

АНОТАЦІЯ

Харченко В. В. Обґрунтування параметрів міцності та деформативності основ цивільних будівель при їх підсиленні мікропалями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2024.

Дисертація присвячена розробці наукової задачі підсилення основ цивільних будівель мікропалями. На практиці з'ясовано, що палі діаметром 0,5...1,2 м та довжиною 6,0...12,0 м, створені на основі буроін'єкційної (*jet-grouting*) або бурозмішувальної (*drilling-mixing technology*) технологій, можуть бути вкорочені і перетворені на мікропалі (довжина $\geq 6,0$ м). Однак дотепер відсутнє узагальнення досвіду застосування вказаних технологій створення мікропаль, а їх розрахунок проводиться згідно нормативного документу, що регламентує визначення міцності та стійкості забивних або буронабивних палей.

Вирішення наукової задачі визначення параметрів системи «грунтова основа, підсилена мікропалями» в дисертаційній роботі базується на отриманні автором закономірностей напружено-деформованого стану при взаємодії її елементів. Відповідно, метою дисертаційної роботи є обґрунтування на базі отриманих результатів напружено-деформованого стану параметрів міцності та деформативності основ цивільних будівель при їх підсиленні мікропалями.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі виконано порівняльний аналіз буроін'єкційної та бурозмішувальної технологій влаштування мікропаль, результати якого стали підґрунтям доказу, що обидві технології під час підсилення слабких ґрунтових основ мають найбільшу ступінь прогнозованості зміни напружено-деформованого стану системи «грунтова основа, підсилена мікропалями».

Створено скінченно-елементні моделі фундаменту цивільної споруди для проведення обґрунтування параметрів міцності та деформативності ґрунтової

основи у непідсиленому стані та після підсилення, причому в якості еталонного проведено аналітичний розрахунок напружень та переміщень за нормативним документом.

На базі створених скінченно-елементних моделей вперше отримано закономірність вертикальних переміщень мікропалі від модуля пружності ґрунтової основи, яка є степеневою залежністю вигляду $s=aE_s^{-b}$ (ступінь апроксимації $R^2=0,99$), що надають змогу прогнозувати деформований стан для достатньо широкого діапазону модуля пружності слабкої ґрунтової основи ($E=5\dots 20$ МПа). Отримані автором закономірності визначають наукову новизну дисертаційної роботи.

За допомогою результатів параметричного чисельного аналізу виконано обґрунтування напружено-деформованого стану підсиленої мікропаллями основи з урахуванням нового підходу до їх взаємного впливу. Отримані результати доводять, що, базуючись на нормативному документі, який розроблено для забивних або буронабивних паль, неможливо ефективно зменшити вертикальні переміщення шляхом зближення мікропаль, оскільки відстань між мікропаллями в $3d$ для елементів, що створені на основі буроін'єкційної й бурозмішувальної технологій, є мінімальною. Результати також свідчать, що застосування навіть поодиноких мікропаль зменшує вертикальні переміщення в 11,7...11,9 % (мікропаля з ґрунтоцементу) і в 18,1...18,5 % (мікропаля з армованого ґрунтоцементу).

Проведено експериментальні дослідження міцності та стійкості непідсиленої та підсиленої мікропаллями ґрунтової основи в плоскому лотку. Проаналізовано результати моделювання, які доводять позитивний вплив підсилення (14,7 мм у підсиленій мікропалелю моделі на відміну від 17,5 мм у непідсиленій, тобто зменшення вертикальних переміщень в 1,19 рази).

Проведено порівняльний аналіз результатів теоретичних побудов з результатами експериментальних досліджень, отримана в його ході похибка знаходиться в діапазоні 8,29...8,69 %, що свідчить про високий ступінь достовірності проведеного чисельного та експериментального дослідження

фундаменту цивільної будівлі на непідсиленій та підсиленій мікропалею ґрунтовій основі.

Ключові слова: мікропалея, ґрунтова основа, підсилення, чисельний аналіз, міцність, деформативність, напружено-деформований стан, закономірності.

Список публікацій здобувача.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Петренко, В. Д. Залежності напружено-деформованого стану фундаментів та основ при їх відновленні на основі буроін'єкційних свердловин

[Текст] / В. Д. Петренко, В. В. Харченко, Р. М. Терещук, О. М. Петров // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. – 2020. – № 18. – С. 96-105. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217872> (фахове видання)

2. Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз технологій влаштування мікропаль під час підсилення слабких ґрунтових основ [Текст] / В. Д. Петренко, В. С. Андреев, В. В. Харченко // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. – 2021. – № 19. – С. 69-77. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233978> (фахове видання)

3. Харченко, В. В. Обґрунтування вибору моделі основи та фундаменту будівлі під час її підсилення мікропалеями [Текст] / В. В. Харченко, В. Д. Петренко // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. – 2023. – № 23. – С. 88-94. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281162> (фахове видання)

4. Харченко, В. В. Результати експериментальних лоткових досліджень ґрунтової основи при її підсиленні мікропалею [Текст] / В. В. Харченко, В. С. Андреев // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. – 2024. – № 25. – С. 119-125. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/303475> (фахове видання)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Dubinchyk, O. Geotechnical analysis of optimal parameters for foundations interacting with loess area [Електронний ресурс] / O. Dubinchyk, D. Bannikov, V. Kildieiev, V. Kharchenko // II International Conference Essays of Mining Science and Practice // E3S Web of Conferences 168, 00024. DOI:

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800024> (тези конференції; видання індексується у наукометричній базі Scopus)

6. Андреев, В. С. Теоретико-практичні аспекти наукової задачі підсилення основ для фундаментів цивільних будівель [Текст] / В. С. Андреев, В. В. Харченко // Матеріали 80 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2020. – С. 182-183. (тези конференції)
<https://crust.ust.edu.ua/items/c0a9f444-897c-4f62-a10b-a87e250b221b>

7. Petrenko, V. Regularities of the deformed state of the geotechnical system “soil base – micropile” [Електронний ресурс] / V. Petrenko, D. Bannikov, V. Kharchenko, T. Tkach // III International Conference Essays of Mining Science and Practice // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 970, 012028. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012028> (тези конференції; видання індексується у наукометричній базі Scopus)

8. Петренко, В. Д. Результати лоткових експериментів підсиленого мікропалею стрічкового фундаменту / Петренко В. Д., Андреев В. С., Харченко В. В. // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 19-20 жовтня 2022 р. – Дніпро, 2022. – С. 36-38. (тези конференції) <https://crust.ust.edu.ua/items/c0cb8305-07db-4098-9447-b476ceced521>

Внесок автора у наукові публікації, що написані у співавторстві: в публікаціях [5] і [7], що індексуються у наукометричній базі Scopus, Харченко В. В. отримав результати чисельного та аналітичного аналізу, брав участь в пошуку закономірностей напружено-деформованого стану стрічкового фундаменту; у фахових статтях [1] і [3] розробив скінченно-елементні моделі та аналізував результати розрахунку, у фаховій статті [2] проводив аналіз та брав участь у формуванні висновків, у фаховій статті [4] був виконавцем досліджень у плоскому лотку, проводив порівняльний аналіз, брав участь у формуванні висновків; в тезах конференцій [6] і [8] визначав мету і постановку завдань.

ABSTRACT

Vitalii Kharchenko Justification of the parameters of strength and deformability of civil buildings foundations when they are reinforced with micropiles. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 192 – Building Industry and Civil Engineering. – Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, 2024.

The dissertation is dedicated to the development of the scientific problem of civil buildings foundations strengthening with micropiles. In practice, it has been found that piles with a diameter of 0.5 ... 1.2 m and a length of 6.0 ... 12.0 m, created on the basis of jet-grouting or drilling-mixing technology, can be shortened and transformed into micropiles (length ≥ 6.0 m). However, so far there is no generalization of the experience of using the indicated technologies for creating micropiles, and their calculation is carried out according to the regulatory document that regulates the determination of the strength and stability of driven or bored piles.

The solution to the scientific problem of determining the parameters of the "soil base reinforced with micropiles" system in the dissertation is based on the author's obtaining the regularities of the stress-strain state during the interaction of its elements. Accordingly, the aim of the dissertation is to substantiate based on the obtained results the stress-strain state of strength and deformability parameters of civil buildings' foundations when they are reinforced with micropiles.

To achieve the goal, a comparative analysis of jet-grouting and drilling-mixing technologies for the installation of micropiles was performed in the dissertation, the results of which became the basis for proving that both technologies during the strengthening of weak soil bases have the highest degree of predictability in the stress-strain state changes of the "soil base reinforced with micropiles" system.

Finite-element models of the foundation of a civil structure were created to justify the strength and deformability parameters of the soil base in the unreinforced state and after reinforcement, and as a reference, analytical calculations of stresses

and displacements were carried out according to the regulatory document.

On the basis of the created finite-element models, for the first time, the regularity of the vertical displacements of the micropile was obtained from the modulus of elasticity of the soil base, which is a power dependence of the form $s=aE_s^{-b}$ (degree of approximation $R^2=0.99$), which makes it possible to predict the deformed state for a sufficiently wide range of the modulus elasticity of a weak soil base ($E=5...20$ MPa). The patterns obtained by the author determine the scientific novelty of the dissertation.

On the basis of the parametric numerical analysis results, the substantiation of the stress-strain state of the micropiles-reinforced foundation was made based on a new approach to their mutual influence. The obtained results prove that, based on the regulatory document that is developed for driven or bored piles, it is impossible to effectively reduce vertical displacements by bringing micropiles closer, since the distance between micropiles in $3d$ for elements created on the jet-grouting and drilling-mixing technologies is minimal. The results also show that the use of even single micropiles reduces vertical movements by 11.7 ... 11.9 % (soil cement micropiles) and 18.1 ... 18.5 % (reinforced soil cement micropiles).

Experimental studies of the strength and stability of unreinforced and micropiles-reinforced soil base in a flat tray were conducted. The simulation results were analyzed, which prove the positive effect of reinforcement (14.7 mm in the model reinforced with micropile, in contrast to 17.5 mm in the unreinforced one, i.e., a decrease in vertical displacement by 1.19 times).

A comparative analysis of the results of theoretical concepts with the results of experimental studies was carried out, the error obtained in the course of it is in the range of 8.29 ... 8.69 %, which indicates a high degree of reliability of the conducted numerical and experimental research of a civil building foundation on unreinforced and micropiles-reinforced soil foundation.

Keywords: micropile, soil base, strengthening, numerical analysis, strength, deformability, stress-strain state, regularities