

Моніторинг за деформаціями огороження глибокого котловану та оточуючих будинків в умовах щільної міської забудови

Віктор НОСЕНКО¹, Артур МАЛАМАН², Павло СОРОКА³

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037,

¹v.s.nosenko@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: 10.32347/0475-1132.49.2024.23-31

Анотація. Зведення будинків в умовах щільної міської забудови часто характеризується наявністю глибоких котлованів, з облаштуванням у них: паркінгів, технічних приміщень та укриттів. Терміни виконання робіт по влаштуванню конструкцій “нульового циклу”, як правило, є достатньо тривалими та можуть вимірюватися кількома місяцями, а у складних випадках, та при великих об’ємах підземних конструкцій може тривати десятки місяців. Такі роботи супроводжуються розробкою десятків тисяч кубічних метрів ґрунту котловану, зміною напружено-деформованого стану ґрунтової основи та несучих конструкцій сусідніх будинків, отже виникає необхідність у моніторингу за технічним станом як огороження котловану так і оточуючих будинків.

В роботі проаналізовано результати моніторингу за станом огороження глибокого котловану та оточуючими будинками у м. Києві.

Моніторинг за деформаціями огороження котловану проводився з використанням класичної методики (метод прямої багаторазової лінійно-кутової засічки) та сучасної методики з використанням інклінометрів. Моніторинг за деформаціями існуючої оточуючої забудови проводився шляхом визначення додаткових осідань фундаментів методом нівелювання.

Продемонстровано, що сучасні засоби, що використовуються для моніторингу мають високу точність, що важливо при проведенні спостережень в умовах щільної міської забудови.

По результатам моніторингу за деформаціями існуючих поряд розташованих споруд було визначено, що додаткові осідання існуючих будинків не перевищують за граничні значення



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



Артур МАЛАМАН
аспірант кафедри
геотехніки



Павло СОРОКА
аспірант кафедри
геотехніки

згідно ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд.

Дана публікація є першою з циклу статей присвячених оцінці напружено-деформованого стану (НДС) огорожуючих конструкцій котловану та оточуючої забудови, на прикладі конкретного будівельного об’єкту. та включає як опис фактичних даних моніторингу, у цій статті, так і числове моделювання НДС в подальших публікаціях.

Ключові слова: моніторинг, підпірні стіни, щільна забудова, просторова жорсткість.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При будівництві в умовах щільної забудови, при виконанні глибоких котлованів, особливу увагу необхідно приділяти моніторингу за деформаціями як огороження котловану так й існуючої оточуючої забудови, з метою контролю за граничними деформаціями при тривалому етапі виконання робіт нульового циклу.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі К.Б. Смолій [5] розглянуто і висвітлено методи, способи та алгоритми моніторингу деформаційних процесів що виникають при будівництві.

В роботах Ю.Л. Винникова [1], Ю.І. Іщенко [2, 4], Ю.Б. Мелашенка, М.С. Яковенко [3, 4], представлено використання різних систем моніторингу за деформаціями як і конструкцій огороження котлованів, так і існуючої забудови.

МЕТА РОБОТИ

Оцінити результати моніторингу за огороженням глибокого котловану та існуючими будівлями в умовах щільної міської забудови, для подальшого співставлення з результатами числового моделювання напружено-деформованого стану системи «грунтова основа – огороження котловану – існуючі будівлі».

ЗАДАЧІ

- 1) Аналіз інженерно-геологічних умов в межах будівельного майданчика.
- 2) Аналіз результатів моніторингу за деформаціями огороження котловану з використанням класичних геодезичних методів та інклінометричних систем.
- 3) Аналіз моніторингу за деформаціями існуючої оточуючої забудови.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Моніторинг за деформаціями огороження котловану було проведено з

використанням класичних методів (метод прямої багаторазової лінійно-кутової засічки) та більш сучасних інклінометричних систем.

Моніторинг за деформаціями існуючої оточуючої забудови виконувався шляхом проведення інструментальних інженерно-вимірювань осідань фундаментів будівлі (нівелювання).

УМОВИ ДІЛЯНКИ БУДІВНИЦТВА

В геоморфологічному відношенні ділянка будівництва розташована в межах Київського лесового плато на захід від р. Дніпро. Абсолютні позначки денної поверхні майданчика коливаються в межах 194,10-195,10.

Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю двох водоносних горизонтів. Розкритий рівень першого від поверхні водоносного горизонту зустрінутий всіма свердловинами на глибині 7,8-9,0 м (абсолютні відмітки 185,67-186,50 м.), ґрунтові води безнапірні. На ділянці виділено наступні інженерно-геологічні елементи:

ІГЕ-1 – (t₄) – насипний ґрунт – супісок твердий. Товщина шару – 1,3-4,3 м;

ІГЕ-2 – (ed₃₋₄) – супісок лесовидний, твердий, просідний. Товщина шару – 1,1-8,3 м;

ІГЕ-3 – (ed₃₋₄) – супісок лесовидний, пластичний, непросідний. Товщина шару – 1,0-4,5 м;

ІГЕ-4 – (ed₃₋₄) – суглинок лесовидний, м'якопластичний, непросідний. Товщина шару – 1,9-6,6 м;

ІГЕ-5 – (f₂₋₃) – суглинок від твердої до м'якопластичної консистенції. Товщина шару – 1,9-6,6 м;

ІГЕ-6 – (g₂) – суглинок, напівтвердий. Товщина шару – 2,4-5,5 м;

ІГЕ-7 – (f₂) – глина тверда, напівтверда. Товщина шару – 0,4-4,3 м;

ІГЕ-8 – (P_{3¹⁻²}) – суглинок м'якопластичний. Товщина шару – 0,6-3,0 м;

ІГЕ-9 – (a₁) – глина тверда, напівтверда. Товщина шару – 3,6-7,3 м;

ІГЕ-10 – (N_{2hr}) – суглинок м'якопластичний. Товщина шару – 1,0-4,8 м;

ІГЕ-11 – (N_{2hr}) – глина напівтверда. Товщина шару – 8,0-15,0 м.

Котлован глибиною 7,5 м має трапецевидну форму в плані. Відмітка дна котловану становить 186,95 м, відмітка верху котловану становить 194,50 м. Для забезпечення стійкості укосів котловану та зменшення впливу на оточуючу забудову по периметру котловану влаштовується підпірна стіна з

бурунабивних паль діам. 820 мм та 1020 мм, і довжиною 16,3-18,4 м. Переріз котловану з посадкою паль на інженерно-геологічний розріз наведена на рис. 1. Загальний вигляд ділянки будівництва та котловану наведено на рис 2.

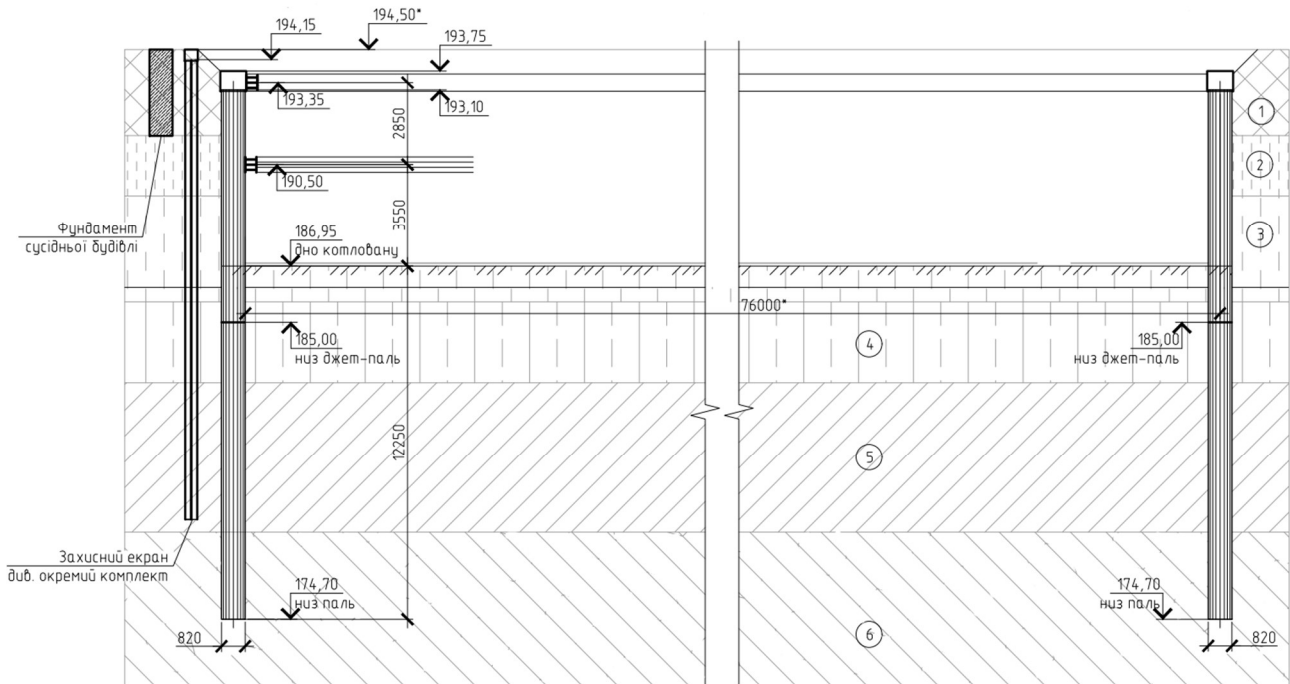


Рис.1. Інженерно-геологічні умови ділянки та поперечний переріз огороження котловану.
Fig.1. Engineering and geological conditions of the site and cross section of the pit wall.



Рис.2. Фото ділянки будівництва на етапі влаштування фундаментної плити.
Fig.2. Photo of the construction site at the stage of installation of the foundation slab.

Оскільки ділянка будівництва щільно оточена існуючими будинками, перед початком будівельних робіт було проведено обстеження технічного стану оточуючих будинків. Схема розташування будинків по відношенню до ділянки будівництва наведено на рис. 3.

Будівля №5. Будівля цегляна трапецевидної в плані форми, має три поверхи і підвальний поверх (цокольний) з різними рівнями приміщень по висоті. Висота поверхів становить близько 3.0 м. У конструктивному відношенні будівля зведена за «жорсткою» схемою: просторова жорсткість забезпечується спільною роботою несучих поздовжніх і поперечних стін та перекриттів. Фундаменти стрічкові – переважно з цегляної кладки, товщиною 270...980 мм, відповідно до товщини стін. Стіни із звичайної керамічної цегли на вапняно-піщаному розчині, за товшки 270...980 мм. Загальний технічний стан будівлі 3 категорії – «непридатний для нормальної експлуатації».

Будівля №5/2А. Будівля представляє собою п'ятиповерхову споруду складної в плані форми. Під частиною будівлі є підвальні приміщення. Висота поверхів становить 3.0 м. У конструктивному відношенні будівля виконана за «жорсткою» схемою з несучими поздовжніми стінами та поперечними стінами сходових кліток. Зовнішні стіни товщиною 510 мм виконані зі звичайної керамічної цегли. Внутрішні стіни – товщиною 380 мм. На стіни обперті збірні залізобетонні перекриття. Сходові площадки – із монолітного залізобетону. Просторова жорсткість будівлі забезпечується спільною роботою поздовжніх і поперечних стін та «дисків» перекриття. Загальний технічний стан будівлі можна віднести до 2 категорії – «задовільний».

Будівля №5/2Б. Будівля представляє собою п'ятиповерхову споруду складної в плані форми, близької до паралелепіпеда. Розміри в умовних осях орієнтовно становлять 19.8×15.2 м. Під всією будівлею є підвал. Висота поверхів становить 3.2 м. З правої сторони головного фасаду до будівлі прилягає будинок №5/2А.

У конструктивному відношенні будівля

виконана за «жорсткою» схемою з несучими поздовжніми стінами та поперечними стінами сходових кліток. Зовнішні стіни товщиною 640 мм та 510 мм виконані зі звичайної керамічної цегли. Внутрішні стіни – товщиною 380 мм. Просторова жорсткість будівлі забезпечується спільною роботою поздовжніх і поперечних стін та «дисків» перекриття. Загальний технічний стан будівлі 2 категорії – «задовільний».

Будівля №4. Будівля представляє собою п'ятиповерхову споруду прямокутної в плані форми. Розміри в умовних осях орієнтовно становлять 64.8×12 м. Висота поверхів становить 2,8 м. Під всією будівлею є цокольний поверх, який експлуатується. У конструктивному відношенні будівля виконана за «жорсткою» схемою з несучими поздовжніми стінами та поперечними стінами сходових кліток. Зовнішні стіни товщиною 510 мм виконані зі звичайної керамічної цегли. Внутрішня поздовжня стіна товщиною 380 мм також виконана із керамічної цегли. Просторова жорсткість будівлі забезпечується спільною роботою поздовжніх і поперечних стін та «дисків» перекриття. Загальний технічний стан будівлі можна віднести до 3 категорії – «непридатний для нормальної експлуатації».

Будівля №6. Будівля представляє собою чотириповерхову споруду «П-подібної» форми в плані. Під всією будівлею є підвал, який експлуатується. Розміри в умовних осях А-В/1-10 складають 9.6×53 м, а в осях 1-3/В-Д та 8-10/В-Д відповідно 9.6×12.2 м. Висота поверху становить 3.6 м. У конструктивному відношенні будівлі виконана за «жорсткою» схемою з несучими поздовжніми та поперечними стінами. Зовнішні стіни товщиною 510 мм виконані зі звичайної керамічної цегли. Внутрішні поздовжні та поперечні несучі стіни товщиною 380 мм також виконані із керамічної цегли. Просторова жорсткість будівлі забезпечується спільною роботою поздовжніх і поперечних стін та «дисків» перекриття. Загальний технічний стан будівлі можна віднести до 3 категорії – «непридатний для нормальної експлуатації».

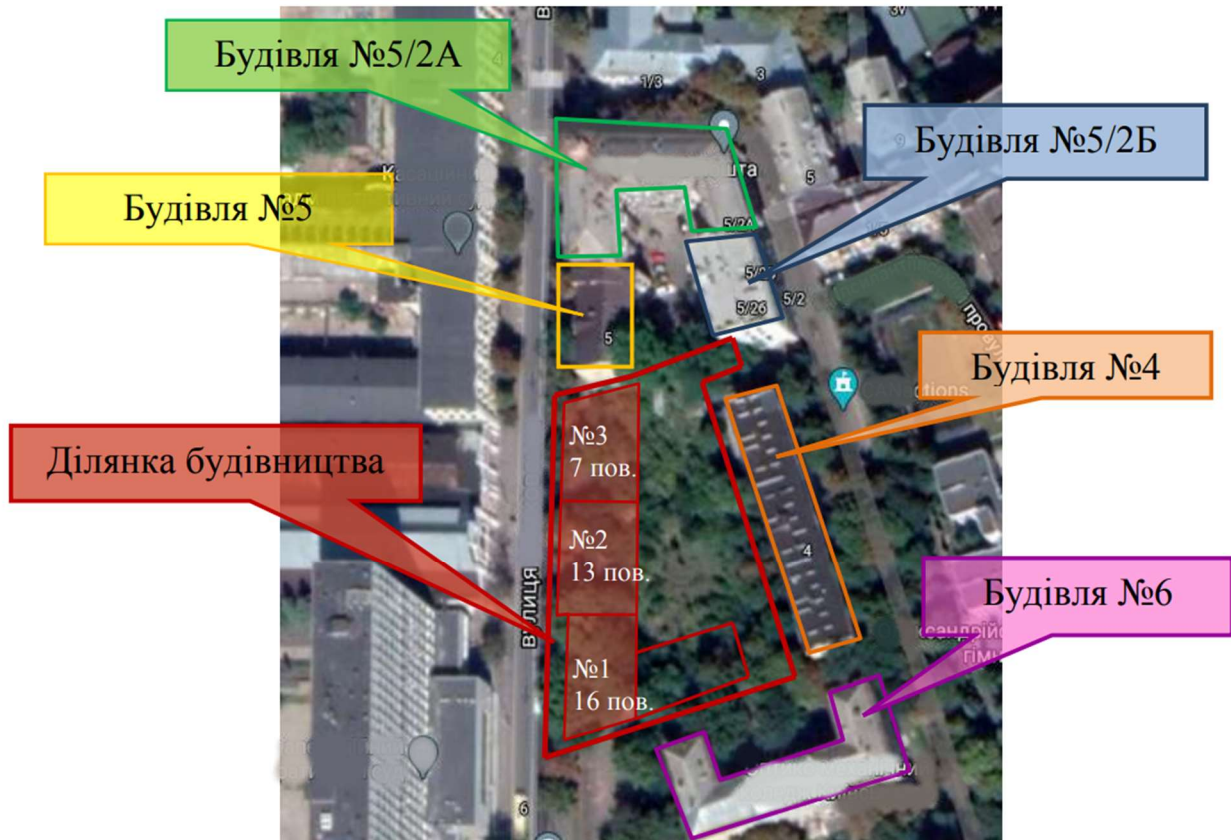


Рис.3. Схема розташування ділянки будівництва та оточуючих споруд.
Fig.3. Layout of the construction site and surrounding buildings.

МОНІТОРИНГ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ОГОРОДЖЕННЯ КОТЛОВАНУ

Для вимірювання горизонтальних переміщень конструкцій огородження котловану використано метод прямої багаторазової лінійно-кутової засічки. Цей метод забезпечує отримання величин горизонтальних переміщень з похибкою, що не перевищує ± 2 мм. Для виконання цих робіт використовується електронний тахеометр NTS-382R10 виробництва фірми «South Survey».

Оскільки похибка визначення планових переміщень стін не перевищувала ± 2 мм, координати кожної з планових марок визначалися тричі з трьох різних станцій розміщення приладу. Таким чином, середньоквадратична похибка вимірювань становила $3,5/\sqrt{n}=\pm 2$, де n - кількість вимірювань точки в одному циклі вимірювань. При використанні цього методу стійкість вихідних знаків спостережних станцій є вирішальною

умовою успішного проведення вимірів переміщень. Важливим також є вибір непорушних орієнтирних пунктів для прив'язки кутових вимірів. Схема огородження котловану, розміщення спостережних марок та величини і напрям векторів переміщення наведено на рис. 4. Результати визначення деформацій конструкцій огородження котловану з використанням методу багаторазової лінійно-кутової засічки наведені на рис. 5.

Додатково були проведені вимірювання переміщень конструкцій огородження котловану з використанням інклінометрів. Аналогові вимірювальні значення датчиків перетворюються в цифрову форму, обчислюються в зонді за допомогою контролера.

Інклінометрична станція складається із зонду, з'єднувального кабелю, та обчислювального пристрою.

Зонд проходить через направляючу трубу, що занурюється в тіло палі. На кожному кроці вимірювання датчик реєструє кут нахилу між вертикаллю і положенням

датчика на двох рівнях вимірювання (по осях А і В). Вихідний сигнал на блоці зчитування подається як синус кута нахилу. В даному випадку роботи були виконані з використанням інклінометричної станції Glotzl. Слід зауважити, що результатами інклінометричного вимірювання отримані 2 вектори переміщень в осях А і В, відповідно для співставлення з результатами геодезичних вимірів необхідно вирахувати загальний вектор переміщень за квадратичною залежністю.

Для співставлення результатів було обрано точку №4. За результатами моніторингу з використанням методу прямої багатозональної лінійно-кутової засічки горизонтальне переміщення точки №4 складає 22 мм. За результатами моніторингу з використанням інклінометрів горизонтальне переміщення точки №4 складає 20,4 мм. Різниця у результатах становить менше 10%.

Результати моніторингу за точкою №4 з використанням інклінометрів показано на рис. 6.

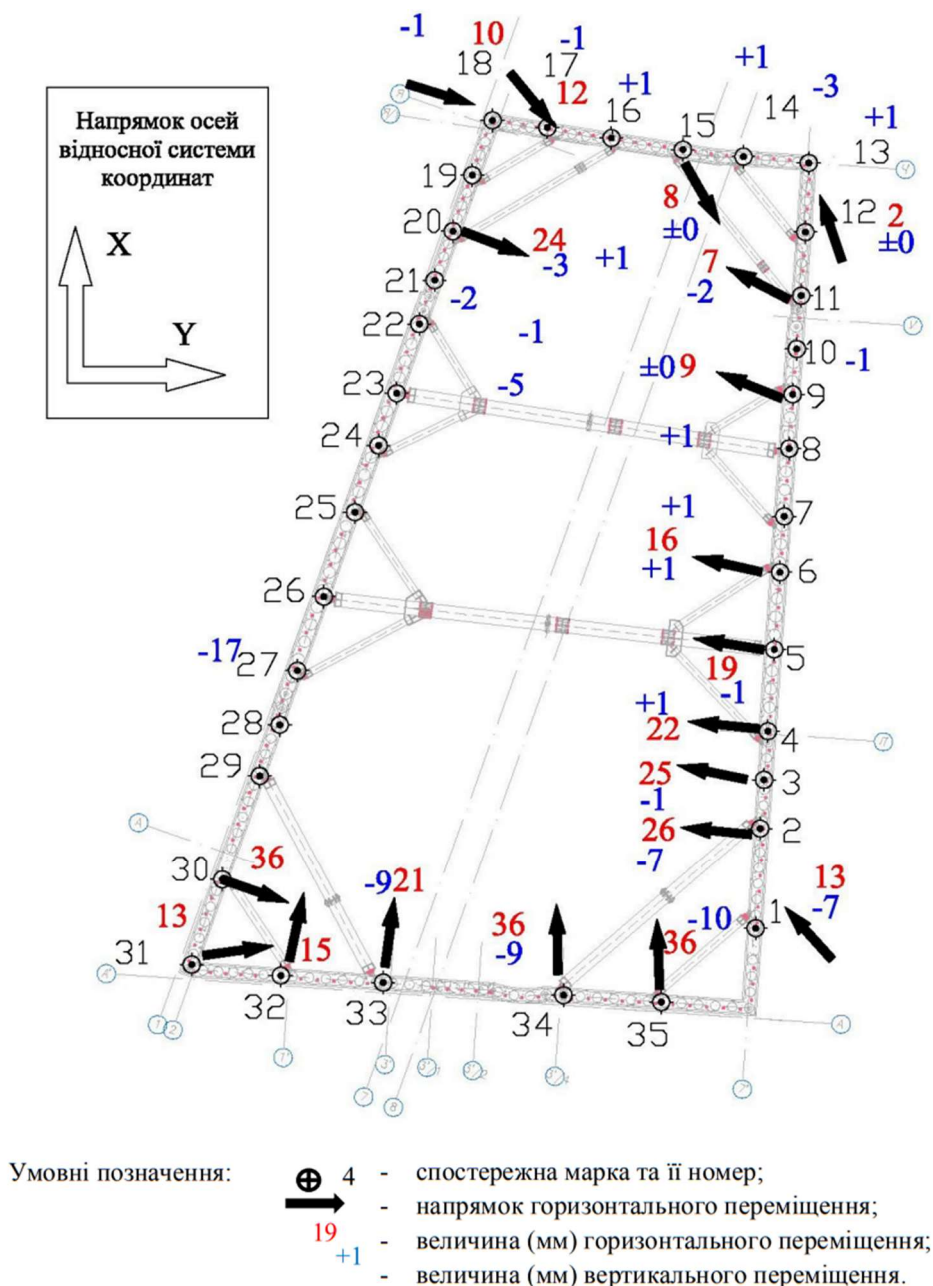


Рис.4. Результати визначення деформацій конструкцій огороження котловану.
 Fig.4. Results of determining the deformations of the pit fence structures.

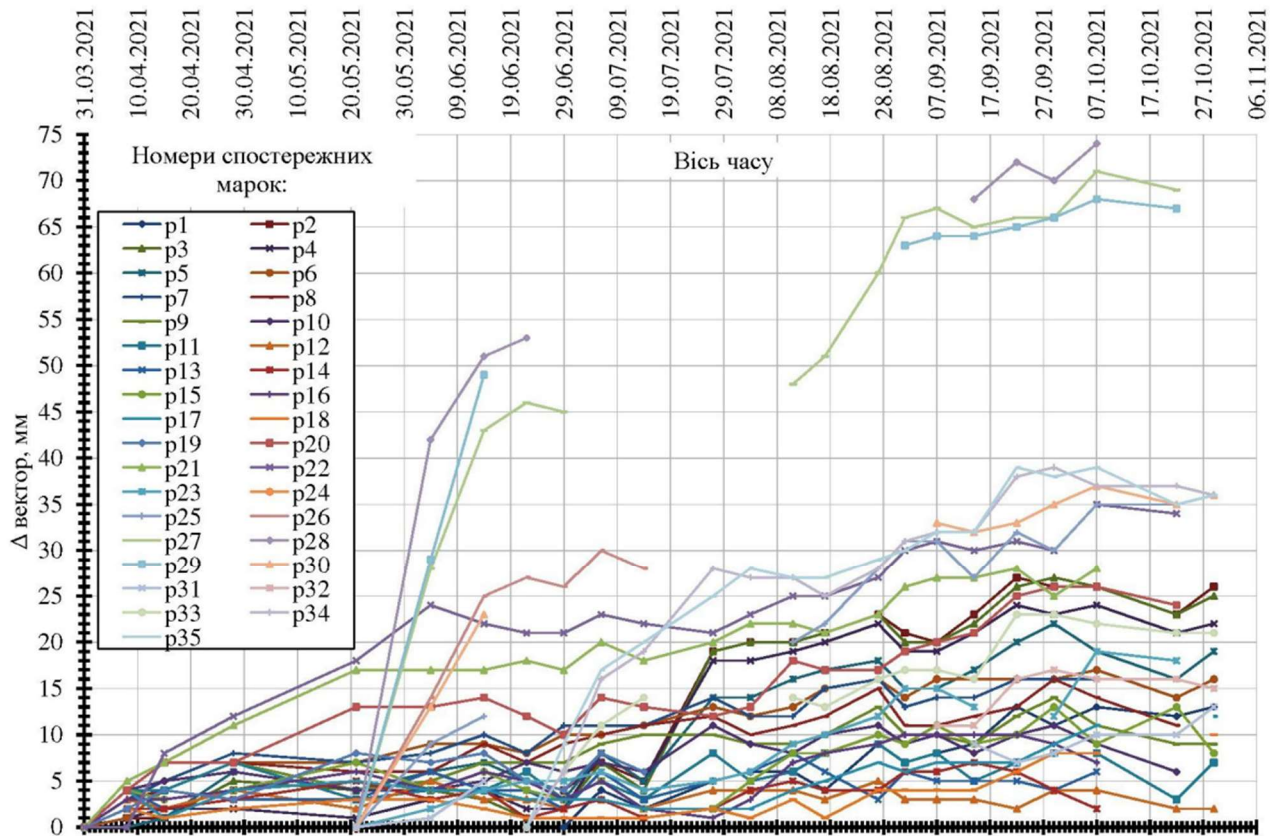


Рис.5. Графік зміни горизонтальних переміщення для кожної зі спостережних марок огороження котловану.

Fig.5. Graph of horizontal displacements for each of the observation grades of the pit fence.

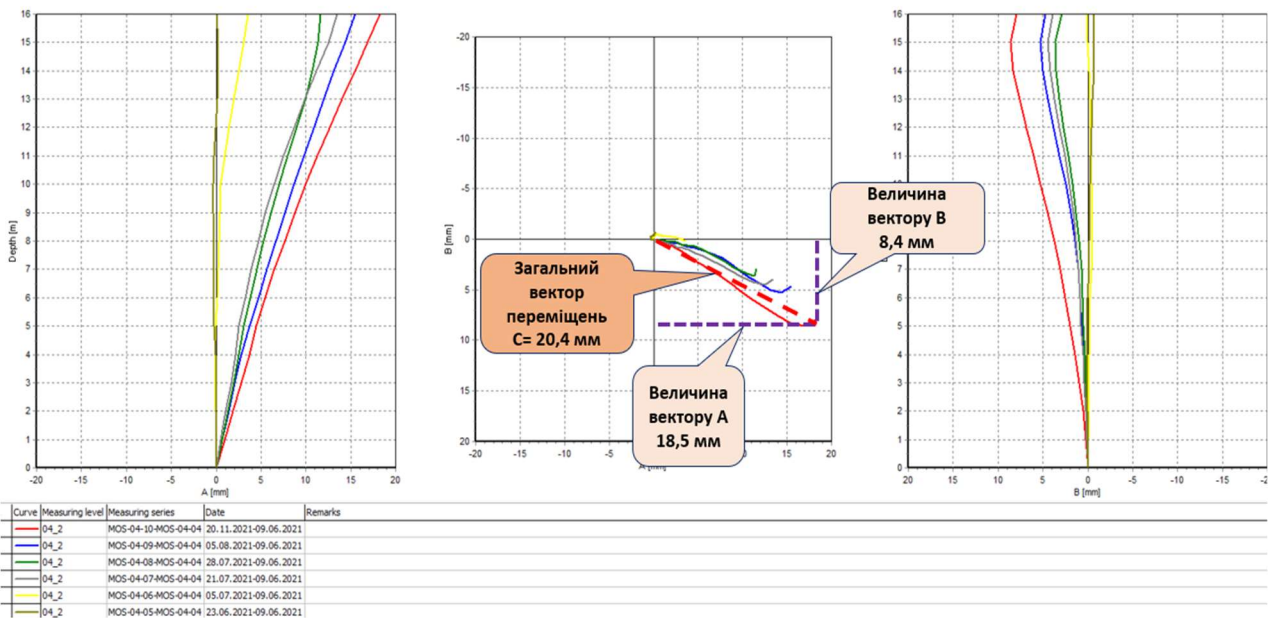


Рис.6. Графіки переміщень точки №4 огороження котловану отримані за результатами моніторингу з використанням інклінометричних систем.

Fig.6. Displacement graphs of point No. 4 of the pit fence were obtained based on the results of monitoring using inclinometer systems.

МОНІТОРИНГ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ОТОЧУЮЧОЇ ЗАБУДОВИ

Моніторинг за деформаціями оточуючих існуючих будинків проводився шляхом визначення величин та характеру осідань фундаментів будівлі за виконаними інструментальними інженерно-геодезичними вимірюваннями.

Організація спостережень за деформаціями фундаментів будівлі виконується в такій послідовності:

- вибір конструкції, місць розташування та установки вихідних геодезичних знаків висотної основи;
- здійснення висотної прив'язки вихідних геодезичних знаків;
- встановлення осадкових марок на конструкціях будівель,
- інструментальні вимірювання вертикальних переміщень осадкових марок;
- опрацювання і аналіз результатів спостережень.

При виконанні спостережень за осіданням фундаментів будівель влаштовується не менше трьох вихідних реперів для забезпечення взаємного контролю стійкості їх відміток.

Така їх кількість забезпечує необхідну точність визначення осідань, прийняту в нашому випадку $\pm 1,0$ мм для найбільш віддаленої від вихідного реперу марки ($\pm 2,0$ мм для світловідбивача). Висотні положення реперів були визначені з мінімальною можливою граничною помилкою. Роботи виконуються за допомогою нівеліра «Sokkia» SDL-30 та кодової рейки з інварною стрічкою.

Результати додаткових осідань оточуючих будинків, що отримані за результатами моніторингу не перевищують граничні значення за ДБН В.2.1-10:2018 [6], отже критичний вплив на існуючі сусідні будинки відсутній. Результати додаткових осідань існуючих будинків наведені у таблиці 1.

Табл. 1. Значення додаткових осідань існуючих будинків за результатами моніторингу.
Table 1. The value of additional subsidence of existing buildings based on the monitoring results.

Додаткові осідання існуючих будинків	Результати моніторингу	Граничні значення осідань (за ДБН В.2.1-10:2018)
Будинок №5	6 мм	7 мм
Будинок №5/2А	2 мм	15 мм
Будинок №5/2Б	2 мм	15 мм
Будинок №4	3 мм	7 мм
Будинок №6	2 мм	7 мм

ВИСНОВКИ

Продемонстровано, що сучасні засоби, які використовуються для моніторингу за переміщеннями конструкцій мають високу точність, що важливо при проведенні спостережень в умовах щільної міської забудови.

Для моніторингу за деформаціями огороження котловану було застосовано як і більш класичну методику (метод прямої багаторазової лінійно-кутової засічки) так і сучасний метод з використанням інклінометрів, що в свою чергу надає можливості впевнитися у результатах вимірювань, оскільки

різниця у результатах складає менше 10%.

За результатами моніторингу за деформаціями існуючих поряд розташованих споруд було визначено, що додаткові осідання не перевищують за граничні значення згідно діючих будівельних норм.

Дана публікація є першою з циклу статей присвячених оцінці напружено-деформованого стану (НДС) огорожуючих конструкцій котловану та оточуючої забудови на прикладі конкретного будівельного об'єкту та включає як опис фактичних даних моніторингу у цій статті так і числове моделювання НДС в подальших публікаціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Винников Ю.Л. Геотехнічний моніторинг улаштування котловану новобудови поруч з існуючими будівлями / Винников Ю.Л., Харченко М.О., Єрмоленко Д.А., Акоюн М.К. // *Збірник наукових праць «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика»*. – Дніпро: УДУНТ. – 2022. – Вип. 22. – С. 12-26. DOI: 10.15802/bttrp2022/268184
2. Іщенко Ю.І. Геотехнічний моніторинг при реконструкції Поштової площі в м. Києві / Іщенко Ю.І. // *Збірник наукових праць «Екологічна безпека та природокористування»*. – К.: ДП НДІБК. – 2020. – Том 34. №2. – С. 111-122. DOI: 10.32347/2411-4049.2020.2.111-122
3. Мелашенко Ю.Б. Багаторічний моніторинг деформацій будівель і споруд геодезичними методами / Мелашенко Ю.Б., Яковенко М.С., Зорін Є.В., Бень І.В. // *Науково-технічний журнал «Наука та будівництво»*. – К.: ДП НДІБК. – 2023. – Том 37. №3. – С. 71-87. DOI: 10.33644/2313-6679-3-2023-8
4. Іщенко Ю.І. Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови / Іщенко Ю.І., Слюсаренко Ю.С., Мелашенко Ю.Б., Яковенко М.С., Бень І.В. // *Науково-технічний журнал «Наука та будівництво»*. – К.: ДП НДІБК. – 2020. – Том 25. №3. – С. 13-25. DOI: 10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2
5. Смолій К.Б. Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд / Смолій К.Б. // *Збірник наукових праць «Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва»*. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка». – 2015. – Вип. I. №29. – С. 87-89.
6. Основи та фундаменти споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018. – [Чинний від 2019.01.01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2018 – 36 с.
7. *teoriia, doslidzhennia, praktyka»*. Dnipro: UDUNT, 22, 12-26 (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/268184>
8. Ishchenko Yu.I. (2020). Heotekhnichniy monitorynh pry rekonstruktsii Poshtovoi ploschi v m. Kyievi. [Geotechnical monitoring during reconstruction of the Poshtova square in Kyiv]. *Zbirnyk naukovykh prats «Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia»*. Kyiv: DP NDIBK, 34(2), 111-122 (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.111-122>
9. Melashenko Yu.B., Yakovenko M.S., Zorin Ye.V., Ben I.V. (2023). Bahatorichnyi monitorynh deformatsii budivel i sporud heodezychnymy metodamy. [Long-term monitoring of deformations of buildings and structures using geodetic methods]. *Naukovotekhnichniy zhurnal «Nauka ta budivnytstvo»*. Kyiv: DP NDIBK, 37(3), 71-87. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-8>
10. Ishchenko Yu.I., Sliusarenko Yu.S., Melashchenko Yu.B., Yakovenko M.S., Ben I.V. (2020). Heotekhnichniy monitorynh v umovakh ushchilnenoi miskoi zabudovy. [Geotechnical monitoring in the conditions of restrained urban development]. *Naukovotekhnichniy zhurnal «Nauka ta budivnytstvo»*. Kyiv: DP NDIBK, 25(3), 13-25. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>
11. Smolii K.B. (2015). Analiz suchasnykh heodezychnykh ta heotekhnichnykh metodiv monitorynhu za deformatsiamy inzhenernykh sporud. [Analysis of modern geodetic and geotechnical methods of monitoring the structures deformation]. *Zbirnyk naukovykh prats «Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva»*. Lviv: Natsionalnyi universytet «Lvivska politehnika», 29(1), 87-89. (in Ukrainian).
12. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennya: DBN V.2.1-10:2018. (2019) Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 36 (in Ukrainian)

REFERENCES

1. Vynnykov Yu.L., Kharchenko M.O., Yermolenko D.A., Akopian M.K. (2022). Heotekhnichniy monitorynh ulashtuvannia kotlovanu novobudovy poruch z isnuichymy budivliamy. [Geotechnical monitoring of arrangement of the excavation of new building near existing buildings]. *Zbirnyk naukovykh prats «Mosty ta tuneli:*

Monitoring of deformations of the deep pit wall and surrounding buildings in dense urban areas

*Viktor NOSENKO,
Artur MALAMAN,
Pavlo SOROKA*

Summary. The construction of buildings in dense urban areas is often characterized by the presence of deep pits, with the arrangement of parking lots, technical rooms and shelters in them. The timeframe for the installation of zero-cycle structures is usually quite long and can be measured in several months, and in complex cases and with large volumes of underground structures, it can last for tens of months. Such works are accompanied by the excavation of tens of thousands of cubic meters of pit soil, changes in the stress-strain state of the soil base and the supporting structures of neighboring buildings, and thus the need to monitor the technical condition of both the pit wall and the surrounding buildings.

The paper analyzes the results of monitoring the state of the deep pit wall and the surrounding buildings in Kyiv.

The monitoring of deformations of the pit wall was carried out using the classical method (the method of direct repeated linear-angular notching) and the modern method using inclinometers. Monitoring of the deformations of the existing surrounding buildings was carried out by determining additional foundation settlements by leveling.

It is demonstrated that the modern tools used for monitoring have high accuracy, which is important when conducting observations in dense urban areas.

Based on the results of monitoring the deformations of existing nearby structures, it was determined that the additional settlements of existing buildings do not exceed the limit values according to DBN B.2.1-10:2018 Bases and foundations of buildings and structures.

This publication is the first in a series of articles on the assessment of the stress-strain state of the pit envelope and surrounding buildings, using the example of a specific construction site and includes both a description of the actual monitoring data in this article and numerical simulation of the stress-strain state in further publications.

Keywords: monitoring, retaining walls, dense development, spatial stiffness.