

УДК 624.131.543

М.Л. Зоценко, д-р техн. наук, професор, Ю.Л. Винников, д-р техн. наук, професор, М.О. Харченко, канд. техн. наук, доцент
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка
В.М. Митинський, канд. техн. наук, доцент, С.В. Бараник, н.с.
Одеська державна академія будівництва і архітектури
В.Т. Чепелєв, зам. директора
КП «Будова»

ДОСВІТ ГЕОТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГА БУДІВНИЦТВА ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ У ЗОНІ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК

АНОТАЦІЯ: У статті представлено експериментально-теоретичне обґрунтування влаштування пальово-плитних фундаментів висотного житлового комплексу в зоні підземних виробок у м. Одесі. Житловий комплекс «Гольфстрім» складається з 3 секцій по 24 поверхи, які розміщені поряд, й одної у 20 поверхів, що розташована в стороні. В основі будівлі дворівневий підземний паркінг. Проблемою влаштування комплексу є підземні виробки висотою 2,4 м і шириною 4,0 м, які виявлені на глибині 7...8 м під трьома секціями (площа підробітки – 25%) і відсутні під четвертою. Додаткова проблема полягає в тому, що вістря паль спираються у тріщинуваті вапняки, які під вагою будівлі можуть продавитися, і вона отримає наднормативний крен. Також описано досвід моделювання сумісної роботи фундаментів і їх основ, а також результати геодезичного моніторингу будівництва комплексу.

Ключові слова: ПІДЗЕМНІ ВИРОБКИ, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ТРІЩИНУВАТІ ВАПНЯКИ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН, ОПІР ЗРІЗУ, ЗРІЗ ПРИ ПРОДАВЛЮВАННІ.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. 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. 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.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Досвід улаштування фундаментів висотних будівель, у т. ч. і в зоні підземних виробок, наведено в роботах [1 – 8]. Проблеми можливості продавлювання товщі гірських порід від ваги будівлі та методи їх вирішення у практиці геотехнічного проектування досліджено поки недостатньо.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Рішення з улаштування фундаментів у ґрунтах, що складені нашаруваннями неоднорідних вапняків, з підземними виробками, й забезпечення їх надійної роботи вимагають, як експериментального обґрунтування, так і чисельного моделювання, і поки вони є дискусійним питанням геотехніки.

Мета роботи. 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.

Виклад основного матеріалу. 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.

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.

Для уточнення геотехнічних параметрів тріщинуватих вапняків (у

них знаходяться підземні виробки), які є основою палей і можуть зрізатися при продавлюванні від ваги будівлі, проведено польові випробування ґрунтів.



Рис. 1. Загальний вигляд житлового комплексу



Рис. 2. Ситуаційна схема розташування об'єкта досліджень

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 стабілізованому переміщенні 0,67 мм. Умови роботи вапняку над виробками на зріз

визначені штамповими 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.



Рис. 3. Загальний вигляд підземних виробок

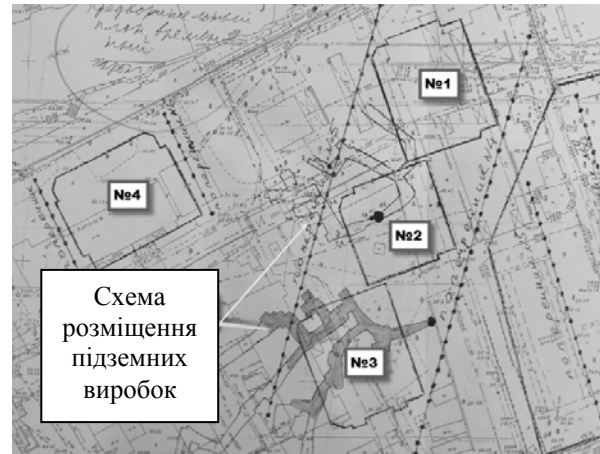


Рис. 4. Генеральний план ділянки зі схемою розміщення секцій комплексу і підземних виробок

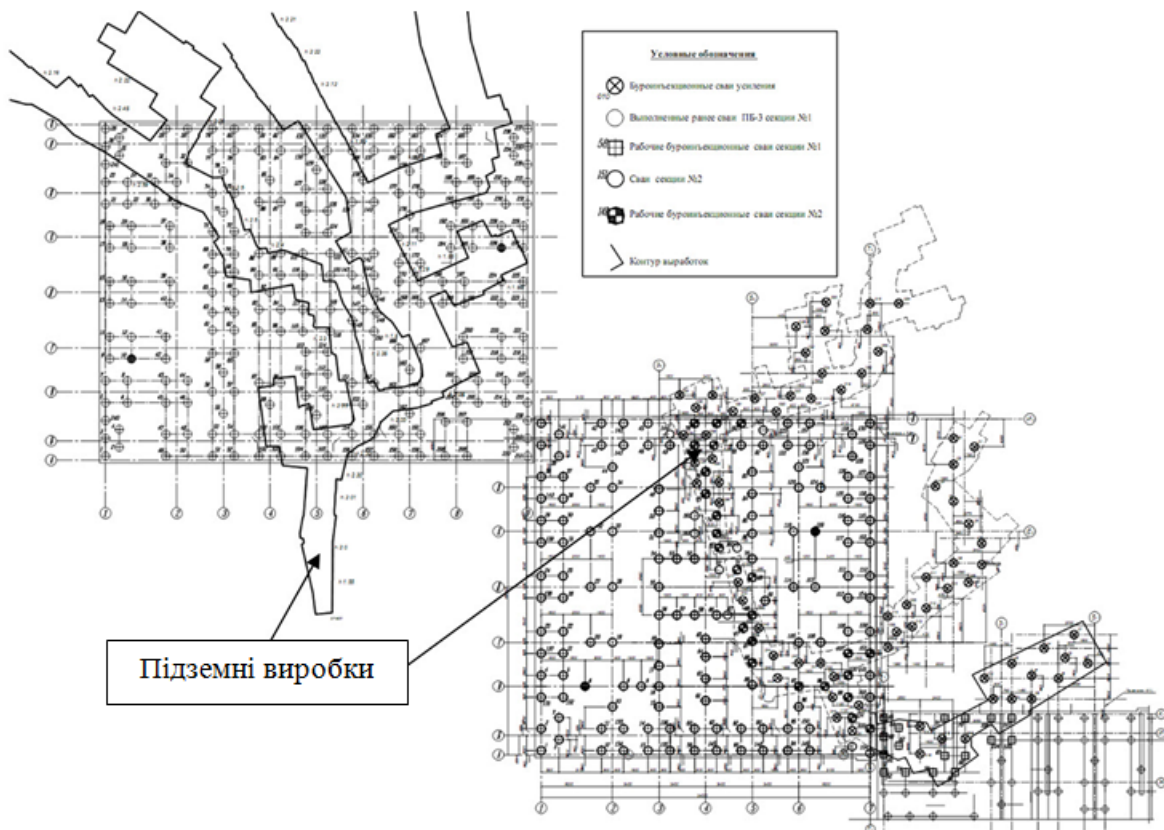


Рис. 5. Схема розташування виробок і пального поля (закріплення виробок у районі 3-ої секції умовно не показано)

Результати польових випробувань основи використано для геотехнічного проектування комплексу. У зонах з підземними виробками влаштовано додаткові підсилюючі елементи – буроін'єкційні палі (рис. 5 і рис. 6). Їх функція – сприйняття зусиль розтягу, що виникають від дотичних напружень за умовними 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 методом скінченних елементів (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 палі задавалися характеристики не вапняку, а глинистого заповнювача. Отримані моделюванням максимальні сумарні осідання та крен секцій будівлі не перевищили допустимих нормами значень.

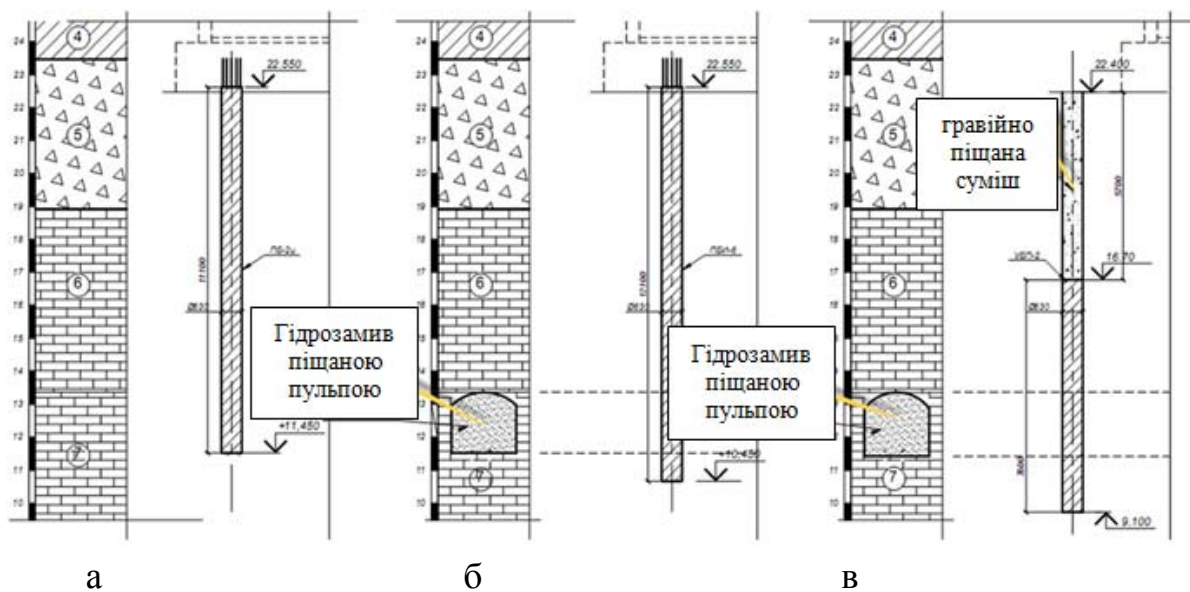


Рис. 6. Схема влаштування палі: *а* – робоча паля поза зоною виробки; *б* – робоча паля, що попадає в зону виробки; *в* – паля підсилення; ІГЕ-4 – глина тверда; ІГЕ-5 – вапняк вивітрілий до глиб, щебеню, жорстви, з глинистим заповнювачем; ІГЕ-6 – вапняк плитний, тріщинуватий, низької міцності; ІГЕ-7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

Для перевірки результатів розрахунку на об'єкті організовано геотехнічний моніторинг у процесі зведення комплексу (рис. 7).

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. 8). На рис. 9 зображено графік осідання основи фундаментів секції №4.

Осідання за геодезичним моніторингом близькі до отриманих при моделюванні з використанням високих значень модуля деформації ІГЕ-6...ІГЕ-8 ($E_6=100$ МПа, $E_7=50$ МПа, $E_8=500$ МПа).



Рис. 7. Загальний вигляд каркасу секцій житлового комплексу

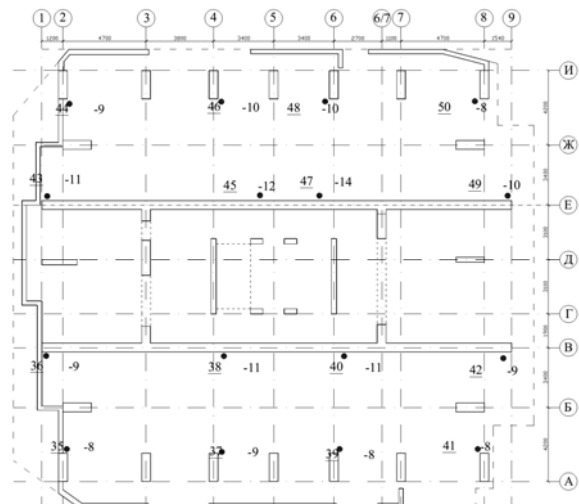


Рис. 8. Результати геодезичних спостережень за 4-ою секцією (44 – номер марки; -9 – значення осідань в мм)

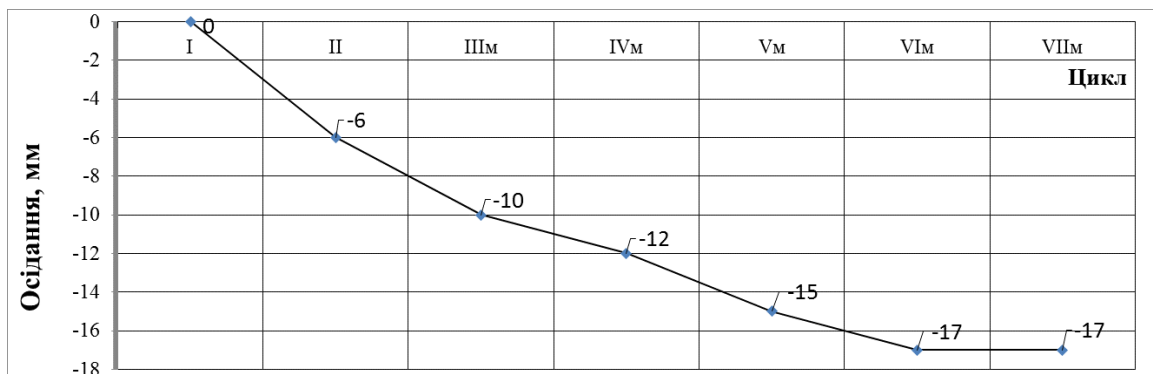


Рис. 9. Графік осідань основи фундаментів секції №4

Висновки. Таким чином, із 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.

Список літератури

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
2. Катценбах Р. Последние достижения в области фундаментостроения высотных зданий на сжимаемом основании / Р. Катценбах // Вестник МГСУ: научн.-техн. журнал. – 2006. – № 1. – С. 105 – 118.
3. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки) / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад, 2010. – 552 с.
4. Тер-Мартirosян З.Г. НДС системы «основание – свайный фундамент – здание» с промежуточной подушкой при сейсмическом воздействии / З.Г. Тер-Мартirosян, А.З. Тер-Мартirosян, А.Ю. Мирный // Сб. статей науч.-техн. конф. «Численные методы расчетов в практической геотехнике». – С-Пб: СПбГАСУ, 2012. – С. 183–190.
5. Зоценко Н.Л. Влияние подземных ходов на деформирование здания Полтавского краеведческого музея / Н.Л. Зоценко, С.В. Беда, Ю.И. Великодний // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: Тр. Российской конф. с междунар. участием. – Уфа: БашНИИстрой. – 2012. – С. 42 – 50.
6. 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 национального исследоват. политехнического ун-та, 2011. – С.114–119.
7. Ильичев В.А. Опыт устройства котлованов в городе Москве / В.А. Ильичев и др. // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: Сб. тр. науч.-

техн. конф. / Санкт-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2010. – С. 33–37.

8. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. - Вип. 30 / Відповідальний редактор І.П. Бойко - К.: КНУБА, 2006. - С. 3-8.

Зоценко Н.Л., д-р техн. наук, профессор, Винников Ю.Л., д-р техн. наук, профессор, Харченко М.О., канд. техн. наук, доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Митинский В.М., канд. техн. наук, доцент, Бараник С.В., н. с.,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Чепелев В.Т., зам. директора

КП «Будова»

ОПЫТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В ЗОНЕ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

АННОТАЦИЯ: В статье представлено экспериментально-теоретическое обоснование устройства свайно-плитных фундаментов высотного жилого здания в зоне подземных выработок в г. Одессе. Жилой комплекс «Гольфстрим» состоит из 3 секций по 24 этажа, которые расположены рядом, и одной с 20 этажами, которая расположена в стороне. Здание имеет двухуровневый подземный паркинг. Проблемой устройства комплекса является наличие в его основании подземных выработок высотой 2,4 м и шириной 4,0 м, которые находятся на глубине 7...8 м под тремя секциями (площадь подработки 25%) и их отсутствие под четвертой. Дополнительная проблема состоит в том, что острие свай упирается в трещиноватые известняки, которые под весом здания могут продавиться, а здание получит сверхнормативный крен. Также описан опыт моделирования совместной работы фундаментов и основания, а также результаты геодезического мониторинга строительства комплекса.

Ключевые слова: ПОДЗЕМНЫЕ ВЫРАБОТКИ, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ТРЕЩИНОВАТЫЕ ИЗВЕСТНЯКИ,

*НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ,
СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕЗУ, СРЕЗ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ.*

**Zotcenko N.L., Dr.Sci.Tech, Professor, Vynnykov Y.L., Dr.Sci.Tech,
Professor, Kharchenko M.O., PhD, assistant professor**

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

Mitinsky V.M., PhD, assistant professor, Baranik S.V., research

Odesa State Academy of Architecture and Civil Engineering

Chepelev V.T., deputy director

Communal enterprise «Budova»

**EXPERIENCE OF FOUNDATION DESIGN AND
CONSTRUCTION MONITORING OF ERECTION THE HIGH RISE
BUILDING ABOVE UNDERGROUND MINING**

ABSTRACT: In this article is presented experimental and theoretical basis of pile-foundation slab of high-rise residential building in the area of underground mining in Odessa. The residential complex «Gulfstream» located on the Genoese street, 24d (Odessa, Ukraine). It consists of four sections. Three of them have 24 storeys and one 20 storeys. The soil profile of the site consists of three soil types. The first soil type is loam of 7...8 m thickness. The loam underlain by stiff fissured limestone. The thickness of fissured limestone is 9.5...12 m. Under these layers lain the clays. The problem of this construction site is underground mining at depth of 7...8 m below the three sections (underworking area 25%). There is no underground mining below the fourth section. The height of underground mining is 2.4 m and the width is 4.0 m. An additional problem – the fissured limestone may collapse under the weight of the building (tilt of complex may be more than ultimate value). The design solution of the foundation provides the protection underground mining against destruction and provides load-bearing punching capacity of fissured limestone under the weight of the complex.

Keywords: UNDERGROUND MINING, FINITE ELEMENT METHOD, FISSURED LIMESTONE, STRESSED-DEFORMED STATE, SHEAR STRENGTH, PUNCHING SHEAR.