

АНОТАЦІЯ

Белікова С. І. Закономірності напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2024.

Дисертація присвячена розробці наукової ідеї обґрунтування напружено-деформованого стану похилої виробки, представленої в дисертаційній роботі ескалаторним тунелем метрополітену, що споруджується новоавстрійським способом. Ця ідея базується на визначенні закономірностей напружень і деформацій багатошарового кріплення, яке створюється при зміні видів тимчасового кріплення та під час застосування двох різних типів додаткового закріплення ґрунтів – заморожування і цементації. Актуальність проведеного дослідження обумовлена потребою наукового обґрунтування параметрів похилих виробок (ескалаторних тунелів) під час будівництва метрополітенів.

Визначення закономірностей напружено-деформованого стану похилої виробки реалізується шляхом аналізу результатів чисельного аналізу стадій будівництва ескалаторного тунелю із застосуванням різних типів тимчасового кріплення в процесі заморожування ґрунтів або цементації масиву. Основою узагальнення є закономірності напружено-деформованого стану конструкції похилого тунелю, а їх пошук є метою дисертаційної роботи.

Для її досягнення в дисертаційній роботі проведено аналіз стану досліджень, розглянуто специфіку будівництва ескалаторних тунелів метрополітену в Україні та світі, а також особливості аналітичного, експериментального та чисельного підходів до пошуку закономірностей напружень та деформацій похилих виробок.

На основі результатів критичного аналізу обрано чисельний підхід як

такий, що найбільш адекватний для пошуку закономірностей напружено-деформованого стану. Створено 2D скінченно-елементні моделі ескалаторного тунелю для умов Дніпровського метрополітену, кожна з яких дозволила варіювати види тимчасового кріплення (арки, анкери, набризк-бетон) та властивості оточуючого масиву.

На основі створених скінченно-елементних моделей проведено чисельний аналіз похилої виробки, закріпленої різними видами тимчасового кріплення. За результатами аналізу вперше отримано закономірності зміни переміщень та силових факторів тимчасового кріплення похилої виробки, які доводять, що величини нормальних сил на всіх стадіях його роботи зменшуються від п'яти до замку в 2,35...5,35 разів, разом з тим згинальні моменти від п'яти до замку збільшуються від 2,4 до 11,3 разів, причому менше значення характерне для стадії розкриття штроси. Ці закономірності характеризують наукову новизну дисертаційної роботи.

За допомогою створених скінченно-елементних моделей вперше проведений порівняльний аналіз двох варіантів закріплення слабких ґрунтів (заморожування і цементації) з урахуванням стадійності спорудження кріплення похилого ходу, який довів зменшення вертикальних переміщень для випадку цементації, при якому вертикальні максимальні переміщення менше в 6,36 разів у першій стадії розробки та 5,67 разів у другій стадії на відміну від заморожування. Отримані закономірності також складають наукову новизну дисертаційної роботи.

В ході геодезичного моніторингу під час будівництва ескалаторного тунелю Дніпровського метрополітену були отримані результати маркшейдерських випробувань, що проаналізовані. В роботі наведена практична реалізація теоретичних побудов. Описані характерні результати проведення буровибухових робіт і застосування хімічного закріплення слабких ґрунтів шляхом цементації.

Ключові слова: похилий тунель, ескалаторний тунель метрополітену, Новоавстрійський метод спорудження тунелів, тимчасове кріплення,

цементация, заморожування ґрунтів, чисельний аналіз, закономірності напружено-деформованого стану.

Список публікацій аспірантки.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Тютькін, О. Л. Порівняльний аналіз технологій спорудження ескалаторного тунелю Дніпровського метрополітену NATM [Текст] / Тютькін О. Л., Купрій В. П., Белікова С. І. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2021. – № 20. – С. 79-85. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/245600> (фахове видання)

2. Тютькін, О. Л. Обґрунтування розрахункової стратегії дослідження конструкції похилого тунелю, що споруджується NATM [Текст] / Тютькін О. Л., Белікова С. І. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2022. – № 21. – С. 97-103. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/258295> (фахове видання)

3. Белікова, С. І. Обґрунтування вибору розрахункової моделі ескалаторного тунелю в плоскій і просторовій постановках [Текст] / Белікова С. І., Тютькін О. Л. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2023. – № 23. – С. 37-44. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281127> (фахове видання)

4. Белікова, С. І. Обґрунтування технології спорудження ескалаторного тунелю на основі результатів натурних досліджень [Текст] / Белікова С. І., Тютькін О. Л. // Наука та прогрес транспорту. – 2023. – № 2 (102). – С. 115-123. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2023/288957> (фахове видання)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Купрій, В. П. Аналіз напружено-деформованого стану системи «Тимчасове кріплення калоти – ґрунтовий масив» під час проходки штроси [Текст] / Купрій В. П., Купрік С. І.* // Матеріали 78 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2018. – С. 218-219. (тези конференції)

6. Купрій, В. П. Аналіз напружено-деформованого стану тимчасового

кріплення під час проходки NATM [Текст] / Купрій В. П., Купрік С. І.*, Кріпак Є. // Матеріали 79 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2019. – С. 258-259. Електронна версія: С. 265-266. **(тези конференції)**

7. Купрік, С. І. Аналіз особливостей NATM для вирішення задачі спорудження ескалаторного тунелю метрополітену [Текст] / Купрік С. І.*, Тютюкін О. Л. // Тези доповідей I Міжнародної науково-технічної конференції «Транспортні споруди: стан, проблеми збереження, ремонт», м. Харків, 15 листопада 2019 р. – С. 19-21. **(тези конференції)**

8. Kuprii, V. Numerical analysis of changing the force factors in temporary lining at the tunnel construction by the NATM [Електронний ресурс] / Kuprii V., Petrenko V., Kuprik S.*, Kripak Ye. // International Conference Essays Of Mining Science And Practice // E3S Web of Conferences 109, 00044 (2019), DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900044> **(тези конференції; видання індексується у наукометричній базі Scopus)**

9. Тютюкін, О. Л. Визначення силових факторів в оправі як первинний етап обґрунтування технології NATM [Текст] / Тютюкін О. Л., Купрій В. П., Белікова С. І. // Матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2021. – С. 258-259. Електронна версія: С. 195-196. **(тези конференції)**

10. Radkevych, A. The comparative analysis of the stress-strain state of the support of the escalator tunnel constructed in weak soils by the NATM [Електронний ресурс] / Radkevych A., Tiutkin O., Kuprii V., Bielikova S. // III International Conference Essays of Mining Science and Practice // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, Volume 970, 012002 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012002> **(тези конференції; видання індексується у наукометричній базі Scopus)**

***Примітка.** С. І. Купрік – дівоче прізвище С. І. Белікової.

Внесок авторки у наукові публікації, що написані у співавторстві: в публікаціях [8] і [10], що індексуються у наукометричній базі Scopus, С. І. Белікова (Купрік) була авторкою створення скінченно-елементних моделей ескалаторного тунелю і проводила чисельний аналіз; у фахових статтях [1-4] ставила науково-технічну задачу, аналізувала отримані результати, брала участь у формуванні висновків; в тезах конференцій [5-7] і [9] визначала мету і надавала матеріали для аналізу.

ABSTRACT

Sofia Bielikova Regularities of the stress-strain state of multilayer lining of inclined tunnels constructed by the New Austrian tunneling method. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 192 – Building Industry and Civil Engineering. – Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, 2024.

The dissertation is dedicated to the development of a scientific idea of substantiating the stress-strain state of an inclined excavation, represented in the dissertation by an escalator tunnel of the metro, constructed by the New Austrian tunneling method. This idea is based on determining the regularities of stresses and deformations of multilayer lining, which is created when the types of temporary lining are changed and during the application of two different types of additional lining of soils – freezing and cementation. The relevance of the research is due to the need for the scientific substantiation of the parameters of inclined excavation (escalator tunnels) during the construction of metros.

Determining the regularities of the stress-strain state of an inclined excavation is performed by analyzing the results of the numerical analysis of the stages of the construction of the escalator tunnel with the use of various types of temporary linings in the process of freezing the soil or cementing the massif. The basis of the generalization is the regularities of the stress-strain state of the inclined tunnel structure, and search for them is the goal of the dissertation work.

To achieve it, the dissertation analyzed the state of research, considered the specifics of the construction of escalator tunnels of the metro in Ukraine and the world, as well as the features of analytical, experimental and numerical approaches to finding regularities of stresses and deformations of inclined excavations.

Based on the results of the critical analysis, the numerical approach was chosen as the most adequate for finding regularities of the stress-strain state. 2D finite-element models of the escalator tunnel were created for the conditions of the Dnipro

metro, each of which allowed varying the types of temporary lining (arches, anchors, shotcrete) and the properties of the surrounding massif.

On the basis of the created finite-element models, a numerical analysis of the inclined excavation fixed by various types of temporary lining was carried out. Based on the results of the analysis, for the first time the regularities of changes in displacements and force factors of temporary lining of an inclined excavation were obtained, which prove that the values of normal forces at all stages of its operation decrease from the heel to the lock by 2.35 ... 5.35 times, at the same time, bending moments from heel to lock increase from 2.4 to 11.3 times, and a smaller value is characteristic of the stage of opening of the strosse. These regularities characterize the scientific novelty of the dissertation work.

With the help of the created finite element models, a comparative analysis of two options for fixing weak soils (freezing and cementation) was carried out for the first time, taking into account the phasing of the construction of the inclined passage, which proved a decrease in vertical movements in the case of cementation, in which the vertical maximum movements are 6.36 times less in the first stage of development and 5.67 times in the second stage in contrast to freezing. The obtained regularities also constitute the scientific novelty of the dissertation work.

In the course of geodetic monitoring during the construction of the escalator tunnel of the Dnipro metro, the results of surveying tests were obtained and analyzed. The work presents the practical implementation of theoretical constructions. Characteristic results of drilling and blasting operations and the use of chemical stabilization of weak soils by cementation are described.

Keywords: inclined tunnel, metro escalator tunnel, New Austrian tunneling method, temporary lining, cementation, soil freezing, numerical analysis, patterns of stress-strain state.