

Оцінка переміщень підпірних стін та оточуючих будинків при влаштуванні глибокого котловану в умовах щільної міської забудови

Віктор НОСЕНКО¹, Артур МАЛАМАН², Павло СОРОКА³

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037,

³ТОВ "Ельстер"

3, пров. Ветеринарний, с. Мошни, Черкаська обл, Україна, 19615

¹v.sosenko@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8261-1846

²armalaman97@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0715-3291

³pavlo40@ukr.net, orcid.org/0009-0003-8766-5442

DOI: 10.32347/0475-1132.50.2025.192-199

Анотація. Приведено порівняння результатів геодезичного моніторингу переміщень існуючих будівель і конструкцій підпірних стін та числового моделювання напружено-деформованого стану (НДС) системи «грунт - підпірні стіни - існуючі будівлі» при влаштуванні котловану в умовах щільної міської забудови.

Числове моделювання НДС системи «грунт - підпірні стіни - існуючі будівлі» виконано у тривимірній постановці, що дає можливість коректно оцінити НДС системи за рахунок врахування просторової жорсткості конструкцій.

Показано, що безпосереднє використання параметрів ґрунтів, наведених у звіті про інженерно-геологічні вишукування, для числового моделювання НДС системи «грунт - підпірні стіни - існуючі будівлі» без їх ідентифікації може призвести до значної у 2-3,5 рази похибки у визначенні розрахункових значень переміщень конструкцій і ґрунтів. Відповідно виникає необхідність у ідентифікації параметрів ґрунтів.

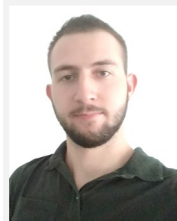
Ідентифікація параметрів ґрунтів дає змогу отримати хорошу збіжність даних числового моделювання та фактичних даних моніторингу.

Виконано зворотний аналіз та ідентифікацію параметрів моделі ґрунту для збіжності результатів числового моделювання та натурних спостережень. Рекомендовано уточнювати параметри моделі ґрунту на основі лабораторних досліджень параметрів ґрунту в широкому діапазоні навантажень/розвантажень з використанням одновісного та тривісного стиснення ґрунту.

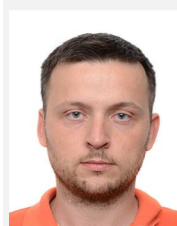
Альтернативним методом ідентифікації розрахункових параметрів моделі ґрунту є виконання дослідних котлованів для визначення



Віктор НОСЕНКО
завідувач кафедри геотехніки
к.т.н., доц.



Артур МАЛАМАН
аспірант кафедри геотехніки



Павло СОРОКА
директор

фактичних значень переміщень підпірних стін та на основі зворотного аналізу уточнення розрахункових параметрів моделі ґрунту для узгодження результатів числового моделювання та даних фактичних вимірювань переміщень конструкцій. Впровадження цих рекомендацій дозволяє наблизити прогнозовані за допомогою числового моделювання значення переміщень конструкцій до реальних значень при виконанні будівельних робіт.

Ключові слова. Підпірні стіни, щільна міська забудова, геодезичний моніторинг, числове моделювання.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Спорудження глибоких котлованів для зведення підземних частин будівель в умовах щільної забудови пов'язане зі значними обсягами земляних робіт. Таке будівництво впливає на зміну напружено-деформованого стану ґрунту, огорожувальних конструкцій котловану та існуючих будівель. Для безпечного виконання таких робіт та вибору ефективних параметрів підпірних стін котловану необхідно виконати комплексну оцінку напружено-деформованого стану системи «ґрунт - підпірні стінки - існуюча забудова» з використанням чисельного моделювання та у подальшому контролювати контрольні значення розрахункові значення ключових величин, таких як додаткові осідання існуючих будинків, переміщення підпірних стін за допомогою геодезичних спостережень і при необхідності коригувати проектні рішення для забезпечення надійної експлуатації оточуючої забудови. Розв'язання подібних проблем представлено в роботах (Bozkurt та ін 2023; Mitew-Czajewska 2019; Di Mariano та ін 2021; Dodigovic та ін 2022; Yan та ін 2025). Для коректної оцінки напружено-деформованого стану системи «ґрунт - підпірні стінки - існуюча забудова» важливо вибрати адекватну модель взаємодії ґрунту і конструкції, а також визначити її основні параметри на основі натурних і лабораторних досліджень. В роботі показано практичний приклад проектування та будівництва глибокого котловану в Києві.

МЕТА РОБОТИ

Порівняння результатів моніторингу за осіданнями існуючих будинків та переміщеннями підпірних стін огороження глибокого котловану з результатами числового моделювання напружено-деформованого стану системи «ґрунт - підпірні стінки - існуючі будівлі» з вхідними параметрами моделі ґрунту та виконання зворотного аналізу з метою визначення ідентифікованих параметрів моделі ґрунту.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ділянка будівництва розташована в історичній частині Києва, в щільній міській забудові. У безпосередній близькості від будівельного майданчика розташовані цегляні будинки. Будинок № 1 – триповерховий, відстань до краю котловану становить 3 м. Будинок № 2 – п'ятиповерховий, відстань до краю котловану становить 11 м. Фундаменти цих будівель – стрічкові, неглибокого закладання, розташовані значно вище глибини котловану нової будівлі, яка становить 7,5 м. Ці будинки чутливі до нерівномірних деформацій, тому важливо оцінити вплив на них нового будівництва. Розташування будинків по відношенню до будівельного майданчика показано на Рис. 1.



Рис.1. Схема ділянки будівництва та існуючих будинків.

Fig.1. Layout of the construction site and surrounding buildings.

Ґрунти в межах будівельного майданчика пілуваті глинисті, з просадними властивостями у верхній частині. На ділянці виділено наступні інженерно-геологічні елементи:

ІГЕ-1 – насипний ґрунт – супісок твердий. Товщина шару – 1,3-4,3 м;

ІГЕ-2 – супісок, твердий, лесовидний просідаючий. Товщина шару – 1,1-8,3 м;

ІГЕ-3 – супісок, пластичний, лесовидний непросідаючий. Товщина шару – 1,0-4,5 м;

ПЕ-4 – суглинок м'якопластичний, лесовидний, непросідаючий. Товщина шару – 1,9-6,6 м;

ПЕ-5 – суглинок від тугопластичної до м'якопластичної консистенції. Товщина шару – 1,9-6,6 м;

ПЕ-6 – суглинок напівтвердий. Товщина шару – 2,4-5,5 м;

ПЕ-7 – глина, напівтверда. Товщина шару – 0,4-4,3 м;

ПЕ-8 – суглинок м'якопластичний. Товщина шару – 0,6-3,0 м;

ПЕ-9 – глина, напівтверда. Товщина шару – 3,6-7,3 м;

ПЕ-10 – суглинок м'якопластичний. Товщина шару – 1,0-4,8 м;

ПЕ-11 – глина напівтверда. Товщина шару – 8,0-15,0 м.

Рівень ґрунтових вод знаходиться на глибині 7,8-9,0 м.

Ділянка нового будівництва має трапецієподібну форму в плані. По периметру котловану запроектовані підпірні стіни з буронабивних паль діаметром 820 мм та 1020 мм. Палі з'єднані між собою монолітним ростверком висотою 0,8 м. Довжина паль змінна і коливається в межах 16,3-18,4 м. Для збільшення просторової жорсткості та зменшення переміщення підпірних стін в зонах існуючої забудови на глибині близько 3,0 м була передбачена та встановлена розпірна система з труб 820x10 мм. Фрагмент підпірних стін котловану показаний на Рис. 2.



Рис.2. Ділянка будівництва та підпірні стіни.
Fig.2. Construction site and retaining walls.

Для безпеки навколишніх будинків важливо здійснювати моніторинг стану підпірних стін та існуючих будівель до і під час будівництва. Такі спостереження були проведені на даному будівельному майданчику.

Для вимірювання горизонтальних переміщень конструкцій огороження котловану використано метод прямої багато-разової лінійно-кутової засічки. Для виконання цих робіт використовувався електронний тахеометр NTS-382R10 виробництва фірми «South Survey» (Яковенко 2021). При вимірюванні горизонтальних переміщень підпірних стін була забезпечена точність вимірювання ± 2 мм. Схема підпірних стін, розташування точок спостережень та значення векторів переміщень показані на Рис. 3.

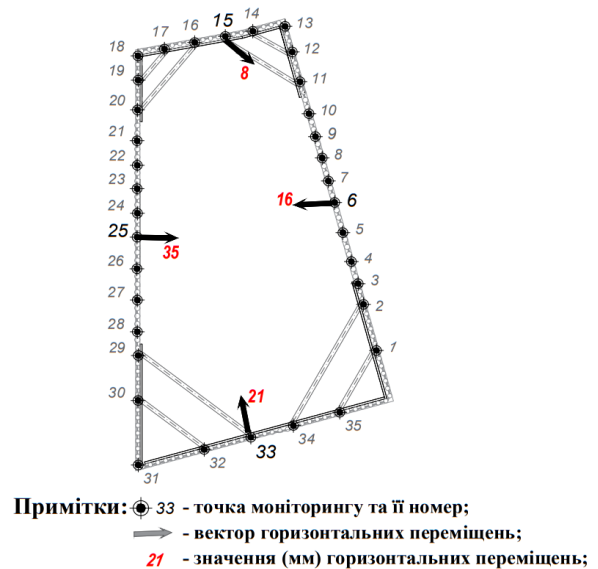


Рис.3. Результати геодезичного моніторингу за підпірними стінами.

Fig.3. Results of geodetic monitoring of the retaining walls.

Також паралельно під час розробки котловану були проведені вимірювання переміщень конструкцій підпірної стіни з використанням інклінометрів. Роботи були виконані з використанням інклінометричної станції Glotzl. Використано зонд NMGD, що являє собою електронний двовісний гравітаційний інклінометр. Інклінометри дозволяють визначити переміщення в різних осях ординат та по всій висоті підпірної стіни. Аналогові значення датчиків

перетворюються в цифрову форму, обчислюються в зонді за допомогою контролера і виводяться у вигляді графіків, див. Рис. 4. Основні результати використання з використанням інклінометрів для моніторингу за деформаціями підпірної стіни на даній ділянці наведено у роботі (Носенко та ін. 2024).

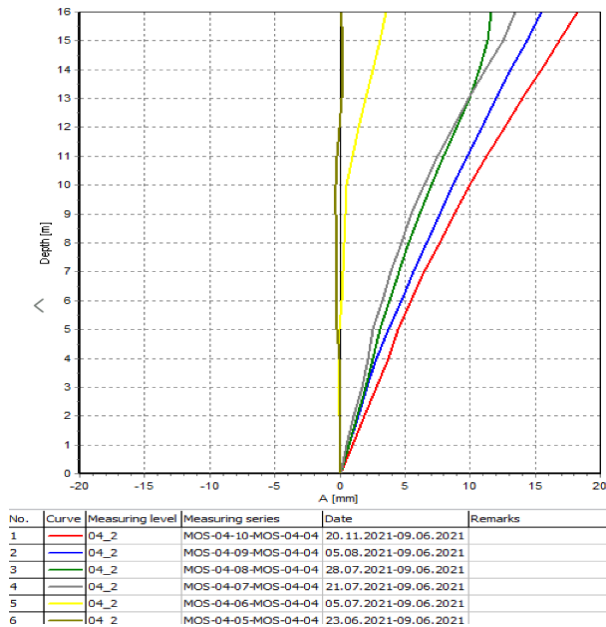


Рис.4. Результати моніторингу переміщень паль підпірної стіни з використанням інклінометрів.

Fig.4. Monitoring results using inclinometers.

Додаткові осідання існуючих будинків були виміряні перед початком робіт, під час будівництва підпірної стіни та під час розробки котловану. Точність вимірювання осідань становила $\pm 1,0$ мм. Роботи виконуються за допомогою нівеліра «Sokkia» SDL-30 та кодової рейки з інварною стрічкою. За результатами моніторингу значення фактичних додаткових осідань існуючих будинків становлять: 6 мм для будинку №1 та 3 мм для будинку №2.

При проектуванні підпірних стін було виконано числове моделювання напружено-деформованого стану системи «грунт - підпірні стіни - існуюча забудова» з використанням методу скінченних елементів. Скінчено-елементна модель системи «грунт - підпірні стінки - існуюча забудова», створена в програмному комплексі Plaxis 3D, показана на Рис. 5.

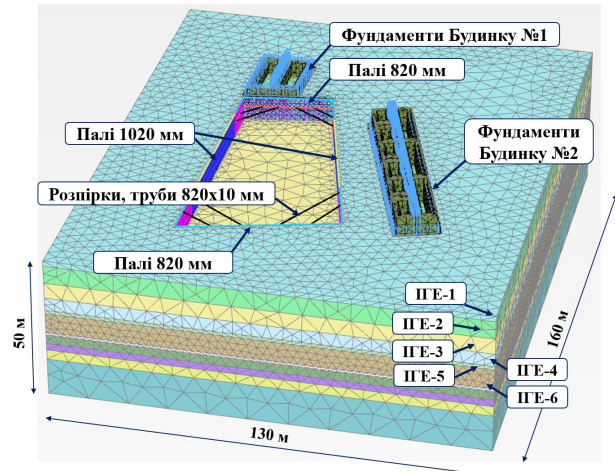


Рис.5. Скінчено-елементна модель у Plaxis 3D.

Fig.5. Finite element model in the Plaxis 3D.

В роботі для моделювання поведінки ґрунтів використовується модель пружно-пластичного деформування ґрунтів - Hardening Soil Model, з деформаційними параметрами, що змінюються в залежності від рівня напружень в ґрунті. Ця модель є вдосконаленою моделлю для опису поведінки ґрунтів в широкому діапазоні навантажень з критерієм міцності Мора-Кулона. Головною особливістю обраної моделі є те, що вона враховує залежність жорсткості ґрунту від рівня діючих напружень (Schanz, Vermeer, Bonnier 1999).

Спочатку розрахунок виконувався з вхідними параметрами моделі ґрунту, зазначеними у звіті про інженерно-геологічні вишукування на ділянці, а потім параметри моделі були уточнені (ідентифіковані) для наближення результатів числового моделювання та фактичних даних геодезичного моніторингу щодо переміщення конструкцій.

Основними параметрами моделі ґрунтового середовища, що визначають його жорсткість є: модуль деформації за даними одометричних випробувань E_{oed}^{ref} , модуль деформації при досягненні 50% міцності E_{50}^{ref} , модуль деформації при розвантаженні/повторному навантаженні E_{ur}^{ref} , показник залежності жорсткості від рівня напружень m . Також обов'язковими є параметри, що визначають критерій міцності Кулона-Мора: ефективний кут внутрішнього тертя ґрунту ϕ , кут дилатансії ψ , ефективне питоме зчеплення

грунту c . Серед додаткових параметрів можуть також використовуватися: опорний тиск p^{ref} , коефіцієнт Пуассона для розвантаження-повторного завантаження ν_{ur} , величина для нормально консолидованих ґрунтів K_0 , граничний коефіцієнт R_f , міцність на розтяг $\sigma_{tension}$, параметр зростання питомого зчеплення з глибиною c_{inc} .

При ідентифікації параметрів моделі ґрунту особлива увага була приділена деформативним та міцнісним параметрам

інженерно-геологічних елементів на глибину влаштування підпірних стін. В межах глибини котловану (для ІГЕ-2 – супісок твердий та ІГЕ-3 – супісок пластичний) параметр E_{ur}^{ref} при ідентифікації було визначено як $5E_{oed}^{ref}$ на відміну від вхідних $3E_{oed}^{ref}$ які в якості орієнтиру рекомендовані у (Bentley Systems 2022).

Параметрами моделі ґрунту для яких виконувалася ідентифікація із їх вхідними та уточненими значеннями наведено в Табл. 1.

Табл. 1. Вхідні та ідентифіковані параметри ґрунтів
Table 1. Input and verified soil parameters

ІГЕ	E_{50} , МПа		E_{oed} , МПа		E_{ur} , МПа		C , кПа	
	Вхідні	Ідентиф.	Вхідні	Ідентиф.	Вхідні	Ідентиф.	Вхідні	Ідентиф.
2	11	12	11	12	33	60	7	14
3	7	10	7	10	21	50	8	10
4	6	12	6	12	18	36	19	19
5	11	20	11	20	33	60	25	25
6	20	30	20	30	60	90	38	38

Числове (комп'ютерне) моделювання напружено-деформованого стану системи «ґрунт - підпірні стіни - існуючі будівлі» враховує основні етапи будівництва:

Етап 1 – гравітаційне навантаження від власної ваги ґрунтів;

Етап 2 – врахування навантажень від фундаментів існуючих будинків;

Етап 3 – моделювання появи підпірних стін;

Етап 4 – розробка котловану на глибину 4,0 м;

Етап 5 – моделювання появи паль для нової будівлі та монтаж розширювальних труб;

Етап 6 – розробка ґрунту котловану до проектної відмітки -7,5 м.

Скінчено-елементна модель була створена у тривимірній постановці, що дає можливість врахувати фактор просторової жорсткості конструкцій підпірної стіни та існуючих будинків і коректно визначити їх напружено-деформований стан.

Результати числового моделювання, а саме переміщення підпірних стін та додаткові осідання існуючих будинків, отримані

при використанні вхідних параметрів ґрунтів, наведені на Рис. 6.

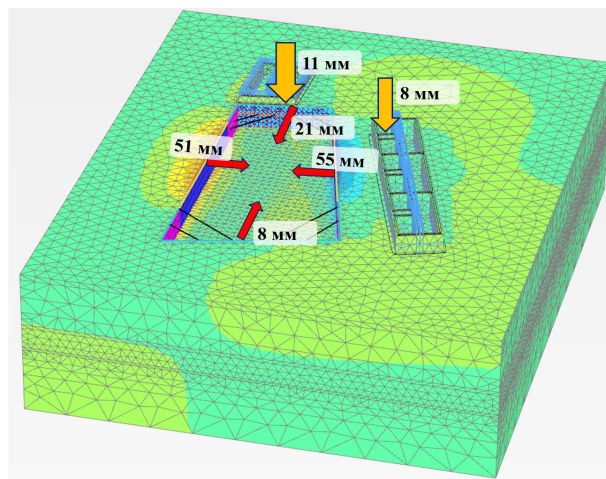


Рис.6.Результати моделювання з вхідними параметрами ґрунтів.

Fig.6. Simulation results with input parameters of the soil conditions.

За результатами первинного моделювання з використанням вхідних параметрів були визначені консервативні значення осідань існуючої забудови та переміщення підпірних стін, які значно перевищували дані, отримані за результатами моніторингу.

Тому було прийнято рішення провести зворотний аналіз на базі даних фактичних переміщень отриманих під час геодезичного моніторингу для уточнення параметрів моделі ґрунту і їх подальшої ідентифікації з метою наближення результатів моделювання до фактичних геодезичних спостережень.

Порівняння результатів числового моделювання з використанням вхідних та ідентифікованих параметрів моделі з даними моніторингу горизонтальних переміщень підпірних стін наведено в Табл. 2., а з даними моніторингу осідань існуючих будинків наведено в Табл. 3.

Табл. 2. Горизонтальні переміщення підпірних стін в контрольних точках

Table 2. Horizontal displacements of the retaining walls at the control points

Варіанти отриманих результатів	Горизонтальні переміщення № точки, мм			
	№ 15	№ 6	№ 33	№ 25
Моніторинг	8	16	21	35
Числове моделювання з вхідними параметрами моделі	21	55	8	51
Числове моделювання з ідентифікованими параметрами моделі	16	34	4	31

Табл. 3. Додаткові осідання існуючих будинків

Table 3. Additional settlements of the existing buildings

Варіанти отриманих результатів	Додаткові осідання будинків, мм	
	Будинок №1	Будинок №1
Моніторинг	6	3
Числове моделювання з вхідними параметрами моделі	11	8
Числове моделювання з ідентифікованими параметрами моделі	7	3

Аналізуючи наведені вище дані, можна констатувати, що при числовому моделюванні з використанням вхідних параметрів моделі додаткові осідання фундаментів існуючих будинків, прогнозовані числовим моделюванням, перевищують фактичні дані моніторингу приблизно в 2 рази, що свідчить про консервативну розрахункову оцінку цих величин через використання неточно визначених вхідних параметрів моделі ґрунту. При числовому моделюванні з використанням вхідних параметрів моделі горизонтальні переміщення підпірних стін перевищують дані моніторингу в 2-3,5 рази. При використанні ідентифікованих параметрів моделі результати прогнозування осідань існуючих будинків та дані числового моделювання практично збігаються з даними моніторингу, а розрахункові переміщення підпірних стін, прогнозовані числовим моделюванням, значно зменшилися, але в деяких точках перевищують дані моніторингу в 2 рази.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Показано, що безпосереднє використання параметрів ґрунтів, наведених у звіті з інженерно-геологічних вишукувань, для числового моделювання напружено-деформованого стану системи «ґрунт - підпірні стінки - існуючі будівлі» без їх ідентифікації може призвести до значної (у 2-3,5 рази) похибки у визначенні розрахункових значень переміщень конструкцій і ґрунтів. Основними причинами цього є: неточність визначення параметрів ґрунтів під час геологічних вишукувань та невідповідність режимів їх випробувань фактичним змінам їх напруженого стану протягом декількох циклів навантаження/розвантаження/повторне навантаження властивим ситуаціям влаштування глибоких котлованів та подальшому спорудженні в них фундаментів нових будівель, неоднорідність ґрунтових умов, вплив технології зведення підпірних стін на стан ґрунтів тощо.

Ідентифікація параметрів моделі ґрунту, що використовуються для числового

моделювання, дозволяє отримати хорошу збіжність даних числового моделювання та фактичних даних моніторингу. Ідентифікацію рекомендується проводити на основі лабораторних випробувань параметрів ґрунту в широкому діапазоні умов навантаження, включаючи: навантаження, розвантаження і повторне навантаження зразків ґрунту, при одновісному та тривісному стисненні з використанням спеціально розробленої програми випробувань ґрунтів, що відображатиме етапи: консолідації (відтворення природного НДС зразка ґрунту), навантаження, розвантаження та повторного навантаження з величинами тисків, що характерні даним глибинам відбору зразків ґрунтів та подальшим експлуатаційним навантаженням ґрунтової основи. Альтернативним методом ідентифікації розрахункових параметрів моделі ґрунту є влаштування дослідних котлованів для визначення фактичних значень переміщень підпірних стін та на основі зворотного аналізу уточнення розрахункових параметрів моделі ґрунту для узгодження результатів числового моделювання та даних фактичних переміщень конструкцій. Впровадження цих рекомендацій дозволить наблизити прогнозовані за допомогою числового моделювання значення переміщень конструкцій до реальних значень при виконанні будівельних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bozkurt, S., Abed, A., & Karstunen, M. (2023). 2D & 3D numerical analyses of a deep excavation supported by LC columns (L. Zdravkovic, S. Kontoe, A. Tsiamposi, & D. Taborda, Eds.). In: *10th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering* (pp. 1-6). London: Imperial College London. <https://doi.org/10.53243/NUMGE2023-188>
2. Di Mariano, A., Arroyo, M., Gens, A., Amoroso, S., & Monaco, P. (2021). SDMT testing and its use in the numerical simulation of a deep excavation (T. Huszák, A. Mahler & E. Koch, Eds.). In: *6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*. Budapest: was held online. <https://doi.org/10.53243/ISC2020-204>

3. Dodigovic, F., Agnezovic, K., Ivandic, K., & Strelec S. (2022). An example of the protection of a deep excavation in an urban environment. *Environmental Engineering*, 9(1-2), 83-94. <https://doi.org/10.37023/ee.9.1-2.9>
4. Mitew-Czajewska, M. (2019). A study of displacements of structures in the vicinity of deep excavation. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(2), 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.11.010>
5. Носенко, В.С., Маламан, А.Р., & Сорока, П. (2024). Моніторинг за деформаціями огороження глибокого котловану та оточуючих будинків в умовах щільної міської забудови. *Основи та фундаменти: Науково-технічний збірник*, 49, 23-32. DOI: 10.32347/0475-1132.49.2024.23-32
6. Bentley Systems. (2022). *PLAXIS Material Models Manual: CONNECT Edition V22.01*.
7. Schanz, T., Vermeer, P.A., & Bonnier P.G. (1999). The Hardening Soil Model: Formulation and Verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 years of Plaxis*, 1, 281-296.
8. Yan, X., Tong, L., Li, H., Liu, W., Xiao, Yu., & Wang W. (2025). Effects of the excavation of deep foundation pits on an adjacent double-curved arch bridge. *Underground Space*, 21, 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2024.09.001>
9. Яковенко, М. (2021). Просторова модель та розвиток деформацій в часі за результатами геодезичного моніторингу підпірної стіни. *InterConf*, 51, 962-972. <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/11725>

REFERENCES

1. Bozkurt, S., Abed, A., & Karstunen, M. (2023). 2D & 3D numerical analyses of a deep excavation supported by LC columns (L. Zdravkovic, S. Kontoe, A. Tsiamposi, & D. Taborda, Eds.). In: *10th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering* (pp. 1-6). London: Imperial College London. <https://doi.org/10.53243/NUMGE2023-188>
2. Di Mariano, A., Arroyo, M., Gens, A., Amoroso, S., & Monaco, P. (2021). SDMT testing and its use in the numerical simulation of a deep excavation (T. Huszák, A. Mahler & E. Koch, Eds.). In: *6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*. Budapest: was held online. <https://doi.org/10.53243/ISC2020-204>

3. Dodigovic, F., Agnezovic, K., Ivandic, K., & Strelec S. (2022). An example of the protection of a deep excavation in an urban environment. *Environmental Engineering*, 9(1-2), 83-94. <https://doi.org/10.37023/ee.9.1-2.9>
4. Mitew-Czajewska, M. (2019). A study of displacements of structures in the vicinity of deep excavation. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(2), 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.11.010>
5. Nosenko, V.S., Malaman, A.R., & Soroka P. (2024). Monitorynh za deformatsiiamy ohorodzhennia hlybokoho kotlovanu ta otochuiuchykh budynkiv v umovakh shchilnoi miskoi zabudovy [Monitoring of deformations of the deep pit wall and surrounding buildings in dense urban areas]. *Osnovy ta fundamente: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, 49, 23-32 (in Ukrainian). DOI: 10.32347/0475-1132.49.2024.23-32
6. Bentley Systems. (2022). *PLAXIS Material Models Manual: CONNECT Edition V22.01*.
7. Schanz, T., Vermeer, P.A., & Bonnier P.G. (1999). The Hardening Soil Model: Formulation and Verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 years of Plaxis*, 1, 281-296.
8. Yan, X., Tong, L., Li, H., Liu, W., Xiao, Yu., & Wang W. (2025). Effects of the excavation of deep foundation pits on an adjacent double-curved arch bridge. *Underground Space*, 21, 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2024.09.001>
9. Yakovenko, M. (2021). Prostorova model ta rozvytok deformatsii v chasi za rezultatamy heodezychnoho monitorynhu pidpirnoi stiny [Spatial model and development of deformations in time based on the results of geodetic monitoring of a retaining wall]. *InterConf*, 51, 962-972 (in Ukrainian). <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/inter-conf/article/view/11725>

Assessment of displacements of retaining walls and surrounding buildings when constructing a deep excavation in dense urban areas

Viktor NOSENKO
Artur MALAMAN
Pavlo SOROKA

Summary: A comparison of the results of geodetic monitoring of displacements of existing buildings and retaining wall structures and numerical

simulation of the stress-strain state (SSS) of the system ‘soil - retaining walls - existing buildings’ during excavation in dense urban construction is presented.

Numerical simulation of the SSS system ‘soil - retaining walls - existing buildings’ was performed in a three-dimensional formulation, which makes it possible to correctly assess the system's SSS by taking into account the spatial stiffness of the structures.

It is shown that the direct use of soil parameters given in the report on engineering and geological surveys for numerical simulation of the SSS system ‘soil - retaining walls - existing buildings’ without their verification can lead to a significant 2-3.5 times higher error in determining the calculated values of displacements of structures and soils. Accordingly, there is a need to verify soil parameters.

The verification of soil parameters allows for good agreement between numerical simulation data and actual monitoring data.

A back analysis and verification of the soil model parameters were performed to ensure the convergence of the results of numerical simulation and field observations. It is recommended to refine the parameters of the soil model on the basis of laboratory studies of soil parameters in a wide range of loads/unloads using axial and triaxial soil compression.

An alternative method for verifying the design parameters of the soil model is to perform test pits to determine the actual values of retaining wall displacements and, based on the back analysis, refine the design parameters of the soil model to match the results of numerical simulation and actual measurements of structural displacements. The implementation of these recommendations makes it possible to bring the values of structural displacements predicted by numerical simulation closer to the actual values during construction work.

Keywords. Retaining walls, dense urban construction, geodetic monitoring, numerical simulation.