

Вплив фундаментів будинку на напружено-деформований стан утримуючих конструкцій

Ігор Бойко¹, Віталій Ручківський²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹boyko40@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-6841-0271
²ruchkivsky@ukr.net, orcid.org/ 0000-0001-8982-2884

DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.9-15

Анотація. Будівництво об'єктів із підземними приміщеннями потребує влаштування глибокого котловану, яке повинно відбуватись із умов збереження в початковому стані оточуючої забудови. Для цього необхідно виконати прогноз впливу відкопування котловану на напружено-деформований стан цієї забудови. Важкість виконання такого прогнозу полягає в тому, що необхідно враховувати багато вихідних факторів: конфігурацію і стан оточуючої забудови, параметри котловану, навантаження, нерівномірне залягання ґрунтів, поетапність проведення будівельних робіт. Суттєвий вплив також здійснює тип фундаментних конструкцій, що зводяться в котловані.

Проведено дослідження впливу фундаментних конструкцій будинку на напружено-деформований стан захисних конструкцій котловану.

Виконано моделювання трьох варіантів фундаментних конструкцій будівлі, а саме: фундаментної плити товщиною 1.5 м, пальової основи із палями довжиною 5 м та пальового фундаменту із палями довжиною 16 м. Використано метод скінченних елементів із застосуванням моделі ґрунту Кулона-Мора.

Розрахунок проведено із врахуванням поетапності влаштування котловану та підземного паркінгу. При цьому порівняно горизонтальні переміщення та згинальні моменти в палях підпірної стіни в залежності від виду фундаменту паркінгу, що зводиться у котловані. Приведено графік зміни згинальних моментів в палях оголодження котловану в залежності від типу фундаменту паркінгу.



Ігор Бойко
завідувач кафедри
геотехніки
д.т.н., проф.



Віталій Ручківський
асистент кафедри
геотехніки

Приведено результати моделювання роботи системи «ґрунтовий масив – утримуючі конструкції» при поетапному зведенні підземного паркінгу.

Показано вплив конструкцій фундаменту підземного приміщення на напружено-деформований стан ґрунтового масиву та підпірної стіни котловану. Встановлено залежність згинальних моментів та переміщень підпірної стіни від типу фундаментних конструкцій будівлі. Виявлено найбільш раціональний варіант фундаменту будівлі із підземними паркінгом в наявних умовах.

Ключові слова. Напружено-деформований стан, котлован, інженерні захисні конструкції, згинальні моменти, горизонтальні деформації.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сьогодні, з метою ефективного використання територій, часто для будівництва обирають ділянки, які раніше вважалися непридатними для забудови. У більшості випадків такі ділянки знаходяться в щільній забудові, із складними інженерно-геологічними умовами і активними зсувними процесами. Будівництво в таких випадках висотних будинків із підземними приміщеннями призводить до суттєвої зміни напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтового масиву та існуючих будівель. Як наслідок, в таких умовах, виникає потреба влаштування інженерних захисних конструкцій котловану, при формуванні напружено-деформованого стану яких необхідно враховувати вплив фундаментів будинку.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На даний момент, розроблено багато методів розрахунку захисних конструкцій котловану, однак їх використання часто призводить до отримання різних, суперечливих один одному результатів. Наявність оточуючої забудови значно ускладнює цей процес. Актуальним питанням розрахунку інженерних захисних конструкцій котловану в щільній забудові присвячені праці І.П. Бойка [2], Ю.Л. Винникова [3], М.Л. Зоценка [4], С. Capraru [7].

МЕТА РОБОТИ

Дослідити вплив фундаментів будинку, що зводиться, на НДС утримуючих конструкцій котловану при поетапному зведенні підземного приміщення паркінгу.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розрахунок та проектування утримуючих конструкцій глибокого котловану в щільній забудові потребує врахування багатьох вихідних даних: конфігурацію і стан

оточуючої забудови, геометричні розміри в плані та глибина розробки котловану, навантаження від існуючих будівель, нерівномірне залягання ґрунтів, поетапність проведення будівельних робіт. Також важливим фактором є тип фундаментних конструкцій, що зводяться в котловані.

Різні типи фундаментів будівлі по-різному впливають на внутрішні зусилля та переміщення в утримуючих конструкціях котловану. Моделювання таких складних геотехнічних процесів може бути досягнуто лише за допомогою використання методу скінченних елементів.

В рамках дослідження проводилось моделювання багатоповерхового житлового комплексу з підземним паркінгом (рис.1). Ділянка майбутнього будівництва являє собою майданчик із абсолютними відмітками поверхні землі, що коливаються від 162.30 до 163.50 м.

Будинок розташований в щільній міській забудові. За конструктивною схемою будинок каркасно-монолітний з несучими вертикальними елементами. Просторова жорсткість та стійкість будівлі забезпечується сумісною роботою вертикальних елементів каркасу (діафрагм жорсткості, колон), горизонтальних дисків перекриттів і фундаментної плити.

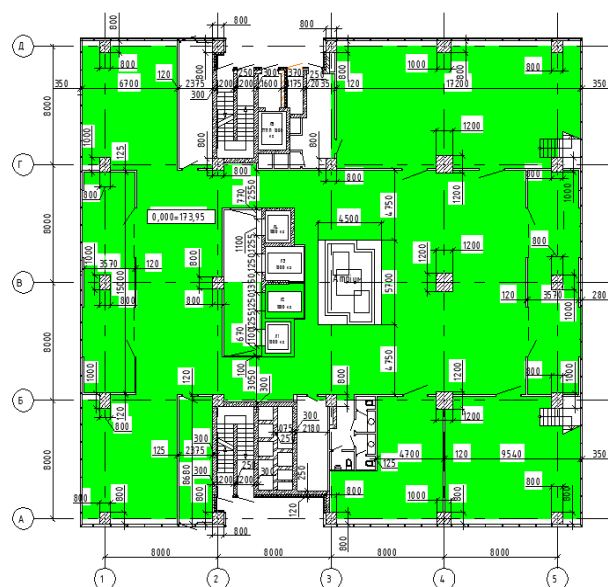


Рис.1. План типового поверху.

Fig.1. Plan a typical floor.

Під надземною частиною запроектовано чотирьохрівневу підземну автостоянку. Як наслідок, виникає необхідність розробки котловану. Максимальна відмітка розробки котловану передбачена проектом після влаштування паль та ростверків – 147,8. максимальна глибина відкопування якого складає 14,5 м. Для забезпечення стійкості стінок котловану проектом передбачено влаштування утримуючих конструкцій із розкріпленням їх по висоті двома рівнями тимчасових горизонтальних розпірок. Розпірки, в свою чергу, демонтуються по мірі влаштування перекриттів підземної частини споруди.

Палі підпірної стінки виконуються із буронабивних паль діаметром 820 мм, кроком 1.2 м, довжиною 23 м з армуванням круглими просторовими арматурними каркасами.

У верхній частині палі підпірної стіни об'єднані ростверком, що забезпечує їх сумісну роботу. Між палями влаштовується монолітна залізобетонна стіна-забірка (рис.2).

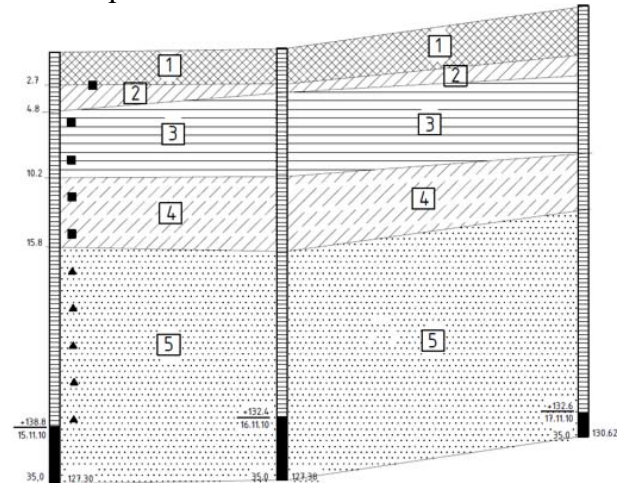


Рис.2. Експериментальний майданчик.
Fig.2. Experimental site.

Геологічна будова майданчику до розвіданої глибини 35.0 м складається з комплексу еолово-делювіальних та водно-льодовикових відкладів, представлених глинистими та піщаними ґрунтами (рис.3).

За результатами інженерно-геологічних вишукувань ґрунтова основа складається з таких інженерно-геологічних елементів:

- ІГЕ-1 – насипний ґрунт: супісок, суглинок із домішками будівельного сміття;
- ІГЕ-2 – супісок пластичний;
- ІГЕ-3 – глина тверда;
- ІГЕ-4 – супісок твердий;
- ІГЕ-5 – пісок дрібний, щільний, неоднорідний.



Умовні позначення:

- | | | | |
|---|------------------------------------|---|--------------------------------------|
|  1 | насипний ґрунт - супісок пилуватий |  3 | глина пилувата, тверда |
|  2 | супісок піщанистий, пластичний, |  4 | супісок піщанистий, твердий |
| | |  5 | пісок дрібний, водонасичений щільний |

Рис.3. Інженерно-геологічний розріз майданчику будівництва.

Fig.3. Engineering-geological section of the construction site.

Табл. 1. Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів будівельного майданчика
Table 1. Indicators of physical and mechanical properties of the soils of the site

№ ІГЕ	Опис ґрунтів	Щільність, г/см ³	Модуль деформації, Мпа	Кут внутрішнього тертя, град	Питоме зчленення, кПа
1	Насипний ґрунт	1.8	5	10	10
2	Супісок пластичний	1.85	12	25	27
3	Глина тверда	1.94	22	16	110
4	Супісок твердий	1.87	30	22	49
5	Пісок дрібний, щільний, неоднорідний	1.82	46	33	2

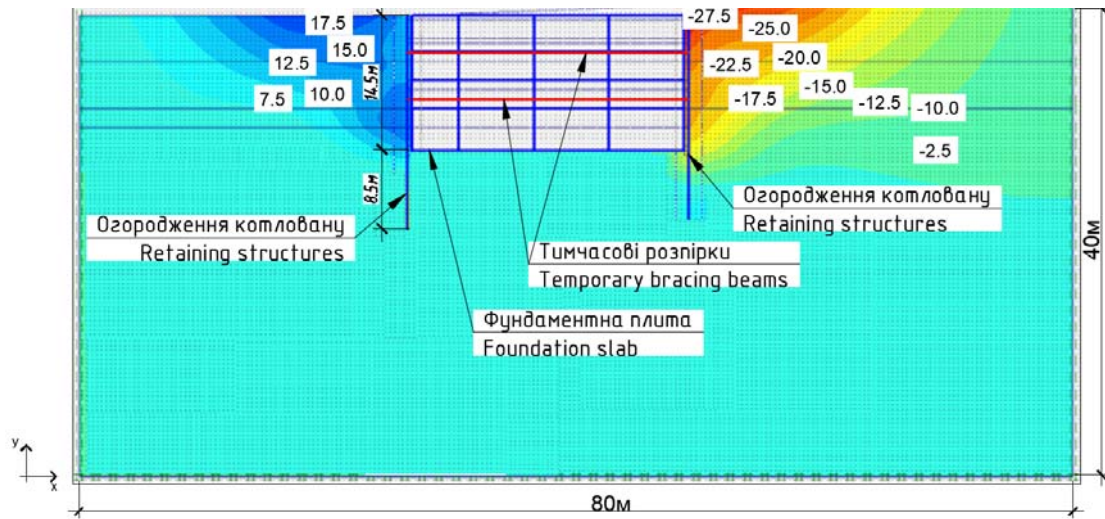


Рис.4. Горизонтальні переміщення U_x , варіант №1 – фундаментна плита.
 Fig.4. Horizontal displacements U_x , variant №1 – foundation plate.

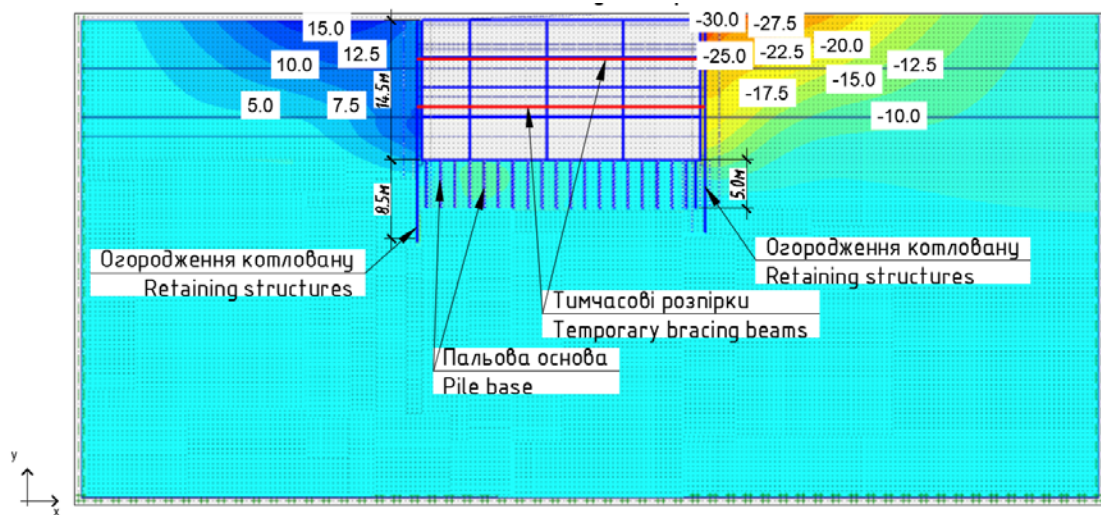


Рис.5. Горизонтальні переміщення U_x , варіант №1 – пальова основа.
 Fig.5. Horizontal displacements U_x , variant №1 – pile base.

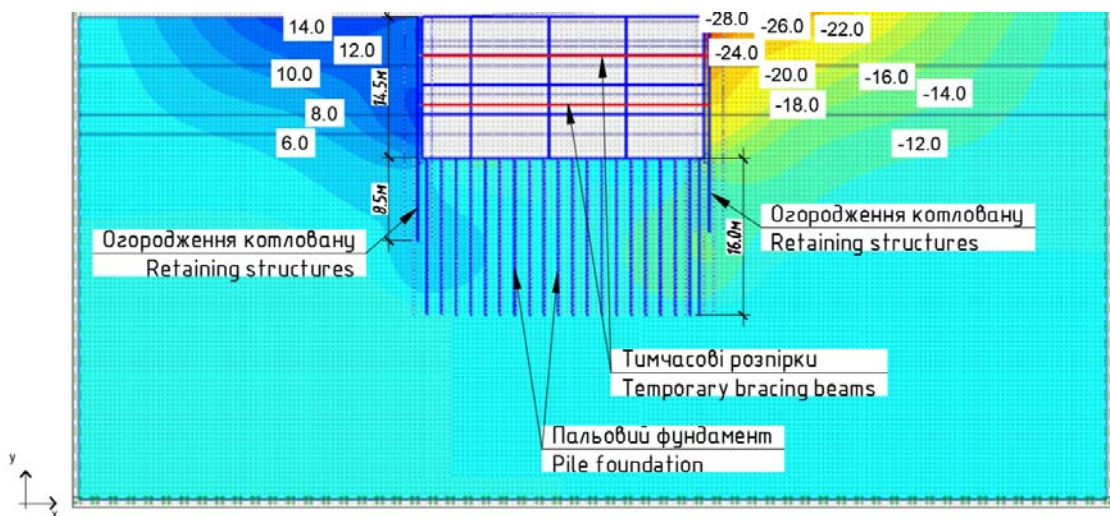


Рис.6. Горизонтальні переміщення U_x , варіант №1 – пальовий фундамент.
 Fig.6. Horizontal displacements U_x , variant №1 – pile foundation.

У якості фундаменту будівлі порівнювались: фундаментна плита товщиною 1.5 м (рис.4), пальова основа із палями довжиною 5 м (рис.5) та пальовий фундамент із палями довжиною 16 м (рис.6).

Числове моделювання напружено-деформованого стану системи «грунтовий масив – утримуючі конструкції» проводилось за допомогою методу скінченних елементів, що дало змогу врахувати поетапне зведення будівлі в котловані, визначити напруження і переміщення в усіх елементах системи, а також врахувати ефект підняття котловану. При цьому використовувалась пружнопластична модель ґрунту Кулона-Мора. Задача розв'язувалась в плоскій постановці. Розрахунок проводився в 21 етап.

Скінченно-елементна модель включає ґрунтовий масив розміром 50x80 м, підземне приміщення, а також захисні конструкції огороження котловану. Характеристики жорсткості паль підірної стіни та конструктивних елементів будівлі були приведені з розрахунку на 1 м.п. Нижня частина розрахункової схеми, на відстані 20 м від підшови палі підірної стіни обмежена площиною, яка закріплена від вертикальних переміщень. По бічним площинам на основу накладені в'язі, що перешкоджають нормальним до площин переміщенням. Розрахунок проводився із врахуванням поетапності відкопування котловану та підземного приміщення.

Розв'язувались 3 варіанти задачі: В1 – будинок на фундаментній плиті (рис.4); В2 – будинок на пальовій основі (рис.5); В3 – будинок на пальовому фундаменті (рис.6). При цьому порівнювались горизонтальні переміщення та згинальні моменти в палях підірної стіни в залежності від виду фундаменту будівлі, що зводиться (рис.3).

Аналіз характеру епюр показує суттєву залежність значень моментів від конструктивного рішення фундаменту. Так, при варіанті В1 (рис.7) спостерігаються найбільші значення моментів у порівнянні із іншими варіантами.

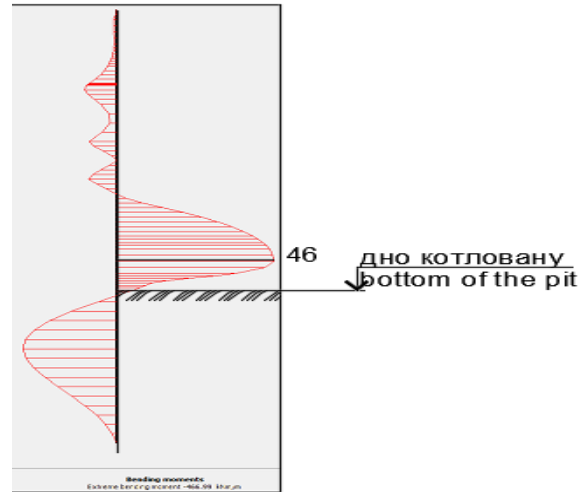


Рис.7. Згинальні моменти (варіант №1).
Fig.7. Bending moments (variant №1).

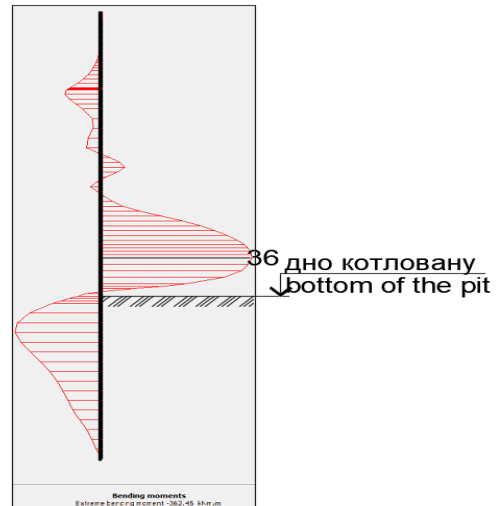


Рис.8. Згинальні моменти (варіант №2).
Fig.8. Bending moments (variant №2).

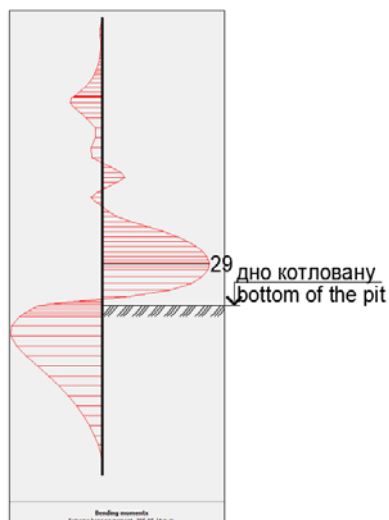


Рис.9. Згинальні моменти (варіант №3).
Fig.9. Bending moments (variant №3).

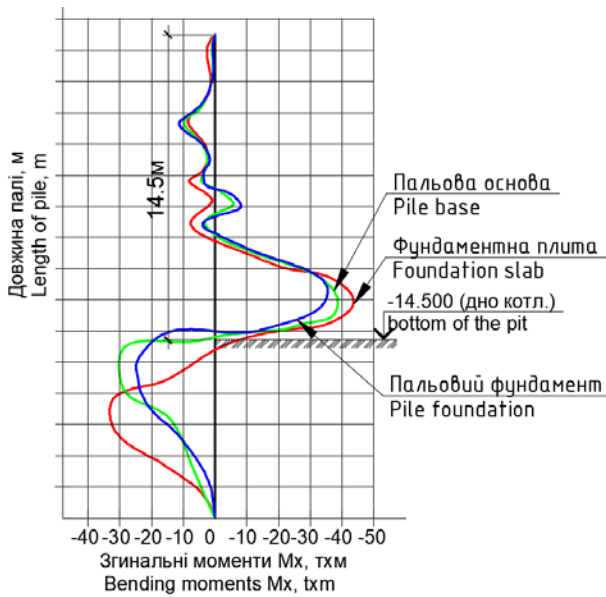


Рис.10. Зміна згинальних моментів в палі огороження котловану.
 Fig.10. Change of bending moments in the pile of the retaining structure.

При варіантах фундаменту В2 (рис.5) і В3 (рис.6) горизонтальні переміщення U_x верху палі підпірної стіни залишаються практично незмінними, лише у варіанті В1 (рис.4) з фундаментною плитою зростають на 10%.

Це пояснюється тим, що у варіантах В2 і В3 навантаження передається палями на більш глибокі шари ґрунту, на відміну від варіанту В1, де навантаження від будівлі передаються через фундаментну плиту.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Встановлено, що фундамент будівлі, що зводиться в котловані, суттєво впливає на НДС утримуючих конструкцій та ґрунтового масиву. Збільшуючи значення абсолютних переміщень на 10-15%

Виявлено, що при зміні фундаментних конструкцій будівлі, моменти в палях захисного огороження зменшуються на 23% при пальовій основі, на 38% при пальовому фундаменті у порівнянні з варіантом, коли навантаження від будівлі передаються безпосередньо через фундаменту плиту.

Виявлено, що найбільш раціональним рішенням фундаменту будівлі із

підземними приміщеннями є у випадку передачі навантаження від надземних конструкцій через палі на шари ґрунту, що залягають глибше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи і фундаменти будівель та споруд. ДБН В.2.1-10-2009 [Чинні від 2009-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 84 с. – (Державні будівельні норми).
2. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будівлями з їх основою // Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник.–К: КНУБА, 2006 – Вип 30 –С. 3-8.
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. Моделивання напружено-деформованого стану ґрунтового масиву зсувного схилу / М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, М. О. Харченко, А. М. Виноградова, О.В. Костенко // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. –Вип. 3(38). – Т. 1. – С. 160-169.
5. Turcek P., Sul’ovska M. Using the observation method for foundations of high-rise buildings / Geotechnical Engineering in Urban Environments – Rotterdam, 2007 – pp.419-422
6. Яковлев П.И. Взаимодействие сооружений с ґрунтом / Яковлев П.И., Бибичков А.Г., Бибичков А.А. – М.: Недра, 1997. – 464 с.
7. Capraru C. Numerical analysis of deep excavations and prediction of their influence on neighboring building / Capraru C., Adam D., Hoffmann J. // Numerical methods in geotechnical engineering - London: Taylor & Francis Group, 2014 – pp. 735-741 – DOI: 10.1201/b17017-132.
8. Chandrakant S. Desai, Numerical methods in geotechnical engineering / Chandrakant S. Desai, John T. Christian // New York – McGraw-Hill, 1977. – 783p. – ISBN 0-07-016542-4
9. Chris R.I. Clayton, Earth pressure and earth-retaining structures / Chris R.I. Clayton, Rich I.

Woods, A.J.Bond, J.Milititsky – New York, , Taylor & Francis, 2006. p.559.

REFERENCES

1. Osnovy` i fundamenti` budivel` ta sporud. DBN V.2.1-10-2009 [Chy`nni vid 2009-07-01]. – K. : Minregionbud Ukrayiny`“, 2009. – 84 s. – (Derzhavni budivel`ni normy`).
2. Bojko I.P. Osobly`vosti vzayemodiyi pal`ovy`x fundamentiv pid vy`sotny`my` budivlyamy` z yix osnovoyu // Osnovy` i fundamenti`: mizhvidom-chy`j naukovu-tekhnichny`j zbirny`k.–K: KNUBA, 2006 – Vy`p 30 –S. 3-8.
3. Vy`nny`kov Yu.L. Model`nye y`ssledovany`ya efekty`vnosty` gruntocementnyx rozdely`tel`nyx ekranov dlya zashhy`ty ot vly`yany`ya novogo stroy`tel`stva / Yu.L. Vy`nny`kov, A.V. Vede-ny`sov // Vestny`k Permskogo nacy`onal`nogo y`ssledovatel`skogo poly`texny`cheskogo uny`-versy`teta. Sery`ya: Stroy`tel`stvo y` arxy`tek-tura – Perm` 2015 – S.51-63 - DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.04.
4. Zocenko M.L. Modelyuvannya napruzhenodeformovanogo stanu g`runtovogo masy`vu zsuvnogo sxy`lu / M. L. Zocenko, Yu. L. Vy`nny`kov, M. O. Xarchenko, A. M. Vy`nogradova, O.V. Kostenko // Zb. nauk. prac`. Seriya: Galu-zeve mashy`nobudovannya, budivny`cztvo. – Poltava: PoltNTU, 2013. –Vy`p. 3(38). – T. 1. – S. 160-169.
5. Turcek P., Sul`ovska M. Using the observation method for foundations of high-rise buildings / Geotechnical Engineering in Urban Environments – Rotterdam, 2007 – pp.419-422
6. Yakovlev I.I. Vzay`modejstvye sooruzheny`j s gruntom / Yakovlev P.Y`., By`by`chkov A.G., By`by`chkov A.A. – M.: Nedra, 1997. – 464 s.
7. Capraru C. Numerical analysis of deep excavations and prediction of their influence on neighboring building / Capraru C., Adam D., Hoffmann J. // Numerical methods in geotechnical engineering - London: Taylor & Francis Group, 2014 – pp. 735-741 – DOI: 10.1201/b17017-132.
8. Chandrakant S. Desai, Numerical methods in geotechnical engineering / Chandrakant S. Desai, John T. Christian // New York – McGraw-Hill, 1977. – 783p. – ISBN 0-07-016542-4
9. Chris R.I. Clayton, Earth pressure and earth-retaining structures / Chris R.I. Clayton, Rich I. Woods, A.J.Bond, J.Milititsky – New York, , Taylor & Francis, 2006. p.559.

Influence of the building foundations on the stress-strain state of the retaining structures

Igor Boyko,
Vitalii Ruchkivskyi

Summary. Construction of objects with underground facilities requires the installation of a deep excavation, which should be from the conditions of preservation in the initial state of surrounding buildings. To do this, you must fulfill the forecast of the impact of excavation on the stress-strain state of this surrounding buildings. The difficulty in fulfilling such a forecast is that many important factors need to be taken into account: the configuration and condition of the surrounding buildings, the parameters of the pit, the load, the uneven soil location, the stage-by-stage of the building works. Significant influence also carries out the type of foundation structures that are erected in the pit.

The research of the foundation structures' influence on the stress-strain state of the pit's protective structures has been carried out.

The simulation of three variants of the foundation structures is executed, namely: a foundation plate 1.5 m thick, a pile's base with 5 m lengths of pile and a pile foundation with 16 m lengths of piles. The calculation is carried out taking into account the step-by-step installation of the pit and underground parking. In this case, compared horizontal displacements and bending moments in the piles of the retaining wall in dependence on the type of foundation structures. The schedule of change of bending moments in piles of retaining structures is given, depending on the type of parking foundation.

The simulation's results of the system "soil massif - retaining structures" are presented at the stage-by-stage construction of underground parking.

The influence of the foundation structures of the underground facilities on the stress-strain state of the soil massif and the retaining wall is shown. The dependence of the bending moments and the displacements of the retaining wall on the type of foundation structures is established. The most rational version of the foundation of the building with underground parking in the present conditions is revealed.

Key words. Stress-strain state, retaining structures, pit, bending moments, horizontal deformations.