

Оцінка впливу процесу влаштування огорожувальних конструкцій котловану на оточуючу забудову

Людмила Бондарева¹, Максим Хоронжевський²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
skochko.lo@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7392-814X
khoronzhevskiy.ubp@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5797-7304

DOI: 10.32347/0475-1132.45.2022.22-32

Анотація. Важливим питанням при розрахунках утримуючих конструкцій котлованів і їх взаємодії з основою та існуючими спорудами є врахування особливостей технології їх влаштування. Досить часто при розрахунках даний фактор ігнорують або враховують шляхом введення поправочних коефіцієнтів, що так чи інакше базуються на статистичній обробці даних спостережень при будівництві подібних об'єктів.

Розвиток числових методів дав змогу проєктувальникам використовувати детальні скінченно-елементні моделі при розрахунках для більш точного прогнозування поведінки основ та конструкцій, не витрачаючи надмірних обсягів часу.

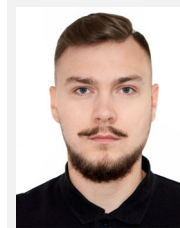
В даній роботі методами числового моделювання відтворено процес влаштування огороження котловану методом траншейної «стіни в ґрунті» для визначення його впливу на існуючу забудову. Для цього, створено числову модель 9-ти поверхового будинку з ґрунтовим масивом. Виконано моделювання котловану та його огороження, що встановлюється поряд з будинком. При цьому, використання тривимірної постановки задачі дозволило врахувати довжину захватки траншеї та технологічну послідовність виконання робіт.

Проаналізовано існуючі методи моделювання розробки траншеї та реалізовано один з них в розрахунковій схемі.

Було досліджено вплив різних факторів на формування додаткових деформацій існуючої будівлі, таких як: L - відстань від котловану до будівлі; $H_{ст}$ - глибина закладання підшви «стіни в ґрунті»; $L_{зхв}$ - довжина захватки траншеї; $\rho_{г.р}$ - щільність глинистого розчину.



Людмила Бондарева
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н.



Максим Хоронжевський
аспірант кафедри
геотехніки

В рамках кожної задачі визначено осідання фундаменту будівлі при різних вхідних параметрах $L=\{1,2; 3; 5; 10\text{м}\}$, $H_{ст}=\{12; 18; 24\text{м}\}$, $L_{зхв}=\{3; 4; 5\text{м}\}$, $\rho_{г.р}=\{1,05; 1,10; 1,30\text{т/м}^3\}$. Результати представлено у вигляді графіків.

Приведені результати дослідження свідчать, що найбільш визначальними факторами, що впливають на «технологічні осадки» плитного фундаменту будівлі є відстань від котловану до споруди та глибина закладання підшви «стіни в ґрунті». При різних комбінаціях даних параметрів, значення розрахункових вертикальних деформацій будівлі можуть відрізнятись до декількох разів.

Ключові слова. числове моделювання, огорожувальні конструкції котловану, «стіна в ґрунті», глинистий розчин, «технологічні осадки».

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Швидкі темпи загальносвітової урбанізації протягом останнього сторіччя призвели до інтенсивної міграції сільського населення у великі міста. Ці процеси сприяють бурхливому розвитку великих міст, збільшенню кількості їх мешканців та активній розбудові для забезпечення зростаючих потреб у житловій та комерційній площі. Задоволення цих потреб все частіше вимагає освоєння підземного простору. В більшості випадків, це актуально в історичних центрах міст та пов'язане зі збереженням історико-архітектурної спадщини і високою вартістю земельної ділянки.

Будівельні норми визначають, що вплив заглиблених частин споруд на ґрунтовий масив і навколишню забудову спостерігається на відстані, яка залежить від їх розмірів, навантаження і способу зведення підземної частини та влаштування котловану новобудови, зокрема. Розвиток будівельних технологій дав змогу розробляти глибокі котловани поблизу існуючих споруд, використовуючи різні системи огорожувальних конструкцій (шпунтове огороження, огороження з бурових паль, «опускний колодязь», «стіна в ґрунті», і т.п.) та технологій будівництва, таких як «top-down».

Проектування огорожувальних конструкцій котловану та заглиблених споруд вимагає, крім врахування деформацій основ викликаних розкопкою котловану, врахувати додаткові деформації, що проявляються внаслідок процесу виконання робіт з влаштування огороження. Визначення останніх є досить складним, оскільки залежать від багатьох деталей технології влаштування огорожувальних конструкцій. Тому, часто, при розрахунках даним фактором нехтують, що призводить до заниження розрахункових деформацій фундаментних конструкцій сусідніх будівель, хоча й не рідко саме це може бути визначальним.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Питанням деформацій існуючих будівель поблизу котлованів займалися як вітчизняні так і закордонні фахівці в області геотехніки. Насамперед, велика увага приділяється числовим та експериментальним дослідженням напружено-деформованого стану системи «будівля – утримуючі конструкції котловану – ґрунтовий масив» в умовах щільної забудови. Результати даних досліджень викладені у працях І.П. Бойка [1], Сахарова В.О. [2], Ю.Л. Винникова [3] та ін. Також, значна увага відводиться питанню деформацій основи на етапах зведення огорожувальних конструкцій котлованів. В своїх роботах Comodromos E.M, Gourvenec S.M. і Powrie W. [6, 7] описують два основні підходи щодо методів моделювання стадій розкопки траншеї, при влаштуванні «стіни в ґрунті».

Узагальнюючи, можна виділити ряд основних факторів, які впливають на деформації існуючих споруд в зоні впливу глибоких котлованів: інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови майданчика будівництва, віддаленість котловану від суміжної забудови, положення відміток дна котловану та підшви фундаментних конструкцій, тип фундаментних конструкцій існуючої будівлі, технологія будівництва заглиблених споруд і огорожувальних конструкцій котловану та ін.

МЕТА РОБОТИ

Визначити вплив врахування особливостей процесу влаштування огорожувальної конструкції типу «стіна в ґрунті» на додаткові деформації існуючої будівлі. Виконати порівняльний аналіз з розрахунковою схемою, де процес влаштування стіни не враховано.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В рамках даної роботи виконано дослідження впливу на оточуючу забудову внаслідок зведення огорожувальних конструкцій котловану методом «стіна в ґрунті».

Даний метод має ряд суттєвих позитивних якостей: можливість розробляти глибокі котловани в складних інженерно-геологічних умовах, зокрема у водонасичених ґрунтах, незначний об'єм земляних робіт, виключена необхідність у відкачуванні води й зворотній засипці. Ще однією перевагою є можливість виконання робіт в безпосередній близькості до існуючих будівель завдяки відсутності динамічних та вібраційних навантажень. Іноді «стіна в ґрунті» є єдиною можливим варіантом будівництва, наприклад, коли споруда в плані має великі розміри і складну конфігурацію, споруджується в складних кліматичних умовах або має незамкнений лінійно-протяжний характер [4]. Однак, на противагу, цим якостям, стоїть складний технологічний процес виконання робіт.

Технологія «стіни в ґрунті» полягає у влаштуванні огорожувальних конструкцій шляхом бетонування вузьких (шириною 0,4-1,2м) та глибоких (може сягати 60м) траншей під захистом глинистої суспензії, яка створює збитковий гідростатичний тиск на вертикальну поверхню, таким чином захищаючи траншею від обрушення ґрунту. Влаштування «стіни в ґрунті» виконують окремими захватками з довжиною траншеї 2-6м.

ВИХІДНІ ДАНІ

В якості вихідних даних, для визначення додаткових деформацій існуючої споруди, прийнято типовий проект 9-ти поверхової будівлі з цокольним поверхом 70-80-х років минулого сторіччя зі змішаною конструктивною схемою. Просторова жорсткість якої забезпечується сумісною роботою ригелів, плит перекриття та несучих цегляних стін різної товщини і залізобетонних колон квадратного перерізу. Відмітка низу фундаменту будівлі, що представлений монолітною залізобетонною плитою товщиною 1м, становить - 1,6м, тиск під подошвою фундаменту в межах 150-200 кПа. Розміри будівлі в плані складають 27,5x24,5 м.

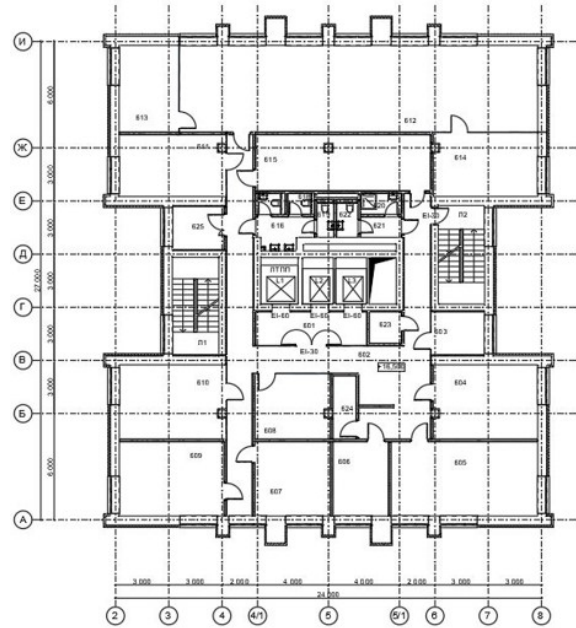


Рис. 1. План типового поверху існуючої будівлі.
Fig. 1. The typical floor plan of the existing building.

Основа складена ґрунтами, фізико-механічні характеристики яких представлені в табл. 1. Ґрунтові води залягають на відмітці -22,0 м від денної поверхні землі.

Табл. 1. Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів

Table 1. Indicators of physical and mechanical properties of the soils

Назва ґрунту	Потужність шару, м	Питома вага, γ кН/м ³	Кут внутрішнього тертя φ°	Питома щеплення с, кПа	Модуль деформації E_{50} E_{ur} МПа
Супісок пластичний	4	17,8	20	15	16/48
Пісок дрібний	16	17,5	33	1	30/90
Глина напівтверда	>20м	18,4	13	40	20/60

Дослідження виконувались методом числового моделювання з використанням технічного інструментарію реалізованого в програмному комплексі PLAXIS 3D, апаратна частина якого базується на методі скінченних елементів (МСЕ). Поставлена задача реалізована у тривимірній постановці з використанням моделі ґрунтового середовища Hardening Soil Model (HSM).

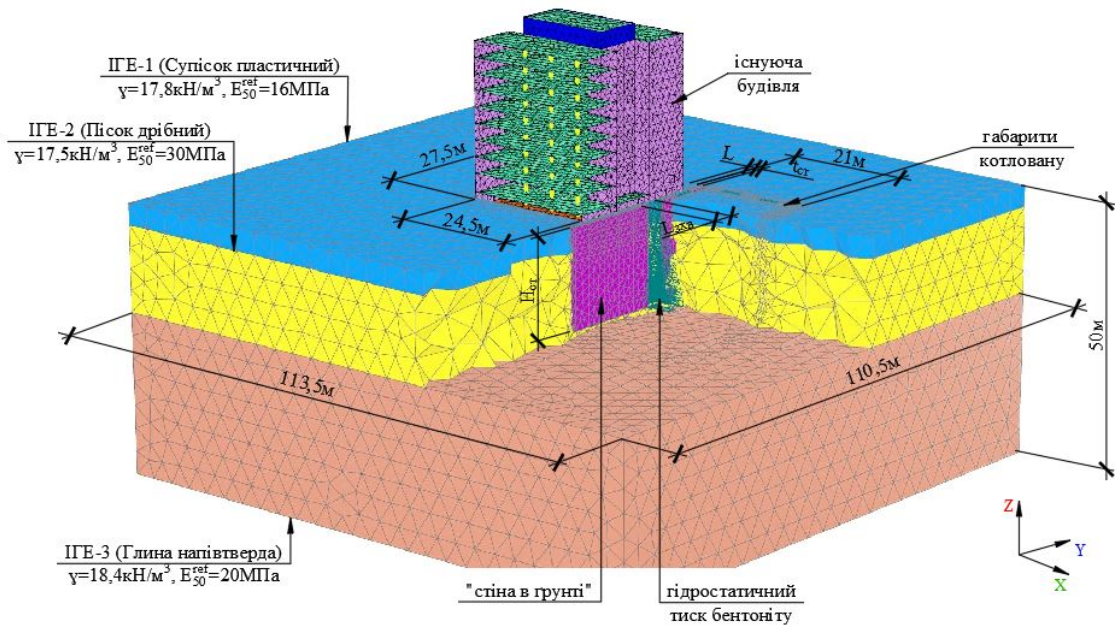


Рис.2. Скінченно-елементна модель будівлі з ґрунтовим масивом.
 Fig.2. Finite-element model of a building with a soil massif

Розрахункова схема складається з об'ємного ґрунтового масиву з відповідними інженерно-геологічними елементами; існуючої будівлі та котловану з огорожувальними конструкціями у вигляді траншейної «стіни в ґрунті» товщиною 0,6м. Будівля розташована вздовж довшої сторони котловану, розміри в плані якого складають 35x21м. Числова модель обмежена розмірами 113,5x110,5x50м. Прийняті розміри визначені, враховуючи розташування граничних умов за межами зони впливу котловану та існуючої будівлі.

Для визначення основних технологічних параметрів «стіни в ґрунті» та їх впливу на додаткові деформації сусідньої споруди, вирішено розглянути 3 задачі:

I. В рамках першої задачі досліджено вплив відстані від котловану до будівлі – L та глибини закладання підосви «стіни в ґрунті» – $H_{\text{ст}}$ на додаткові осідання будівлі, що спричинені процесом зведення «стіни в ґрунті»;

II. В другій задачі проведено дослідження залежності додаткових деформацій будівлі від довжини захватки траншеї – $L_{\text{зхв}}$.

III. В третій задачі виконано кількісну оцінку «технологічних осадок» при різних значеннях щільності глинистого розчину $\rho_{\text{гр}}$;

Під терміном «технологічні осадки» мається на увазі, додаткові осідання існуючої будівлі, що спричинені процесом виконання огорожувальної конструкції котловану.

ВПЛИВ ГЛИБИНИ ЗАКЛАДАННЯ ПІДОШВИ ТА ВІДДАЛЕНОСТІ ТРАНШЕЇ ВІД БУДІВЛІ

Виконано дослідження при варіюванні параметрів моделі $L=\{1,2; 3; 5; 10\text{м}\}$ – відстань від котловану до будівлі та $H_{\text{ст}}=\{12, 18, 24\text{м}\}$ – глибина закладання підосви «стіни в ґрунті».

Моделювання процесу влаштування «стіни в ґрунті» складається з декількох основних етапів:

- Розробка траншеї під захистом глинистого розчину.
- Заповнення траншеї бетонною сумішшю з витисненням глинистого розчину під дією власної ваги.
- Створення ділянки стіни з твердого бетону із зміною характеристик.

Провівши аналіз літературних джерел, можна виділити два основні підходи до числового моделювання процесу екскавації ґрунту в траншеї, що зустрічається в науковій практиці.

Перший підхід у моделюванні реалізується шляхом видалення ґрунту з траншеї та заміною його навантаженням, що еквівалентне гідростатичному тиску глинистого розчину та бетонної суміші відповідно. Цей підхід, застосовується у роботах багатьох науковців і показує достатньо високу збіжність результатів з даними геомоніторингу. [6]

Другий підхід найбільш детально описано в роботі Е. Comodromos [7]. Він полягає в заміні властивостей ґрунту в межах траншеї, на такі, що відповідають характеристикам глинистої суспензії.

В рамках даного дослідження було прийнято перший підхід, принципову схему якого можна спостерігати на Рис.3. Таким чином, етап влаштування стіни складається з трьох стадій: на першій задається гідростатичний тиск глинистого розчину¹; на другій – бетонної суміші; а на третій – елементам траншеї призначаються жорсткісні параметри бетону.

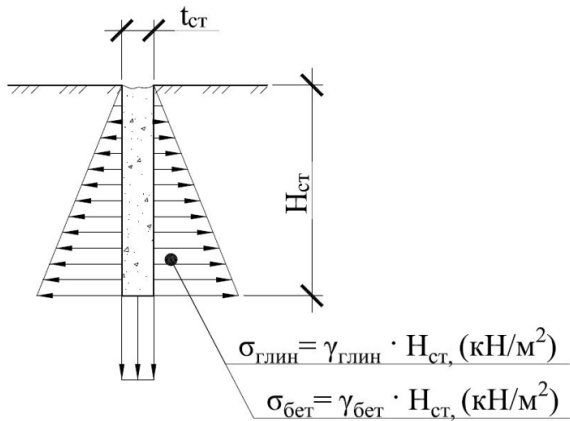


Рис.3. Схема розробки траншеї із заповненням глинистим розчином та бетонною сумішшю.
Fig.3. Schematic diagram of excavation trench with clay slurry and concrete mixture filling.

¹ В даній задачі щільність глинистого розчину прийнято $\rho_{г.р} = 1,1 \text{ т/м}^3$, бетонної суміші - $\rho_{б.с} = 2,4 \text{ т/м}^3$, довжина захватки траншеї - $L_{зхв} = 4 \text{ м}$.

Сумісна робота ґрунтового масиву та готової огорожувальної конструкції врахована призначенням її бічним поверхням інтерфейсів та введенням параметру R_{inter} , що враховує взаємодію бетону та оточуючого ґрунту.

Влаштування траншейної «стіни в ґрунті» виконувалось окремими захватками, поетапно, відповідно до технологічної послідовності. Загальна кількість етапів – 9.

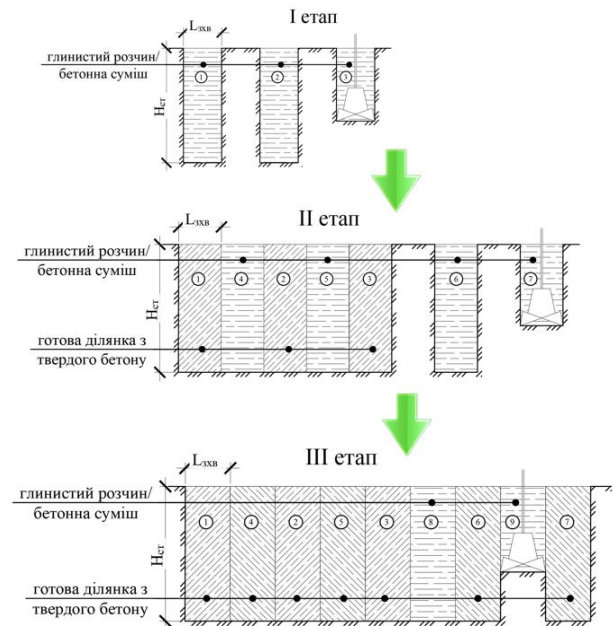


Рис.4. Технологічна послідовність виконання «стіни в ґрунті».
Fig.4. Technological sequence of execution of "wall in soil".

Також слід зазначити, що в рамках даного дослідження не враховано розкопку котловану, а лише влаштування огороження по його периметру. Тому, деформації будівлі спричинені локальним ослабленням основи, внаслідок виїмки ґрунту з траншеї.

Фіксація додаткових деформацій фундаментної плити виконувалась в її найбільш характерних точках. Отримані значення порівняно з розрахунковими схемами, для яких технологію не враховано, а влаштування стіни виконувалось в одну стадію, шляхом призначення елементам схеми в межах траншеї, пружних характеристик бетону.

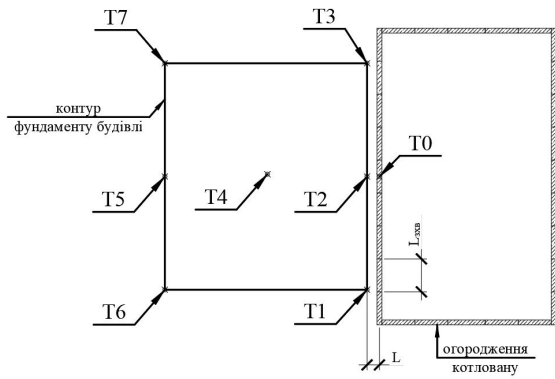


Рис.5. Схема розташування точок фіксації додаткових деформацій фундаменту.
 Fig.5. The scheme of the location of points of fixation of additional deformations of the foundation.

За результатами розрахунку отримано, що найбільші деформації будівлі становлять 32мм при глибині траншеї 24м і відстані $L=1,2$ м від будинку. Найменші, складають 4мм, за умови розташування котловану з траншейною «стіною в ґрунті» глибиною 12м на відстані 10м до будівлі.

В таблиці 2 наведено додаткові деформації фундаменту по лінії Т1-Т3, що межує з котлованом. Можемо спостерігати, що значення додаткових вертикальних дефор-

мацій в точці Т3 є більшими порівняно з іншими, це свідчить про вплив напрямку виконання робіт з влаштування «стіни в ґрунті».

Табл. 2. Додаткові вертикальні деформації фундаменту ΔU_z , мм.
 Table 2. Additional vertical deformations of the foundation ΔU_z , mm.

Без технології влаштування «стіни в ґрунті»					
Відстань, L (м)		1,2	3	5	10
Нст=12м	T1	-1,829	-1,772	-1,05	-0,909
	T2	-1,807	-1,741	-1,549	-0,906
	T3	-1,814	-1,851	-1,138	-0,972
Нст=18м	T1	-2,005	-2,097	-1,985	-1,033
	T2	-1,933	-1,95	-1,79	-0,958
	T3	-1,911	-1,923	-1,749	-0,972
Нст=24м	T1	-1,988	-2,24	-1,005	-0,876
	T2	-1,94	-1,894	-1,751	-0,824
	T3	-1,951	-2,11	-1,377	-0,856
З технологією влаштування «стіни в ґрунті»					
Нст=12м	T1	-18,983	-13,484	-8,901	-4,229
	T2	-19,597	-13,99	-9,293	-4,406
	T3	-19,947	-14,434	-9,807	-4,71
Нст=18м	T1	-26,895	-20,994	-14,485	-7,166
	T2	-27,778	-21,68	-14,928	-7,253
	T3	-28,323	-22,26	-15,407	-7,469
Нст=24м	T1	-29,863	-23,223	-16,347	-7,894
	T2	-31,138	-24,238	-16,881	-8,085
	T3	-31,899	-24,998	-17,349	-8,352

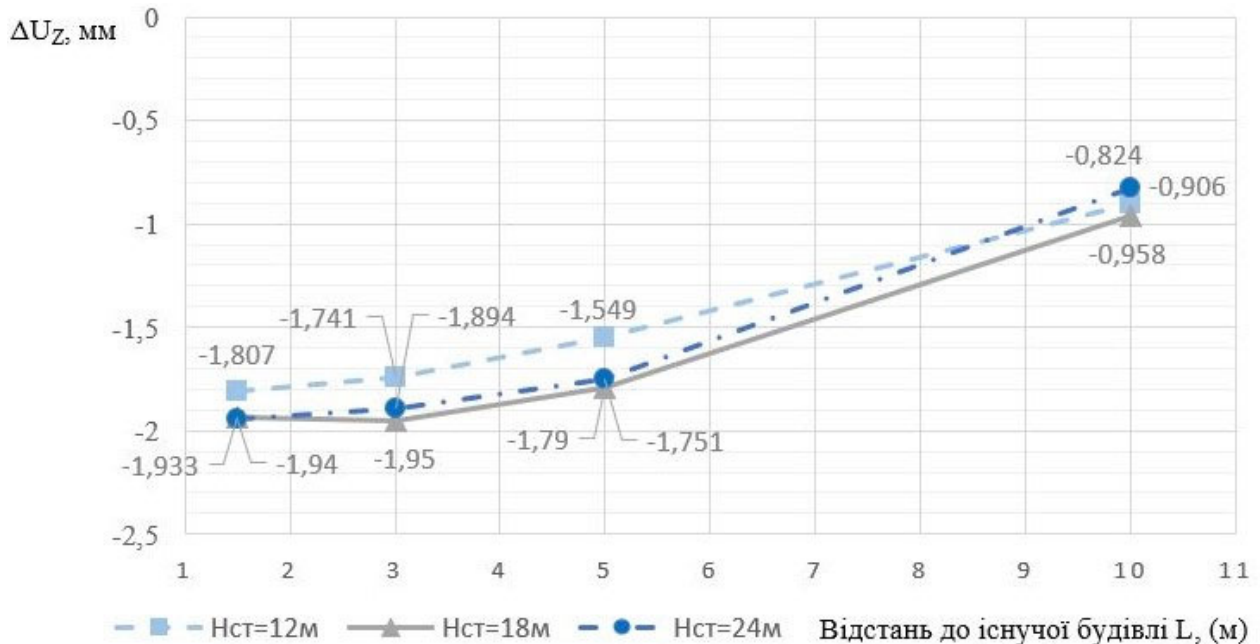


Рис.6. Додаткові деформації фундаменту ΔU_z , без врахування технології влаштування «стіни в ґрунті», мм.
 Fig.6. Additional deformations of the foundation ΔU_z , without taking into account the "wall in the soil" installation technology, mm.

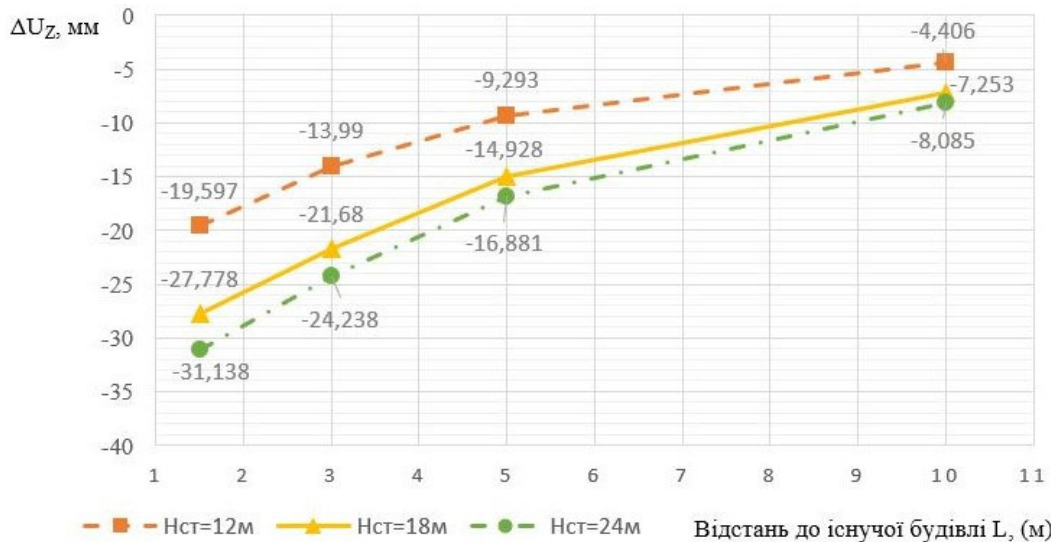


Рис.7. Додаткові деформації фундаменту ΔU_z , з врахуванням технології влаштування «стіни в ґрунті», мм.

Fig.7. Additional deformations of the foundation ΔU_z , taking into account the "wall in the soil" installation technology, mm.

На Рис. 6, 7 представлені графіки залежності додаткових вертикальних деформацій фундаменту будівлі в точці T2 з віддаленістю котловану, для схем з обома способами моделювання стіни.

З отриманих графіків бачимо, що при збільшенні глибини закладання підосви «стіни в ґрунті» різниця в додаткових осіданнях будівлі зменшується. Для $H_{ст} = 12\text{м}$ та 18м приріст деформацій складає 29,5%, водночас для $H_{ст} = 18\text{м}$ та 24м вони становлять 10,7%. Також, спостерігається затухаючий ефект впливу технології влаштування «стіни в ґрунті» з відстанню, на додаткові деформації будівлі.

ДОВЖИНА ЗАХВАТКИ

Довжину захватки траншеї приймають в залежності від типу землерийної машини, інтенсивності виконання бетонних робіт та з умови забезпечення стійкості стінок траншеї. Таким чином, урахування фактору довжини захватки є важливим при прогнозуванні «технологічних осадок».

Для «стіни в ґрунті» з відміткою дна траншеї -18м виконано ряд числових розрахунків при різних довжинах захватки $L_{зхв} = \{3; 4; 5\text{м}\}$ для визначення впливу на додаткові деформації суміжної будівлі. Результати розрахунків наведено на Рис.8, 9.

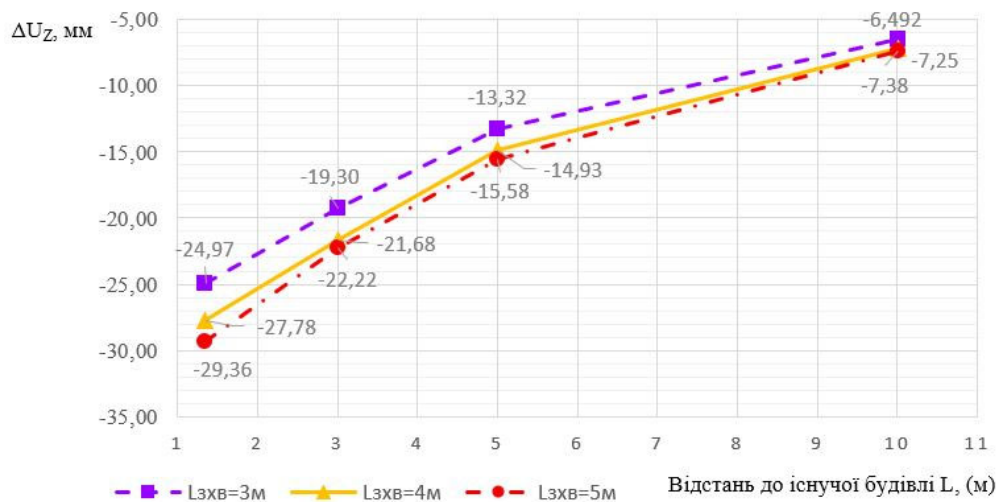


Рис.8. Додаткові деформації фундаменту ΔU_z в точці T2, при різній довжині захваток, мм.

Fig.8. Additional deformations of the foundation ΔU_z at point T2, with different lengths of grips, mm.

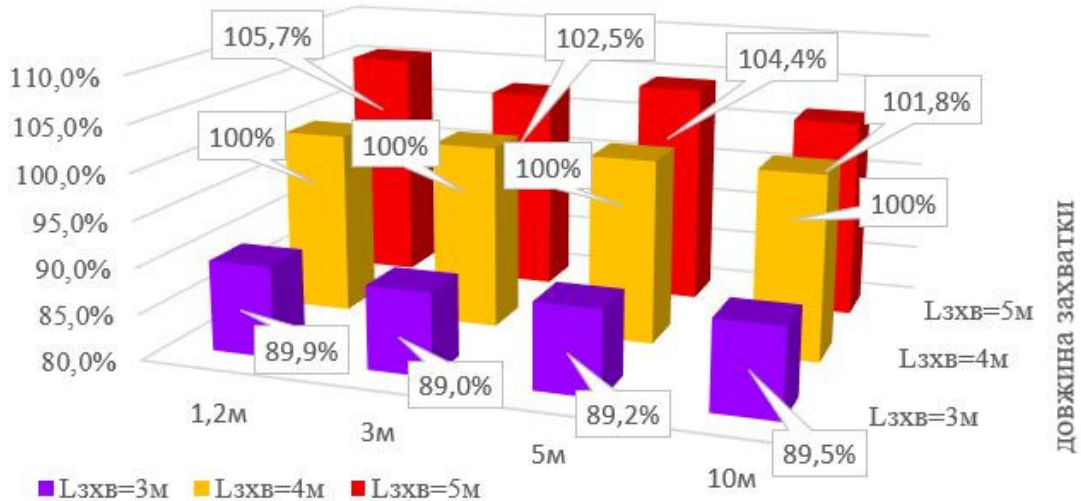


Рис.9. Різниця вертикальних деформації фундаменту ΔU_z , при різній довжині захваток, %.
 Fig.9. The difference in vertical deformations of the foundation ΔU_z , with different lengths of grips, %.

В результаті, отримано, що найбільша різниця в додаткових осіданнях фундаменту будівлі спостерігається при відстані котловану до будівлі 1,2м. При цьому, при зменшенні довжини захватки з 4м, що використано в попередній задачі, до 3м, значення деформацій зменшились на 10%. Це означає, що при близькому розташуванні котловану до будівлі підбір оптимальної довжини захватки дозволяє зменшити вплив на сусідню забудову.

ЩІЛЬНІСТЬ ГЛИНИСТОГО РОЗЧИНУ

У процесі розробки траншеї, стійкість її стінок забезпечують застосуванням глинистого розчину, для приготування якого використовують бентонітові глини або місцеві глини з високим вмістом глинистих часток. Щільність розчину з використанням бентонітових глин приймають $1,03...1,10\text{т/м}^3$, при використанні інших видів глин $1,10...1,30\text{т/м}^3$. У поставленій задачі, для числового моделювання прийнято наступні значення: $\rho_{г.р1}=1,05\text{т/м}^3$; $\rho_{г.р2}=1,10\text{т/м}^3$; $\rho_{г.р3}=1,30\text{т/м}^3$.

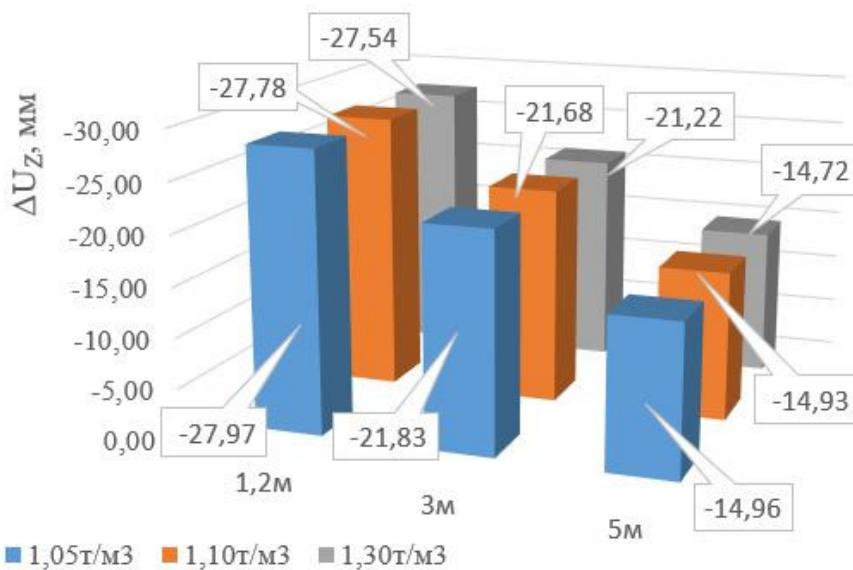


Рис.10. Додаткові деформації фундаменту ΔU_z , при різній щільності глинистого розчину, мм.
 Fig.10. Additional deformations of the foundation ΔU_z , at different densities of the clay solution, mm.

На Рис.10 показано додаткові вертикальні деформації фундаменту при різних значеннях щільності глинистого розчину. Спостерігаються незначні зміни деформацій в межах 2%. Це свідчить, що вплив даного фактору, в межах поставленої задачі з визначення додаткових осідань будівлі на плитному фундаменті від влаштування огороження котловану є несуттєвим.

ВИСНОВКИ

Виявлено, що при моделюванні процесу виконання огорожувальних конструкцій котловану спостерігається наявність його суттєвого впливу на існуючу забудову.

Встановлено, що моделювання влаштування «стіни в ґрунті» в одну стадію без врахування технологічного процесу, викликає незначні деформації основи та фундаментів будівлі (<2мм), які насамперед зумовлюються більшою питомою вагою бетонних конструкцій. Таким чином, при розрахунку без врахування процесу влаштування «стіни в ґрунті» додаткові осідання будівлі становлять 6,2%...18,7% порівняно з результатами де технологічний процес враховано.

Визначено, що збільшення глибини закладання підшви «стіни в ґрунті» призводить до збільшення площі вільної бічної поверхні траншеї, яка перебуває під дією тиску, зумовленого сусідньою будівлею. При цьому відбувається приріст горизонтальних деформацій стінок траншеї, що в свою чергу впливає на осідання існуючої будівлі. Приріст осідань складає 29,5%, при збільшенні $H_{ст}$ з 12м до 18м, та 10,7% при збільшенні $H_{ст}$ з 18м до 24м.

Отримано, що різниця додаткових вертикальних деформацій будівлі при довжині захватки траншеї від 3 до 5м становить до 16%.

Встановлено, що зміна щільності глинистого розчину майже не впливає на додаткові осідання оточуючої забудови, їх вплив за результатами обчислень становить 2%.

Приведені результати дослідження свідчать, що найбільш визначальними факторами, що впливають на «технологічні осадки» плитного фундаменту будівлі є відс-

тань від котловану до споруди та глибина закладання підшви «стіни в ґрунті». При різних комбінаціях даних параметрів, значення розрахункових вертикальних деформацій будівлі можуть відрізнятися до декількох разів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко І.П. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при прибудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків / І.П. Бойко, В.О. Сахаров // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2004. – Вип. 28.
2. Сахаров В.О. Моделювання взаємодії пального фундаменту з нелінійною основою в умовах прибудови: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Сахаров Володимир Олександрович. – К.: КНУБА, 2005. – 215 с.
3. Винников Ю.Л. Модельные исследования эффективности грунтоцементных разделительных экранов для защиты от влияния нового строительства / Ю.Л. Винников, А.В. Веденисов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия: Строительство и архитектура*. – Пермь 2015 – С.51-63 - DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.04.
4. Зоценко М. Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник / М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев, О. О. Петраков, В. Б. Швець, О. В. Школа, С. В. Біда, Ю. Л. Винников. – Полтава: ПНТУ, 2003. – 446 с.:
5. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів. - Чинний від 2014-01-01. – Київ.: Мінрегіон України, 2013. – 88с.
6. Gourvenec S.M. Three-dimensional finite-element analysis of diaphragm wall installation / S.M. Gourvenec, W. Powrie // *Geotechnique* № 6. – 1999. – P. 801–823.
7. Comodromos E.M. Effects from diaphragm wall installation to surrounding soil and adjacent buildings / E.M. Comodromos, M.C. Papadopoulou, G.K. Konstantinidis // *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Paris, 2013.
8. Schafer R. Numerical analysis of diaphragm wall construction and subsequent pit excavation in clayey ground. / R. Schafer, Th.

Triantafyllidis // *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* – Toulouse, 2002.

9. Boyko I.P. Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system / I.P. Boyko, V.S. Boyandin, A.E. Delnik, A.L. Kozak, A.S. Sakharov // *Archive of Applied Mechanics* № 62. – 1992. – p. 316-328.
10. Ручківський В. Формування напружено-деформованого стану основи при зведенні фундаментів на різних відмітках в щільно забудованій території / В. Ручківський // *Науково-технічний збірник «Основи та фундаменти»*. – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 42. – С. 64-71. DOI: 10.32347/0475-1132.42.2021.64-71.

REFERENCES

1. Boiko I.P., Sakharov V.O. (2004). Napruzhenno-deformovanyi stan gruntovoho masyvu pry prybudovi novykh fundamentiv pobly-zu isnuuuchykh budynkiv [Stress-strain state of the soil massif during the addition of new foundations near existing buildings]. *Osnovy i fundamenti. Mizhvidomchyi naukovotekhnichnyi zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, – Vyp. 28. (in Ukrainian).
2. Sakharov V.O. (2005). Modelyuvannya vzayemodiyi pal'jovogo fundamentu z nelinijnoyu osnovoyu v umovakh prybudovy [Modeling of the interaction of a pile foundation with a non-linear basis in the conditions of an extension]. *Dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.02*. Kyiv: KNUBA, 215 (in Ukrainian).
3. Vynnykov Yu.L., Vedenysov A.V. (2015). Modelnye yssledovaniya efektyvnosti hruntotsementnykh razdelytelnykh ekranov dlia zashchyty ot vlyaniya novoho stroitelstva [Model studies of the effectiveness of soilcement dividing screens for protection against the influence of new construction]. *Vestnyk Permskoho natsyonalnoho yssledovatelskoho polytekhnycheskoho unyversyteta. Seryia: Stroytelstvo y arkhytektura*. Perm, 51-63. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.04. (in Russian).
4. Zotsenko M.L., Kovalenko V.I., Yakovliev A.V., Petrakov O.O., Shvets V.B., Shkola O.V., Bida S.V., Vynnykov Yu.L. (2003). Inzhenerna heolohiia. Mekhanika gruntiv, osnovy i fundamenti: Pidruchnyk [Engineering geology. Mechanics of soils, bases and foundations: Textbook]. Poltava: PNTU, 446. (in Ukrainian)
5. DSTU-N B V.2.1-28:2013 (2013). Nastanova shchodo provedennia zemlianykh robot, ulashtuvannia osnov ta sporudzhennia fundamentiv [Guidelines for carrying out earthworks, arrangement of foundations and construction of foundations]. *Chynnyi vid 2014-01-01*. Kyiv.: Minrehion Ukrainy, 88. (in Ukrainian).
6. Gourvenec S.M., Powrie W. (1999). Three-dimensional finite-element analysis of diaphragm wall installation // *Geotechnique* № 6, 801–823.
7. Comodromos E.M., Papadopoulou M.C., Konstantinidis G.K. (2013). Effects from diaphragm wall installation to surrounding soil and adjacent buildings // *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Paris.
8. Schafer R, Triantafyllidis Th. (2002). Numerical analysis of diaphragm wall construction and subsequent pit excavation in clayey ground. // *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Toulouse.
9. Boyko I.P., Boyandin V.S., Delnik A.E., Kozak A.L., Sakharov A.S. (1992). Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system. *Archive of Applied Mechanics*, 62, 316-328.
10. Ruchkivskyi, V. (2021). Formuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu osnovy pry zvedenni fundamentiv na riznykh vidmitkakh v shchilno zabudovaniy terytorii [Formation of the stress-strain state of the base during construction foundations at different marks in a densely built-up territory]. *Naukovotekhnichniy zbirnyk «Osnovy ta fundamenti»*, 42, 64-71. (in Ukrainian). DOI: 10.32347/0475-1132.42.2021.64-71.

Assessing the impact of the process of constructing foundation pit enclosure structures on surrounding building

*Liudmyla Bondareva,
Maksym Khoronzhevskiy*

Summary. An important issue in the calculations of retaining structures of pits and their interaction with the foundation and existing structures is taking into account the features of their installation technology. Quite often, during calculations, this factor is ignored or taken into account by introducing correction factors, which are somehow based on the statistical processing of observation data during the construction of similar objects.

The development of numerical methods has enabled designers to use detailed finite-element models in calculations to more accurately predict the behavior of bases and structures, without spending excessive amounts of time.

In this work, numerical modeling methods are used to reproduce the process of installation of the pit enclosure structures using the trench method "wall in soil" to determine its impact on existing buildings. For this, a numerical model of a 9-floor building with a soil massif was created. Modeling of the foundation pit and enclosure structures, which is installed next to the building, was done. At the same time, the use of a three-dimensional formulation of the problem made it possible to take into account the length of the wall panel and the technological sequence of the construction.

The existing methods of trench excavation modeling were analyzed and one of them was implemented in the calculation scheme.

The impact of various factors on the formation of additional deformations of the existing building was investigated, such as: L - distance from the foundation pit to the building; H_{CT} - the depth of laying the sole "wall in the ground"; L_{3XB} - the length of the wall panel; $\rho_{r,p}$ - is the density of the clay slurry.

Within each task, the settlement of the foundation of the building is determined with different input parameters: $L=\{1,2; 3; 5; 10\text{m}\}$, $H_{CT}=\{12; 18; 24\text{m}\}$, $L_{3XB}=\{3; 4; 5\text{m}\}$, $\rho_{r,p}=\{1.05; 1.10; 1.30\text{t/m}^3\}$. The results are presented in the form of graphs.

The results of the research show that the most determining factors affecting the «technological settlements» of the slab foundation of the building are the distance from the pit to the building and the depth of laying the sole of the "wall in the soil". With different combinations of these parameters, the values of calculated vertical deformations of the building can differ up to several times.

Key words. numerical modeling, foundation pit enclosure structures, «wall in soil», clay slurry, «technological settlements».