

Практика влаштування більш глибокого котловану за рівень підшви фундаментів навколишніх будівель

Юрій Винников¹, Мкртіч Акопян²

^{1,2} Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
24, просп. Першотравневий, м. Полтава, Україна, 36011

¹ vynnykov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2164-9936>

² armenia3579@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5271-6639>

DOI: 10.32347/0475-1132.46.2023.28-37

Анотація. За результатами комплексних експериментально-теоретичних досліджень за умов замкнутого лесованого масиву обґрунтовано й апробовано на практиці раціональне конструктивно-технологічне рішення улаштування огороження більш глибокого котловану під наводобудову, ніж глибина закладення стрічкових фундаментів навколишніх будівель, при забезпеченні нормативних обмежень щодо додаткових осідань основ цих будівель.

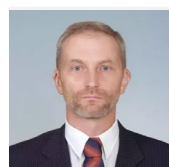
Доведено, що за рахунок улаштування огороження котловану зі шпунтових паль (двутавр №30) з кроком 1 м, а між ними дерев'яної забірки, стадійності виймання ґрунту на початкових стадіях під захистом ґрунтової берми, а надалі – з встановленням обв'язувальної балки, розкосів, підкосів і поступовим підведенням підлоги й зовнішньої стіни паркінгу новобудови, додаткові осідання існуючих об'єктів не перевищили допустимих за нормами величин.

Викладено результати тривалих геодезичних спостережень за деформаціями основ будівель, які знаходяться в зоні впливу котловану новобудови, на різних стадіях улаштування його огороження.

Встановлено задовільну збіжність (відносна похибка не перевищила 20%) результатів моделювання у плоскій постановці методом скінчених елементів (МСЕ) із застосуванням пружно-пластичної моделі ґрунту системи «основа – фундамент існуючої будівлі – огороження котловану» і натурних досліджень.

Наведено приклади результатів моделювання МСЕ деформацій ґрунтового масиву на різних стадіях улаштування огороження котловану.

Встановлено, що при влаштуванні найбільшій горизонтальній переміщенню огороження



Юрій Винников
завідувач кафедри буріння та геології, д.т.н., проф.



Мкртіч Акопян
аспірант кафедри будівництва та цивільної інженерії

котловану змінюються від 8 до 23 мм у зоні існуючих будівель. Максимальні вертикальні переміщення основ фундаментів цих будівель склали до 10 мм, що не перевищує допустимих за нормами величин.

Визначено перспективи подальших досліджень щодо оцінювання рівня надійності огороження котловану шляхом визначення параметрів мінливості складових системи «основа – фундамент існуючої будівлі – огороження котловану».

Ключові слова. Огороження котловану, замочка лесована основа, пальовий фундамент, фундамент на природній основі, осідання, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів, шпунтова паля, ґрунтова берма, обв'язувальна балка.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Світова практика зведення й експлуатації будівель і споруд за умов щільної міської забудови доводить, що майже завжди має місце небезпека нерівномірних деформацій основ існуючих будівель і споруд через нове будівництво [1, 2]. Є сенс згадати класичні

випадки впливу нового будівництва на розвиток додаткових деформацій основ існуючих будівель [3-7]:

- видавлювання ґрунту з-під підшви існуючих фундаментів, зведених на природній основі, вбік котловану під новобудову;
- локальне замокання просадочного масиву з боку цього котловану;
- проморожування несучого шару ґрунту існуючих фундаментів після відкопування поряд з ними котловану під новобудову;
- додаткове ущільнення основи фундаментів існуючих будівель від навантаження, викликаного новобудовою;
- розвиток негативного тертя за бічною поверхнею паль фундаментів існуючої будівлі від впливу новобудови, тощо.

При цьому граничні додаткові деформації основ будівель, які попадають до зони впливу котлованів під новобудову, залежать від типу цих об'єктів і категорії їх технічного стану [1, 2].

Отже, актуальною залишається проблема удосконалення проектування та ведення робіт у більш глибокому котловані під новобудову, ніж глибина закладення фундаментів навколишніх будівель, за мінімальних витрат на захисні заходи.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

При проектуванні основ і фундаментів новобудов за умов щільної міської забудови оцінюють вплив нового будівництва на напружено-деформований стан (НДС) навколишнього масиву, зокрема, й основ і фундаментів навколишніх об'єктів. Якщо розкриття котлованів з вільними відкосами під новобудову не можливо обґрунтувати аналітичними чи чисельними розрахунками [1-7], то враховуючи інженерно-геологічні й гідрогеологічні умови ділянки, технічний стан існуючих будівель, конструктивні, організаційно-технологічні, економічні та інші чинники, приймають огороження котлованів різних видів і технологій [8-15], найбільш популярні з яких наступні:

- різні варіанти шпунтового огороження (як-то, тонкі дерев'яні, металеві, пластикові, залізобетонні, плоскі чи профільні підпірні

стілки, стійкість яких забезпечує глибоке замурування в «надійний» шар ґрунту чи вони – спільно з розкріпленням розпірками, підкосами, ґрунтовими анкерами і т. ін.). В якості позитивного доповнення до такого огороження, зокрема, у слабких ґрунтах, зарекомендували себе утримуючі берми й розвантажувальні траншеї. Однак, цей варіант має обмеження за глибиною котлованів до 5-6 м;

- огороження з ґрунтоцементних елементів (ГЦЕ), які зводять за змішувальною технологією чи, так званим, способом струйної цементації (Jet Grouting). Але і в цьому випадку глибину котлованів звичайно обмежують 5-6 м або ж виконують технологічно складне армування ГЦЕ;

- огороження, влаштовані способом «стіна в ґрунті», що дає можливість проходити котловани значної глибини;

- огороження з буродотичних чи буросікучих паль, яке також дає можливість створювати котловани значної глибини;

- застосування сучасної технології Top-Down (вертикальні елементи огороження влаштовують за технологією «стіна в ґрунті» з буродотичних чи буросікучих паль) і т. ін., яка відкрила можливості влаштовувати найбільш глибокі котловани, у т. ч. за умов щільної міської забудови та потужної товщі слабких ґрунтів. Однак, цей варіант потребує і найбільш розвиненої технічної та технологічної складових.

Практика також показала, що виникають додаткові складності при улаштуванні огороження котловану, більш глибокого за глибину закладення фундаментів існуючих будівель. Зокрема, автори у цьому випадку оцінювали НДС системи «основа – фундамент існуючої будівлі – огороження котловану» шляхом моделювання у плоскій постановці (2D) методом скінченних елементів (МСЕ) із застосуванням пружно-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Кулона – Мора [15].

Слід додати, що раніше за участю авторів було удосконалено систему геотехнічного моніторингу за улаштуванням котловану новобудови поруч з існуючими будівлями, до складу якої входять і геодезичні виміри їх додаткових осідань у часі [16].

МЕТА РОБОТИ

Тому за мету роботи прийнято – за умов замклого лесованого масиву шляхом експериментально-теоретичних досліджень обгрунтувати й апробувати на практиці раціональне конструктивно-технологічне рішення улаштування огороження більш глибокого котловану під новобудову, ніж глибина закладення стрічкових фундаментів навколишніх будівель, при забезпеченні нормативних обмежень щодо додаткових осідань основ цих будівель.

Для досягнення прийнятої мети роботи вирішувались наступні задачі:

- оцінити вплив нового будівництва на деформації існуючої оточуючої забудови;

- всебічно обгрунтувати конструктивні й організаційно-технологічні заходи, зокрема й стадійність відкопування котловану щодо мінімізації впливу нового будівництва на стан навколишніх будівель;

- розрахувати міцність і деформативність елементів огороження котловану з урахуванням мінливості фактичних геометричних її параметрів;

- регулярними геодезичними спосереженнями зафіксувати додаткові осідання основ будинків, поруч з якими відрито котлован, більш глибокий, ніж глибина закладення їх фундаментів;

- оцінити достовірність прогнозу додаткових осідань основ існуючих будівель від впливу улаштування котловану порівнянням даних тривалих спостережень і моделювання МСЕ із застосуванням пружно-пластичної моделі ґрунту.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ситуаційну схему ділянки подано на Рис. 1. Згідно проекту новобудова являє собою восьмиповерхову житлову будівлю з підземним паркінгом глибиною понад 4 м, яка має дві секції, розділені деформаційним швом. Фундамент будівлі – палі С140.35-8, об'єднані стрічковим ростверком під стіни й окремими ростверками під колони. Її підвал і перший поверх мають монолітний залізобетонний каркас. Секція, розташована вздовж вул. Ватутіна, зводиться на відстані 0,5 м до

існуючої житлової п'ятиповерхової будівлі з мансардним і підвальним поверхами (вул. Ватутіна, 9/68). Конструктивна схема цієї будівлі – поздовжні несучі стіни з керамічної цегли, а її фундаменти та цоколь – зі збірних залізобетонних елементів.

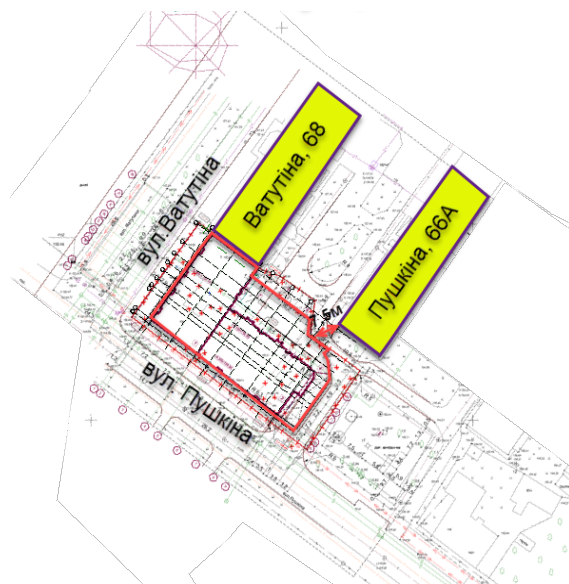


Рис.1. Ситуаційна схема ділянки в плані
Fig.1. Situation scheme of the plot in the plan

Друга секція новобудови розташована уздовж вул. Пушкіна і підходить на відстань 7,5 м несучими й огорожувальними конструкціями до іншої існуючої житлової будівлі (вул. Пушкіна, 66а). Конструктивна схема цієї будівлі – поздовжні несучі стіни з блоків (цегла й розчин) заводського виготовлення. Її фундаменти – з монолітного залізобетону, а цоколь – з буттового каменю.

У геоморфологічному відношенні ділянку приурочено до Полтавського лесового плато. Потужність лесової товщі в межах ділянки не перевищує 8.0 м. До глибини 20.0 м розташовані суглинки важкі пілуваті, тугопластичні та суглинки легкі пілуваті, текучі, текучопластичні й тугопластичні, а також глина легка пілувата, напівтверда. Шари ґрунтів у цілому витримані за глибиною та площею масиву. Рівень ґрунтових вод склав 4.2 м від земної поверхні (орієнтовно на рівні дна майбутнього котловану). Можливе підняття рівня ґрунтових вод на 2.0 м.

За категорією технічного стану існуючих будівель було обмежено додаткові осідання

їх основ від впливу новобудови [1] для будинків: по вул. Ватутіна, 9/68 – 20 мм; по вул. Пушкіна, 66а – 15 мм, – а також відносна нерівномірність осідань – 0.0015.

На Рис. 2 показано перерізи найбільшого впливу новобудови на ці об'єкти.

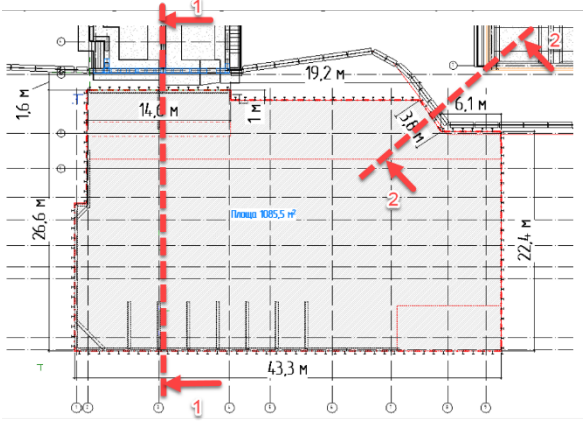


Рис.2. Схема розрахункових перерізів
Fig.2. Scheme of calculated sections

В якості прикладу розглянемо результати окремих, але достатньо характерних розрахунків огороження котловану, впливу новобудови на існуючу забудову, перевірок деформацій при влаштуванні котловану й підземної частини новобудови за перерізом 1-1 (через будинок по вул. Ватутіна, 9/68). Зокрема, його фундаменти відстають від краю котловану на 0.5-0.8 м, а глибина котловану в цьому перерізі складає 4.8 м (Рис. 3).

Просторовий вигляд котловану та його огороження подано на Рис. 4.

Щоб знизити тиск на огороження було скорочено його глибину проходженням, так званого, «піонерного» котловану глибиною 1.8 м поблизу будівлі. Вздовж будівлі вибрано майже всю насипну товщу ґрунту. З дна цього котловану вдавлювали вертикальні елементи огороження (двотаври 30Ш1 довжиною 10 м, з кроком 1.0-1.5 м), між якими створювали дерев'яну забірку та з'єднували об'язувальною балкою.

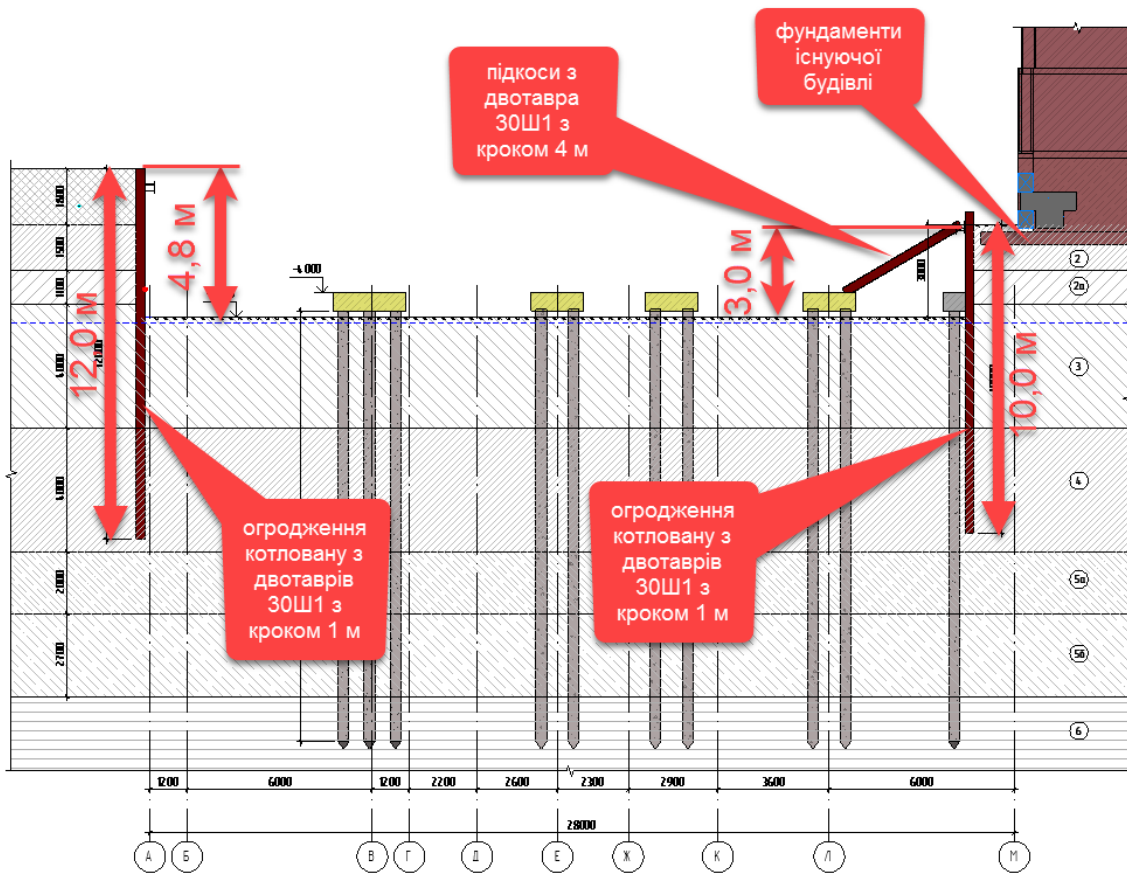


Рис.3. Переріз 1-1 (існуюча п'ятиповерхова будівля з мансардним і підвальним поверхами та баштовий кран для новобудови вздовж осі «А»)

Fig.3. Section 1-1 (existing five-story building with attic and basement floors and tower crane for new building along axis "A")

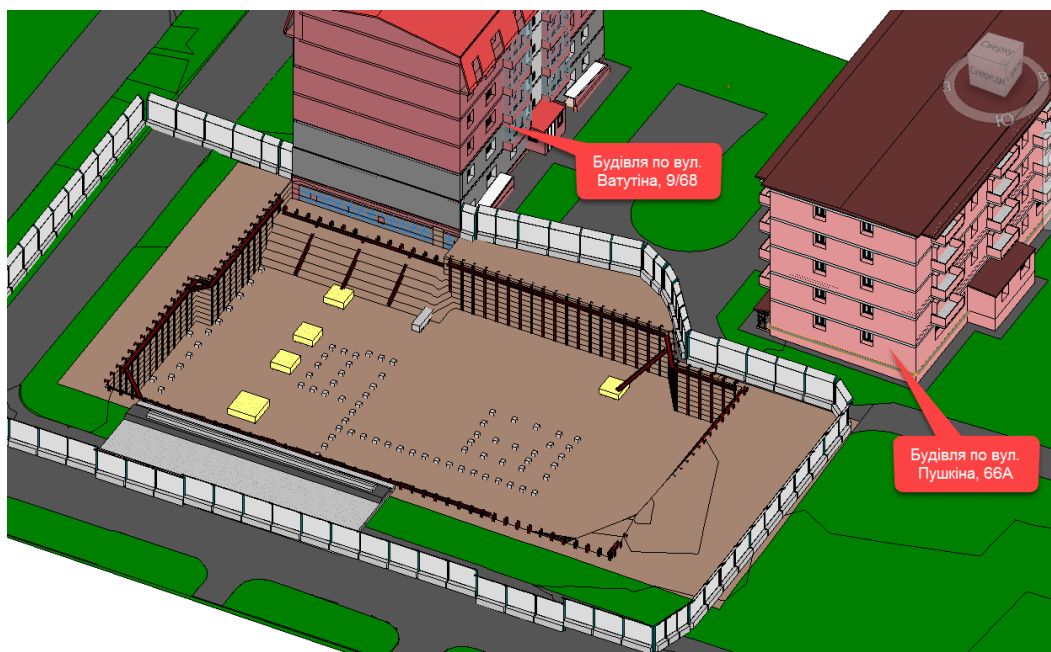


Fig.4. Просторовий вигляд котловану та його огороження

Fig.4. Spatial view of the excavation and its shoring

Таке огороження котловану зводили за наступними стадіями:

перша – здавлення з поверхні ділянки паль для новобудови (ще до проходження котловану); улаштування за контуром вертикальних елементів огороження котловану крім зони біля будівлі;

друга – проходка «піонерного» котловану на глибину 1.8 м від поверхні; вдавлення двотаврів огороження між котлованом і фундаментом існуючої будівлі;

третья – відкопування котловану на проектну глибину під захистом ґрунтової берми шириною 3.2 м з відкосом 45 – 50°;

четверта – улаштування у верхній частині огороження (0.5 м від поверхні) об'язувальної розподільчої балки з двотаврів 30Ш1, встановлення підкосів із двотаврів 30Ш1 з кроком 4 м на попередньо влаштовані ростверки майбутньої будівлі;

п'ята – зведення стрічкових ростверків під стіну паркінгу, влаштування підлоги паркінгу, яка виконуватиме роль розпірної системи й сприйматиме навантаження від огороження, зведення вертикальних залізобетонні пілонів і стін до рівня підкосів і лише після набору міцності бетоном зняття підкосів і продовження виконання монолітних робіт, тощо.

Аналогічно зводили огороження котловану й у перерізі 2-2.

Розрахунки впливу влаштування котловану за перерізами 1-1 і 2-2 виконано у 2D нелінійній постановці МСЕ, зокрема, використано програмний комплекс для скінчено-елементного аналізу геотехнічних задач. Моделювання системи «основа – фундаменти існуючої будівлі – конструкція огороження» виконано із застосуванням добре апробованої для вирішення подібних задач пружно-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Кулона – Мора. На початковій стадії моделювали вихідний напружений стан від власної ваги ґрунтів основи й існуючих об'єктів, але деформації, які при цьому виникли, обнулялись тому, що цей НДС є вихідним для подальших розрахунків.

Приклади деформацій ґрунтового масиву за 2D моделюванням МСЕ на різних стадіях улаштування огороження котловану в перерізі 1-1 подано на Рис. 5.

Так розрахунком елементів огороження котловану з урахуванням стадійності виймання ґрунту доведено, що огороження слід прийняти зі шпунтових паль (двотаври 30Ш), які слід вдавлювати з кроком 1 м, з улаштуванням між ними дерев'яної заборки.

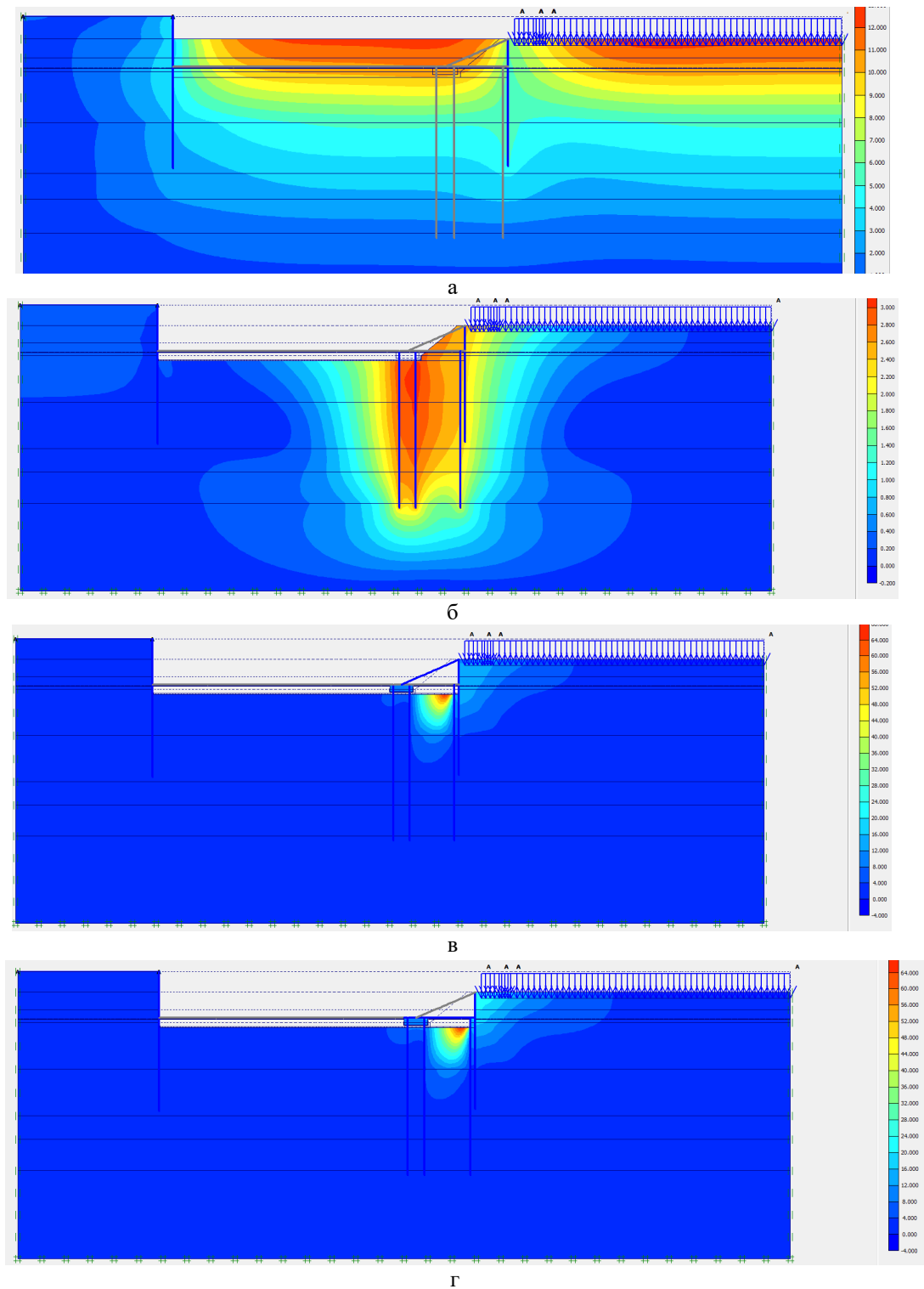


Рис.5. Деформації масиву за моделюванням на стадіях улаштування огороження після: а – проходки «піонерного» котловану (максимальні підняття дна котловану – до 13 мм); б – улаштування котловану під захистом ґрунтової берми (до 3,2 мм на дні котловану); в – улаштування підкосу і зняття ґрунтової берми (до 68 мм на дні котловану від випору ґрунту); г – улаштування підлоги паркінгу і стрічкового ростверку та зняття підкосу (до 68 мм на дні від випору ґрунту)

Fig.5. Massif deformations according to the modeling at the stages of excavation shoring performance: a – execution of the "pioneer" excavation (maximum elevation of the bottom of the pit - up to 13 mm); b – arrangement of the excavation under the protection of the soil berm (up to 3.2 mm at the bottom of the excavation); c – arrangement of a strut and removal of a soil berm (up to 68 mm at the bottom of excavation from soil heaving); d – arrangement of the parking floor and grille and removal of the strut (up to 68 mm)

Для збільшення стійкості та зменшення деформацій вертикальних елементів розробку котловану було передбачено на початкових стадіях під захистом ґрунтової берми, а надалі – з встановленням обв'язувальної балки, розкосів, підкосів і поступовим підведенням підлоги й зовнішньої стіни паркінгу.

Фотографії окремих стадій влаштування огороження котловану наведені на Рис. 6.



а



б



в



г



д



е



ж

Рис.6. Стадії влаштування котловану поблизу існуючих будівель: а – майданчик до відкопування котловану; б – формування ґрунтової берми біля будівлі; в – влаштування обв'язувальної балки огороження; г – монтаж підкосу між обв'язувальною балкою та новим ростверком; д – влаштування стін до низу обв'язувальної балки; е – влаштування плити перекриття над паркінгом; ж – сучасний вигляд новобудови та прилеглого будинку

Fig.6. Construction stages of a pit near existing buildings: а – a site for excavation of a pit; б – formation of a soil berm near the building; в – installation of the capping beam of the pit fence; д – installation of rakers between the capping beam and the new foundation framework; е – making walls to the bottom of the capping beam; ф – construction of a floor slab above the parking lot; г – modern view of new buildings and adjacent existing building

Для спостереження за додатковими осіданнями основ фундаментів існуючих будівель у межах зони впливу новобудови на рівні цоколів об'єктів було влаштовано 20 стінових марок (9 з них – на будинку по вул. Ватутіна, 9/68, а 11 – на будинку по вул. Пушкіна, 66а). За вихідний стан цих марок було прийнято результати високоточних інструментальних геодезичних вимірювань, виконаних ще до початку улаштування котловану (в червні 2019 р.). При цьому в якості опорної мережі використано репери, закріплені навколо ділянки на об'єктах, що забезпечують їх незмінне положення в часі.

Цикли нівелювання відповідали стадіям улаштування огороження котловану. В результаті зафіксовано такі максимальні значення додаткових осідань основ: для будинку по вул. Ватутіна, 9/68 – 10 мм; для будинку по вул. Пушкіна, 66а – 13 мм. Отже, фактичні додаткові осідання основ існуючих будівель від впливу новобудови не перевищили нормативні обмеження, що відповідають категорії їх технічного стану.

Також встановлено, що відносна похибка між результатами розрахунку додаткових осідань основ існуючих будівель від впливу влаштування котловану шляхом 2D моделюванням МСЕ із застосуванням пружно-пластичної моделі ґрунту та натурних досліджень не перевищила 20%.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Отже, за результатами комплексних експериментально-теоретичних досліджень конструктивно-технологічного рішення улаштування огороження більш глибокого котловану під новобудову, ніж глибина закладення стрічкових фундаментів навколишніх будівель, за умов замклого лесованого масиву встановлено наступне.

1. Комплексне технологічно-конструктивне рішення улаштування огороження котловану: зі шпунтових паль; між ними дерев'яної забірки; стадійності виймання ґрунту на початкових стадіях під захистом ґрунтової берми, а надалі – з встановленням обов'язувальної балки, розкосів, підкосів і поступовим підведенням підлоги й

зовнішньої стіни паркінгу новобудови, – забезпечило виконання нормативних вимог щодо неперевершення додатковими осіданнями основ існуючих будівель гранично допустимих величин.

2. Геодезичними спостереженнями за натурними об'єктами доведено, що за цього технологічно-конструктивного рішення фактичні додаткові осідання основ існуючих будівель від впливу новобудови не перевищили нормативні обмеження, що відповідають категорії їх технічного стану.

3. Доведено достатню достовірність прогнозу додаткових осідань основ будівель від впливу влаштування котловану шляхом 2D моделюванням МСЕ із застосуванням пружно-пластичної моделі ґрунту.

На наш погляд, мають цікаві перспективи подальші дослідження щодо оцінювання рівня надійності огороження котловану шляхом визначення параметрів мінливості складових системи «основа – фундамент існуючої будівлі – огороження котловану».

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. – К.: Мінрегіонбуд, 2018. – 40 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.1-32:2014. Настанова з проектування котлованів для улаштування фундаментів і заглиблених споруд. – [Чинний від 2015-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2015. – 114 с.
3. Chang – Yu Ou. Deep Excavation. Theory and Practice / Ou. Chang – Yu. – London: CRC Press. – 2006. – 552 p.
4. Бойко І.П. Вплив послідовності зведення суміжних секцій висотного будинку на перерозподіл зусиль у пальових фундаментах / І.П. Бойко, В.С. Носенко // *Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)*. – Т.1. Полтава: ПолтНТУ. 2012. Вип. 4(34). – С. 54-60.
5. Katzenbach R. Value Engineering as a basis for safe, optimized and sustainable design of geotechnical structures / R. Katzenbach, S. Leppla, M. Seip, S. Kurze // *Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburg. – 2015. – p. 601-606.
6. Poulos H.G. Tall building foundation design / H.G. Poulos. – Boca Raton: CRC Press. – 2017. – 560 p.
7. Cheng Y.M. Analysis, Design and Construction of Foundations / Y.M. Cheng,

- C.W. Law, L. Liu. – London: CRC Press. – 2021 – 610 p.
8. Pinto A. FPM41 high rise building in central Lisbon: innovative solutions for a deep and complex excavation / A. Pinto, C. Fartaria, X. Pita, R. Tomásio // *Proc. of 19th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Seoul: COEX. – 2017. – p. 2029-2032.
 9. Kryvosheiev P. Innovative projects in difficult soil conditions using artificial foundation and base, arranged without soil excavation / P. Kryvosheiev, G. Farenjuk, V. Tytarenko, I. Boyko, M. Kornienko, M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, V. Siedin, V. Shokarev, V. Krysan // *Proc. of the 19th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Seoul: COEX. – 2017. – p. 3007-3010.
 10. Akçakal O. Decision process for selection of the toe improvement pattern in retaining structures - Case studies / O. Akçakal, B. Kocak, N. Veilsglu, O. Sevim, H. Kulaç // *Proc. of 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney: Australian Geomechanics Society. 2022. – V. 2. – p. 4111-4114.
 11. Yeow H-C. Case histories of deep excavation in London Clay and limit states design in accordance with Eurocode 7 using advanced soil model / H-C. Yeow // *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney: Australian Geomechanics Society. 2022. – V. 2. – p. 1031-1036.
 12. Capa V.E. Experimental and numerical study on the behavior of soil nailing excavations in volcanic soils / V.E. Capa, P.A. Calderón, F.J. Torrijo // *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney: Australian Geomechanics Society. 2022. – V. 2. – p. 639-644.
 13. Madrid R. On the use of elasto-plastic models with hardening for excavations on the gravel of Lima / R. Madrid, Y. Gomez // *Proc. of 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney: Australian Geomechanics Society. 2022. – V. 2. – p. 835-844.
 14. Lai W.T. Performance of deep excavation using island method- temporary berms and buttress wall retaining system / W.T. Lai, Q.Y. Ye, H. Qu, C. Veeresh // *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney: Australian Geomechanics Society. 2022. – V. 2. – p. 775-780.
 15. Vynnykov Yu.L. Efficient foundation pits solutions for restrained urban conditions / Yu.L. Vynnykov, M.O. Kharchenko, M. Akopian, A. Aniskin // *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. – Poltava: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. – 2021. – Is. 1(56)'. – p. 65-75.
 16. Винников Ю.Л. Геотехнічний моніторинг улаштування котловану новобудови поруч з існуючими будівлями / Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, Д.А. Єрмоленко, М.К. Акоп'ян // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: збірник наук. праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. – 2022. – №22. – С. 12-26.

REFERENCES

1. DBN V.2.1-10:2018. (2018). *Osnovy i fundamentey budivel ta sporud*. Kyiv: Minrehionbud, 40 (in Ukrainian).
2. DSTU-N B V.2.1-32:2014. (2015). *Nastanova z proektuvannya kotlovaniv dlya ulashtuvannya fundamentiv i zahlyblynykh sporud*. Kyiv: Minrehionbud (in Ukrainian).
3. Chang – Yu Ou. (2006). *Deep Excavation. Theory and Practice*. London: CRC Press, 552.
4. Boyko I.P., Nosenko V.S. (2012). Vplyv poslidovnosti zvedennya sumizhnykh sektsiy vysotnoho budynku na pererozpodil zusyly u pal'ovykh fundamentakh [Influence of the erection sequence of adjacent sections of a high-rise building on the redistribution of forces in pile foundations]. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. Poltava: PoltNTU. 4(34). Vol.1, 54-60 (in Ukrainian).
5. Katzenbach R., Leppla S., Seip M., Kurze S. (2015). Value Engineering as a basis for safe, optimized and sustainable design of geotechnical structures. *Proc. of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburg, 601-606.
6. Poulos H.G. (2017). *Tall building foundation design*. Boca Raton: CRC Press, 560.
7. Cheng Y.M., Law C.W., Liu L. (2021). *Analysis, Design and Construction of Foundations*. London: CRC Press, 2021, 610.
8. Pinto A., Fartaria C., Pita X., Tomásio R. (2017). FPM41 high rise building in central Lisbon: innovative solutions for a deep and complex excavation. *Proc. of the 19th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Seoul, 2029-2032.
9. Kryvosheiev P., Farenjuk G., Tytarenko V., Boyko I., Kornienko M., Zotsenko M., Vynnykov Yu., Siedin V., Shokarev V., Krysan V. (2017). Innovative projects in difficult soil conditions using artificial foundation and base, arranged without soil excavation. *Proc. of the 19th Intern. Conf. on Soil Mechanics*

- and Geotechnical Engineering*. Seoul. 3007-3010.
10. Akçakal O., Kocak B., Veilsglu N., Sevim O., Kulac H. (2022). Decision process for selection of the toe improvement pattern in retaining structures - Case studies. *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney: Australian Geomechanics Society. 2, 4111-4114.
 11. Yeow H-C. (2022). Case histories of deep excavation in London Clay and limit states design in accordance with Eurocode 7 using advanced soil model. *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney. 2, 1031-1036.
 12. Capa V.E., Calderón P.A., Torrijo F.J. (2022). Experimental and numerical study on the behavior of soil nailing excavations in volcanic soils. *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney. 2, 639-644.
 13. Madrid R., Gomez Y. (2022). On the use of elasto-plastic models with hardening for excavations on the gravel of Lima. *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney. 2, 835-844.
 14. Lai W.T., Ye Q.Y., Qu H., Veeresh C. (2022). Performance of deep excavation using island method- temporary berms and buttress wall retaining system. *Proc. of the 20th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Sydney. 2, 775-780.
 15. Vynnykov Yu.L., Kharchenko M.O., Akopian M.K., Aniskin A. (2021). Efficient foundation pits solutions for restrained urban conditions. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. Poltava: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. 1(56)', 65-75.
 16. Vynnykov Yu.L., Kharchenko M.O., Yermolenko D.A., Akopian M.K. (2022). Heotekhnichnyy monitorynh ulashtuvannya kotlovanu novobudovy poruch z isnuyuchymy budivlyamy [Geotechnical monitoring of arrangement of the excavation of new building near existing buildings]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*. Dnipro: DNUZT, 22, 12-26 (in Ukrainian).

The practice of arranging a pit deeper than the level of the soles of the foundations of the surrounding buildings

*Yuriy Vynnykov,
Mkrtich Akopian*

Summary. A rational constructive-technological decision to arrange a fence of a deeper pit for a new building than the depth of laying strip foundations of the surrounding buildings has been substantiated and tested in practice. The decision to arrange the fence was tested based on the results of complex experimental and theoretical studies under the conditions of a wet loess massif. At same time, regulatory restrictions on additional subsidence of these buildings foundations are provided. It has been proven that the additional subsidence of existing objects did not exceed the permissible values according to the norms. This happened due to the arrangement of the pit fence, the phasing of soil extraction in the initial stages under of the soil berm protection. The technology provided for the construction of a pit fence with sheet piling (I-beam No. 30) with a step of 1 m, with timber lagging between them. Then they installed the capping beam, struts, rakers and gradually raised the floor and outer wall of the parking lot of the new building.

The results of long-term geodetic observations of the foundations deformations of buildings located in the zone of the pit influence of the new building at various construction stages of its enclosure are described.

Sufficient convergence of the simulation results in the plane condition using the FEM and field studies was determined (the relative error did not exceed 20%). An elastic-plastic soil model of the "basement - foundations of an existing building - pit enclosure" system was used for modeling.

The article describes examples of the results of FEM modeling of soil massif deformations at various stages of pit fence construction.

It was determined that during construction the largest horizontal movements of the pit fence vary from 8 to 23 mm in the area of existing buildings. The maximum vertical movements of the bases foundations of these buildings amounted to 10 mm, which does not exceed the permissible values according to the norms.

Prospects for further research on assessing the level of reliability of the pit enclosure by determining the variability parameters of the components of the system "foundation - foundation of the existing building - pit enclosure" have been determined.

Key words. Excavation shoring, soaked loess, pile foundation, spread foundation, base settlement, stress-strain state, finite element method, sheet piling, soil berm, capping beam.