

УДК 624.016.7

Винников Юрій, д.т.н., професор,
ORCID: 0000-0003-2164-9936, e-mail: vynnykov@ukr.net

Раздуй Роман, аспірант,
ORCID: 0000-0002-5819-6056, e-mail: romanrazduy@gmail.com
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Аніскін Олексій, к.т.н., доцент,
ORCID: 0000-0002-9941-1947, e-mail: aaniskin@unin.hr
Північний університет, м. Вараджин, Хорватія

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ОСІДАНЬ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИХ ОСНОВ НА ПРИКЛАДІ ЛОТКОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Анотація. Наведено графіки результатів осідань штампу при моделюванні лоткового експерименту із визначення впливу армування вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ) слабких глинистих основ стрічкових і плитних фундаментів будівель. Порівняно результати моделювання експерименту із використанням критерія міцності Мора-Кулона методом скінченних елементів (МСЕ) для оцінювання напружено-деформованого стану (НДС) системи «фундамент – армований шар ґрунту – основа» при використанні різних моделей імітації ГЦЕ.

Ключові слова: вертикальний ґрунтоцементний елемент, ґрунтова основа, осідання, порівняння моделей розрахунку, метод скінченних елементів.

Vynnykov Yuriy, DSc, Professor,
ORCID: 0000-0003-2164-9936, e-mail: vynnykov@ukr.net

Razdui Roman, post-graduate,
ORCID: 0000-0002-5819-6056, e-mail: romanrazduy@gmail.com
National university «Yuri Kondratyuk Poltava polytechnic»

Aniskin Aleksej, PhD, Associate Professor,
ORCID: 0000-0002-9941-1947, e-mail: aaniskin@unin.hr
University North, Varazdin, Croatia

ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF SETTLEMENTS OF SOIL- CEMENT BASE ON THE EXAMPLE OF TRAY EXPERIMENT

Abstract. Graphs of settlements of stamp experiment in the modeling of the tray experiment to determine the effect of reinforcement with vertical soil-cement elements (SCE) of weak clay foundations of strip and slab foundations of buildings are shown. The results of modeling the experiment using the Mohr-Coulomb finite element strength criterion for estimating the stress-strain state (SSS) of “foundation – reinforced soil – soil base” using different models of the finite element method (FEM) reference task are compared.

Keywords: vertical soil-cement element, soil base, settlement, comparison of calculation methods, finite element method.

Вступ. Покращення геотехнічних характеристик (наприклад, модуль деформації та питоме зчеплення) слабких глинистих ґрунтів вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ) – ефективний, економічно вигідний і вже достатньо апробований метод щодо зменшення осідань системи «основа – фундамент – будівля» [1 – 4].

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Зокрема, вже визначено [3, 5], що з часом відбувається зростання міцності ГЦЕ до 2,5 разів і відповідно міцності армованих основ. Отримано залежності модулів деформації ґрунтоцементної суміші від відсотку вмісту цементу та водо-цементного відношення, щільності ґрунту тощо.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Однак, потребує подальшого удосконалення методика розрахунку армованих ґрунтоцементом основ стрічкових і плитних фундаментів будівель та споруд, у т. ч. способу прогнозування їх осідань за умов сильностисливих ґрунтів. Одним із надійних шляхів розв'язання цієї задачі є порівняння осідань натурального експерименту із його моделюванням.

Тому, за **мету роботи** прийнято моделювання деформованого стану (НДС) глинистої основи з варіативними параметрами армування у лотку під жорстким стрічковим штампом, аналіз отриманих даних деформацій основи, армованої вертикальними ГЦЕ, з порівнянням результатів розрахунку методом скінченних елементів (МСЕ) за імітації ґрунтоцементу пальовими елементами і ґрунтовими елементами із лотковим дослідом для обґрунтування найбільш достовірної методики прогнозування осідань таких основ.

Основний матеріал і результати. Математичне моделювання проводили просторовою (3D) версією програмного комплексу Plaxis. При цьому використано нелінійну розрахункову модель Мора-Кулона. Для чисельного моделювання штампових досліджень у лотку обрано ті самі характеристики ґрунтової основи, ґрунтоцементу та відсотків армування i , що й в експерименті [6] та подано у таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики матеріалів, задані для моделювання МСЕ

Елемент	ρ , г/см ³	E, МПа	ϕ , °	c, кПа	ν
Ґрунтова паста	1,85	0,7	19	8,5	0,35
Щебінь	2,00	40	40	1,0	0,25
Ґрунтоцемент	2,00	300	-	-	-
Ґрунтоцементні палі	2,00	300	-	-	0,25

Залежність осідання від навантаження змодельоване для ґрунтової основи відповідно критерію міцності Кулона-Мора у пружно-пластичній моделі ґрунту. Було виконано по 2 розрахунки для кожного варіанту лоткового експерименту – задання ґрунтоцементу масивом ґрунту чи його імітування палею (рис. 1 – 4).

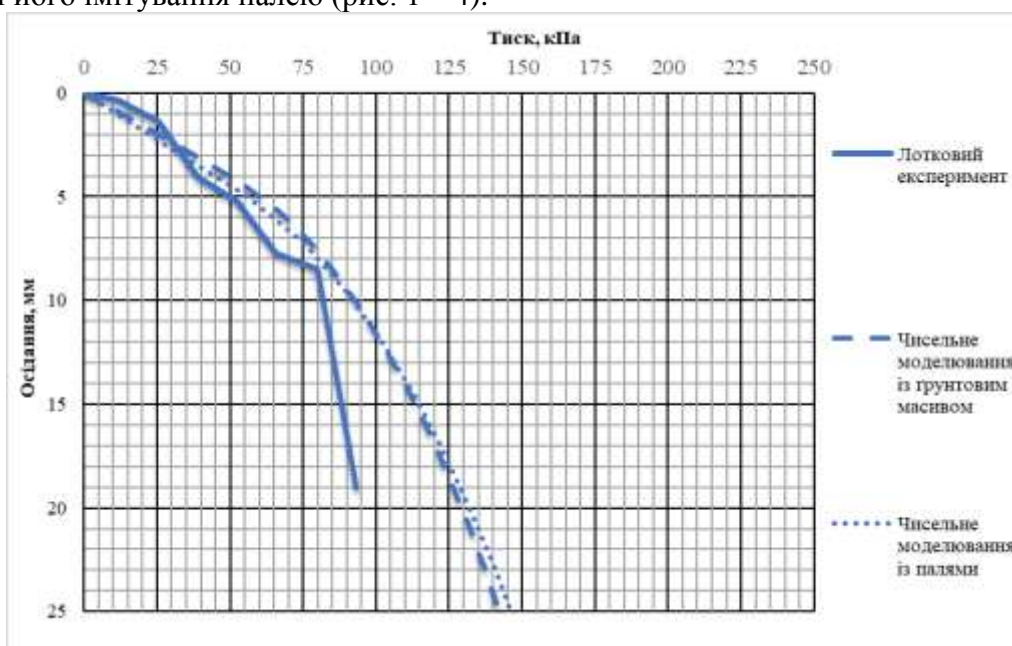


Рис. 1 – Порівняння осідань при моделюванні неармованої основи

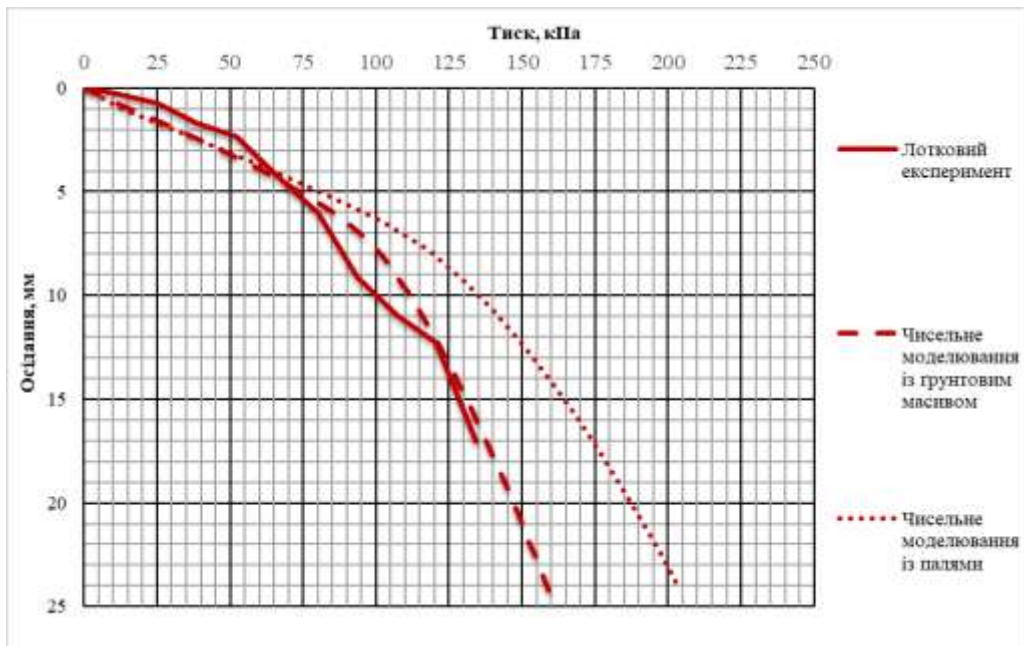


Рис. 2 – Порівняння осідань при моделюванні основи із армуванням 2,1%

У першому варіанті ГЦЕ моделювали за параметрами моделі лінійно-пружного тіла об'ємними елементами. Постадійно враховували вийняття ґрунту для влаштування щебенкової подушки, ГЦЕ, заповнення свердловин ґрунтоцементом, улаштування подушки, штампку та їх постадійне навантаження. При другому розрахунку прийнято наступне спрощення – ГЦЕ моделювали як палі з відповідними характеристиками, а постадійне моделювання було обмежене стадіями влаштування паль і прикладення навантаження. У кожного випадку тиск на ґрунт прикладали відповідно до отриманого в лотковому експерименті [6]. Для наочності проведених досліджень представлено графіки залежності осідання від напружень при моделювання МСЕ для неармованої та армованих основ (рис. 1 – 4).

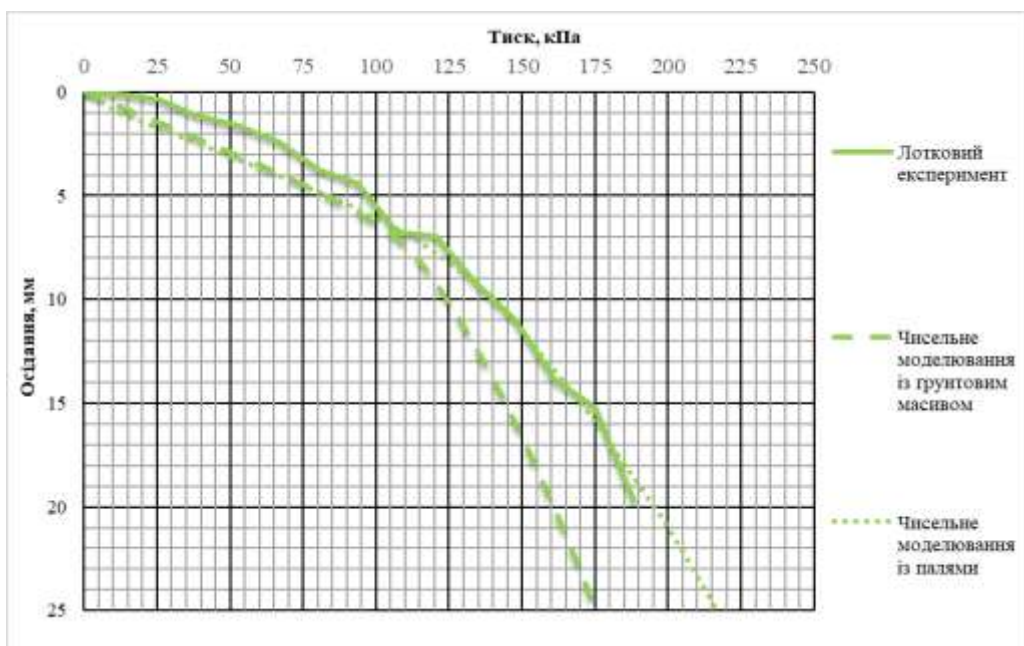


Рис. 3 – Порівняння осідань при моделюванні основи із армуванням 4,4%

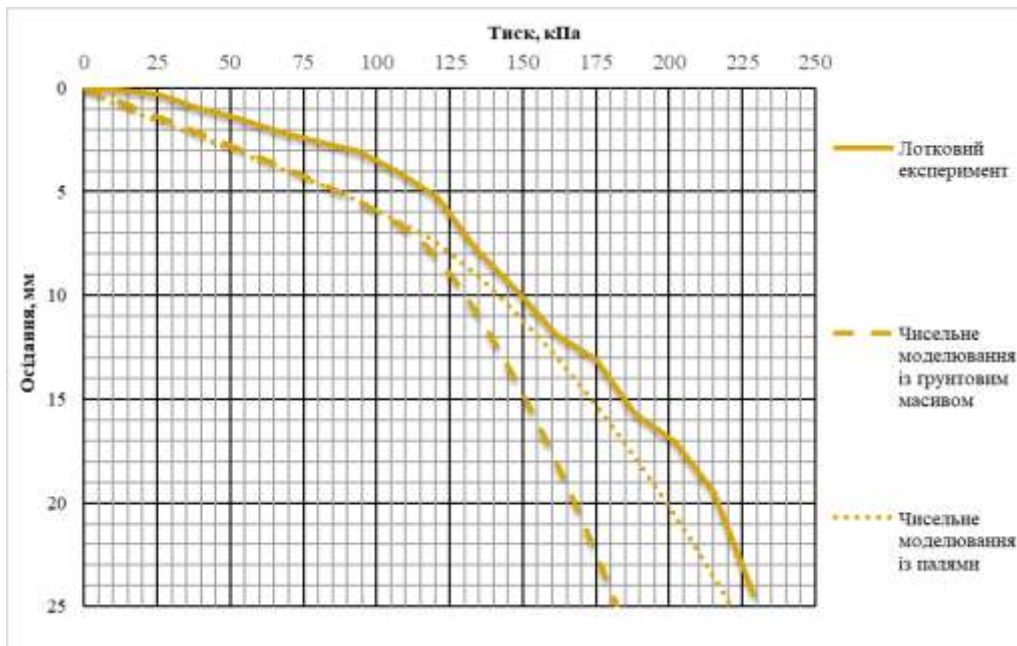


Рис. 4 – Порівняння осідань при моделюванні основи із армуванням 7,1%

Висновки. Отже, доведено достатню коректність оцінювання МСЕ НДС системи «армована основа – стрічковий фундамент» з використанням 3D версії комплексу PLAXIS при застосуванні пружно-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Кулона – Мора для імітації роботи ПЦЕ як пальовими, так і ґрунтовими елементами. Отримані у роботі графіки осідань шляхом штампових випробувань і моделювання МСЕ у 3D версії комплексу PLAXIS близькі. Похибки за порівнянням результатів лоткових дослідів і моделювання можливо пояснити недостатньою достовірністю визначення параметрів міцності матеріалів й складністю створення у лабораторних умовах складу ґрунтової основи, близького до природного.

Література

1. Briaud J.-L. *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils* / J.-L. Briaud. Wiley. – 2013. – 1024 p.
2. *Deep mixing research results in under water conditions* / [W. Van Impe, R. Verástegui Flores, P. Van Impe et. al.] // *Proc. of the 16th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka, 2005)*. – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2005. – V. 3. – P. 1275 – 1278.
3. *Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method* / [M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, I. Lartseva et al.] // *Proc. of the 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Athens, 2011)*. – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P. 1097 – 1102.
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016 *Настанова щодо проектування будівель і споруд на слабких ґрунтах*. – К.: ДП «УкрНДНЦ». – 2017. – 66 с.
5. Зоценко М.Л. *Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: монографія* / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, В.М. Зоценко – Х.: «Друкарня Мадрид», 2016. – 94 с.
6. Vynnykov Yu. *Tray research of the strain state of soil bases reinforced by soil-cement elements under the strip stamp* / Yu. Vynnykov, A. Aniskin, R. Razdui // *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. – Poltava: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. – 2019. – Is. 2(53)' – P. 90 – 97.