

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.154:624.131.542

В. Д. ПЕТРЕНКО<sup>1\*</sup>, В. І. КРИСАН<sup>2</sup>, В. В. КРИСАН<sup>3</sup>, І. С. ЧЕГОДАЄВ<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра «Транспортна інфраструктура», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

<sup>2</sup> ТОВ «Геопротект», вул. Новокримська, 5, кв. 308, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (067) 565 89 69, ел. пошта krysan.v.i@ukr.net

<sup>3</sup> ТОВ «Геобуд», вул. Новокримська, 5, кв. 308, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (067) 631 31 22, ел. пошта geobuddnepr@gmail.com

<sup>4</sup> ТОВ «ЗІМ Кепітал груп», вул. Сумська, 3, Київ, Україна, 03022, тел. +38 (044) 536 12 60, ел. пошта marketing@zim-capital.com

### ДОСВІД СПОРУДЖЕННЯ ПАЛЬОВО-ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТУ В СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

**Мета.** Актуальним питанням для будівництва фундаментів в складних інженерно-геологічних умовах є розробка нових технологій спорудження та моніторингу будинків, що споруджені в глибоких балках. Метою даної статті є розробка технології ліквідації порожнин з допомогою вертикальних жорстких ґрунтоцементних елементів. **Методика.** Використовуючи надбаний досвід проектування фундаментів в складних інженерно-геологічних умовах, було запропоновано реалізувати новий тип пальово-плитного фундаменту. Він включає в себе армовані вертикальні висячі палі, що створені на основі бурозмішувальної технології, та плитний фундамент. Також запропонований алгоритм моніторингу будинків, що споруджені в глибоких балках, та пальово-плитних фундаментів за допомогою системи свердловин та марок. **Результати.** Виконано наукове обґрунтування технології будівництва в Солом'янському районі м. Києва, де наявні такі території, які, з урахуванням змінної висоти та насиченості різними відходами, значно важко застосовувати під забудову, особливо при спорудженні будинків з великою площиною та висотою в межах 9...16 поверхів. Надані результати будівництва десятиповерхового житлового будинку каркасного типу з підпіллям довжиною 102,5 м і шириною 14,0 м. В результаті виконання дослідних робіт була отримана можливість спорудження в складних топографічних та інженерно-геологічних умовах на схилах та в центрі глибокої балки. **Наукова новизна.** На основі виконаних розрахунків отримано залежності деформованого стану пальово-плитного фундаментів під час будівництва високих житлових будівель. Доведено, що при застосуванні технології створення вертикальних висячих паль значення граничнодопустимих деформацій будинку та фундаменту відповідають вимогам діючих нормативних документів України. **Практична значимість.** Застосування пальово-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах надало змоги розробити технологію спорудження десятиповерхового будинку.

*Ключові слова:* пальово-плитний фундамент; складні інженерно-геологічні умови; ґрунтоцементні елементи; осідання фундаменту; бурозмішувальна технологія

#### Вступ

В теперішній час в багатьох містах України виконується будівництво будівель і споруд, які зростають як в плані, так і по висоті. Разом з тим, складним є питання вибору територій, які придатні для успішного будівництва в складних топографічних та інженерно-геологічних умовах (ДБН В.1.1-45:2017, 2017). В основному це глибокі балки, що використовуються як звалища різних матеріалів (побутових відходів, будівельних конструкцій, відвалів ґрунтів різного складу). Тобто разом із слабкими ґрунтовими

шарами надані матеріали надають цим територіям майже непридатні для будівництва власливості (Mitchell, Willem, & Dimillo, 1984).

Так, наприклад, в Солом'янському районі м. Києва наявні такі території, які, з урахуванням змінної висоти та насиченості різними відходами, значно важко застосовувати під забудову, особливо при спорудженні будинків з великою площиною та висотою в межах 9...16 поверхів.

Як витікає з аналізу інженерно-геологічного розрізу, максимальна товща насипних ґрунтів разом із будівельними конструкціями складає

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

10 м. Це створює значні складнощі для виконання будівельних робіт, особливо при створенні паль, оскільки даний випадок характеризується наявністю порожнин. До початку будівництва їх було вирішено ліквідувати при створенні пально-плитного фундаменту за допомогою бурозмішувальної технології (Бройд, 2004; Крисан, В. І., & Крисан, В. В., 2007; Krysan, V. I., Krysan, V. V., Petrenko, Tiutkin, & Andreev, 2019).

Ця технологія виконується шляхом буріння свердловин і нагнітання через лопатевий буровий орган при його обертанні та підйомі знизу вверх цементного розчину при тиску в системі 0,20...0,35 МПа (2,0...3,5 атм) (Kutzner, 1996; Зоценко, Петраш, Р. В., & Петраш О. В., 2010; Петренко, В. І., & Петренко В. Д., 2014). Разом з тим під час буріння пілотної свердловини може виникати зустріч з залізобетонними або бетонними конструкціями. Для буріння свердловин через такі ґрунтобетонні композити було запропоновано використовувати шарошечні долота типу К та ТК, що є ефективними при обурюванні скельних порід. Крім того, було запропоновано заповнювати порожнини розчином за допомогою спеціальних активуючих присадок, що дозволило б заповнити всі поро-

жини під залізобетонними та бетонними конструкціями (Зоценко, Винников, Ларцева, Шокарев, & Крисан, 2011; Петренко, В. Д., Тюткін, Крисан, В. І., & Крисан, В. В., 2019).

### Мета

Таким чином, актуальним питанням для будівництва фундаментів в складних інженерно-геологічних умовах є розробка нових технологій спорудження та моніторингу будинків, що зведені в глибоких балках. Метою даної статті є освоєння досвіду будівництва пально-плитного фундаменту будинку, що має основою насипні ґрунти, а в центральній частині – порожнини та водотік. Розроблення технології ліквідації порожнин з допомогою вертикальних жорстких ґрунтоцементних елементів є перспективним рішенням вказаної науково-технічної задачі.

### Методика

В цій роботі наведений приклад вирішення завдання будівництва десятиповерхового житлового будинку каркасного типу з підпіллям довжиною 102,5 м і шириною 14,0 м (рис. 1).

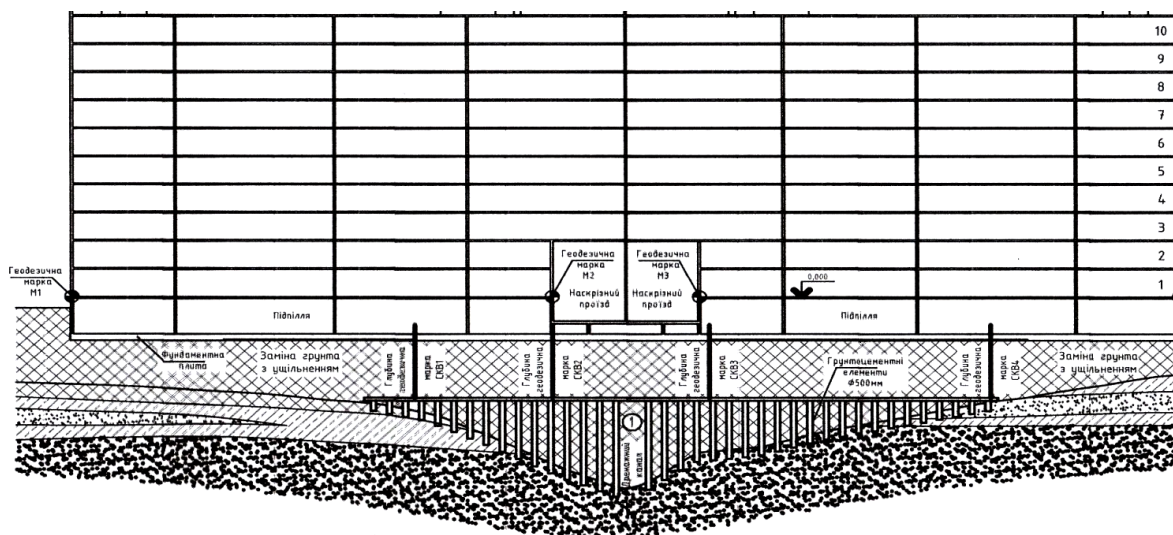


Рис. 1. Інженерно-геологічний розріз та фронтальний вигляд будинку

Висота поверху складає 3,0 м та підпілля 4,0 м, тому запроєктована висота будівлі 30,0 м. Зовнішнє заповнення стін виконувалося газобетонними блоками, навантаження на ґрунт за розрахунком складає 130,0 кН/м<sup>2</sup>.

Будинок повинен був будуватися на місті хаотичного звалища в балці глибиною 8,0...11,0 м і шириною 55,0...60,0 м, тобто балка знаходилася під центральною частиною будинку, що проєктувався.

Інженерно-геологічні елементи в ґрунтовій основі були представлені шаруватими відкладеннями, починаючи з верхньої частини у вигляді насипного ґрунту з суміші піску, шлаку і жорсткості із включеннями будівельних відходів (фрагменти цегляної кладки, бетону, глиби пісковику, подрібнена цегла, щебінь скельних порід), які заповнювали балку.

Схили балки складені шарами піщанистих супісків і суглинку. На висоті від дна балки 5,0...8,0 м розташований рівень ґрунтових вод, що суттєво знижує несучу здатність основи в центральній частині запроектованої будівлі.

Тому виникла необхідність зміцнення ґрунтів на звалищі в зоні балки, що в практиці виконання робіт такого плану раніше не здійснювалося. Перед початком проектування та будівництва було виконано роботи по закріпленню насипних ґрунтів на двох дослідних ділянках, де було відпрацьовано технологію робіт.

Оскільки було запропоновано закріпити центральну частину основи у вигляді засміченої балки за допомогою паль на основі бурозмішувальної технології, при якій палі під тиском заповнюються цементом в розчиненому стані. Його консистенція повинна відповідати наступним вимогам: 1) не розшаровуватися на компоненти при нагнітанні; 2) тужавіти та твердіти в водонасичених ґрунтах; 3) контролювані початком тужавіння, що дозволяє проводити технологічні операції; 4) формувати структуру, що має задані фізико-механічні характеристики; 5) мати достатню міцність.

Основною метою процесу було створення пальово-плитного фундаменту з високими показниками несучої здатності.

### Результати

Базуючись на даних, що були отримані при проведенні лабораторних робіт по визначенню

фізико-механічних характеристик зразків ґрунтоцементних матеріалів та результатах дослідно-промислових робіт при ідентичних умовах було вирішено запроектувати і побудувати житловий будинок. Будівництво на місці балки, що заповнена будівельним сміттям, потребувало розробки котловану поперек балки на всю довжину фундаменту і закріплення ґрунтів і сміття. Під дном котловану, де знаходилися незасмічені супіщані ґрунти, закріплення не було передбачене.

Водотік по дну балки та рівень ґрунтових вод потребував заходів, щоб будинок не створював підпір води та не виник баражний ефект. Для цього було вирішено в центральній частині стелі закласти чотири, а в боковій – дві геодезичні марки для високоточного геодезичного нівелювання.

Основу плитного фундаменту будівлі товщиною 600 мм складають насипні ґрунти, що закріплювалися на довжині 55,0...60,0 м вертикальними жорсткими ґрунтоцементними елементами різної довжини діаметром 500 мм. Вони розташовувалися в шаховому порядку з відстанню між осями 1500 мм. Обпирання кінців паль проводилося на піщані ґрунти, глибина залягання яких визначалася при бурінні. По виготовлених палях укладався вирівнюючий шар піщано-щебеневого складу. Далі було виготовлено залізобетонну плиту і по ній був відсипаний шар ґрунту з ущільненням, що став основою плитного фундаменту.

Таким чином в центральній частині будівлі був створений пальово-плитний фундамент, що розміщений на ґрунтоцементних палях, та плитний на флангах будинку, основою якого був шар ущільненого ґрунту, частково розміщений на плиті, а частково на природних супіщаних ґрунтах. Геодезичні марки для моніторингу переміщень розміщено також на ґрунтоцементних палях і конструкції будинку (рис. 2).

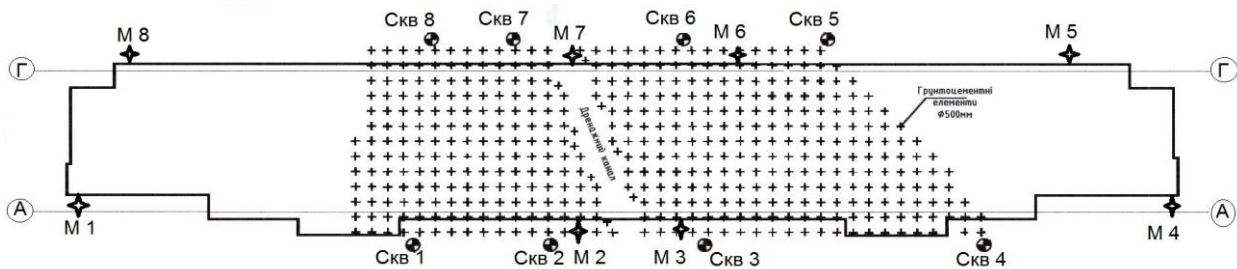


Рис. 2. Розміщення спостережних марок

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Конструкція марок дозволяє фіксувати осідання плити, при цьому природні та інші фактори не могли негативно відобразитися на результатах. На будинку марки розташовувалися так, як це виконується при високоточному нівелюванні.

За базову відмітку було обрано показник міської триангуляційної системи, що дозволило виконувати контроль змінності висотного по-

ложення марок. При цьому, марки, які розміщувались на плиті, позначалися умовною позначкою СКВ з номером, а розміщені на будинку – як М з відповідним номером.

Контроль вертикальних деформацій було вирішено проводити в процесі будівництва. Таким чином, нівелювання проводилося при висоті будівлі 3; 6; 9; 12; 15; 18; 21; 24; 30 м. Результати замірів наведені в табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Результати контролю вертикальних деформацій (по профілю А-А)

Висота будинку	Відмітки							
	М-1	СКВ-1	СКВ-2	М-2	М-3	СКВ-3	СКВ-4	М-4
+3,00	185,016	181,303	181,377	185,300	185,057	181,365	181,402	185,021
+6,00	185,016	181,303	181,370	185,297	185,054	181,364	181,402	185,021
+9,00	185,015	181,318	181,371	185,297	185,054	181,364	181,407	185,021
+12,00	185,011	181,315	181,371	185,293	185,052	181,362	181,401	185,019
+15,00	185,011	181,307	181,371	185,283	185,040	181,351	181,398	185,013
+18,00	185,010	181,308	181,370	185,283	185,040	181,350	181,398	185,012
+21,00	185,005	181,308	181,370	185,283	185,040	181,350	181,398	185,011
+24,00	185,007	181,308	181,370	189,283	185,040	181,350	181,398	185,011
+30,00	185,006	181,300	181,333	185,267	185,020	181,341	181,388	184,983
Після заселення	185,004	181,298	181,330	185,266	185,018	181,340	181,387	184,983
Осідання, мм	0,012	0,005	0,047	0,034	0,039	0,025	0,015	0,038

Таблиця 2

Результати контролю вертикальних деформацій(по профілю Г-Г)

Висота будинку	Відмітки							
	М-8	СКВ-8	СКВ-7	М-7	М-6	СКВ-6	СКВ-5	М-5
+3,00	185,259	181,415	181,336	185,324	185,098	181,380	181,386	185,088
+6,00	185,239	181,392	181,314	185,301	185,072	181,352	181,369	185,060
+9,00	185,240	181,371	181,318	185,300	185,072	181,352	181,371	185,060
+12,00	185,232	181,371	181,310	185,293	185,067	181,343	181,367	185,054
+15,00	185,229	181,371	181,296	185,285	185,059	181,342	181,358	185,052
+18,00	185,230	181,370	181,297	185,284	185,058	181,341	181,358	185,050
+21,00	185,232	181,370	181,297	185,283	185,052	181,341	181,358	185,050
+24,00	185,231	181,370	181,297	185,283	185,058	181,341	181,358	185,050
+30,00	185,231	181,367	181,292	185,277	185,051	181,341	181,357	185,040
Після заселення	–	181,365	181,291	185,273	185,050	181,340	181,357	185,039
Осідання, мм	0,028	0,050	0,045	0,051	0,048	0,040	0,029	0,049

В табл. 1 були занесені марки, що розміщені по профілю А-А, на одній з довгих сторін, а в табл. 2 – по профілю Г-Г на іншій довгій стороні. Аналіз значень свідчить, що максимальні осідання приходяться на центральну частину пальово-плитного фундаменту і дорівнює про-

філю А-А для СКВ-2 – 47 мм; для М-2 – 34 мм; для М-3 – 39 мм, а в профілі Г-Г для СКВ-7 – 45 мм; для М-7 – 51 мм; для М-6 – 48 мм.

Необхідно також відмітити завищені показники деформацій в боковій частині пальово-плитного фундаменту по профілю А-А, де зна-

чення осідань складають для СКВ-3 та СКВ-4 відповідно 25 та 15 мм, а в профілі Г-Г значення осідань для М-6 складають 48 мм, СКВ-6 – 40 мм, СКВ-5 – 29 мм.

Важливо також відмітити показники деформацій в М4 (профіль А-А), що дорівнює 38 мм і в СКВ-4 (профіль Г-Г) – 49 мм, що обумовлено відсутністю паль, а тільки наявністю плитного фундаменту (рис. 3).

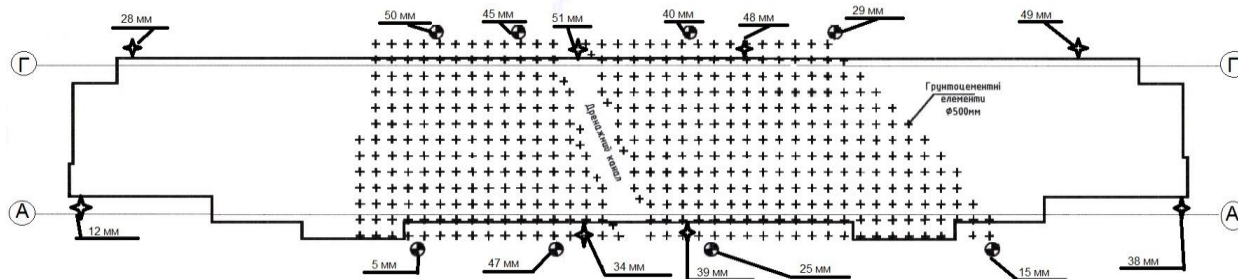


Рис. 3. Максимальні осідки по марках

### Наукова новизна та практична значимість

На основі виконаних розрахунків отримано залежності деформованого стану пально-плитного фундаментів під час будівництва високих житлових будівель. Доведено, що при застосуванні технології створення вертикальних висячих паль значення граничнодопустимих деформацій будинку та фундаменту відповідають вимогам загальної міцності, стійкості і тріщиностійкості будівлі. Застосування пально-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах надало змоги розробити технологію спорудження будинку.

### Висновки

В результаті виконання дослідних робіт була отримана можливість спорудження десятиповерхового будинку в складних топографічних та інженерно-геологічних умовах на схилах та в центрі глибокої балки. Аналіз наукових результатів надає змогу зробити висновок, що розроблена технологія надає змогу підсилення насипних ґрунтів в балках вертикальними жорсткими ґрунтоцементними елементами, які мають високий ступінь надійності при створенні в тому числі і пально-плитних фундаментів в складних інженерно-геологічних умовах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Krysan, V. I., Krysan, V. V., Petrenko, V., Tiutkin, O., & Andreev, V. (2019). Improving the safety of soil foundations when they are restored using soil-cement elements. *2nd International Scientific and Practical Conference "Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport"*.

- Kutzner, C. (1996). *Grouting of rock and soil*. A. A. Balkema.
- Mitchell, J. K., Willem, C. B., & Dimillo, A. F. (1984). Soil Reinforcement for stabilization of Earth Slopes and Embankments. *Public Roads*, 3(48), 88-95.
- Бройд, И. И. (2004). *Струйная геотехнология*. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов.
- ДБН В.1.1-45:2017 (2017). *Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення*. Київ: Мінрегіонбуд.
- Зоценко, М. Л., Винников, Ю. Л., Ларцева, І. І., Шокарев, В. С., & Крисан, В. І. (2011). Характеристики штучних твердих ґрунтів, які поліпшені бурозмішувальним методом. *Світ геотехніки*, 3, 14-18.
- Зоценко, М. Л., Петраш, Р. В., & Петраш О. В. (2010). Контроль за якістю ґрунтоцементних елементів, які виготовлені за бурозмішувальною технологією. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*, 56, 188-193.
- Крисан, В. І., & Крисан, В. В. (2007). Армування насипу підходів земляного полотна до шляхопроводу ґрунтоцементними палями. *Армування основ при будівництві та реконструкції будівель*, 66, 204-211.
- Петренко, В. І., & Петренко В. Д. (2014). Обоснование параметров химического закрепления ґрунтов при строительстве Киевского метрополитена. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 4, 60-66.
- Петренко, В. Д., Тютькін, О. Л., Крисан, В. І., & Крисан, В. В. (2019). Відновлення міцносних та деформативних характеристик земляного полотна та його основи армуванням ґрунтоцементними елементами. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 16, 65-74.



V. D. PETRENKO<sup>1\*</sup>, V. I. KRYSAN<sup>2</sup>, V. V. KRYSAN<sup>3</sup>, I. S. CHEHODAIEV<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Department «Transport Infrastructure» of Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

<sup>2</sup> Geoprotect LLC, app. 308, Novokrimska Str., 5, Dnipro, Ukraine, 49000, tel. +38 (067) 565 89 69, e-mail krysan.v.i@ukr.net

<sup>3</sup> Geobud LLC, app. 308, Novokrimska Str., 5, Dnipro, Ukraine, 49000, tel. +38 (067) 631 31 22, e-mail geobuddnepr@gmail.com

<sup>4</sup> ZIM Capital Group LLC, Sumska Str., 3, Kyiv, Ukraine, 03022, tel. +38 (044) 536 12 60, e-mail marketing@zim-capital.com

## EXPERIENCE OF CONSTRUCTION OF THE PLATE AND PILE FOUNDATION IN COMPLEX ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

**Purpose.** An urgent issue for the construction of foundations in complex engineering and geological conditions is the development of new technologies for the construction and monitoring of buildings built in deep beams. The purpose of this article is to development a technology for eliminating cavities with the help of vertical rigid soil-cement elements. **Methodology.** Using the experience gained in designing foundations in complex engineering and geological conditions, it was proposed to implement a new type of pile-slab foundation. It includes reinforced vertical hanging piles based on drilling and mixing technology and a slab foundation. An algorithm for monitoring houses built in deep gorges and pile-slab foundations using a system of wells and marks is also proposed. **Findings.** Scientific substantiation of construction technology in Solomianskyi District of Kyiv has been performed, where there are areas that, given the variable height and saturation of various wastes, are very difficult to use for construction, especially in the construction of houses with large area and height within 9 ... 16 floors. The results of construction of a ten-storey frame-type residential building with an underground length of 102.5 m and a width of 14.0 m are presented. **Originality.** Based on the performed calculations, the dependences of the deformed state of the pile-slab foundations during the construction of high-rise residential buildings are obtained. It is proved that when applying the technology of creating vertical hanging piles, the values of maximum allowable deformations of the house and the foundation meet the requirements of current regulations of Ukraine. **Practical value.** The use of pile-slab foundation in complex engineering and geological conditions made it possible to develop the technology of construction of a ten-storey building.

**Keywords:** pile-slab foundation; complex engineering and geological conditions; soil-cement elements; subsidence of the foundation; drilling and mixing technology

### REFERENCES

- Krysan, V. I., Krysan, V. V., Petrenko, V., Tiutkin, O., & Andreev, V. (2019). Improving the safety of soil foundations when they are restored using soil-cement elements. *2nd International Scientific and Practical Conference "Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport"*. (in English)
- Kutzner, C. (1996). *Grouting of rock and soil*. A. A. Balkema. (in English)
- Mitchell, J. K., Willem, C. B., & Dimilllo, A. F. (1984). Soil Reinforcement for stabilization of Earth Slopes and Embankments. *Public Roads*, 3(48), 88-95. (in English)
- Broyd, I. I. (2004). *Struynaya geotekhnologiya*. Moskva: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov. (in Russian)
- DBN V.1.1-45:2017 (2017). *Budivli i sporudy v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. Zahalni polozhenia*. Kyiv: Minrehionbud. (in Ukrainian)
- Zotsenko, M. L., Vynnykov, Yu. L., Lartseva, I. I., Shokarev, B. C., & Krysan, V. I. (2011). Kharakterystyky shtuchnykh tverdykh gruntiv, yaki polipsheni burozmishuvalnym metodom. *Svit heotekhniki*, 3, 14-18. (in Ukrainian)
- Zotsenko, M. L., Petrash, R. V., & Petrash O. V. (2010). Kontrol za yakistiu gruntotsementnykh elementiv, yaki vyhotovleni za burozmishuvalnoiu tekhnolohiieiu. *Budivnytstvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannia*, 56, 188-193. (in Ukrainian)
- Krysan, V. I., & Krysan, V. V. (2007). Armuvannia nasypu pidkhodiv zemlianoho polotna do shliakhoprovodu gruntotsementnymu paliamy. *Armuvannia osnov pry budivnytstvi ta rekonstruksii budivel*, 66, 204-211. (in Ukrainian)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

---

Petrenko, V. I., & Petrenko V. D. (2014). Obosnovanie parametrov khimicheskogo zakrepleniya gruntov pri stroitelstve Kievskogo metropolitena. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 4, 60-66. (in Russian)

Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., Krysan, V. I., & Krysan, V. V. (2019). Vidnovlennia mitsnosnykh ta deformatyvnykh kharakterystyk zemlianooho polotna ta yoho osnovy armuvanniam gruntotsementnyimi elementamy. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 16, 65-74. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 01.03.2021.

Прийнята до друку 29.03.2021.