

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

Артур Маламан, аспірант¹ (ORCID: 0000-0002-0715-3291), Віктор Носенко, к.т.н., доцент, завідувач кафедри геотехніки¹ (ORCID: 0000-0002-8261-1846), Павло Сорока, інженер-проектувальник, директор² (ORCID: 0009-0003-8766-5442)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

² ТОВ «Ельстер», Україна

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. Показано, що безпосереднє використання вхідних параметрів ґрунтів для числового моделювання 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, що дає змогу отримати хорошу збіжність даних числового моделювання та фактичних даних моніторингу.

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

1. ВСТУП

Спорудження глибоких котлованів для зведення підземних частин будівель в умовах щільної забудови впливає на зміну напружено-деформованого стану ґрунту, огорожувальних конструкцій котловану та існуючих будівель, отже необхідно виконати комплексну оцінку напружено-деформованого стану системи «грунт - підпірні стіни - існуюча забудова» з використанням чисельного моделювання та у подальшому контролювати додаткові осідання існуючих будинків, переміщення підпірних стін за допомогою геодезичних спостережень і при необхідності коригувати проектні рішення для забезпечення надійної експлуатації оточуючої забудови.

2. МЕТА РОБОТИ

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

3. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Ділянка будівництва розташована в історичній частині Києва, в щільній міській забудові. У безпосередній близькості від будівельного майданчика розташовані цегляні будинки. Будинок № 1 – триповерховий, будинок № 2 – п'ятиповерховий. 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 рисунку 1.



Рисунок 1. Схема ділянки будівництва.

Ґрунти в межах будівельного майданчика пілуваті глинисті, з просадними властивостями у верхній частині. Ділянка нового будівництва має трапецієподібну форму в плані. По периметру котловану запроєктовані 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.

3.1. Оцінка результатів моніторингу за деформаціями підпірних стін та оточуючої забудови

Для вимірювання додаткових осідань існуючих будинків використано метод нівелювання. Результати додаткових осідань оточуючих будинків становлять: 6 мм для Будинку №1 та 3 мм для Будинку №2. Для вимірювання горизонтальних переміщень конструкцій огороження котловану використано метод прямої багаторазової лінійно-кутової засічки (з використанням тахеометра). Схема підпірних стін, розташування точок спостережень та значення векторів переміщень показані на рисунку 2.

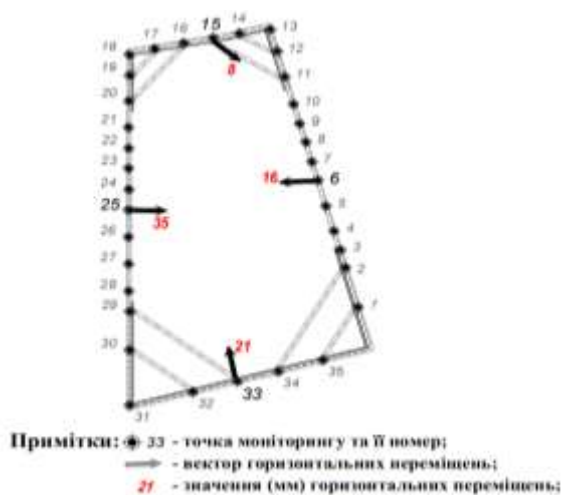


Рисунок 2. Результати геодезичного моніторингу за підпірними стінами.

3.2. Числове моделювання елементів системи «грунт - підпірні стіни - існуючі будівлі»

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 [1].

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. При ідентифікації параметрів моделі ґрунту особлива увага була приділена деформативним та міцнісним параметрам інженерно-геологічних елементів на глибину влаштування підпірних стін. Для ґрунтів межах глибини котловану параметр E_{ur} при ідентифікації було визначено як $5E_{oed}$ на відміну від вхідних $3E_{oed}$ які в якості орієнтиру рекомендовані у Bentley Systems 2022 [2]. Скінчено-елементна модель, виконана у програмному комплексі Plaxis 3D і наведена на рисунку 3.

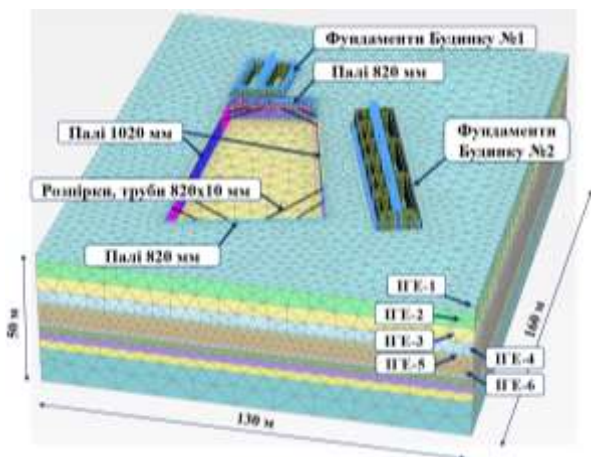


Рисунок 3. Скінчено-елементна модель у Plaxis 3D.

Порівняння результатів числового моделювання з використанням вхідних та ідентифікованих параметрів моделі з даними моніторингу переміщень підпірних стін наведено в таблиці 1, а з даними моніторингу осідань існуючих будинків наведено в таблиці 2.

Таблиця 1: Горизонтальні переміщення підпірних стін в контрольних точках

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

Таблиця 2: Додаткові осідання існуючих будинків

Варіанти отриманих результатів	Додаткові осідання будинків, мм	
	Будинок №1	Будинок №2
Моніторинг	6	3
Числове моделювання з вхідними параметрами моделі	11	8
Числове моделювання з ідентифікованими параметрами моделі	7	3

4. ВИСНОВКИ

Показано, що безпосереднє використання параметрів ґрунтів, наведених у звіті з інженерно-геологічних вишукувань, для числового моделювання напружено-деформованого стану 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. 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.

Список літератури

[1] Schanz T. The Hardening Soil Model: Formulation and verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Balkema. Rotterdam. 1999. Vol. 1. P.281-290

[2] PLAXIS 3D CE V22.01 – Material Models Manual. Delft : Plaxis bv, 2021. 275 p.