

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК [624.131.33:624.137.7:519.876.5]

В. П. КУПРІЙ^{1*}, Є. Ю. КУЛАЖЕНКО^{2*}, А. С. ГУДКОВА³

^{1*} Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (097) 464 05 28, ел. пошта kurgiy@i.ua, ORCID 0000-0002-7564-5191

^{2*} Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, ел. пошта jaksson7777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

^{3*} Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 636 56 76, ел. пошта antoninahudkova@gmail.com, ORCID 0000-0002-9531-2191

МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ КОНСТРУКЦІЇ КРІПЛЕННЯ КОТЛОВАНУ ТА ҐРУНТУ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (МСЕ)

Мета. Достовірне відображення сумісної роботи огороження котловану та оточуючого масиву за допомогою програмного комплексу Lira, що базується на методі скінчених елементів. **Методика.** Для вирішення проблеми сумісної роботи системи «кріплення-оточуючий масив» проведено числове моделювання методом скінчених елементів (МСЕ), за результатами розрахунків побудовані графіки та встановлені залежності деформування кріплення котлованів при зміні параметрів оточуючого масиву. **Результати.** За результатами розрахунків були встановлені залежності деформування елементів кріплення котлованів від навантажень, які створює оточуючий масив при варіантах кріплення відкосів з застосуванням огороження, що виконано за допомогою спеціального способу «стіна в ґрунті», та закріплення їх стін додатковими елементами кріплення у вигляді ґрунтоцементних анкерів та розстрілів. **Наукова новизна.** Порівняно та виявлено найбільш ефективний метод закріплення котлованів для великогабаритних підземних об'єктів, зокрема для станцій метрополітену мілкового закладення. **Практична значимість.** Запропоновані варіанти розрахунку огороження котлованів чисельним методом скінчених елементів, що дозволяє отримати повну картину зміни напружено-деформованого стану конструкції «кріплення-масив» та їх сумісної роботи в найбільш короткі терміни та з максимальним відображенням реальних умов.

Ключові слова: деформований стан; метод скінчених елементів; «стіна в ґрунті»; розстріли; ґрунтоцементні анкери

Вступ

Визначення параметрів конструкцій кріплення котлованів для заглиблених споруд потребує великої степені точності розрахунків елементів. Саме достовірне відображення параметрів напружено – деформованого стану конструкції огороження котловану забезпечує надійність та безпеку на всіх стадіях зведення підземних об'єктів, а у випадку виконання огороження котловану за допомогою спеціального способу «стіна в ґрунті» – на стадії експлуатації [1, 2].

При спорудженні глибоких котлованів (глибиною більше ніж 10 м), в конструкції кріплення виникають значні напруження та деформації. Стіни котлованів, зазвичай, укріплюють

додатково розстрілами з металевих труб діаметром до 1 м. Кількість розстрілів залежить від довжини та глибини котлованів.

Застосування додаткового закріплення відкосів за допомогою ґрунтоцементних анкерів дає змогу вивільнити простір для більш раціонального спорудження станцій та інших підземних об'єктів [6, 8, 9]. Анкерне кріплення також позитивно впливає на експлуатацію підземних споруд у випадку використання «стіни в ґрунті», як елементу несучої конструкції споруди.

Мета

Порівняння даних варіантів кріплення дає змогу проаналізувати зміну деформованого

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

стану конструкції та ефективності сумісної роботи оточуючого масиву та огороження.

Методика

Для вирішення задачі дослідження взаємодії кріплення котловану з оточуючим масивом та додатковим кріпленням застосовується комплексний підхід, який включає в себе аналіз напружено-деформованого стану (НДС) при математичному моделюванні. Такий підхід до цієї задачі дає змогу з'ясувати залежності або закономірності формування НДС конструкції кріплення котловану та ґрунту із різним варіантом додаткового кріплення (розстріли, анкери), так як результати та математичне моделювання виявляє достатню або недостатню відповідність застосованих моделей реальному котловану [2]. Користуючись результатами порівняльного аналізу можна корегувати розроблені моделі таким чином, щоб у подальшому їх застосування надавало результати, які відповідають реальній поведінці «стіни в ґрунті» із оточуючим ґрунтовим масивом та додатковим кріпленням [12].

В якості математичного моделювання задачі взаємодії «стіни в ґрунті» з оточуючим масивом обрано числовий аналіз за допомогою ме-

тоду скінчених елементів [5]. Не наводячи інформації щодо сутності методу, яка описана в багатьох класичних аналітичних працях, слід відмітити, що МСЕ є найбільш прогресивним методом числового імітаційного моделювання, так як він дозволяє проводити дослідження складних заглиблених і підземних споруд із взаємодією оточуючого масиву. Аналізуючи ряд переваг наданого методу, слід відмітити те, що при вирішенні задач МСЕ не потребує введення в розрахункові схеми (СЕ-моделі) ніяких додаткових припущень, тобто вплив невизначених параметрів на результати розрахунку мінімальний [13].

Результати

Для визначення напружено-деформованого стану конструкції котловану та визначення найбільш оптимального методу закріплення «стіни в ґрунті» було побудовано об'ємні скінчено-елементні моделі в програмному комплексі ЛИРА [3, 4, 11].

Розміри котловану обрано для спорудження станції метрополітену мілкого закладення, що наведені на рис. 1. Ширина котловану складає 21,00 м, довжина – 105,00 м глибина – 12,00 м

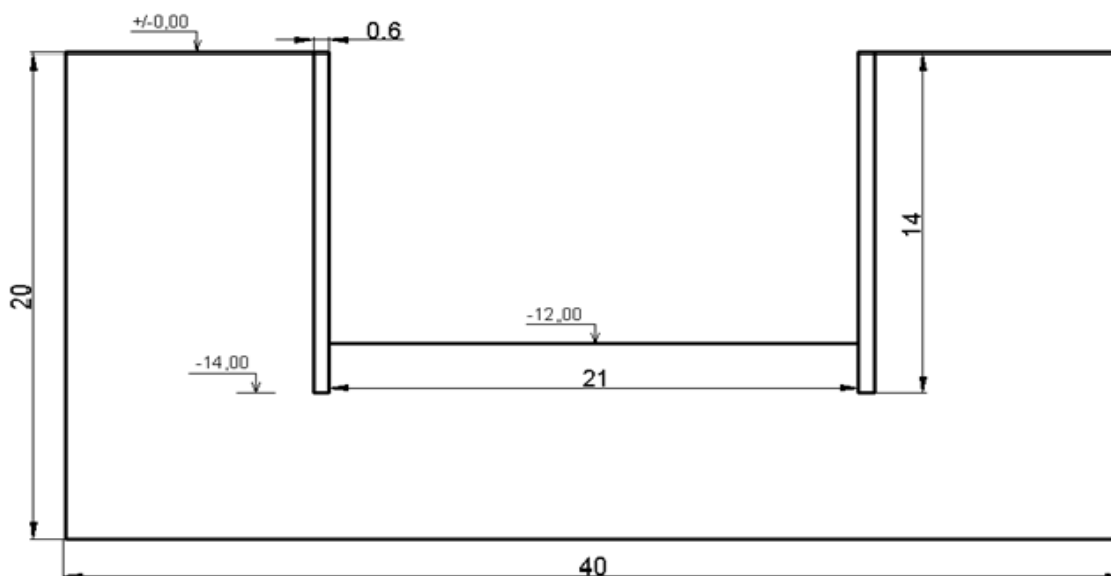


Рис. 1. Схема котловану та огороження за допомогою «стіни в ґрунті» без додаткового кріплення

При моделюванні стану конструкції кріплення котловану, відкоси якого закріплені способом «стіна у ґрунті» сумісно з оточуючим ґрунтовим масивом розроблено скінчено-елементну модель № 1 (рис. 2). Розміри сторони кубічних скінчених елементів прийняті

0,6 м. Заборона переміщень прийнята вздовж осей X, Y, Z, для основи та в напрямках X, Y на крайніх гранях, що лежать в площинах YoZ та XoZ відповідно. Залізобетонна стіна має наступні розміри: висота 14 м, ширина 0,6 м, заглиблення виконано нижче дна котловану на 2 м.

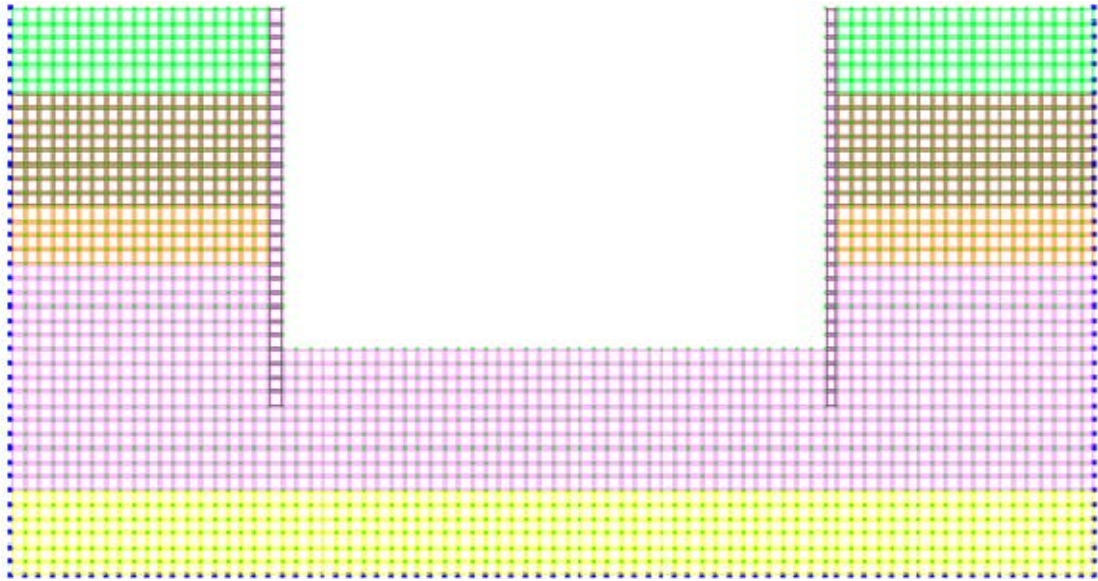


Рис. 2. Скінчено-елементна модель котловану № 1

Особливістю даної моделі є те, що «стіна в ґрунті» розраховується без додаткового закріплення її елементами (розстрілами та анкерами).

На рис. 3 показано скінчено-елементну модель для розрахунку напружено-деформованого стану конструкції кріплення котловану способом «стіна у ґрунті» з анкерним кріпленням в сумісній роботі з оточуючим ґрунтовим масивом. Розроблено скінчено-елементну модель, в якій розміри сторін квадратних скінчених еле-

ментів прийняті 0,6 м. Заборона переміщень прийнята вздовж осей X, Y, Z для основи та в напрямках X, Y на крайніх гранях, що лежать в площинах YoZ та XoZ відповідно.

Залізобетонна стіна має розміри аналогічні попередньому варіанту. При цьому анкери мають діаметр 0,05 м, довжину 9,00 м, і ширину робочої зони 4,00 м, і розміщені в три горизонтальних ряди через 3,0 м.

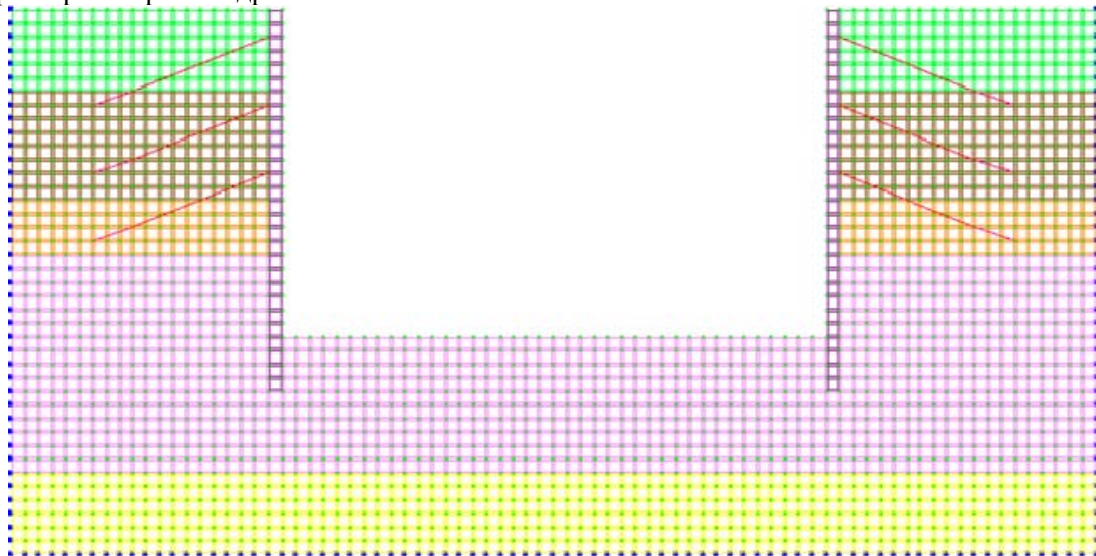


Рис. 3. Скінчено-елементна модель котловану № 2

Модель № 3 котловану розроблена аналогічно «стіні в ґрунті» моделі № 1. Анкерне кріплення розміщене аналогічно моделі № 2. Та додатково введено один ряд розстрілів, що роз-

міщені на рівні верху котловану. Діаметр розстрілів становить 0,63 м. Модель наведено на рис. 4.

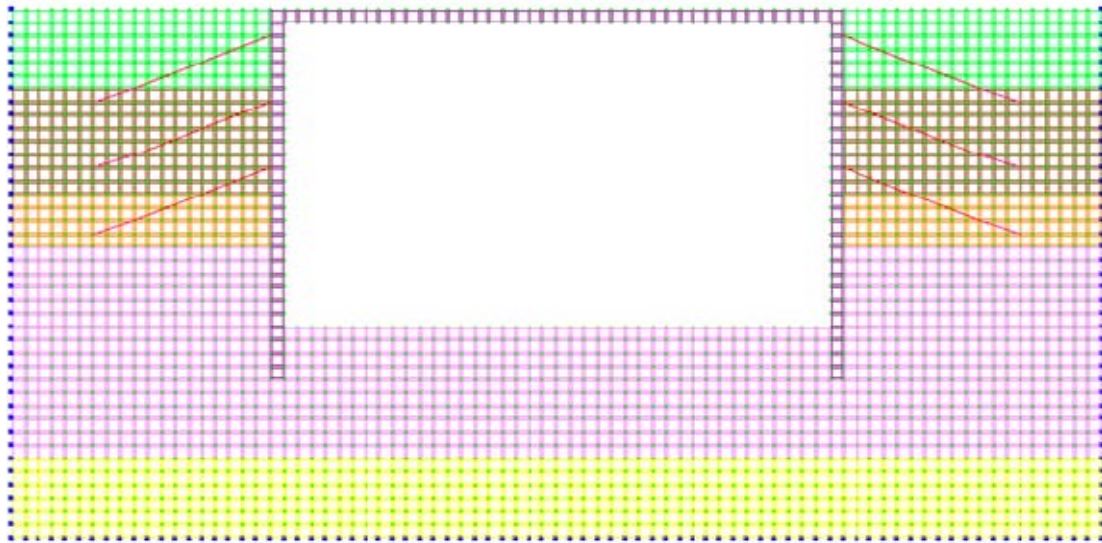


Рис. 4. Скінчено-елементна модель котловану № 3

Для подальшого розрахунку сумісної роботи котловану та оточуючого масиву за допомогою скінчених елементів, які відповідають розміщенню «стіни в ґрунті», шарам ґрунтів та додатковим елементам кріплення були присвоєні характеристики жорсткості матеріалів, які чисельно відображають деформативні характеристики матеріалів (модуль деформації та коефіцієнт Пуассона), та величини власної ваги матеріалів [7].

Характеристики вищевказаних параметрів наведені в табл. 1

Таблиця 1

Характеристики скінчених елементів

№ типу жорсткості	Назва елемента	E , $кН / м^3$	ρ , $кН / м^3$	μ
Ґрунти				
1	Супісок	15000	16,2	0,3
2	Суглинок	25000	20,1	0,3
3	Суглинок	25000	18,8	0,3
4	Глина	30000	19,2	0,3
5	Пісок	75000	17,5	0,3
Залізобетон				
6	В50	3×10^6	24,5	0,2
Сталь				
7	Анкер	$2,1 \times 10^7$	77,0	0,3
8	Розстіл	$2,1 \times 10^7$	77,0	0,3

Розрахунок варіантів був проведений на навантаження від власної ваги з коефіцієнтом за навантаженням прийнятий рівним 1,2.

Отримані результати розрахунку показують реальні відображення деформацій стін котловану. При розрахунку варіанту № 1, 2 і 3 було отримано результати горизонтальних та вертикальних переміщень конструкцій, що наведені на рис. 5, 6 і 7, відповідно.

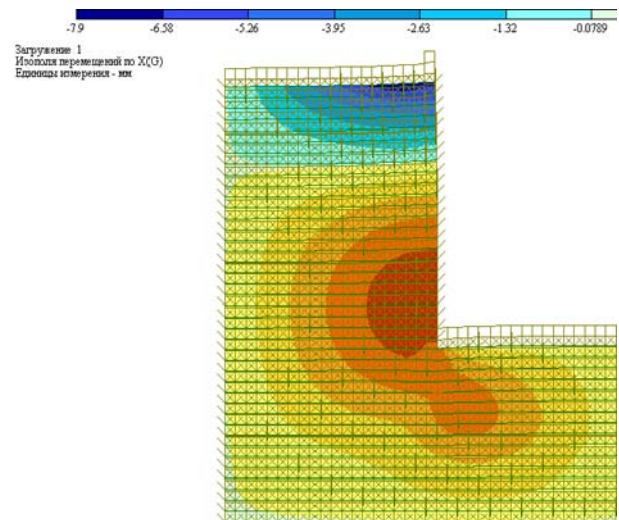


Рис. 5. Діаграма горизонтальних переміщень. Варіант № 1

Як видно з рисунку (див. рис. 6) величини горизонтальних переміщень, від власної ваги конструкції при введенні трьох рядів анкерів додаткового кріплення «стіни в ґрунті», зменшилися несуттєво, всього на 2 %.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

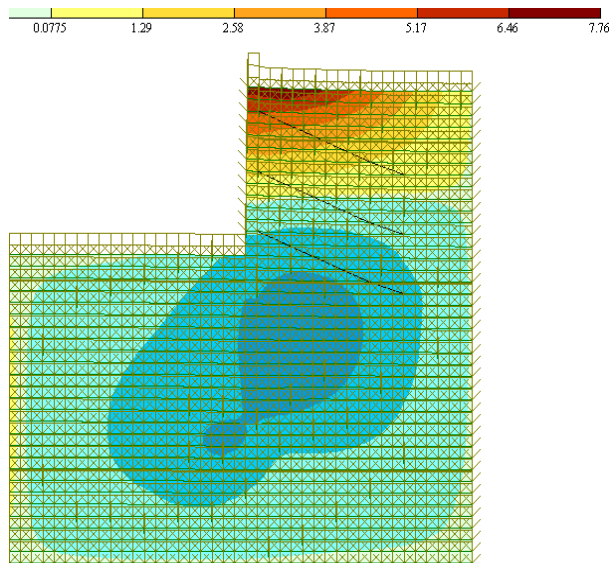


Рис. 6. Діаграма горизонтальних переміщень.
Варіант № 2

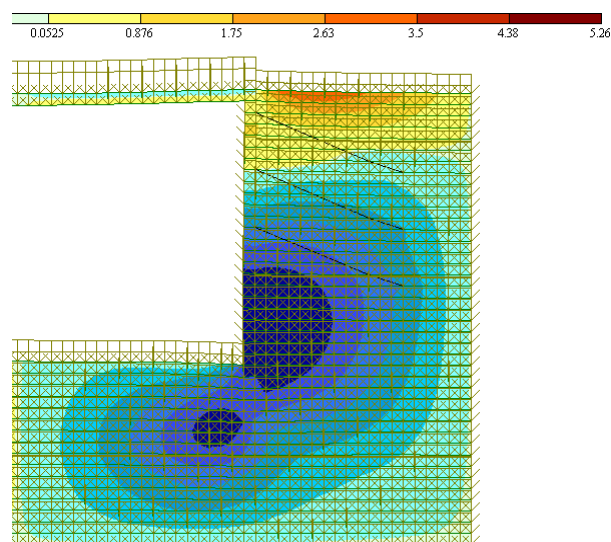


Рис. 7. Діаграма горизонтальних переміщень.
Варіант № 3

При додатковому закріпленні стін котлованів за допомогою одного ряду розстрілів на рівні верху котловану отримано дещо іншу картину. Горизонтальні переміщення зменшилися вдвічі, що забезпечує використання «стіни в ґрунті» як несучої конструкції станції. Розрахунки за напруженнями показують, що напруження в стіні мають значний запас міцності.

Як альтернативу закріпленню стін за допомогою анкерів було розроблено додаткову модель, яка включає в себе додатковий нижній пояс розпірок з легкого бетону, що споруджується нижче рівня дна котловану (рис. 8).

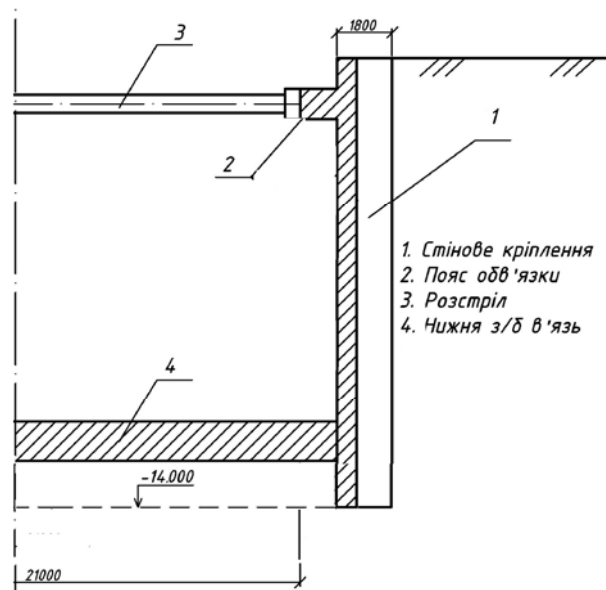


Рис. 8. Модель з додатковим нижнім поясом розпірок на дні котловану

При розрахунку даної моделі було виявлено, що величини горизонтальних переміщень зменшились до 20 мм. Це дозволяє вважати дану модель особливо ефективною.

Наукова новизна та практична значимість

Метод скінчених елементів, при розрахунку об'єктів підземного будівництва, має великий ряд переваг. В першу чергу це стосується ефективності вирішення поставлених задач в стислі строки з урахуванням в максимальній степені деталювання конструкції та факторів, які впливають на конструкцію кріплення.

Конструкція закріплення стін котловану з використанням одного ряду розстрілів та нижніх розпірок досить матеріалоємна, проте перевагою цієї конструкції слугують два фактори.

Перший фактор базується на зміні принципової розрахункової схеми з так-званої «коритної» на жорсткий замкнутий контур. Бічний тиск оточуючого масиву даної схеми, на відміну від класичної схеми котловану (бічний тиск сприймається розстрілами та ґрунтом), повністю сприймається розстрілами та нижніми розпірками.

Як альтернативу нижнім розпіркам при положенні рівня ґрунтових вод вище дна котловану, можна використати січні палі виконані за ґрунтоцементною технологією, за умови, що дно котловану представлене ґрунтами з висо-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ким коефіцієнтом фільтрації – у якості захисту котловану від ґрунтових вод.

На стадії будівництва дана модель дозволяє збільшити ширину сприйняття розстрілом навантажень, тобто збільшити крок між розстрілами, що суттєво відобразиться на швидкості спорудження станції за рахунок зменшення операцій монтажу/демонтажу розстрілів [10].

Дана конструкція також дозволяє зменшити витрати на спорудження фундаменту станції та покращити її експлуатаційні характеристики, оскільки виникають динамічні навантаження від рухомого складу метропоїзду.

Висновки

На основі проведених досліджень було визначено, що максимальні переміщення «стіни в ґрунті» припадають на верхню її частину та становлять 7,9 см. При введенні додаткового кріплення у вигляді розстрілів та анкерів величини переміщень зменшились вдвічі. А при застосуванні додаткових нижніх розпірок – величина горизонтальних переміщень зменшилась до 9 мм.

Аналіз напружено-деформованого стану розробленої конструкції дозволяє зробити висновок, що вона має достатньо великий запас міцності для ефективного використання в подальшому елементів кріплення котловану, як раціональну конструкцію при спорудженні станції метрополітену мілкого закладення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бугаева, Т. Н. Особенности возведения зданий в условиях городской застройки [Текст] / Т. Н. Бугаева // Технические науки : Вестник ПсковГУ. – Псков, 2015 – Вып. 1. – С. 116-120
2. Купрій, В. П. Моделювання напружено-деформованого стану кріплення глибокого котловану [Текст] / В. П. Купрій, Д. В. Тютюкін // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вып. 3. – С. 89-94.
3. Лучковский, И. Я. Применение модели слоя конечной ширины к исследованию распределения давления грунта на подпорные стены при наличии местных загрузок на поверхности [Текст] / И. Я. Лучковский, А. М. Данько,

- А. В. Самородов // Дороги і мости : зб. наук. праць ДерждорНДІ. – Київ, 2008. – Вып. 9.
4. Петраков, А. А. О расчётных моделях нелинейно-деформируемого грунтового массива [Текст] / А. А. Петраков. – Полтава : ПТУ, 1995.
5. Петренко, В. Д. Проблема визначення деформацій оправи перегінних тунелів при суттєвій зміні інженерно-геологічних умов [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, Є. Ю. Кулаженко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вып. 5. – С. 62-69.
6. Фролов, Ю. С. Метрополитены. Учебник для вузов [Текст] / Ю. С. Фролов, Д. М. Голицынский, А. П. Ледяев. – Москва : Желдориздат, 2001. – 528 с.
7. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – Киев : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
8. Ghorbani A., Hasanzadehshooili H., Šapalas A., Lakirouhani A. Buckling of the steel liners of underground road structures: the sensitivity analysis of geometrical parameters. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. Vilnius, Technika Publ., 2013, vol. VIII, no 4, pp. 250-254.
9. Chang-Yu Ou Deep Excavations. Theory and Practice. London, Taylor & Francis Publ., 2006. 532 p.
10. Zheng Gang, Shao-wei Wei Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels. Journal of Central South University. Tianjin, Central South University Publ., 2012, vol. 15, issue 2 Supplement, pp. 69-75.
11. Chakeri H., Hasanpour R., Hindistan M. A., Ünver B. Analysis of interaction between tunnels in soft ground by 3D numerical modeling. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. Berlin, Springer Berlin Heidelberg Publ., 2013, vol. 70, issue 3, pp. 439-448.
12. Yugov A. M., Novikov N. S., Gavrilyuk A. S. Geotechnical monitoring while construction the «diaphragm wall» in restricted conditions. Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering. Bulletin of MGSU. Moscow, 2015, issue 7, pp. 57-68.
13. Zotsenko M. L., Ivanchenko V. H. Analysis of pressiometric research of base compressibility strengthened with the soil-cement using the drilling-mixing technology. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2015, vol. 5, issue 5 (77), pp. 24-29.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

В. П. КУПРИЙ^{1*}, Е. Ю. КУЛАЖЕНКО^{2*}, А. С. ГУДКОВА³

^{1*} Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (097) 464 05 28, эл. почта kurgiy@i.ua, ORCID 0000-0002-7564-5191

^{2*} Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, эл. почта jaksson7777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

³ Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 636 56 76, эл. почта antoninahudkova@gmail.com, ORCID 0000-0002-9531-2191

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ КОТЛОВАНА И ГРУНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ)

Цель. Истинное отображение совместной работы ограждения котлована и окружающего массива с помощью программного комплекса Lira, который базируется на методе конечных элементов. **Методика.** Для решения проблемы совместной работы системы «крепление – окружающий массив» проведено численное моделирование методом конечных элементов (МСЕ), по результатам расчетов построены графики и установлены зависимости деформирования крепления котлованов при изменении параметров окружающего массива. **Результаты.** По результатам расчетов были установлены зависимости деформирования элементов крепления котлованов от нагрузок, которые создает окружающий массив при вариантах крепления откосов с помощью ограждения, которое выполнено при помощи специального способа «стена в грунте», и закрепления их стен дополнительными элементами крепления в виде грунтоцементных анкеров и расстрелов. **Научная новизна.** Проведено сравнение и выявлен наиболее эффективный метод закрепления котлованов для крупногабаритных подземных объектов, в частности для станции метрополитена мелкого заложения. **Практическая значимость.** Предложены варианты расчета ограждения котлованов численным методом конечных элементов, что позволяет получить полную картину изменения напряженно-деформированного состояния конструкции «крепление-массив» и их совместной работы в наиболее короткие сроки и с максимальным отражением реальных условий.

Ключевые слова: деформированное состояние; метод конечных элементов; «стена в грунте»; анализ деформаций; расстрелы; грунтоцементные анкеры

V. P. KUPRIY^{1*}, Ye. Yu. KULAZHENKO^{2*}, A. S. GUDKOVA³

^{1*} Department «Tunnels bases and foundations» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 464 05 28, e-mail kypriy@i.ua, ORCID 0000-0002-7564-5191

^{2*} Department «Tunnels bases and foundations» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 768 49 21, e-mail jaksson7777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

^{3*} Department «Tunnels bases and foundations» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 636 56 76, e-mail antoninahudkova@gmail.com, ORCID 0000-0002-9531-2191

SIMULATION OF JOINT WORK OF CONSTRUCTION MOUNTING HOLES AND SOILS WITH USING FINITE ELEMENT METHOD (FEM)

Purpose. The aim of this article is a true display of teamwork of the pit protection fence and surrounding massif by means of the Lira software complex, which is based on the finite elements method. **Methodology.** To solve the problem of teamwork of the system «support surrounding massif» a numeral simulation of finite-element method (FEM) has been conducted, by the results of calculations have been carried out constructions of the pots and the dependences of deforming pit protection fence support elements by changing of the massif parameters. **Findings.** By the results of calculations have been established the dependences of the deforming of pit support elements from loads, which is created the surrounding massif by variants of slop supporting by means fence that has been carried

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

out with using of special method «slurry wall» and fastening their walls by additional elements of support in a slate the soil and cement anchors and buntions. **Originality.** There was conducted comparison and exposed the most effective method of pits fastening in particular for metro station of shallow contour. **Practical value.** The variants of pits fence calculations by numerical method of finite elements have been proposed to provide a complete picture off strain state changing of design «support-massif» and their teamwork at the most short terms and with maximum reflection of real conditions.

Keywords: deformed state; finite-element method; «Slurry wall»; buntions; soil and cement anchors

REFERENCES

1. Bugaeva T. N. Osobennosti vozvedeniya zdaniy v usloviyakh gorodskoy nastroyki [Particularly the construction of buildings in urban areas]. *Vestnik PskovGU "Tekhnicheskie nauki"* [Bulletin of Pskov state university "Technical science"], 2015, issue 1, pp. 116-120.
2. Kuprii V. P., Tiutkin D. V. Modelyuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu kriplennya hlybokoho kotlovanu [Modeling stress-strain state of mount deep ditch]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana "Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka"* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice"], 2012, issue 3, pp. 89-94.
3. Luchkovskiy I. Ya., Danko A. M., Samorodov A. V. Primenenie modeli sloya konechnoy shiriny k issledovaniyu raspredeleniya davleniya grunta na podpornye steny pri nalichki mestnykh zagruzok na poverkhnosti [Application of model of layer of finite width to research of distributing of pressure of soil on bulkhead walls at presence of local loadings on surface]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho dorozhnoho naukovo-doslidnoho instytutu imeni M. P. Shulghina "Dorohy i mosty"* [Proc. Of State Road Research Institute named after M.P. Shulgin "Roads and bridges"], 2008, issue 9.
4. Petrakov A. A. *O raschetnykh modelyakh nelineyno-deformiruemogo gruntovogo massiva*. Poltava, PTU Publ., 1995.
5. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Kulazhenko Ye. Yu. Problema vyznachennya deformatsiy opravy perehnykh tuneliv pry suttyeviy zmini inzhenerno-heolohichnykh umov [The problem of determining deformations settings tunnels with significant changes geotechnical conditions]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana " Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka "* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice"], 2014, issue 5, pp. 62-69.
6. Frolov Ju. S., Golicynskij D. M., Ledjaev A. P. *Metropoliteny* [Subways]. Moscow, Zheldorizdat Publ., 2001. 528 p.
7. Karpilovskiy V. S., Kriksunov E. Z., Perelmuter A. V. et al. SCAD dlya polzovatelya [SCAD for the user]. Kiev, VVP «Kompas» Publ., 2000. 332 p.
8. Ghorbani A., Hasanzadehshooili H., Šapalas A., Lakirouhani A. Buckling of the steel liners of underground road structures: the sensitivity analysis of geometrical parameters. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. Vilnius, Technika Publ., 2013, vol. VIII, no 4, pp. 250-254.
9. Chang-Yu Ou *Deep Excavations. Theory and Practice*. London, Taylor & Francis Publ., 2006. 532 p.
10. Zheng Gang, Shao-wei Wei Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels. *Journal of Central South University*. Tianjin, Central South University Publ., 2012, vol. 15, issue 2 Supplement, pp. 69-75.
11. Chakeri H., Hasanpour R., Hindistan M. A., Ünver B. Analysis of interaction between tunnels in soft ground by 3D numerical modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Berlin, Springer Berlin Heidelberg Publ., 2013, vol. 70, issue 3, pp. 439-448.
12. Yugov A. M., Novikov N. S., Gavrilyuk A. S. Geotechnical monitoring while construction the «diaphragm wall» in restricted conditions. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering. Bulletin of MGSU*. Moscow, 2015, issue 7, pp. 57-68.
13. Zotsenko M. L., Ivanchenko V. H. Analysis of pressiometric research of base compressibility strengthened with the soil-cement using the drilling-mixing technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, vol. 5, issue 5 (77), pp. 24-29.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н., проф. А. А. Плугіним (Україна).

Надійшла до редколегії 14.09.2015.

Прийнята до друку 28.09.2015.