

Вплив параметрів інженерних захисних конструкцій на ефективність їх застосування в умовах щільної забудови

Віталій Ручківський¹

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹ruchkivsky8@ukr.net, orcid.org/ 0000-0001-8982-2884

DOI: 10.32347/0475-1132.47.2023.99-106

Анотація. Проведено дослідження закономірностей впливу застосування інженерного захисного екрану із вдавлюваних паль малого діаметру на деформації існуючої забудови, викликаних влаштуванням огороження котловану із буронабивних паль. Дослідження виконувалось за допомогою числового моделювання із застосуванням методу скінченних елементів, що дозволило відобразити роботу системи «грунтова основа – інженерні захисні конструкції - фундамент існуючої будівлі» при різних параметрах захисного екрану. Показано вплив наступних параметрів:

1) глибина закладання захисного екрану L по відношенню до глибини стисливої зони ґрунту ($H_{ст}$).

2) положення захисного екрану між утримуючими конструкціями котловану та існуючою будівлею.

3) жорсткість екрану – відношення кроку до діаметру паль інженерного захисного екрану.

4) відстань між існуючим будинком та котлованом по відношенню до глибини влаштування огорожуючих конструкцій котловану нового будівництва.

Задачі розв'язувались в просторовій постановці із заданням системи «грунтовий масив - огорожуючі конструкції котловану - захисний екран – фундаменти існуючої будівлі». Грунтове середовище моделювалась з використанням моделі Hardening Soil Model. Розрахунок виконувався поетапно.

Варіювання параметрів захисного екрану виконувалось для історичної забудови, яка у більшості випадків, виконана за жорсткою стіновою конструктивною схемою із стрічковими фундаментами.



Віталій Ручківський
асистент кафедри
геотехніки

Глибина закладання фундаментів 1,2 – 3,0м та ширина підшви 1-2м. Середній тиск під підшвою з 150-250кПа.

Встановлено раціональну глибину закладання та положення захисного екрану між існуючою будівлею та котлованом нового будівництва.

Виявлено область ефективного застосування захисного екрану в залежності від відстані між будівлею та огороженням котловану.

Встановлено ефективну жорсткість в залежності від зміни відносної відстані i між палями захисного екрану.

Ключові слова. Захисний екран, інженерні захисні конструкції, напружено-деформований стан, паля, деформації, взаємовплив, ущільнена забудова.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зведення підземних приміщень в умовах щільної забудови часто супроводжується розвитком додаткових переміщень оточуючих будинків. При цьому, в більшості випадків, при проектуванні враховують додаткові осідання, які викликані лише відкопуванням котловану. Стадією влаштування огороження котловану часто нехтують та не виділяють її в окремий етап розрахунку,

що призводить до перевищення граничних значень переміщень фундаментів будівлі. Врахування даного етапу потребує вживання додаткових захисних заходів, одним з яких є захисний екран, що влаштовується між котлованом та існуючою будівлею.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблемі дослідження впливу нового будівництва на існуючі будівлі присвячені роботи багатьох науковців, серед них: Сахаров В.О., Бойко І.П. [3], Бондарева Л.О. [4], Винников Ю.Л. [5], М.О. Харченко [5], Chang-Yu Ou [8].

В роботах переважно розглянуті різні заходи зі зменшення впливу нового будівництва. Серед них виділено: планувальні (зведення новобудови на безпечній відстані по відношенню до існуючих), конструктивні (виконання фундаментів будинку на однаковій з існуючою будівлею глибині), архітектурні (зведення нової будівлі із проїздом біля існуючого будинку) та технологічні (влаштування відсічних захисних екранів). Наголошується на тому, що захист існуючих будівель повинен носити комплексний характер та залежить від багатьох особливостей нового будівництва.

Серед заходів зменшення впливу нового будівництва на розвиток додаткових переміщень існуючих будинків можна виділити застосування захисних екранів. Попередні дослідження їх використання розкривають різні аспекти технології та доцільність їх використання, однак комплексному дослідженню роботи системи «грунтовий масив – інженерні захисні конструкції – існуюча забудова» на даний момент приділено недостатньо уваги.

МЕТА РОБОТИ

Основною метою даної роботи є дослідження ефективності застосування захисного екрану із паль маленького діаметру для зниження додаткових деформацій існуючої забудови в зоні впливу нового будівництва.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка котловану нового будівництва часто спричиняє негативний вплив на оточуючу забудову. Задля уникнення цього ефекту застосовуються інженерні захисні конструкції - екрани, але постає питання, в яких випадках слід їх застосовувати, які параметри будуть найбільш ефективними та економічно доцільними, при наявності різних вихідних умов.

Для вирішення цього питання було виділено наступні параметри, що можуть впливати на зменшення додаткових деформацій існуючої будівлі в зоні нового будівництва:

1) глибина закладання захисного екрану L по відношенню до глибини стислої зони ґрунту (Нст.): $L_{\text{екр.}}/N_{\text{ст.}}=0.5; 1; 1.25; 1.5; 2$.

2) положення захисного екрану між утримуючими конструкціями котловану та існуючою будівлею: $B_0/B=0.25; 0.5; 0.75$.

3) жорсткість екрану – відношення кроку до діаметру паль інженерного захисного екрану: $a/d=1; 2; 3; 4$.

4) відстань між існуючим будинком та котлованом по відношенню до глибини влаштування утримуючих конструкцій котловану нового будівництва: $B/L_{\text{утр.}}=0.25; 0.5; 1; 2; 3$.

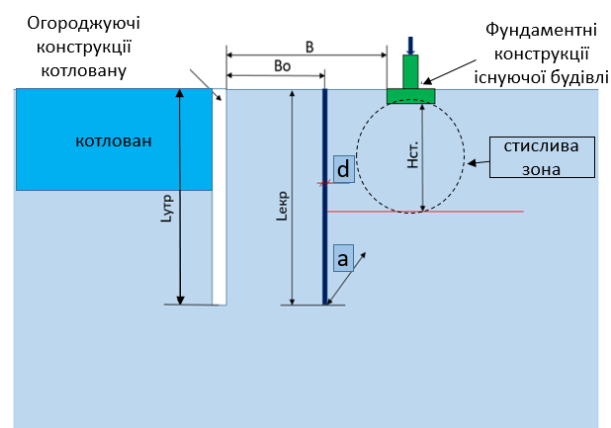


Рис. 1. Розрахункова схема при дослідженні впливу влаштування інженерних захисних конструкцій.

Fig.1. Calculation scheme for researching the influence of the installation of engineering protective structures

Моделювання впливу цих параметрів проводилось за допомогою методу скінченних елементів в просторовій постановці із використанням пружно-пластичної моделі деформування ґрунту Hardening Soil Model зі зміною параметрів жорсткості ґрунтів в залежності від рівня напружень в ґрунті. Параметри моделі ґрунтового середовища приведено в табл. 1.

Табл.1. Фізико-механічні характеристики ґрунтів.

Tabl.1. Physical and mechanical characteristics of soils

Найменування ґрунту	Модуль деформації при міцності ґрунту 50%, E_{50}^{ref} , МПа	Компресійний модуль деформації, E_{oed}^{ref} , МПа	Модуль деформації при розвантаженні, E_{ur}^{ref} , МПа	Питома вага, γ , кН/м ³	Кут внутрішнього тертя, °	Питома зчеплення, кПа
Суглинок напівтвердий	19	14	56	17,5	22	22

Обраний метод дослідження дозволяє наглядно відобразити роботу системи «ґрунтова основа – інженерні захисні конструкції – фундамент існуючої будівлі» при різних комбінаціях параметрів та показати динаміку розвитку переміщень оточуючої забудови на всіх етапах влаштування підземної частини новобудови.

Скінченно елементна модель включала в себе ґрунтовий масив габаритами 20х30х35м, стрічковий фундамент довжиною 9м та свердловини бурових паль утримуючих конструкцій котловану, заповненим бетонною сумішшю на початковій стадії твердіння. Параметри фундаментів приймалися на основі типового рішення будівель історичної забудови із жорсткою стіною системою та стрічковими фундаментами з глибиною закладання від 1,2 до 3,0м, шириною підшви від 1 до 2м. Середній тиск під підшовою фундаменту в інтервалі від 150 до 250кПа.

Табл.2. Фізико-механічні характеристики залізобетонного фундаменту

Tabl.2. Physical and mechanical characteristics of foundation

Характеристика матеріалу	Умовні позначення	Величина
Модуль пружності, МПа	E	30000
Коефіцієнт Пуассона	ν	0,167
Об'ємна вага, кН/м ³	γ	25

Розрахунок додаткового осідання фундаменту існуючої будівлі проводився в декілька стадій, в наступній послідовності:

1) початкова фаза (формування НДС ґрунтової основи)

2) зведення існуючої будівлі на стрічкових фундаменах при діючому на нього навантаженні

3) влаштування інженерного захисного екрану

4) влаштування огородження котловану у вигляді бурових паль на початковій стадії твердіння бетону із набором міцності 20%.

В якості аналізу розглядалися різні комбінації основних параметрів захисних екранів при технологічному впливі влаштування котловану, додаткове осідання порівнювалось із початковим осіданням існуючої будівлі без сторонніх впливів на НДС.

Обґрунтування оптимальної глибини закладання захисного екрану. Першим параметром, який визначався та буде застосовуватись при подальших розрахунках є глибина закладання захисного екрану $L_{кр}$. по відношенню до глибини стисливої зони ґрунту (Нст.) (рис. 2). Додаткові деформації існуючої будівлі розраховувались для наступних відношень $L_{кр}/Нст.=0.5; 1; 1,25; 1.5$ при відстані 4м між котлованом та існуючою будівлею.

Аналіз впливу глибини закладання інженерного захисного екрану показав, що додаткове осідання існуючої будівлі знижується зі збільшенням довжини екрану. При цьому практично не зафіксовано зміни деформацій при відношенні $L_{кр}/Нст.=0.5$ у порівнянні із випадком без застосування

екрану. На 6% спостерігається зниження деформацій при відношенні $L_{\text{екр.}}/H_{\text{ст.}}=1.0$.

Найістотніше зменшення додаткових переміщень будівлі в порівнянні з варіантом без екрану виявлено при $L_{\text{екр.}}/H_{\text{ст.}}=1.25$ і склало 28%. Далі збільшення довжини екрану не здійснює відчутного впливу на значення додаткового осідання, так при $L_{\text{екр.}}/H_{\text{ст.}}=1.5$ деформації практично не змінились (рис. 3). При розрахунку задач зі зміною інших параметрів буде застосовуватись відносна довжина захисного екрану $L_{\text{екр.}}/H_{\text{ст.}}=1.25$.

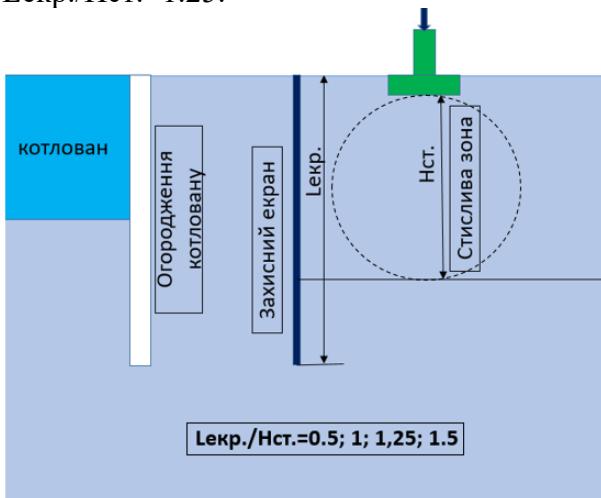


Рис. 2. Розрахункова схема при дослідженні впливу довжини захисного екрану

Fig.2. Calculation scheme for studying the influence of length of protective screen

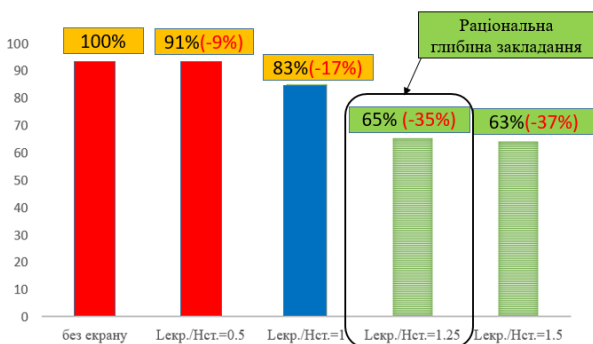


Рис. 3. Діаграма приросту переміщень існуючої будівлі в залежності від довжини інженерного захисного екрану $L_{\text{екр.}}$

Fig.3. The diagram of growth of movements of the existing building depending on the length of the protective screen

Вплив положення захисного екрану між огорожуючими конструкціями котловану

та існуючою будівлею. Наступним параметром вплив, якого досліджується є положення захисного екрану між котлованом та існуючою будівлею. При розрахунку відносна довжина екрану задавалась у відповідності до попереднього дослідження, а саме $L_{\text{екр.}}/H_{\text{ст.}}=1.25$. Розглядалися три положення екрану: $0.25B$, $0.5B$ та $0.75B$ (рис. 4), де B - це відстань між котлованом та будинком. Аналіз розрахунку показав, що положення екрану не здійснює суттєвого впливу на додаткове переміщення. Виявлено зменшення осідань по мірі віддалення екрану від існуючої будівлі. Найбільш ефективно застосування екрану спостерігається при його розташуванні біля огорожуючих конструкцій котловану - $0.25B$. В даному випадку вдалось на 31% зменшити додаткові деформації в порівнянні із варіантом без екрану. При інших положеннях екрану деформації істотно не змінились: $0.5B$ - 28% та $0.75B$ - 23%.

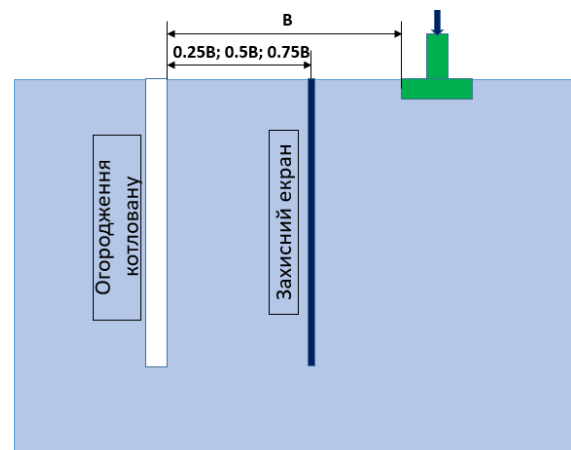


Рис. 4. Розрахункова схема при дослідженні впливу положення захисного екрану

Fig.4. Calculation scheme for studying the influence of the position of the protective screen

Оцінка впливу відстані між існуючим будинком та котлованом при застосуванні захисного екрану. Для визначення впливу відстані між існуючим будинком та огорожуючими конструкціями котловану нового будівництва використовувався параметр, що дорівнює відношенню відстані між існуючим будинком та котлованом до глибини влаштування утримуючих конструкцій котловану нового будівництва. Розгляда-

лись наступні значення цього параметру: $V/L_{утр.} = 0.25; 0.5; 1; 2; 3$ (рис. 5).

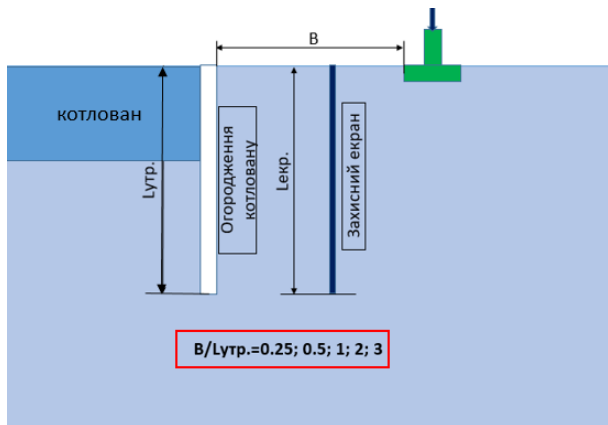


Рис. 5. Розрахункова схема при дослідженні впливу відстані між існуючою будівлею та котлованом

Fig.5. Calculation scheme for studying the influence of the distance between the existing building and the pit

Найбільша інтенсивність зміни осідання спостерігається при наближенні котловану до фундаментів існуючої будівлі. При мінімальній розглянутій відносній відстані $V/L_{утр.} = 0.25$ спостерігається виникнення значних осідань фундаментів існуючої будівлі. У випадку без застосування захисного екрану додаткові осідання склали близько 105% у порівнянні з початковими осіданнями будівлі. При віддаленні більше $V/L_{утр.} = 1$ вплив влаштування огороження котловану суттєво знижується: на 55% та на 33% без та з використанням екрану відповідно. На основі результатів розрахунку виявлено, що застосування інженерного захисного екрану є найбільш ефективним в діапазоні від $0.25L_{утр.}$ - $1.25L_{утр.}$. В даному випадку екран дає змогу знизити додаткові осідання будівлі до 33% при $0.25L_{утр.}$ та 11% при $1.25L_{утр.}$ (рис. 6), що є суттєвим значенням для будівель історичної забудови, для яких згідно будівельних норм декларуються жорсткі граничні значення додаткових осідань основ і фундаментів при наявності впливу нового будівництва.

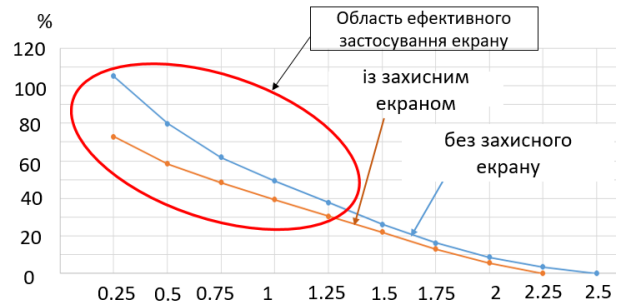


Рис. 6. Графік приросту додаткових деформацій існуючої будівлі в залежності відстані між існуючою будівлею та котлованом

Fig.6. The graph of the growth of additional deformations of the existing building depending on the distance between the existing building and the pit

Вплив жорсткості екрану на додаткові переміщення фундаментів існуючої будівлі в зоні котловану нового будівництва.

При використанні захисних екранів із паль малого діаметру, крім підбору ефективною довжини, також важливим є питання, яким має бути співвідношення між кроком та діаметром паль, тобто жорсткість екрану. Для того щоб визначити вплив жорсткості екрану на додаткові осідання фундаментів існуючої будівлі було виконано порівняння результатів розрахунку при різних кроці (а) та діаметру (d) паль захисного екрану. Аналізувались наступні співвідношення $a/d = 1; 1.5; 2; 3; 4$ (рис. 7).

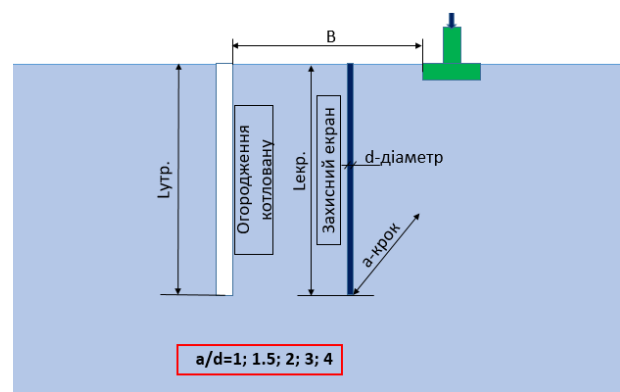


Рис. 7. Розрахункова схема при дослідженні жорсткості захисного екрану

Fig.7. Calculation scheme for the study of the rigidity of protective screen

Виявлено збільшення додаткового осідання будівлі зі зростанням відносної відстані між палями. Відчутне збільшення додаткових осідань проявляється при відношенні $a/d=3$, що на 20% більше ніж при використанні захисного екрану із відносною відстанню між палями $a/d=2$.

При співвідношеннях $a/d=1; 1.5; 2$ виявлено поступове зростання додаткових осідань в межах 10% (рис.4.9). Розуміння значень додаткових переміщень при різній жорсткості екрану дає змогу ефективно застосовувати параметри екрану та підбрати їх в залежності від технічного стану існуючої будівлі.

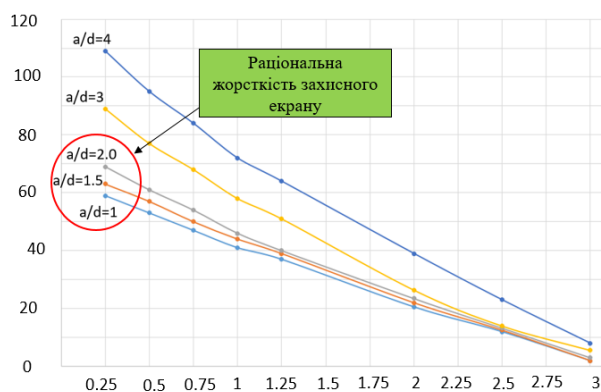


Рис. 8. Графік зміни додаткових переміщень фундаментів існуючої будівлі в залежності від жорсткості захисного екрану

Fig.7. The schedule of changes in additional movements of the foundations of the existing building depending on the stiffness of the protective screen

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. З'ясовано, що ефективність застосування захисних екранів можна коригувати за рахунок зміни їх параметрів, таких як: довжина, жорсткість конструкції, положення між будинком та котлованом.

2. Виявлено, що переміщення існуючої будівлі знижується по мірі збільшення довжини захисного екрану до значення, яке перевищує глибину стисливої зони будівлі в 1.25Нст. Подальше збільшення довжини практично не призводить до збільшення захисних властивостей екрану.

3. Виявлено збільшення додаткових переміщень будівлі зі зростанням відносної відстані між палями. Відчутне збільшення проявляється при відношенні $a/d=3$, що на 20% більше ніж при використанні захисного екрану із відносною відстанню між палями $a/d=2$. При співвідношеннях $a/d=1; 1.5; 2$ виявлено поступове зростання додаткових переміщень в межах 10% - що є раціональною жорсткістю захисного екрану.

4. Виявлено суттєвий вплив на переміщення оточуючої забудови відносної відстані до огороження котловану. Найбільша інтенсивність зміни переміщень спостерігається при наближенні котловану до фундаментів існуючої будівлі. При мінімальній розглянутій відносній відстані $V/L_{утр.}=0.25$ прослідковується виникнення значних переміщень фундаментів існуючої будівлі. Виявлено, що застосування інженерного захисного екрану є найбільш ефективним в діапазоні від $0.25L_{утр.}-1.25L_{утр.}$. В даному випадку екран дає змогу знизити додаткові переміщення будівлі до 35% при $0.25L_{утр.}$ та 11% при $1.25L_{утр.}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи і фундаменти будівель та споруд. ДБН В.2.1-10-2018. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 36 с. – (Державні будівельні норми).
2. ДБН В 1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. – К.: Мінрегіонбуд, 2008-43с.
3. Бойко І.П., Сахаров В.О. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при побудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків // *Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К: КНУБА, 2004 – Вип. 28 – С. 3-10.
4. Бондарева Л., Носенко В., Маламан А. Використання 2D та 3D моделювання для оцінки напружено-деформованого стану підпірних стінок складної конфігурації // *Науково-технічний збірник «Основи та фундаменти»*. К.: КНУБА. – 2022. – Вип.45. – С. 9-21. DOI:10.32347/0475-1132.44.2022.67-78
5. Винников Ю.Л., Харченко М.О., Єрмоленко Д.А., Акопян М.К. Геотехнічний моніторинг улаштування котловану новобудови поруч з існуючими будівлями // *Мости та*

тунелі: Теорія, дослідження, практика. – 2022, №22 УДК 69:624.152-047.

6. Сахаров В.О. Оцінка взаємодії фундаментів існуючого будинку з основою при влаштуванні котловану // *Основи і фундаменти*, 2002. – Вип. 27 - С.113-123.
7. Bin-Chen B.H. The use of piling and propping for the protection of buildings beside deep excavations: case studies from Taipei, Taiwan / B.H. Bin-Chen, F.T. David, C. Chun-Hung, N.H. Richard, Hwang // *Proc. The 3rd Int. Symp. (IS-Toulouse. 2002)*.
8. Chang-Yu Ou Deep Excavation. Theory and Practice. London 2006: CRC Press.
9. Katzenbach R., Leppla S., Seip M., & Kurze S. Value Engineering as a basis for safe, optimized and sustainable design of geotechnical structures. *Proc. Of the XVI European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development- 2010*, 601-606.

REFERENCES

1. DBN V.2.1-10-2018. (2018). *Osnovy i fundamenty budiveli ta sporud* [Bases and foundations of buildings and structures]. K.: Minrehion Ukrainy. 36s. – Derzhavni budivelni normy. (in Ukrainian).
2. DBN V 1.2-12-2008. (2008). *Budivnytstvo v umovakh ushchilненоi zabudovy* [Construction in the densely built-up territory]. K.: Minrehionbud. 43s (in Ukrainian).
3. Boiko I.P., Sakharov V.O. (2004). Napruzhenodeformovanyi stan hruntovoho masyvu pry pobudovi novykh fundamentiv poblyzu isnuiuchykh budynkiv [The stress-strain state of the soil massif during the construction of new foundations near existing buildings]. *Osnovy i fundamenty: mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk*. K: KNUBA. Vyp. 28. S.3-10.
4. Bondarieva L., Nosenko V., Malaman A. (2022). Vykorystannia 2D ta 3D modeliuvannia dlia otsinky napruzhenodeformovanoho stanu pidpirnykh stinok skladnoi konfiguracyi [Use of 2D and 3D modeling to assess the stress-strain state of retaining walls of complex configuration]. *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Osnovy ta fundamenty»*. K.: KNUBA. Vyp.45. S. 9-21. DOI:10.32347/0475-1132.44.2022.67-78 (in Ukrainian).
5. Vynnykov Yu.L., Kharchenko M.O., Yermolenko D.A., Akopian M.K. (2022). Heotekhnichniy monitorynh ulashtuvannia kotlovanu novobudovy poruch z isnuiuchymy budivliamy [Geotechnical monitoring of the arrangement of the pit of new building to the existing buildings] // *Mosty ta tuneli: Teoriia, doslidzhennia, praktyka*. 2022, №22 UDK 69:624.152-047.
6. Sakharov V.O. (2002). Otsinka vzaiemodii fundamentiv isnuiuchoho budynku z osnovoju pry vlashtuvanni kotlovanu [Evaluation of the interaction of the foundations of the existing buildings with the foundation during the installation of a pit]. *Osnovy i fundamenty*. Vyp. 27. S.113-123.5.
7. Bin-Chen B.H. David F.T., Chun-Hung C., Richard N.H., Hwang (2002). The use of piling and propping for the protection of buildings beside deep excavations: case studies from Taipei, Taiwan. *Proc. The 3rd Int. Symp. (IS-Toulouse. 2002)*.
8. Chang-Yu Ou. (2006). Deep Excavation. Theory and Practice. London 2006: CRC Press.
9. Katzenbach R., Leppla S., Seip M., & Kurze S. (2010). Value Engineering as a basis for safe, optimized and sustainable design of geotechnical structures. *Proc. Of the XVI European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*, 601-606.

The influence of the parameters of engineering protective structures on the effectiveness of their use in densely built-up territory

Vitalii Ruchkivskyi

Summary. A study of the influence of application of an engineering protective screen made of small-diameter driven piles on the existing building deformations, caused by the arrangement of the pit fence made of bored piles, was carried out. The study was carried out with the help of numerical modeling using the method of finite elements, which allowed to display the work of the system "soil base - engineering protective structures - the foundation of the existing building" with different parameters of the protective screen. The influence of the following parameters is shown:

1) the depth of laying the protective screen L in relation to the depth of the compressible soil zone (H_{st}).

2) the position of the protective screen between the retaining structures of the pit and the existing building.

3) rigidity of the screen – the ratio of the step to the diameter of the piles of the engineering protective screen.

4) the distance between the existing building and the pit in relation to the depth of the enclosing structures of the pit of the new construction.

The tasks were modeled in a spatial arrangement with the task of the system "soil base - enclosing constructions of the pit - protective screen - foundations of the existing building". The soil environment was modeled using the Hardening Soil Model. The calculation was carried out in stages.

The variation of the parameters of the protective screen was carried out for the historical building, which in most cases was made according to a rigid wall construction scheme with strip foundations.

The foundation depth is 1.2 - 3.0 m and the foundation width is 1-2 m. The average pressure under the foundation is 150-250 kPa.

The rational depth of the foundation and the position of the protective screen between the existing building and the pit of the new construction were established.

The area of effective application of the protective screen was revealed, depending on the distance between the building and the pit fence.

The effective stiffness is established depending on the change in the relative distance between the poles of the protective screen.

Key words. Engineering protective structures, protective screen, stress-strain state, pile, deformations, mutual influence, densely built-up territory.