запаси ресурсів ґрунтових основ, наданих нам природою, та несної здатності фундаментів під час їх спільної роботи з основами та наземними конструкціями. Відомо, що плита ростверку може забезпечувати додатковий резерв несної здатності фундаменту.

Професор І. П. Бойко наголошує на тому, що будівля зазвичай зумовлює якусь одну величину осідання, і система ПФ, яка має три складові (опір під нижнім торцем, уздовж бічної поверхні й під ростверком), при цьому не може бути мобілізована одночасно. За таких обставин щось обов'язково недораховується і потенціал інших складових ПФ обов'язково використовується не повністю. Загалом це спричинює збільшення перевитрат на зведення ПФ, а залучення до роботи елементів ПФ для використання резервів несної здатності й ресурсів основ набуває сьогодні першочергового значення [3]. Тому наразі у багатьох країнах світу ефективним і раціональним рішенням є використання ПФ із залученням до роботи ростверку та застосування конструкцій з можливістю регулювання напружено-деформованого стану (НДС) їх основ.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Для повноцінного використання ресурсів основ та раціонального проектування ПФ слід ураховувати не тільки послідовність зведення будівель із поступовим наростанням жорсткості і зростанням їх загальної ваги, а й послідовність залучення до роботи елементів ПФ. Інженерно залучення до роботи всіх елементів ПФ досягається шляхом поетапного навантаження плитного ростверку за умови відсутності з'єднання з палями. Дослідженням НДС основ таких фундаментів займалися F. Gonzalez, І. П. Бойко, В. В. Лушніков, І. В. Маєвська, Н. Brandl, М. С. Метелюк, В. П. Петрухін, О. В. Самородов, та ін. [1; 2; 4; 5; 8].

Навантаження таких конструкцій невід'ємно пов'язане з виникненням переміщень палі за рахунок утворення

додаткових дотичних напружень уздовж бічної поверхні палі при довантаженні ґрунтової основи довкола голів палі, що в багатьох джерелах зустрічається як явище негативного тертя [6; 6; 9-11]. Особливий інтерес викликають роботи Б. В. Бахолдіна, В. І. Бермана, В. Н. Fellenius, М. Vozozuk, J. J. Correa, J. F. Rodriguez та ін.

Попередні дослідження з числового моделювання НДС основи при навантаженні плитного ростверку, не з'єданого з палями [1], зафіксували переміщення палі.

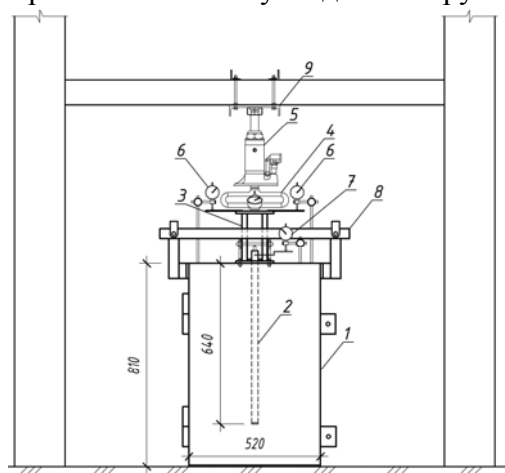
Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження НДС основ палі, не з'єднаних із ростверком, включають: навантаження плити ростверку і її осідання; об'єднання палі з ростверком і подальше навантаження ПФ. Цікаво лабораторно прослідкувати, як зміниться НДС ПФ за умови попереднього статичного навантаження палі (до їх об'єднання з ростверком)?

Постановка завдання. У зв'язку з цим роботу присвячено продовженню дослідження числових залежностей [1] і впливу попереднього статичного навантаження палі на зниження їх осідань у складі ПФ. Для цього необхідно лабораторно дослідити зміну НДС основи моделі фрагмента ПФ залежно від зміни послідовності навантаження його елементів, провести три серії випробувань в умовах об'ємного лотка.

Основний матеріал і результати. Дослідження взаємодії моделей елементів фрагментів ПФ проводили в лотку круглої в плані форми. Діаметр моделі палі $d_n = 25$ мм, а довжина $l_n = 640$ мм. Лоток – металева ємність циліндричної форми діаметром 520 мм і висотою – 810 мм, яка складається з трьох частин: роз'ємний корпус із сегментів округлої форми, які з'єднані між собою за допомогою шарнірів, і дна із листової сталі (рис. 1). Внутрішні розміри лотка складають 500×800 мм. У період досліджень піщаний ґрунт порушеної структури укладався зі щільністю сухого ґрунту $\rho_d = 1,41$ г/см³ при вологості $W = 0,09$. Лоток заповнювали шарами ґрунту по 20 мм товщиною, після чого

ущільнювали ручною трамбівкою масою 3 кг. Контроль за якістю укладеного ґрунту

виконувався шляхом відбирання зразків у різальні кільця.



а

б

Рис. 1. Дослідний стенд для випробування: а – схема стенду; б – фото: 1 – лоток циліндричної форми; 2 – модель палі; 3 – модель фрагмента плити; 4 – динамометр ДОСМ 3-5; 5 – домкрат гідравлічний; 6 – індикатори (для визначень переміщень плити); 7 – індикатор (для визначень переміщень палі); 8 – напрямні елементи для рівномірного переміщення плити; 9 – опора домкрата з фіксатором (пластина 12 мм)

Для проведення експерименту було виготовлено три варіанти конструкцій фрагментів плит (товщиною 10 мм) з отворами у центрі (діаметром 27 мм) різних розмірів, фото яких зображено на рисунку 2. Розміри фрагментів плит залежно від площі навантаження ґрунту складають: діаметр 75 мм – площа 38,4 см² (рис. 2 а), діаметр 125 мм – площа 116,9 см² (рис. 2 б), діаметр 175 мм – площа 234,7 см² (рис. 2 в). Кожний фрагмент плити оснащено металевою пластиною товщиною 15 мм (рис. 2), за допомогою якої контролюється залучення моделі палі до роботи.

Статичне навантаження на фрагмент моделі плити передавалося за допомогою гідравлічного домкрата з максимальним навантаженням 5 т, який встановлювався на плити і спирався у систему упорних балок анкерного стенда (рис. 1). Етапи прикладання навантаження на фрагмент плити контролювали по динамометру зразковому механічному ДОСМ 3-5 (для плит діаметром 125 та 175 мм) та ДОСМ 3-1 (для плит діаметром 75 мм) з чутливістю не більше 0,02 % від найбільшої межі вимірювання, встановленому між домкратом і плитою.



а



б



в

Рис. 2. Фото фрагментів плит залежно від діаметра і площі навантаження ґрунту: а – 38,4 см² (75 мм); б – 116,9 см² (125 мм); в – 234,7 см² (175 мм)

Кожний ступінь навантаження витримувався до умовної стабілізації осідання моделі палі. Відліки знімалися одразу після прикладення ступеня навантаження, а потім з інтервалом 30 хв.

Вертикальні переміщення фрагмента плити фіксували двома прогиномірами Ич 10 з точністю 0,01 мм, установленими на реперних пристроях, переміщення палі – одним прогиноміром Ич 10 (рис. 1). За фактичне значення деформації палі приймалося середнє арифметичне по поділках двох приладів.

Дослідження деформованого стану основи фрагмента ПФ за поетапного

навантаження його елементів проведено у три серії, які наведено у таблиці 1 із значенням максимальних осідань фрагментів плит S_{max} за максимальних навантажень P_{max} для кожного етапу, кожної серії випробувань, для трьох варіантів розмірів фрагментів плит. Під час II і III серій елементи фрагмента ПФ задіяні до роботи поступово (навантажувалась плита, не з'єднана з палею, а згодом плита і паля, з'єднані між собою) (рис. 3 б, з). У III серії додатково було довантажено палею за відсутності з'єднання з плитою (рис. 3 в).

Таблиця 1

Значення максимальних осідань за максимальних навантажень для кожного етапу, кожної серії випробувань (трьох варіантів діаметрів фрагментів плит)

| Серія випробувань | Послідовність і етапи навантаження фрагмента пальового фундаменту | 75 мм | | 125 мм | | 175 мм | |
|-------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | $S_{max}, мм$ | $P_{max}, кН$ | $S_{max}, мм$ | $P_{max}, кН$ | $S_{max}, мм$ | $P_{max}, кН$ |
| I | плита з'єднана з палею | 7,04 | 5,68 | 7,01 | 8,70 | 7,01 | 16,19 |
| II | 1-й етап : плита не з'єднана з палею | 2,01 | 1,31 | 2,01 | 4,85 | 2,11 | 9,87 |
| | 2-й етап: плита з'єднана з палею | 7,01 | 5,72 | 7,03 | 9,46 | 7,02 | 16,76 |
| III | 1-й етап: плита не з'єднана з палею | 2,02 | 1,01 | 2,01 | 4,91 | 2,04 | 9,55 |
| | 2-й етап: окремо паля (відсутнє з'єднання з плитою) | 2,02 | 1,01 | 2,01 | 4,91 | 2,04 | 9,55 |
| | 3-й етап: плита з'єднана з палею | 7,01 | 6,01 | 7 | 9,94 | 7,05 | 17,33 |

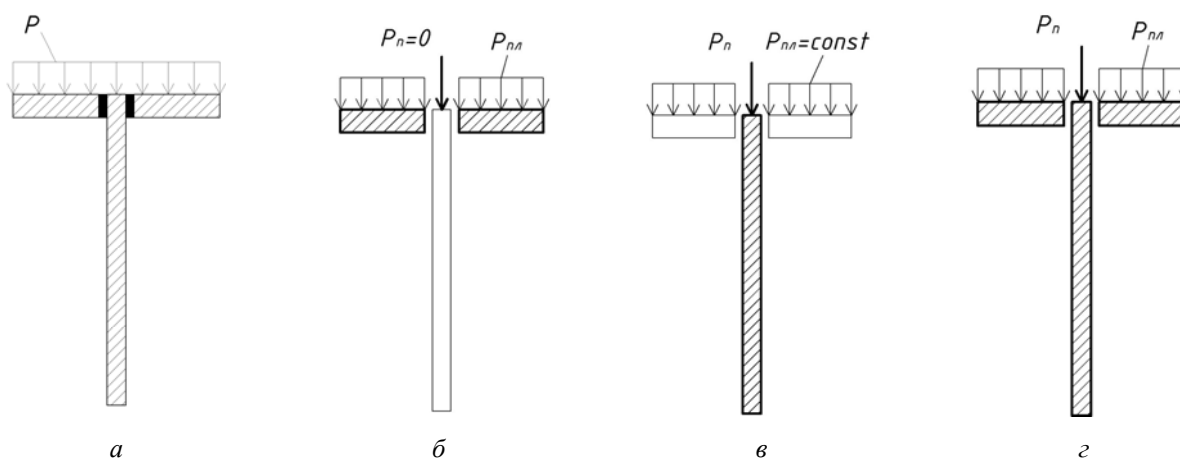


Рис. 3. Схематичне зображення поєднання навантажень елементів ПФ: а – I серія випробування; б – 1-й етап II та III серій випробувань; в – 2-й етап III серії випробувань; з – 2-й етап II серії та 3-й етап III серії випробувань

I серія випробувань проводилась в один етап (див. табл. 1). Навантажувалась плита, заздалегідь з'єднана з палею, до передачі статичного навантаження. Умовно НДС такого фрагмента імітує поведінку фрагмента класичного ПФ, а результати

його випробування прийнято за 100 % для можливості оцінювання результатів інших серій.

За результатами спостережень за переміщеннями фрагментів ПФ побудовано графік залежності осідання фрагментів плит

від навантаження $S=f(P)$ для трьох діаметрів фрагментів плит, параметри якого наведені на рисунку 4.

II серія випробувань проводилась у два етапи (див. табл. 1). На 1-му етапі навантажувалась тільки фрагмент плити, не з'єднаний з палею (навантаження до палі не прикладалося). Осідання доведені до значення $S_{пл.} \approx 2$ мм (див. рис. 3 б). На 2-му етапі, не знімаючи прикладеного навантаження на 1-му етапі, до роботи залучили палею для сумісної роботи (шляхом з'єднання пластини) і навантажували фрагмент плити, з'єднаний з палею (див. рис. 3 з).

Роботу II серії випробувань можна умовно вважати як плиту на ґрунтовій основі, армованій палями (палея спочатку є елементом армування, а потім елементом конструкції фундаменту).

Результати спостережень за переміщеннями елементів фрагментів ПФ

занесені в таблицю 2, де наведено значення осідань фрагментів плит за заданих навантажень кожного етапу II серії випробувань для трьох варіантів діаметрів плит.

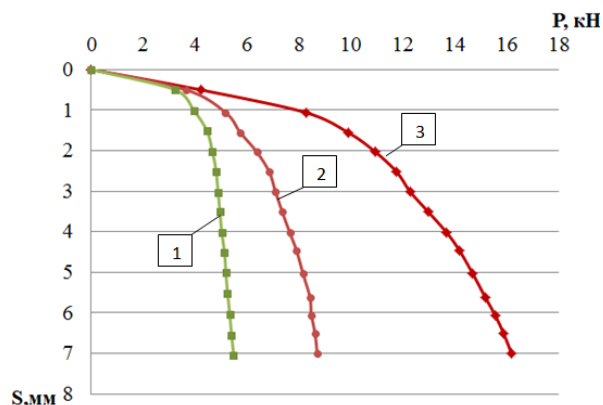


Рис. 4. Графік "навантаження – осідання" I серії випробувань залежно від діаметра плити: 1 – 75 мм; 2 – 125 мм; 3 – 175 мм

Таблиця 2

Результати II серії випробувань

| Етапи випробувань | № пп ступеня навантаження | Розміри фрагментів плит, залежно від діаметра моделі палі | | | | | | | |
|-------------------|---------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|---------------|
| | | 75 мм | | 125 мм | | 175 мм | | | |
| | | $S_{пл.}$, мм | $P_{пл.}$, кН | $S_{пл.}$, мм | $P_{пл.}$, кН | $S_{пл.}$, мм | $P_{пл.}$, кН | $S_{п.}$, мм | $P_{п.}$, кН |
| 1-й | 1 | 0,51 | 0,91 | 0,53 | 3,11 | 0,52 | 4,46 | - | - |
| | 2 | 1,02 | 1,14 | 1,04 | 4,06 | 1,12 | 7,72 | - | - |
| | 3 | 1,53 | 1,23 | 1,51 | 4,51 | 1,55 | 8,52 | 0,01 | - |
| | 4 | 2,01 | 1,31 | 2,01 | 4,85 | 2,11 | 9,87 | 0,035 | - |
| | | $S_{пл+п.}$, мм | $P_{пл+п.}$, кН | $S_{пл+п.}$, мм | $P_{пл+п.}$, кН | $S_{пл+п.}$, мм | | $P_{пл+п.}$, кН | |
| 2-й | 5 | 2,51 | 2,27 | 2,51 | 6,76 | 2,54 | | 11,6 | |
| | 6 | 3,01 | 4,06 | 3,02 | 7,88 | 3,03 | | 13,71 | |
| | 7 | 3,51 | 4,75 | 3,51 | 8,48 | 3,54 | | 15,11 | |
| | 8 | 4,02 | 5,13 | 4,02 | 8,98 | 4,01 | | 15,62 | |
| | 9 | 4,51 | 5,28 | 4,61 | 9,12 | 4,61 | | 16,13 | |
| | 10 | 5,01 | 5,4 | 5,02 | 9,32 | 5,04 | | 16,25 | |
| | 11 | 5,53 | 5,48 | 5,55 | 9,35 | 5,51 | | 16,38 | |
| | 12 | 6,01 | 5,58 | 6,07 | 9,38 | 6,03 | | 16,5 | |
| | 13 | 6,51 | 5,62 | 6,55 | 9,41 | 6,52 | | 16,63 | |
| 14 | 7,01 | 5,72 | 7,03 | 9,46 | 7,02 | | 16,76 | | |

На рис. 5 наведено графіки залежності $S=f(P)$ II серії для трьох діаметрів фрагментів плит. На графіках криві (до штрихової вертикальної лінії) відповідають 1-му етапу (осіданню тільки фрагмента плити $S_{пл.} \approx 2$ мм від навантаження $P_{пл.}=1,31$ кН для діаметра плити 75 мм (рис. 5 а); навантаження $P_{пл.}= 4,85$ кН для

діаметра 125 мм (рис. 5 б); $P_{пл.}= 9,87$ кН для діаметра 175 мм (рис. 5 в). Криві (після штрихової вертикальної лінії) відповідають 2-му етапу (осіданню фрагмента фундаменту, з'єднаного з палею для сумісної роботи).

Випробування для всіх варіантів розмірів фрагментів плит проводились до

максимальних осідань рівними $S_{пл.+п., max} \approx 7$ мм, за максимальних навантажень $P_{пл.+п., max} = 5,72$ кН для фрагменту плити діаметром 75 мм (рис. 5 а); $P_{пл.+п., max} = 9,46$ кН для плити діаметром 125 мм (рис. 5 б); $P_{пл.+п., max} = 16,76$ кН для плити діаметром 175 мм (рис. 5 в).

За навантаження моделі фрагмента плити ростверку діаметром 175 мм було помічено переміщення палі $S_n = 0,03$ мм за рахунок обтиснення поверхні ґрунту навколо голови моделі палі і виникнення додаткових дотичних напружень у ґрунті на деяку глибину від плити (рис. 5 в та табл. 2).

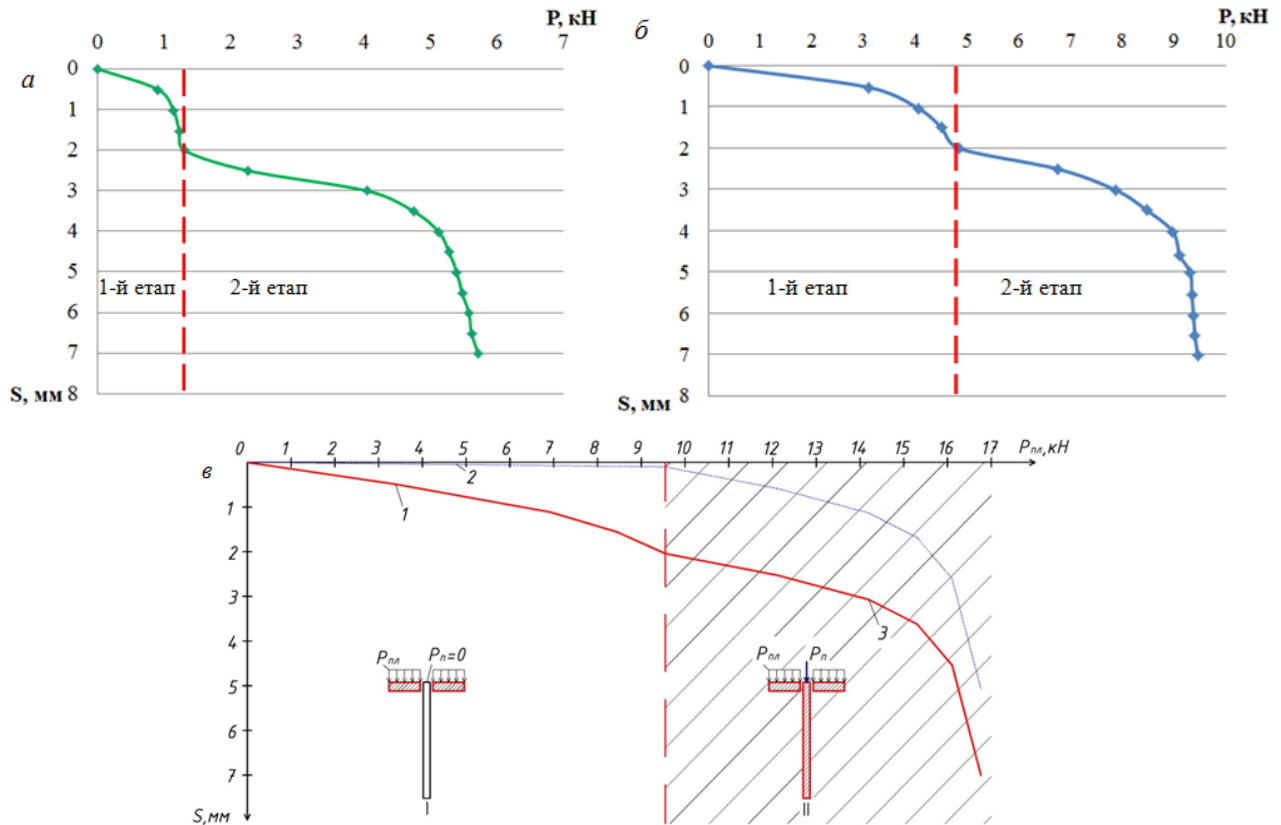


Рис. 5. Графік "навантаження – осідання" II серії випробувань фрагментів плит діаметром 75 мм (а), 125 мм (б), 175 мм (в): 1 – осідання плити, 2 – осідання палі, 3 – осідання плити і палі, з'єднаних між собою

III серія випробувань проводилась у три етапи (див. табл. 3). На 1-му етапі навантажувалась тільки фрагмент плити, не з'єднаний з палею (навантаження до палі не прикладалося), до осідання $S_{пл.} \approx 2$ мм (див. рис. 3 б). На 2-му етапі, не знімаючи прикладеного навантаження до плити, окремо навантажували палею до її осідання $S_n \approx 2$ мм (див. рис. 3в). На 3-му етапі, не знімаючи прикладеного навантаження до фрагмента плити і палі на 1-му і 2-му етапах, до спільної роботи залучили палею (шляхом з'єднання пластини) і навантажували фрагмент плити і з'єднаний з палею для сумісної роботи як однієї конструкції (див. рис. 3г).

Під час II і III серій елементи фрагмента ПФ були задіяні до роботи поступово (навантажувалась плита, не з'єднана з палею, а згодом плита і палея, з'єднані між собою) (рис. 3 в, г), але під час III серії додатково було довантажено палею за відсутності з'єднання з плитою (рис. 3 в).

Результати спостережень за переміщеннями елементів фрагментів ПФ занесені таблицю 3, де наведено значення осідань фрагментів плит за заданих навантажень кожного етапу III серії випробувань для трьох варіантів розмірів фрагментів плит.

Результати III серії випробувань

| Етапи випробувань III серії | 75 мм | | | | 125 мм | | | | 175 мм | | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|------------------------|---------------------|--|
| | S _{пл., мм} | P _{пл., кН} | S _{п., мм} | P _{п., кН} | S _{пл., мм} | P _{пл., кН} | S _{п., мм} | P _{п., кН} | S _{пл., мм} | P _{пл., кН} | S _{п., мм} | P _{п., кН} | |
| 1-й | 0,51 | 0,68 | - | - | 0,51 | 3,09 | - | - | 0,49 | 3,39 | - | - | |
| | 1,01 | 0,84 | - | - | 1,03 | 4,09 | - | - | 1,11 | 6,92 | - | - | |
| | 1,5 | 0,92 | - | - | 1,54 | 4,51 | - | - | 1,56 | 8,46 | 0,01 | - | |
| | 2,02 | 1,01 | - | - | 2,01 | 4,91 | 0,01 | - | 2,04 | 9,55 | 0,03 | - | |
| 2-й | 2,02 | 1,01 | 0,51 | 0,28 | 2,01 | 4,91 | 0,51 | 0,32 | 2,04 | 9,55 | 0,51 | 0,39 | |
| | 2,02 | 1,01 | 1,02 | 0,52 | 2,01 | 4,91 | 1,01 | 0,61 | 2,04 | 9,55 | 1,02 | 0,67 | |
| | 2,02 | 1,01 | 1,51 | 0,71 | 2,01 | 4,91 | 1,5 | 0,88 | 2,04 | 9,55 | 1,52 | 0,91 | |
| | 2,02 | 1,01 | 2,02 | 0,92 | 2,01 | 4,91 | 2,01 | 1,03 | 2,04 | 9,55 | 2,12 | 1,11 | |
| | S _{пл+п., мм} | | P _{пл+п., кН} | | S _{пл+п., мм} | | P _{пл+п., кН} | | S _{пл+п., мм} | | P _{пл+п., кН} | | |
| 3-й | | 2,53 | | 4,08 | | 2,51 | | 6,53 | | 2,52 | | 12,11 | |
| | 0 | 3,01 | | 4,91 | | 3,01 | | 8,83 | | 3,07 | | 14,16 | |
| | 1 | 3,51 | | 5,48 | | 3,51 | | 9,45 | | 3,62 | | 15,30 | |
| | 2 | 4 | | 5,79 | | 4,01 | | 9,58 | | 4,2 | | 16,13 | |
| | 3 | 4,52 | | 5,92 | | 4,72 | | 9,72 | | 5,12 | | 16,88 | |
| | 4 | 5,01 | | 5,96 | | 5,1 | | 9,79 | | 5,96 | | 17,01 | |
| | 5 | 5,96 | | 5,99 | | 5,8 | | 9,86 | | 6,52 | | 17,14 | |
| | 6 | 7,01 | | 6,01 | | 7 | | 9,94 | | 7,05 | | 17,33 | |

На рисунку 6 наведено графіки залежності $S = f(P)$ випробувань III серії для трьох варіантів розмірів фрагментів плит.

Випробування проводились до максимальних осідань рівних $S_{пл.+п., max} \approx 7$ мм, за максимальних навантажень $P_{пл.+п., max} = 6,01$ кН для фрагмента плити діаметром 75 мм (рис. 6 а); $P_{пл.+п., max} = 9,94$ кН – діаметром 125 мм (рис. 6 б); $P_{пл.+п., max} = 17,33$ кН – діаметром 175 мм (рис. 6 в).

За навантаження моделей фрагментів плит діаметром 125 і 175 мм на 2-му етапі III серії випробувань також помічені переміщення палі за рахунок виникнення додаткових дотичних напружень у ґрунті навколо палі.

У разі збільшення діаметра плити з 75 до 175 мм збільшувалася зона додаткових дотичних напружень у ґрунті навколо палі, що підтверджено приростом її переміщень. Зокрема, максимальне переміщення палі отримано за навантаження плити діаметром 175 мм. У випадку навантаження плити

діаметром 75 мм переміщення палі не відбувалося.

Порівняння результатів випробувань.

Проведені серії випробувань за поетапного навантаження елементів моделей фрагментів ПФ (II і III серії) показали, що така послідовність навантаження дозволяє фрагменту ПФ сприймати більші навантаження за умови однакових значень осідань (≈ 7 мм).

Порівняння результатів випробувань і їх об'єктивне оцінювання відбувались завдяки даним I серії випробувань, робота фрагмента якого імітує поведінку класичного ПФ, НДС якого, в межах наших досліджень, прийнято за 100 %.

Порівняння графіків (рис. 7) дає змогу побачити, що зі збільшенням розмірів плит за однакової довжини моделі палі, роль палі зменшується, оскільки значна частина навантаження на ґрунт передається за рахунок саме плитної частини.

Зокрема, для фрагмента ПФ із діаметром плити 75 мм, у якому кожний

його елемент навантажувався окремо, поетапно (II серія) сприймає на 5 % більші навантаження; з діаметром плити 125 мм сприймає на 8 % більше навантаження; з

діаметром плити 175 мм – на 4 % більше навантаження.

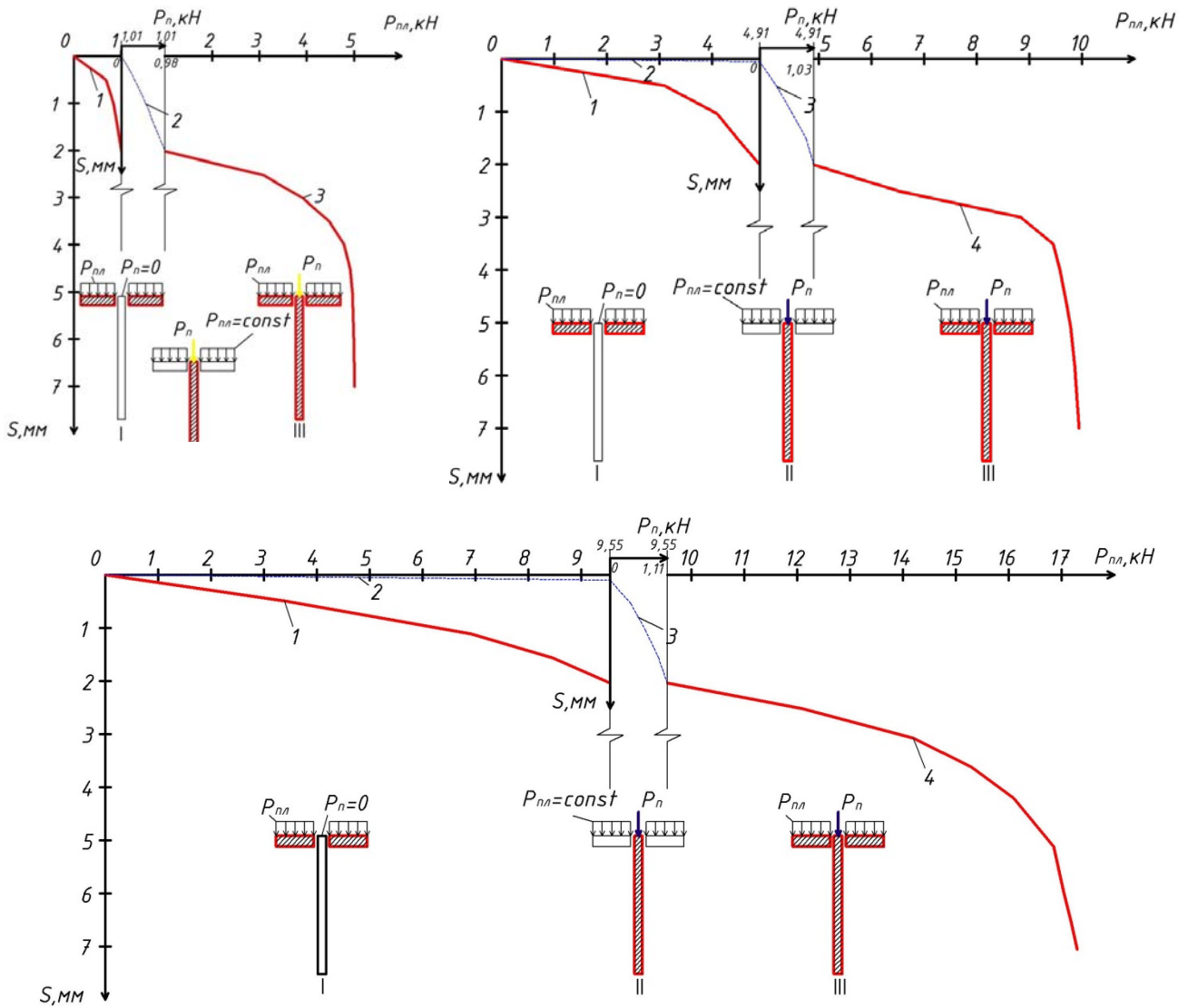
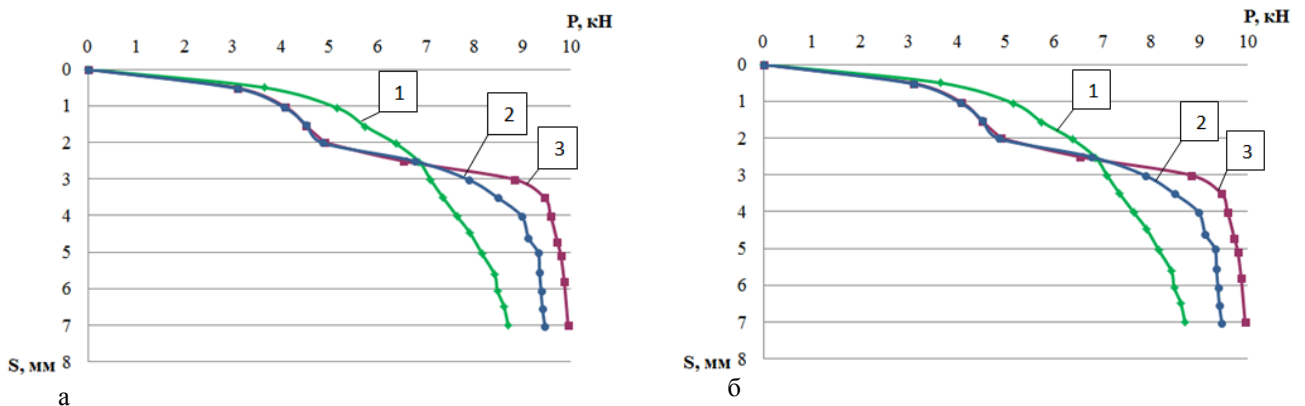


Рис. 6. Графік "навантаження – осідання" при III серії випробувань фрагмента плити діаметром 75 мм (а), 125 мм (б), 175 мм (в): 1 – 1-й етап, осідання плити; 2 – 1-й етап, осідання палі; 3 – 2-й етап, навантаження палі; 4 – осідання плити і палі з'єднаних між собою



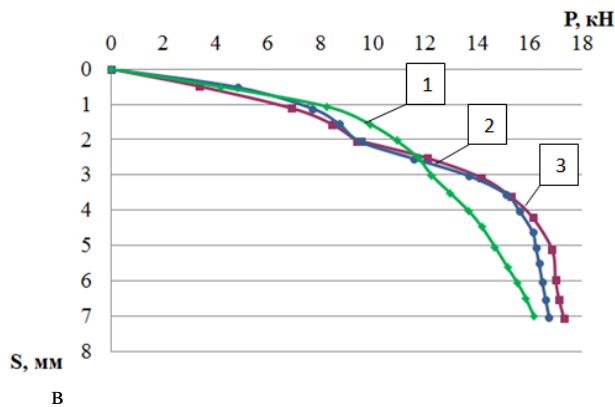


Рис. 7 – Графік "навантаження – осідання" фрагмента моделі ПФ із плитою діаметром 75 мм (а), 125 мм (б), 175 мм (в): 1 – I серія випробувань; 2 – II серія, 3 – III серія

Таблиця 4

Співвідношення різниці навантажень моделей фрагментів ПФ із різними розмірами плит

| Діаметр плити | 75 мм | 125 мм | 175 мм |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Серія випробувань | | | |
| II | навантаження більше на 5 % | навантаження більше на 8 % | навантаження більше на 4 % |
| III | навантаження більше на 10 % | навантаження більше на 13 % | навантаження більше на 7 % |

Примітка: за 100 % прийнято деформований стан основи I серії випробувань (див. рис. 4)

Осідання для всіх серій випробувань доводились до сталих значень (≈ 7 мм), і деформації моделей фрагментів ПФ, у яких (не знімаючи навантаження з плити) додатково окремо навантажували палю, до

того як її було залучено для сумісної роботи (III серія), показали здатність сприймати більші навантаження порівнянно з I і II серіями випробувань, на 10 % з діаметром плити 75 мм; на 13 % з діаметром плити 125 мм; на 7 % з діаметром плити 175 мм. Процентне співвідношення різниці навантажень моделей фрагментів ПФ із різними розмірами наведено в таблиці 4.

Висновки. Лабораторно підтвердж праці роботі [1], зокрема, переміщення палі за рахунок виникнення додаткових дотичних напружень у ґрунті навколо палі та залежність про те, що чим площа навантаження ґрунту більша (моделювалась зміною діаметрів плит), тим вплив на не з'єднану з плитою палю також більший. Максимальне значення переміщення палі отримано для фрагмента плити діаметром 175 мм.

Лабораторно досліджено зміну НДС основ моделей фрагментів ПФ залежно від зміни послідовності навантаження їх елементів. За умови поетапного залучення до роботи всіх елементів ПФ виникає попередньо напружений стан основи на деякому проміжку, який корисно використовується, довантажує і сприяє переміщенню палі. Також досліджено вплив попереднього статичного навантаження палі на зниження їх осідань.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

- Бікус К. М. Вплив попереднього навантаження палі на зниження їх осідань : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 "Основи і фундаменти" / Бікус Катерина Михайлівна ; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2015. – 210 с.
- Бойко І. П. Особливості взаємодії польових фундаментів під висотними будинками з їх основою / І. П. Бойко // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2006. – Вип. 30. – С. 3–8.
- Бойко І. П. Пальові фундаменти висотних будинків у складних ґрунтових умовах / І. П. Бойко, В. Л. Підлущкий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2014. – № 8. – С. 23–32.
- Маєвська І. В. Результати модельних досліджень стрічкових фундаментів мілкого закладання, що підсилюються палями / Маєвська І. В., Блащук Н. В. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – Т. 7, № 2(7). – С. 64–69.
- Плитно-свайные фундаменты как способ решения сложных геотехнических проблем / Ю. Р. Оржеховский, В. В. Лушников, Р. Я. Оржеховская, А. С. Ярдяков // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – № 4. – С. 83–86.
- Bakholdin B. V. Investigation of Negative Skin Friction on Piles and Suggestions on Its Calculations / Bakholdin B. V., Berman V. I. // Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1974. – Vol. 11, № 4. – P. 238–244.
- Bozozuk M. Bearing capacity of pile preloaded by down drag / Bozozuk M. // Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 15 June 1981, Stockholm, Sweden. – Rotterdam, 1981. – P. 631–636. – Available at: https://www.issmge.org/uploads/publications/1/35/1981_02_0126.pdf.

8. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise building / H. Brandl // Slovak journal of civil engineering. – 2005. – № 3. – P. 1–12. – Available at: https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/sjce/2005/2005_3/file2.pdf.
9. Bengt H. Fellenius. Fellenius Downdrag on piles in clay due to negative skin friction / Bengt H. Fellenius // Canadian Geotechnical Journal. – 1972. – Vol. 9, № 4. – P. 323–337.
10. Hung T. The Influences of soil characteristics on the Negative Skin Friction on a single pile / Hung T., Fu S.Y. // Progress in Civil, Architectural and Hydraulic Engineering IV : proceedings /ed. Kim. – London, 2016. – P. 343–346.
11. Mashhour I. Experimental study on negative skin friction on piles in collapsible soils due to inundation : a thesis ...for the degree of Doctor of Philosophy (Civil Engineering) / Ibrahim Mashhour ; Concordia University. – Quebec, 2016. – 171 p. – Available at: https://spectrum.library.concordia.ca/980920/1/Mashhour_PhD_S2016.pdf.
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, Kuala Lumpur, 2004 / University of Malaya. – Kuala Lumpur, 2004. – 20 p. – Available at: http://www.gnpgeo.com.my/download/publication/2004_14.pdf.

REFERENCES

1. Bikus K.M. Vplyv popередnoho navantazhennia pal na znyzhennia ikh osidan: dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.23.02 "Osnovy i fundamenti" [The influence of piles preloading on their settlement reduction: Dissertation of Candidate of Technical Sciences: specialty 05.23.02: Bases and Foundations]. Prydnipr. derzh. akad. bud-va ta arkhitektury [Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2015, 210 p. (in Ukrainian).
2. Boiko I.P. Osoblyvosti vzaiemodii polovykh fundamentiv pid vysotnymy budynkamy z ikh osnovoioiu [Features of the interaction of field foundations under high-rise buildings with their foundation]. Osnovy i fundamenti [Bases and foundations]. Kyiv. nats. un-t bud-va i arkhitektury [Kyiv National University of Construction and Architecture]. Kyiv, 2006, iss. 30, pp. 3–8. (in Ukrainian).
3. Boiko I.P. and Pidlutskyi V.L. Palovi fundamenti vysotnykh budynkiv u skladnykh hruntovykh umovakh [Pile foundations of high-rise buildings in complex ground conditions]. Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2014, no. 8, pp. 23–32. (in Ukrainian).
4. Maievska I.V. and Blashchuk N.V. Rezultaty modelnykh doslidzhen strichkovykh fundamentiv milkoho zakladannia, shcho pidsvyiuutsia paliamy [Results of model researches of stripped functions of shallow, amplified by piles]. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktzii v budivnytstvi [Modern technologies, materials and structures in construction]. 2009, no. 2(7), pp. 64–69. (in Ukrainian).
5. Orzhekhovskij Yu.R., Lushnykov V.V., Orzhekhovskaya R.Ya. and Yaryakov A.S. Plitno-svajnye fundamenti kak sposob resheniya slozhnykh geotekhnicheskikh problem [Pile-plate foundations as a way of solving of complex geotechnical problems]. Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN [Academic Bulletin of Ural Scientific-Research Institute of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. 2013, no. 4, pp. 83–86. (in Russian).
6. Bakholdin B.V. and Berman V.I. Investigation of Negative Skin Friction on Piles and Suggestions on Its Calculations. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1974, vol. 2, no. 4, pp. 238–244.
7. Bozozuk M. Bearing capacity of pile preloaded by down drag. Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 15 June 1981, Stockholm, Sweden. Rotterdam, 1981, pp. 631–636. Available at: https://www.issmge.org/uploads/publications/1/35/1981_02_0126.pdf.
8. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise building. Slovak journal of civil engineering, 2005, no. 3, pp 1–12. Available at: https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/sjce/2005/2005_3/file2.pdf.
9. Bengt H. Fellenius. Fellenius Downdrag on piles in clay due to negative skin friction. Canadian Geotechnical Journal. 1972, vol. 9, no. 4, pp 323–337.
10. Hung T. and Fu S.Y. Kim The Influences of soil characteristics on the Negative Skin Friction on a single pile. Progress in Civil, Architectural and Hydraulic Engineering IV. London, 2016, pp. 343–346.
11. Mashhour I. Experimental study on negative skin friction on piles in collapsible soils due to inundation: a thesis for the degree of Doctor of Philosophy (Civil Engineering). Concordia University. Quebec, 2016, 171 p. Available at: https://spectrum.library.concordia.ca/980920/1/Mashhour_PhD_S2016.pdf.
12. Tan Y. C. and Chow C. M. Design of Piled Raft Foundation on Soft Ground. GSM-IEM Forum: The roles of Engineering geology & geotechnical engineering in construction works. University of Malaya. Kuala Lumpur, 2004, 20 p. Available at: http://www.gnpgeo.com.my/download/publication/2004_14.pdf.

Рецензент: Єгоров Є. А., д-р т. н., проф.

Надійшла до редколегії: 01.06.2017 р. Прийнята до друку: 12.06.2017 р.