

Zotsenko M.L., DSc, Professor
ORCID 0000-0003-1886-8898 zotenco@hotmail.com
Vynnykov Yu.L., DSc, Professor
ORCID 0000-0003-2164-9936 vynnykov@ukr.net
Kharchenko M.O., PhD, Associate Professor
ORCID 0000-0002-1621-2601 kharchenkjmo@ukr.net
Nalyvaiko L.G., senior lecture
ORCID 0000-0002-8782-2394 nalivayko@ukr.net
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University
V.M. Mitinsky, PhD, Associate Professor
ORCID 0000- mitinskiy.v@gmail.com
Odesa State Academy of Architecture and Civil Engineering
Aniskin O., PhD, senior lecturer
ORCID 0000-0002-9941-1947 aleksej.aniskin@gmail.com
University North, Varazdin (Croatia)

FOUNDATIONS OF THE HIGH RISE BUILDING ABOVE UNDERGROUND MINING

Problematic issues of construction of pile-foundation slab of high-rise residential building in the area of underground mining (underground mining with general underworking area 25%; the fissured limestone may collapse under the weight of the building) are systematized. The experience of analysis by method of ultimate elements of pile-foundation slab of three-section residential building in the area of underground mining and results of the geodesic monitoring of complex building are presented.

Keywords: *underground mining, pile-foundation slab, fissured limestone, method of ultimate elements, stressed-deformed state, geomonitoring.*

Зоценко М.Л., д.т.н., професор
Винников Ю.Л., д.т.н., професор
Харченко М.О., к.т.н., доцент
Наливайко Л.Г., ст. викладач
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
В.М. Митинський, к.т.н., доцент
Одеська державна академія будівництва і архітектури
Аніскін О., к.т.н., ст. викладач
Північний університет, Вараждин (Хорватія)

ФУНДАМЕНТИ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ У ЗОНІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК

Систематизовано проблемні питання влаштування пальово-плитних фундаментів висотного житлового комплексу в зоні підземних виробок: підземні виробки із загальною площею підробітки 25%; вістря паль спираються у тріщинуваті вапняки, які під вагою будівлі можуть продавитися. Наведено досвід моделювання методом скінчених елементів роботи пальово-плитного фундаменту трьохсекційного житлового будинку в зоні підземних виробок і результати геодезичного моніторингу будівництва комплексу.

Ключові слова: *підземні виробки, пальово-плитний фундамент, тріщинуваті вапняки, метод скінчених елементів, напружено-деформований стан.*

Introduction. Умови будівництва сучасних житлових комплексів постійно ускладнюються. З одного боку, збільшується поверховість і відповідно навантаження на основу, а з іншого – в якості майданчиків під забудову використовують території в ущільнених міських умовах зі складними геотехнічними властивостями [1, 2].

Одним із варіантів цих проблем є наявність в основі фундаментів підземних виробок. Підходи до визначення несучої здатності гірських порід на зріз при продавлюванні також залишаються актуальними [2 – 6].

Analysis of recent sources of research and publications. Досвід улаштування фундаментів висотних будівель, у т. ч. і в зоні підземних виробок, наведено в роботах [2 – 6]. З їх аналізу можливе узагальнення про високу ефективність і надійність пальово-плитних фундаментів для будівель і споруд у зоні підземних виробок [2 – 8].

Сучасний рівень програмного забезпечення, зокрема із використання просторових рішень методу скінчених елементів (МСЕ), дозволяє спрямувати методи оцінювання напружено-деформованого стану (НДС) основ і фундаментів саме на розв'язання аналогічних, суто практичних завдань проектувальників-геотехніків [8 – 11]. Однак, проблеми можливості продавлювання товщі гірських порід від ваги будівлі й методи їх вирішення у практиці геотехнічного проектування досліджено поки недостатньо.

Identification of general problem parts unsolved before. Рішення з улаштування фундаментів у ґрунтах, що складені нашаруваннями неоднорідних вапняків, з підземними виробками, й забезпечення їх надійної роботи вимагають, як дослідного обґрунтування, так і чисельного моделювання, і поки вони є дискусійним питанням геотехніки.

That is why the **goal** of this article is to експериментально-теоретичне обґрунтування влаштування пальово-плитних фундаментів висотного житлового комплексу в масиві, складеному неоднорідними ґрунтами, і ускладнених підземними виробками, а також уточнення несучої здатності на зріз при продавлюванні товщі вапняків, які служать несучим шаром паль.

Basic material and results. Об'єкт досліджень – житловий комплекс з трьох окремих секцій по 24 поверхи й однієї – 20 поверхів (рис. 1), що розташований у м. Одеса за вул. Генуезька, 24, д (рис. 2). Будівля має дворівневий підземний паркінг. Перші три секції – суміжні, четверта – в стороні від них. Секції мають розміри в плані: №1 – 32x25 м; №2 – 25x24 м; №3 – 29x24 м; №4 – 26,54x23,3 м. Конструктивна схема будівлі – монолітно-каркасна.



Рис. 1. Загальний вигляд житлового комплексу



Рис. 2. Ситуаційна схема розташування об'єкта досліджень

Автори розробили надійне конструктивне рішення влаштування фундаментів за даних умов. При цьому забезпечено цілісність підземних виробок висотою 2,4 м і шириною 4,0 м (рис. 3), які знаходяться у тріщинуватих вапняках на глибині 7...8 м під першими трьома секціями (рис. 4) (величина підробки – 25%). Проектне рішення фундаментів забезпечує несучу здатність зрізу при продавлюванні товщі тріщинуватих вапняків ($h_{\min}=9,5$ м) вагою комплексу.



Рис. 3. Загальний вигляд підземних виробок

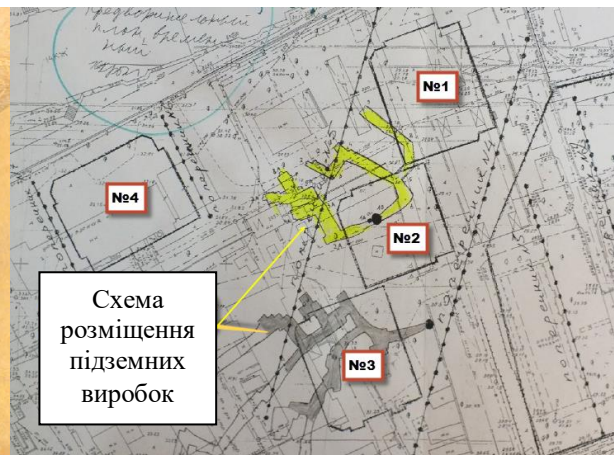


Рис. 4. Генеральний план ділянки зі схемою розміщення секцій житлового комплексу і підземних виробок

Для уточнення геотехнічних параметрів тріщинуватих вапняків (у них знаходяться підземні виробки), які є основою палів і можуть зрізатися при продавлюванні від ваги будівлі, проведено польові випробування ґрунтів. Вертикальне вдавлююче навантаження на палю діаметром 500 мм і довжиною 11,45 м з основою у вапняку доведено до 2000 кН при її стабілізованому переміщенні 0,95 мм. Вертикальне висмикувальне навантаження на палю діаметром 500 мм і робочою довжиною 1,24 м у вапняку-ракушняку доведена до 325 кН при її стабілізованій переміщенні 0,67 мм. Умови роботи вапняку над виробками на зріз визначені штаповими випробуваннями. Розрахунковий опір зрізу вапняку склав $R_{cp1}=280$ кПа при руйнуванні за площиною з нахилом 33° до вертикалі, і $R_{cp2}=220$ кПа – з нахилом 45° до вертикалі. При цьому допустиме напруження зрізу складає $R_{cp}=157$ кПа.

Фактична стисливість вапняків визначена штамповими випробуваннями. Результати польових випробувань основи використано для геотехнічного проектування комплексу. У зонах з підземними виробками влаштовано додаткові підсилюючі елементи – бурин’екційні палі (рис. 5 і 6).

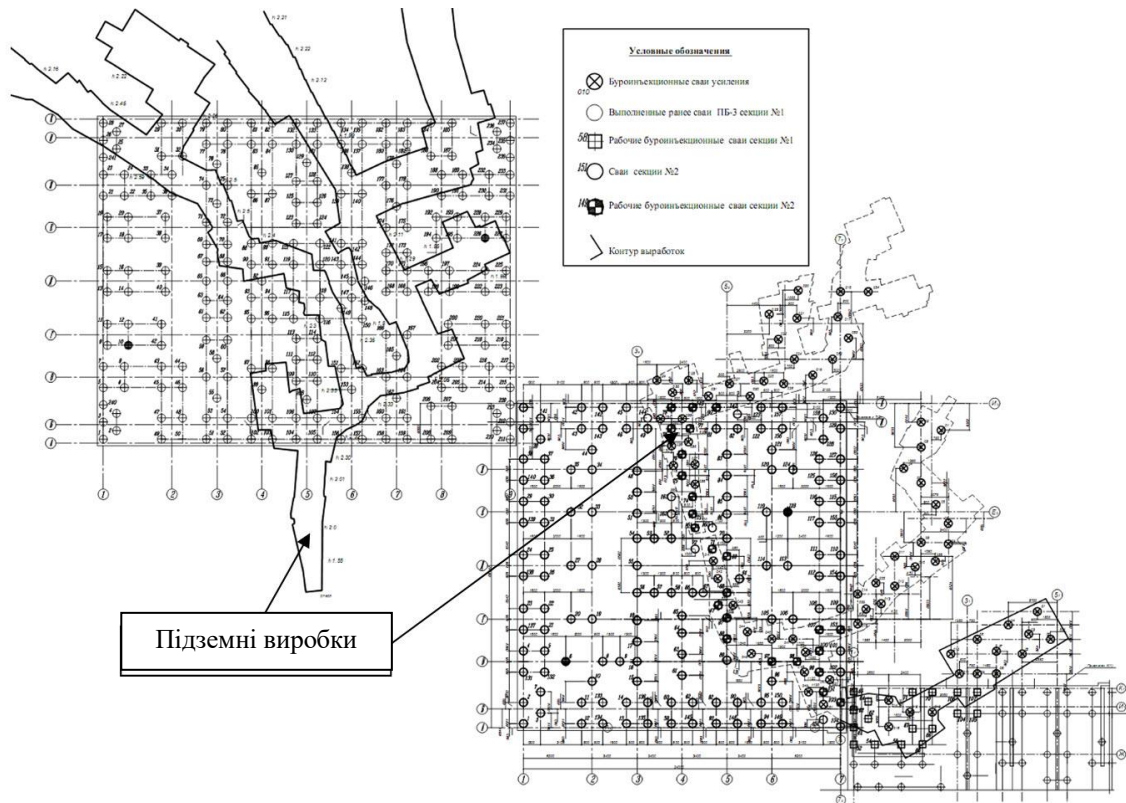


Рис. 5. Схема розташування виробок і пального поля (закріплення виробок у районі 3-ої секції умовно не показано)

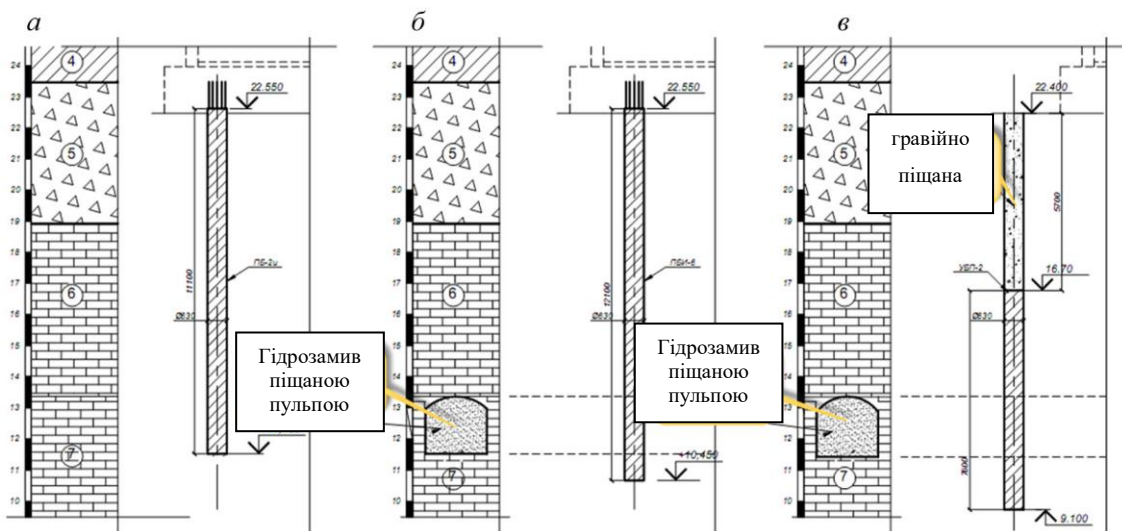


Рис. 6. Схема влаштування палей: *а* – робоча палія поза зоною виробки; *б* – робоча палія, що попадає в зону виробки; *в* – палія підсилення; ПБ-4 – глина тверда; ПБ-5 – вапняк вивітрілий до глиб, щебеню, жорстви, з глинистим заповнювачем; ПБ-6 – вапняк плитний, тріщинуватий, низької міцності; ПБ-7 – вапняк тріщинуватий, низької міцності

Їх функція – сприйняття зусиль розтягу, що виникають від дотичних напружень за межами зрізу, і передача зусиль стиску на масив ґрунту вище і нижче від виробок за рахунок їх роботи за бічною поверхнею. Підземні виробки гідрозамито піщаною пульпою з подальшим «підбучуванням» їх покрівлі цементно-піщаним розчином.

Прийняті при проектуванні рішення перевірялися моделюванням МСЕ у просторовій постановці. При цьому моделі ґрунтів і їх параметри підбиралися на базі їх польових випробувань. Для отримання максимально можливих осідань, у т. ч. нерівномірних, при моделюванні напружено-деформованого стану основи паль задавалися характеристики не вапняку, а глинистого заповнювача. Отримані моделюванням максимальні сумарні осідання та крен секцій будівлі не перевищили допустимих нормами значень.

Для імітації поведінки ґрунту прийнята упругопластическая модель с критерием прочности Мора – Кулона. Для бетона использована линейная упругая модель. Для разграничения между упругим поведением тела сваи, где небольшие перемещения, и окружающего их ґрунтового массива, где возможно пластическое поведение с критерием прочности Кулона – Мора, использовано интерфейс (interface strength). Это сделано для избежания появления пиковых напряжений и деформаций, которые не имеют реального физического смысла. Пространственная жесткость всех конструктивных элементов рассчитывалась в соответствии с принятыми проектными решениями здания (рис. 7).

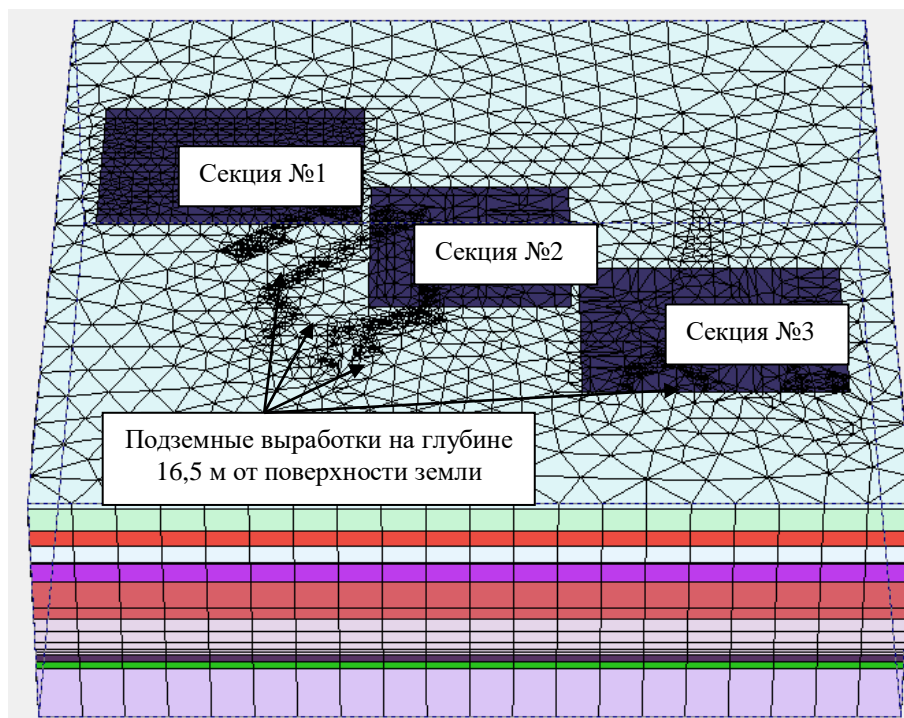


Рис. 7. Пространственная расчетная схема для моделирование взаимного влияния фундаментов и основания с подземными выработками секций №1, №2 и №3

Задача решалась поэтапно: 1) гравитационная загрузка расчетной области с подземными выработками собственным весом ґрунта и моделирование начального НДС массива; 2) отрывка котлована, гидрозамыв полости пятна выработки, устройство свай и фундаментной плиты, а также моделирование загрузки от возведения секции №1, рис. 8; 3) отрывка котлована, гидрозамыв полости пятна выработки, устройство свай и плиты, моделирование загрузки от возведения секции №2, рис. 9; 4) отрывка котлована, гидрозамыв полости пятна выработки, устройство свай и фундаментной плиты, а также моделирование загрузки от возведения секции №3, рис. 10.

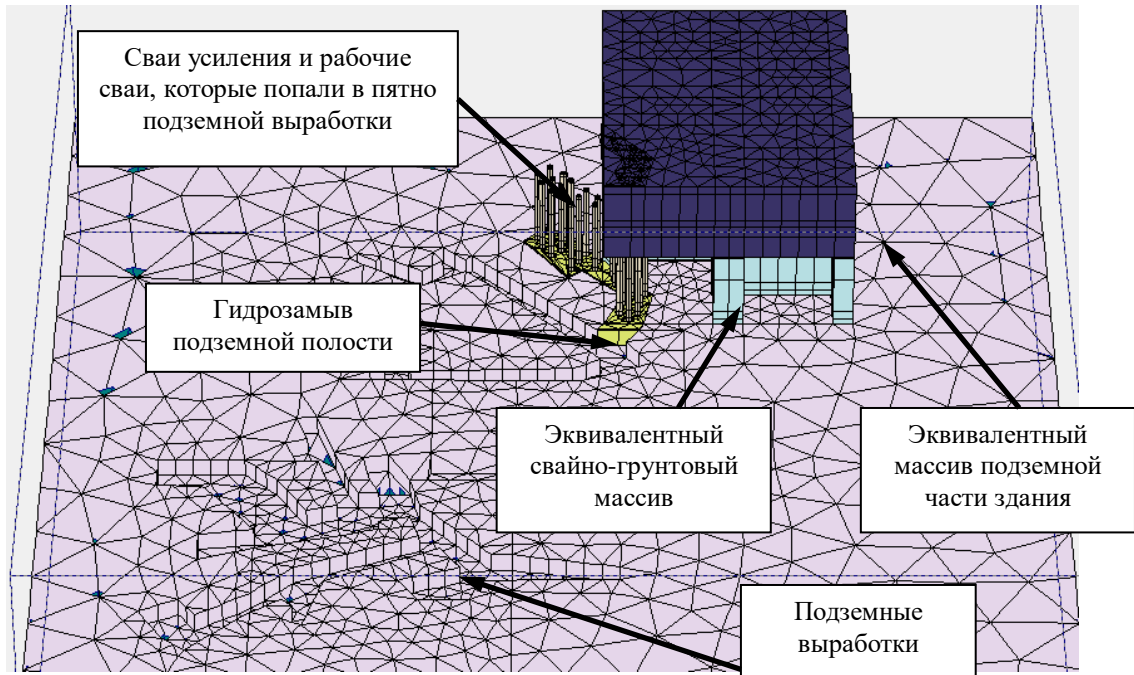


Рис. 8. Расчетная пространственная КЭ схема 2-го этапа моделирования с выключенными кластерами ИГЭ-1...ИГЭ-5

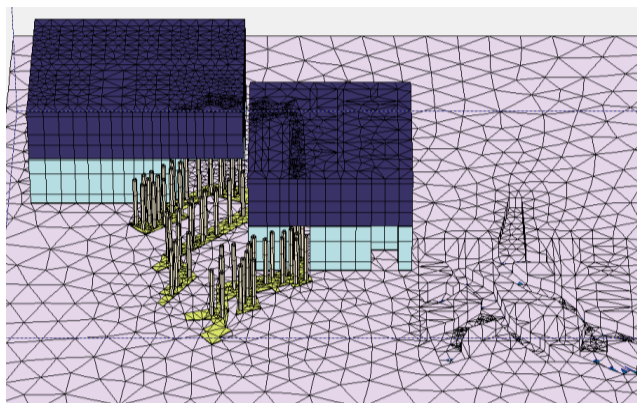


Рис. 9. Расчетная схема (2-ой этап моделирования)

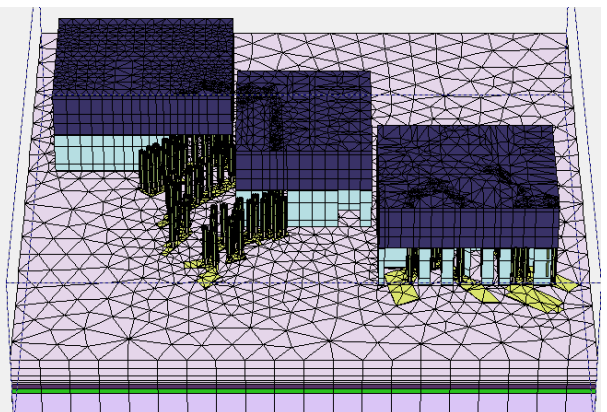


Рис. 10. Расчетная схема (3-ий этап моделирования)

Получены максимальные вертикальные перемещения основания свайно-плитного фундамента после строительства секции №1 – $S=9,9$ см. Крен фундаментной плиты в сторону подземной выработки составил менее $i=0,0008$.

Максимальные вертикальные перемещения основания после строительства секции №2 составят $S=8,6$ см (рис. 11) при крене фундаментной плиты – менее $i=0,0006$. Дополнительные осадки секции №1 от возведения секции №2 будут около $S_{\text{доп}}=1,5$ см при крене плиты – $i=0,0016$. Максимальные вертикальные перемещения основания от возведения секции №3 составят $S=9,9$ см (рис. 11) при крене плиты в сторону подземной выработки – до $i=0,0008$. Дополнительные осадки секции №2 от возведения секции №3 составят около $S_{\text{доп}}=1,8$ см при крене плиты – $i=0,0016$. Влияния строительства секции №3 на секцию №1 не будет. Максимальные суммарные осадки и крен не превысят предельно допустимые значения $S_u=18$ см, $i_u=0,005$. В результате численного анализа получены завышенные значения осадок, что говорит о необходимости проверки этих данных натурными геодезическими наблюдениями.

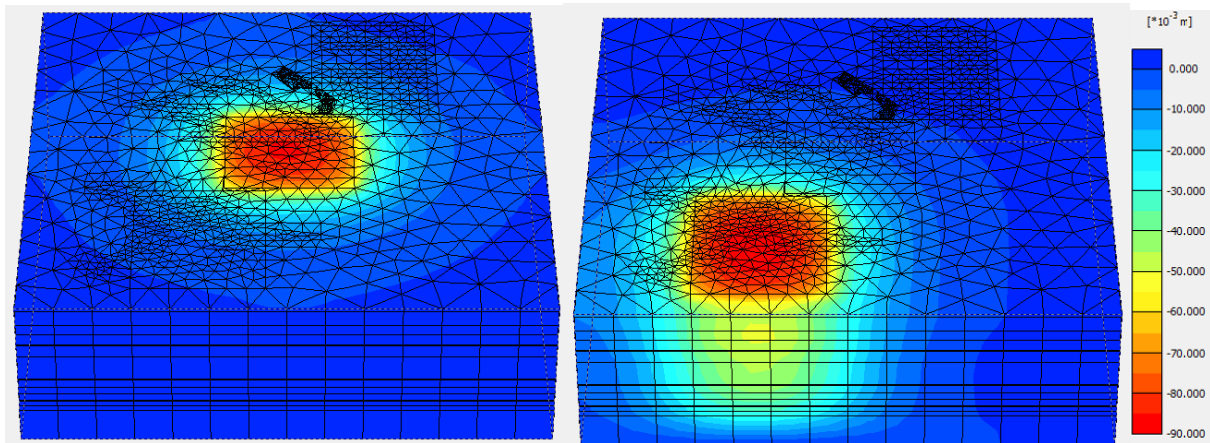


Рис. 11. Изополя вертикальных перемещений для 3D сетки после строительства второй (слева) и третьей (справа) секций

Для перевірки результатів розрахунку на об'єкті організовано геотехнічний моніторинг у процесі зведення комплексу (рис. 12). Отримано наступні результати: середнє осідання першої секції – 9 мм (будівельні роботи виконані на 98%); середнє осідання другої секції – 10 мм (роботи виконані на 85%); середнє осідання третьої секції – 12 мм (роботи виконані на 85%); середнє осідання четвертої секції – 10 мм (роботи виконані на 80%, рис. 13).

На рис. 14 подано графік осідання основи фундаментів секції №4. Осідання за геодезичним моніторингом близькі до змодельованих з використанням високих значень модуля деформації ІГЕ-6...ІГЕ-8 ($E_6=100$ МПа, $E_7=50$ МПа, $E_8=500$ МПа).

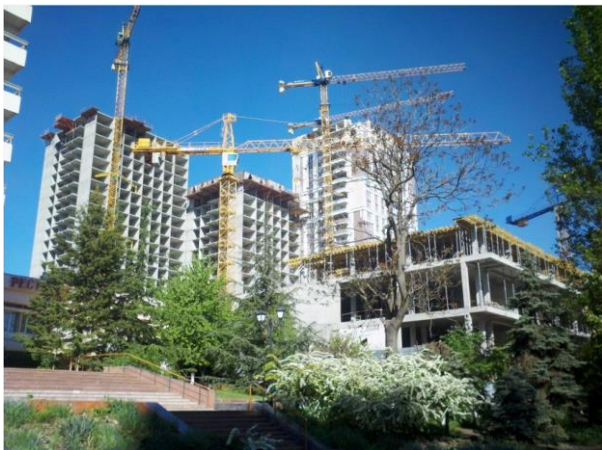


Рис. 12. Загальний вигляд каркасу секцій житлового комплексу

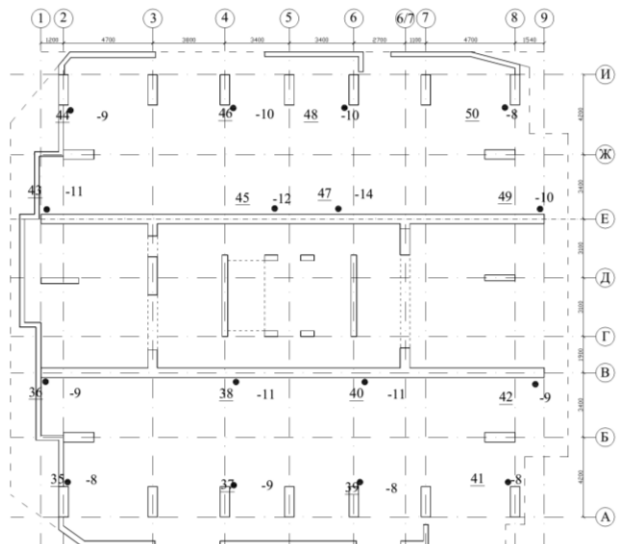


Рис. 13. Результати спостережень за 4-ою секцією (44 – номер марки; -9 – значення осідань в мм)

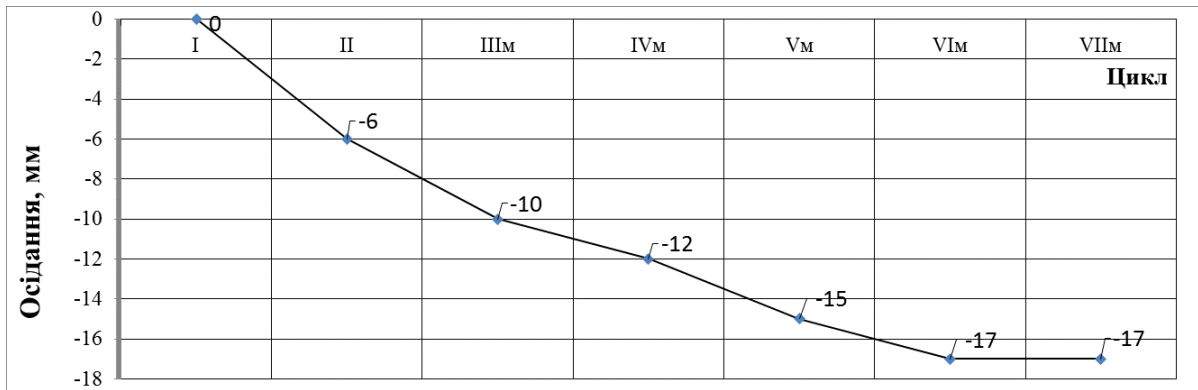


Рис. 14. Графік осідань основи фундаментів секції №4

So, **conclusions**, з аналізу результатів моніторингу будівництва житлового комплексу виявлено, що прийняті при геотехнічному проектуванні рішення мають достатній рівень надійності. Тому після додаткового аналізу розрахункової схеми секції №4 було дозволено збудувати її на 2 поверхи вище (22 поверхи замість проектних 20) без зміни конструктивних рішень фундаментів.

References

1. ДБН В.2.1-10-2009 *Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування. Зі змінами №1 і №2.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 161 с.
2. *Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева.* – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
3. Manjriker A. *Foundation Engineering / A. Manjriker, I. Gunarante.* – New York: Taylor and Francis, 2006. – 608 p.
4. Готман, Н.З. К вопросу о расчете плитных фундаментов подземных сооружений на закарстованных территориях / Н.З. Готман, М.З. Каюмов // *Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства.* – Тр. междунар. конф. – Пермь: Изд-во Пермского национ. исслед. политехн. ун-та, 2011. – С. 114 – 119.
5. *Опыт геотехнического проектирования и мониторинга высотного здания в зоне подземных выработок / Н.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, М.А. Харченко, В.М. Митинский, С.В. Бараник, В.Т. Ченелев.* – «Геотехника». – М. – №1. – 2015. – С. 20 – 38.
6. Katzenbach, R. *Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy / R. Katzenbach, G. Bachmann, C. Gutberlet // Geotechnical Engineering in Urban Environments: proc of the 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007).* – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2007. – P. 55 – 60.
7. Fleming K. *Piling Engineering / K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, K. Elson.* – London and New York: Taylor and Francis. – 2008. – 398 p.
8. Бойко, І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою // *Основи і фундаменти: Міжвід. наук.-техн. зб.* – Вип. 30. – К.: КНУБА, 2006. – С. 3 – 8.
9. *Plaxis 3D Foundation. Reference Manual. Version 1.5 / R. Brinkgreve at al.* – Delft: Delft University of Technology. – 2006. – 152 p.
10. Chau K. *Numerical Methods / K. Chau // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.* – Paris. – 2013. – P. 647 – 654.
11. *Innovative projects in difficult soil conditions using artificial foundation and base, arranged without soil excavation / P. Kryvosheiev, G. Farenyuk, 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 (Sep., 2017 / Seoul, Korea) – ed. by W. Lee, J.-S. Lee, H.-K. Kim, D.-S. Kim.* – Seoul. – 2017. – P. 3007 – 3010.