Прийнято до спеціалізованої вченої ради ДФ 08.084.033 13.08.2024р.

Голова с.в.р. д.т.н., проф. Банніков Д.О.

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри «Будівельне виробництво та геодезія»
Українського державного університету науки і технологій
Нетеси Миколи Івановича
на дисертаційну роботу **Бєлікової Софії Іванівни**
«Закономірності напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Повторний запуск будівництва Дніпровського метрополітену в 2016 році, коли розпочалося втілення в життя проєкту турецької компанії «Лімак», виявив ряд технологічних проблем, що пов'язані з недостатньою імплементацією напрацьованих українських рішень та тих європейських, що стали новими для будівництва України. Основи Новоавстрійського способу спорудження тунелів (далі – НАТМ), розроблені в 60-х роках XX сторіччя і вже успішно реалізовані в світі протягом 60 років, в українських реаліях потребували вивчення і засвоєння. Разом із розумінням принципів НАТМ на практиці потребувалися зміни різних технологій, які вимагали наукового обґрунтування.

Особливу складність відчула технологія спорудження похилих ходів для ескалаторного тунелю. Окрім того, що будівництво цього об'єкту мало іншу технологічну послідовність, ніж ту, що пропонувалася раніше до цього, її реалізація ускладнювалася інженерно-геологічними умовами м. Дніпра. Залягання ескалаторних тунелів станцій «Центральна» і «Музейна» характеризується наявністю двох товщ, що мають різні міцнісні та деформаційні параметри: зверху залягають відносно слабкі ґрунти (піски, супіски, суглинки), а знизу, після зони дроблення, існує потужна зона гранітів.

Безсумнівно, така інженерно-геологічна ситуація потребувала, окрім вже розроблених основ НАТМ, індивідуального підходу до кожної товщі, які під кутом 30° перетинає ескалаторний тунель. Було запроєктовано стадійне розкриття перерізу по частинах (верхня – калота, нижня – штроса) та застосування багатошарового кріплення, характерного для НАТМ.

Наукове обґрунтування, яке було виконане в дисертаційній роботі, включало в себе отримання закономірностей напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються НАТМ, і характеризується науковою новизною і актуальністю, яка полягає в потребі наукових результатів, що дозволяють врахувати складну конструкцію оправи, а також особливість інженерно-геологічної ситуації.

Застосування авторських теоретичних положень під час розрахунку оправи ескалаторного тунелю Дніпровського метрополітену також свідчить про актуальність дисертаційної роботи Бєлікової С. І., характеризуючи її практичне значення для будівельної галузі.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематики науково-дослідних робіт Українського державного університету науки і технологій, а саме держбюджетних науково-дослідних робіт «Теоретико-практичні основи визначення напружено-деформованого стану в оправах підземних конструкцій метрополітенів» (номер державної реєстрації 0121U108031) та «Обґрунтування інноваційних технологій спорудження тунелів і метрополітенів» (номер державної реєстрації 0123U101271).

Авторка була виконавицею робіт за вказаними науково-дослідними роботами, результати дисертаційної роботи у вигляді результатів чисельного аналізу використані під час написання звіту обох вказаних робіт. Участь аспірантки в двох науково-дослідних роботах, що присвячені, з одного боку, теоретичним та практичним основам визначення напружень і переміщень в оправах конструкцій метрополітенів, а, з іншого боку, інноваційним технологіям, зокрема впровадженню Новоавстрійського методу спорудження підземних об'єктів Дніпровського метрополітену, характеризує її дисертаційну роботу як таку, що дістала достатньо широке впровадження.

3. Ступінь обґрунтованості основних наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації забезпечується коректним застосуванням

математичного апарату, високим рівнем володіння розрахунковим комплексом «ЛІРА» та порівнянням результатів чисельного аналізу із результатами геодезичного моніторингу під час будівництва ескалаторного тунелю Дніпровського метрополітену.

4. Наукова новизна і практичне значення дисертаційної роботи

Наукова новизна отриманих результатів полягає в обґрунтуванні напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом, а саме:

1. 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.

Теоретичне значення дисертаційної роботи Бєлікової С. І. полягає в отриманні закономірностей напружень і переміщень багатошарового кріплення, які дозволяють врахувати стадійність проведення робіт по розкриттю гірничої виробки та застосуванню закріплення оточуючого масиву. Отримані закономірності, які входять в перше наукове положення, доводять вплив технології розкриття виробки, яка для похилого тунелю є великою. Безсумнівно, що закономірності напружено-деформованого стану є основою для наукового обґрунтування багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються НАТМ.

2. 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.

Закріплення слабких ґрунтів на основі заморожування до отримання

досвіду спорудження Дніпровського метрополітену превалював над всіма іншими, незважаючи на певні недоліки його реалізації. Спорудження похилих ходів на основі цементації в м. Дніпрі, як було проаналізовано аспіранткою, потребувало постановки під питання способу заморожування. В другому науковому положенні, яке отримане на основі аналізу результатів чисельних розрахунків, з високою ступеню довіри доведено, що цементація має більшу ефективність під час закріплення масиву на відміну від заморожування.

Практичне значення полягає в розробці положень чисельного розрахунку, які застосовують в ході рішення отримані закономірності і таким чином дозволяють контролювати напружено-деформований стан оправи похилої виробки шляхом підбору комбінації тимчасового кріплення та влаштування додаткового хімічного закріплення оточуючого масиву.

Отримані авторкою теоретичні закономірності напружено-деформованого стану реалізовані нею в практичній методиці створення скінченно-елементних моделей, які дозволяють змінювати параметри арочного та анкерного кріплення, а також умови закріплення масиву під час заморожування або цементації. Виконані практичні розрахунки ескалаторного тунелю Дніпровського метрополітену характеризують високий рівень практичного значення дисертаційної роботи Бєлікової С. І.

5. Оцінка змісту дисертації

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг – 108 сторінок, з них 89 сторінок основного тексту, 34 рисунки на 33 сторінках, 2 таблиці на 2 сторінках, список використаних джерел з 95 назв на 10 сторінках.

У вступі наведені дані щодо актуальності дисертаційної роботи, її мети і завдань, об'єкту, предмету та методів рішення, дані про наукову новизну та практичне значення та інші об'єктивні дані щодо виконаної наукової роботи в рамках дисертації на здобуття вченого звання «доктор філософії».

В першому розділі проведено огляд проблем проєктування і спорудження похилих тунелів NATM. Навіть при всій розробленості в Європі цього методу

спорудження підземних об'єктів, порівняльний аналіз технологій спорудження ескалаторного тунелю доводить, що похилий хід по причині свого орієнтування в породному масиві, перетині різних геологічних формацій та потенційній взаємодії з ґрунтовими водами є найскладнішою конструкцією для спорудження. Обґрунтування розрахункової стратегії дослідження конструкції похилого тунелю, що споруджується NATM, яке виконане авторкою, також доводить складність виявлення напружено-деформованого стану цього підземного об'єкту.

В другому розділі виконане математичне моделювання багатошарового кріплення похилих тунелів на основі методу скінченних елементів. Авторкою була проведена постановка задачі 2D і 3D моделювання ескалаторного тунелю і виконано чисельний аналіз зміни силових факторів в тимчасовому кріпленні при спорудженні тунелю новоавстрійським способом. Постановка тимчасового кріплення для НАТМ є особливим етапом методу, оскільки саме під час нього, завдяки сумісному деформуванню масиву та елементів кріплення, породний масив розвантажується і стає готовим для постановки вторинної основної оправи. Важливим є те, що, як і в третьому розділі, авторка відтворює в скінченно-елементних моделях поетапність спорудження, що дозволяє відтворити формування загального напружено-деформованого стану багатошарового кріплення.

В третьому розділі авторка отримала закономірності напружено-деформованого стану багатошарової системи «кріплення-масив», що є новими науковими результатами та характеризують наукову новизну дисертаційної роботи. Побудовані скінченно-елементні моделі врахували як особливості технології спорудження ескалаторного тунелю (розробку калоти і штроси), так і спосіб укріплення масиву (заморожування або цементацію). Завдяки отриманим результатам можна зроблено висновок про більшу ефективність цементації при закріпленні слабких ґрунтів масиву, у якому виконується проходка похилого ескалаторного ходу за технологією NATM.

В четвертому розділі виконана практична реалізація теоретичних побудов з урахуванням маркшейдерських випробувань. Для верхньої частини

ескалаторного тунелю за допомогою даних «Лімак», отриманих під час будівництва Дніпровського метрополітену, виконане обґрунтування струминної цементації, а для нижньої частини обґрунтований новий спосіб проходки в міцних породах знизу вгору.

Загальні висновки дисертації в повній мірі відповідають поставленим задачам та відображають отримані в ході роботи результати, що є підтвердженням її завершеності та повноти дослідження.

6. Повнота опублікування матеріалів та достатність апробації

За темою дисертації на тему «Закономірності напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом» Бєліковою С. І. опубліковано 10 наукових публікацій, що повно розкривають основний зміст дисертаційної роботи та є апробацією результатів, отриманих при підготовці дисертаційної роботи, з яких 4 фахові статті в журналах категорії «Б» та 6 тез доповідей міжнародних наукових конференцій (з яких 2 індексуються у наукометричній базі Scopus).

Публікація 4 статей у фахових журналах «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика» й «Наука та прогрес транспорту», свідчить про достатній рівень опублікування матеріалів дисертації. Згідно з вимогами п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, наукові результати дисертації висвітлені не менше ніж у трьох наукових публікаціях аспірантки Бєлікової С. І. Участь в 6 профільованих конференціях, матеріали яких також опубліковані, причому 2 матеріали International Conference Essays of Mining Science and Practice й IOP Conference Series: Earth and Environmental Science індексуються в наукометричній базі Scopus, і надають змоги оцінити ступінь викладення основних положень дисертаційної роботи, характеризуючи апробаційну діяльність Бєлікової С. І. як високу.

7. Зауваження

Відмітивши позитивні сторони дисертаційної роботи Бєлікової С. І., слід також надати зауваження, які не знижують рівень наукової новизни та практичної значимості отриманих результатів і носять дискусійний характер:

1. В першому розділі детально проаналізовані технологія випереджаючого кріплення (екрани типу «амбрелла»), метод штучного заморожування ґрунту і хімічне закріплення (цементація) як методи укріплення породного масиву. Незрозуміло, чому в третьому розділі проведений чисельний аналіз другого і третього з них, а випереджаюче кріплення не розглянуте.

2. На рисунку 2.7 (стор. 54) наведено початкову скінченно-елементна модель «тимчасове кріплення – оточуючий масив», вихідні параметри якої наведено в пункті 2.3 «Чисельний аналіз зміни силових факторів в тимчасовому кріпленні при спорудженні тунелю новоавстрійським способом», однак опис по тексту граничних умов відсутній.

3. В третьому розділі під час задавання скінченно-елементній моделі деформаційних характеристик для заморожування прийнятий модуль пружності Е=120 МПа (стор. 75). В тексті дисертаційної роботи не наведено, чи відповідне значення модуля пружності замерзлого ґрунту відповідало остаточній фазі активного заморожування або було середнім значенням під час пасивного заморожування.

4. Незрозуміло, чому авторка, довівши ефективність цементації та надаючи практичний алгоритм по її застосуванню в четвертому розділі, не приводить рекомендацій з армування ґрунтоцементних колон, тобто не пропонує рішення, яке значно підвищить міцнісні та деформаційні характеристики вертикальних елементів, що утворюються під час цементації.

5. На рисунку 4.5 (стор. 94) наведено характерні деформації скельного масиву під час проведення буровибухових робіт, які характеризуються певними переборами, які авторкою характеризовані як незначні, проте в тексті не надані значення максимальних переборів, що утворилися під час вибуху, а також не наведені причини їхньої появи під час спорудження нижньої частини ескалаторного тунелю.

Загальна оцінка дисертації та її відповідність вимогам

Прорецензована дисертаційна робота є закінченим самостійним науковим дослідженням, в якому отримані нові результати, що в сукупності вирішують поставлені наукові завдання і досягають поставленої мети отримання закономірностей напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю та практичним значенням здобутих результатів дисертаційна робота Бєлікової Софії Іванівни на тему «Закономірності напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом» повною мірою відповідає змісту спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» й напряму наукових досліджень освітньо-наукової програми «Будівництво та цивільна інженерія» Українського державного університету науки і технологій, а також вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Авторка дисертаційної роботи, Бєлікова Софія Іванівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Рецензент, професор кафедри
«Будівельне виробництво та геодезія»
Українського державного університету
науки і технологій, д.т.н., професор Микола НЕТЕСА

Підпис М. НЕТЕСИ засвідчую
Начальник відділу кадрів
Леся ШМАКОВА