

УДК 625.154.5:624.131.384

ЛОТКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ ПРИ ПОЕТАПНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ

СЕДИН 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: geotescprof@mail.ru, 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: geotescprof@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. **Методика.** Заплановано дві серії випробувань: I серія – навантажувалась плита з'єднана з палюю (імітує роботу фрагменту класичного пальового фундаменту, деформації основи якого буде прийнято за 100 %); II серія – в 2 етапи: 1-й етап: навантажувалась плита, нез'єднана з палюю, 2-й етап: навантажувались плита і паля з'єднанні між собою. **Результати.** Під час 1-го етапу II серії випробувань зафіксовано деформації ґрунту під плитою, які спровокували переміщення палі (нез'єднаної з фрагментом плити) майже на 3 мм. **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.** 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 НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА ПРИ ПОЭТАПНОМ НАГРУЖЕНИИ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

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: geotescprof@mail.ru, 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: geotescprof@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. **Методика.** Проведено две серии испытаний: I серия – нагружалась плита, соединенная со сваей (имитирует работу фрагменту классического свайного фундамента, деформации основания которого будут приняты за 100 %); II серия – в 2 этапа: 1-й этап: нагружалась плита, несоединенная со сваей, 2-й этап: нагружалась плита и свая соединенные между собой. **Результаты.** Во время 1-го этапа II серии испытаний зафиксировано деформации

грунта под плитой, спровоцировавшие перемещения сваи (несоединенной с фрагментом плиты) почти на 3 мм. **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.** 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

FLUME RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE BASE OF PILE FOUNDATION BY A PHASED LOADING OF ITS ELEMENTS

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

^{1*} Department of bases and foundation, SHEE "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: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Department of bases and foundation, SHEE "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*} Department of bases and foundation, SHEE "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. **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%); second series - in 2 stages: 1 st stage: the plate, unconnected with the pile, was loaded, the second stage: the plate and the pile were connected together. **Results.** During the 1-st stage of the second series of tests deformation of the soil under the plate, that caused the displacement of the pile (unconnected with the piece of plate) almost for 3 mm, 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.** 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 в Україні 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 будівництво фундаментів глибокого залягання на слабких ґрунтах та в складних інженерно-геологічних умовах поставили широкий спектр проблеми для геотехніків, таких як: нерівномірне осідання фундаментів, виникнення негативного тертя вздовж паль, зниження їх несучої здатності.

Світові тенденції збільшення висоти будівель, які зростають як вгору так і вниз, охоплюючи при цьому надземні і підземні простори, сприяють збільшенню навантажень на ґрунтові основи, а зростання забудови мегаполісів

Останнім часом за рахунок можливості зводити будівлі та споруди у складних інженерно-геологічних умовах на слабких ґрунтах, за рахунок передачі

навантаження на глибші міцні шари ґрунту, що зазвичай мають меншу стисливість, у практиці як вітчизняного, так і закордонного геотехнічного будівництва набули широкого розповсюдження пальові фундаменти (які є найпоширенішим і найбільш універсальним видом фундаментів).

Основне навантаження від будівлі, як правило, сприймають палі. Відомо, що несуча здатність паль знижується з часом через виникнення негативного тертя, а через тривалу стабілізацію, переміщення ґрунту утворює порожнечу під плитою ростверку [8], в результаті чого плита фундаменту втрачає можливість передавати навантаження на ґрунт.

Також плита ростверку може забезпечувати додатковий резерв несучої здатності при граничному навантаженні. Крім того, у випадку дефекту паль або помилок інженерно-геологічних вишукувань плита може сприйняти утворене надмірне навантаження [7].

Проф. І. П. Бойко [2] наголошує, що будівля зазвичай зумовлює якусь одну величину осідання, і система пального 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 [1, 3-5]

Згідно з проведеними дослідженнями [1], при довжині паль, яка перевищує в 1,5 рази половини ширини ростверку розподіл між палями та фундаментною плитою практично не змінюється і становить в співвідношеннях 14 % ростверк, 86 % - плита. Але першочергове навантаження плити дає змогу змінити значення плити в пальовому фундаменті та підвищити її відсоткове співвідношення.

Мета

Для повноцінного використання ресурсів основ та раціонального проектування пальових фундаментів слід враховувати послідовність зведення будівель з поступовим наростанням жорсткості і зростанням їх загальної ваги, що впливає на НДС як основ, так і елементів пальових фундаментів.

У зв'язку з вищевикладеним, виникла необхідність лабораторно дослідити НДС основи фрагменту пальового фундаменту при окремому, послідовному навантаженні його елементів.

Планування та методика лоткових досліджень

Заплановано дві серії випробувань: I серія – навантажувалась плита (імітує ростверк) з'єднана з палею (імітує роботу фрагменту класичного пальового фундаменту); II серія – в 2 етапи: 1-й етап: навантажувалась плита, нез'єднана з палею, 2-й етап: плита і паля з'єднанні між собою.

Каркас лотку для випробувань виготовлено з гарячекатаного сталюого швелеру. З однієї сторони до прокату приварений сталевий лист товщиною 3 мм з ребрами жорсткості зі сталевих кутиків. Його передню стінку виготовлено з прозорого органічного скла товщиною 10 мм, яке з'єднувалося з каркасом за допомогою бовтів. Для запобігання деформацій скла у результаті прикладання навантаження, воно підсилювалося кутниками 45×45 мм. Опорні балки були виготовлені з кутників 60×60 мм, які кріпилися до колон за допомогою болтового з'єднання. До опорних балок приєднувалася металічна платформа (рис. 1), яка виконувала функцію кріплення для домкрату. Завдяки шпилькам з нарізаною різьбою діаметром 10 мм та довжиною 180 мм була можливість варіювати положенням домкрату по висоті. Крім цього, може змінюватися положення

домкрату по довжині балки за допомогою заздалегідь розроблених отворів. Це дозволило провести експерименти в різних постановах. Внутрішні розміри лотка 930×120×785 мм.

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

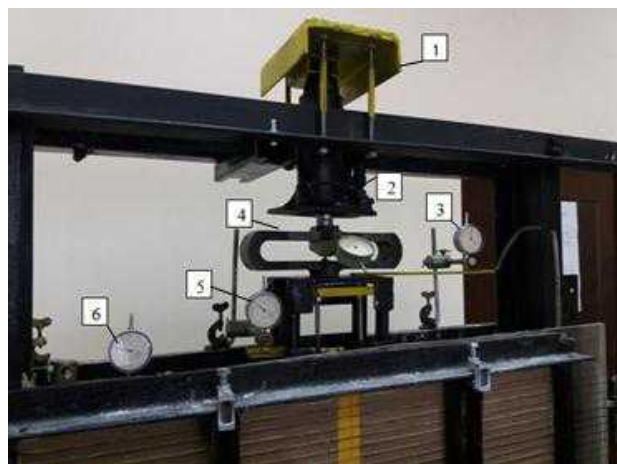


Рис. 1. Прилади та деталі, що використовувалися на стенді: 1 – опора домкрату (пластина 12 мм); 2 – домкрат гідравлічний 5 т (230-490 мм); 3 – прогиномір (для визначень переміщень плити); 4 – динамометр ДЗСМ 3-5; 5 – прогиномір (для визначень переміщень палі); 6 – прогиномір (для визначень переміщень 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).

I серія випробувань

Навантаження на фрагмент плити передавалось ступінчато до осідання приблизно 57,24 мм при максимальному навантаженні 0,67 кН.

Навантажувалась плита (імітує ростверк) з'єднана з палею (імітує роботу фрагменту класичного пальового фундаменту), деформації основи якого в подальшому буде прийнято за 100%). Залежність деформацій ґрунту від навантаження має приблизно лінійний характер наведено на рис. 3.

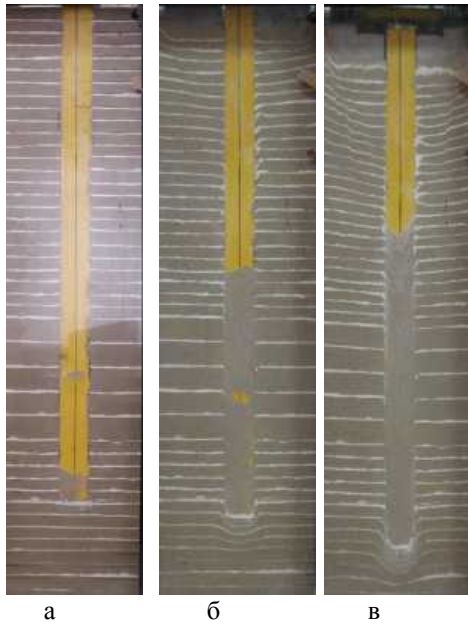


Рис. 2. Деформований стан основи при I серії випробувань: а – до випробування; б – при навантаженні 0,39 кН; в – при навантаженні 0,67 кН. / Fig. 2. Strain state of the foundation and a series of tests: а – tests; б – at a load of 0.39 kN; load 0,67 kN.

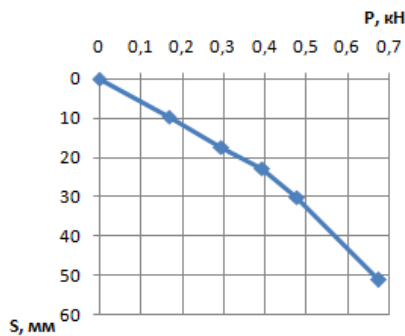


Рис. 3. Графік "навантаження – осідання" при I серії випробувань – (фрагмент плити з'єднаної з палею) / Fig. 3. Schedule "load - settlement" in the first series of tests - (fragment of plate connected with the pile)

II серія випробувань

Зона деформації, яка формується під подошвою фрагменту плити, залежить від її розмірів. Зі збільшенням навантаження на плиту при 1-му етапі переміщувалась не тільки плита, а й палі. На рис. 4, б 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 4в показано деформований стан після залучення до роботи палі.

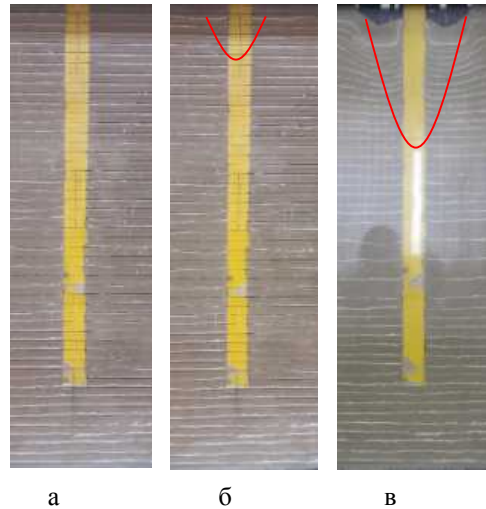


Рис. 4. Деформований стан основи при II серії випробувань: а – до випробування; б – 1-й етап (навантажувалась плита, нез'єднана з палею); в – 2-й етап (плита і палі з'єднанні між собою). / Fig. 4. Strained state basis for the second series of tests: а - before the test; б - 1st stage (plate under load, unconnected with the pile); с - 2nd stage (plate and pile interconnect).

У таблиці 1 наведено переміщення плити і палі при відповідних навантаженнях. Після 4 навантаження була задіяна до роботи палі. На графіку (рис. 5) залежності осідань від навантаження зображено дві криві. Крива 1 (до навантаження 0,58 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 1

Переміщення плити і палі при відповідних навантаженнях / the movement of plates and piles with appropriate loads

№ п/п	Навантаження, кН	Переміщення (плита), мм	Переміщення (палі), мм
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
5	0,58	36,61	3,93
6	0,63	38,62	5,94
7	0,67	45,17	12,49

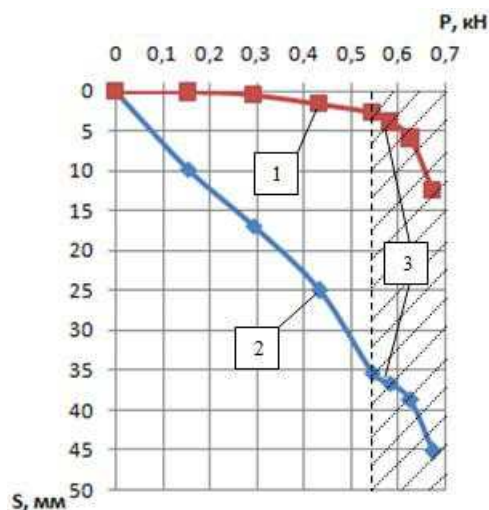


Рис. 5. Графік "навантаження – осідання" при II серії випробувань: 1 – переміщення палі при 1-му етапі; 2 – переміщення плити при 1-му етапі (до навантаження 0,58 кН); 3 – ділянка переміщень при 2-му етапі. / Fig. 5. Schedule the "load – settlement" in the second series of tests: 1 – moving piles at the 1st stage; 2 – move the plate during the 1st stage (up to the load of 0.58 kN); 3 – phase movements when the 2nd stage

Після навантаження 0,58 кН крива 2 переходить у зону 3 і відповідає 2-му етапу випробувань. Зменшення осідань після навантаження 0,58 кН пояснюється залученням до роботи палі, що на графіку помітно зміною куту нахилу кривої 3 до 2.

Результати

Під час 1-го етапу II серії випробувань зафіксовано утворення додаткових дотичних напружень навколо палі, що викликали деформації ґрунту під плитою і спровокували переміщення палі (нез'єднаної з фрагментом плити) майже на 3 мм.

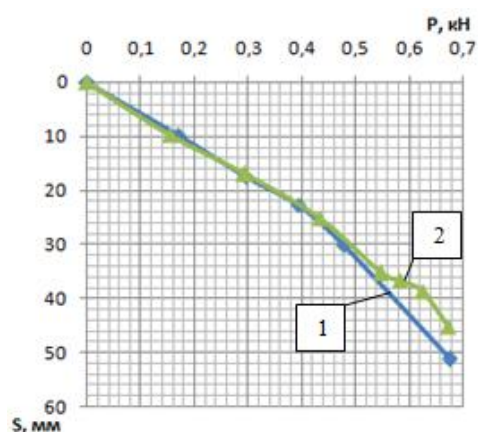


Рис. 6. Графік "навантаження – осідання" при I та II серіях випробувань: 1 – I серія випробувань; 2 – II серія випробувань. / Fig. 6. Schedule the "load – settlement" in the first and second series of tests: 1 – test series; 2 – the second series of tests.

Висновки

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

2. Поетапне залучення до роботи елементів пального фундаменту сприяє зменшенню осідань. Приймаючи переміщення фрагменту плити з'єднаної з палею (імітація класичного фундаменту), при I серії випробувань за 100 % отримуємо, що осідання фрагменту фундаменту при II серії випробувань, у якому послідовно включалися його елементи менше на 12 % ніж данні отримані під час I серії.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бікус К.М. Зміна технології зведення будівель для використання резервів несучої здатності палих фундаментів / Бікус К.М. // Стrojительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Вып. 85. – Днепропетровск, ГВУЗ ПГАСА, 2015. – С. 5-11.
- Бойко І. П. Дослідження перерозподілу зусиль у фундаменті при різних варіантах розташування палі / І. П. Бойко, В. Л. Підлущький // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ, 2015. – Вип. 37. – С. 64-73.
- Самородов А.В. Новая конструкция плитно-свайного фундамента / Самородов А.В. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2016. – №1. – С. 58-65.
- Соломин В. И. Адаптивное управление параметрами ґрунтов и фундаментов при возведении сооружений / Соломин В. И., Лушников В. В., Оржеховский Ю. Р. // Сб. трудов СПбГАСУ. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 337-342.
- Шулятьев О. А. Фундаменты высотных зданий / О. А. Шулятьев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Стrojительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 202-244.
- Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings / H. Brandl // Slovak University of Technology, 2006. – P. 1-12.
- 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.
- 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. Bikus K.M. Zmina tehnologii zvedennya budivel' dlya vikoristannya rezerviv nesuchoї zdatnosti pal'ovih fundamentiv / Bikus K.M. // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauchn. trudov. - Vyp. 85. - Dnepropetrovsk, GVUZ PGASA, 2015. - S. 5-11.
2. Bojko I. P. Doslidzhennya pererозpodilu zusil' u fundamenti pri riznih variantah rozdashuvannya pal' / I. P. Bojko, V. L. Pidluc'kij // Osnovi i fundamenti : mizhvidom. nauk.-tehn. zb. / Kiiv. nac. un-t bud-va i arhit. - Kiiv, 2015. - Vip. 37. - S. 64-73.
3. Samorodov A.V. Novaya konstrukciya plitno-svajnogo fundamenta / Samorodov A.V. // Visnik Pridniprovs'koї derzhavnoї akademii budivnictva ta arhitekturi. - Dnipropetrovs'k, 2016. - №1. - S. 58-65.
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. Shulyat'ev O. A. Fundamenty vysotnyh zdaniy / O. A. Shulyat'ev // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2014. - № 4. - S. 202-244.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

Стаття рекомендована до публікації д-рами техн. наук, проф. М.В. Савицьким и В.И. Большаковым (Україна)