

Групи до спеціалізованої  
вченої ради ДФ 08.084.033  
13.08.2024р.

ВІДГУК

Голова с.в.р.

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА,

доцента кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В. О. Російського

д.т.н., проф. Харківського національного автомобільно-дорожнього університету,

кандидата технічних наук, доцента *Смолянук Надії Володимирівни*

*Баннішова Д.О.* на дисертацію *Белікової Софії Іванівни*

«Закономірності напружено-деформованого стану

багат шарового кріплення похилих тунелів,

що споруджуються новоавстрійським способом»,

подану на здобуття ступеня «доктор філософії»

зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,

галузі знань 19 – Архітектура та будівництво

### 1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Під час спорудження підземних об'єктів і метрополітенів в Україні постійно відбувається імплементація нових технологій, які дозволяють коригувати або повністю змінити концепцію підземного будівництва. Відмічається стійкий інтерес та підвищується актуальність застосування таких методів створення інфраструктурних проєктів підземного простору як Новоавстрійський спосіб спорудження тунелів (NATM). Та якщо гірничі тунелі і будуються в Україні за допомогою NATM, то проходка перегінних тунелів та похилих ескалаторних ходів викликає складність вирішення питання про доречність застосування цього нового способу саме для українських реалій будівництва.

Актуальність проведеного дослідження обумовлена потребою наукового обґрунтування параметрів похилих виробок (ескалаторних тунелів) під час будівництва метрополітенів. Виконання такої інженерної задачі в умовах слабких ґрунтів або у багат шаровому масиві потребує додаткового закріплення. На основі українського досвіду можна виділити два методу закріплення масиву навколо виробки – заморожування і цементацію. Рішення щодо застосування того чи іншого виду закріплення оточуючого масиву, складеного слабкими ґрунтами,

базується на якісному та кількісному аналізах напружено-деформованого стану (НДС) підземної споруди.

У 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. Створено 2D скінченно-елементні моделі ескалаторного тунелю для умов Дніпровського метрополітену, з можливістю варіювати види тимчасового кріплення (арки, анкери, набризк-бетон) та властивості оточуючого масиву.

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.

## **2. Зв'язок дисертації з науковими темами, програмами та планами**

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематики науково-дослідних робіт Українського державного університету науки і технологій, а саме держбюджетної науково-дослідної роботи (НДР) «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 НДР, результати дисертаційної роботи у вигляді результатів чисельного аналізу використані під час написання звіту обох НДР.

Участь Бєлікової С. І. в науково-дослідних роботах свідчить про додаткове впровадження отриманих в її дисертаційній роботі наукових результатів, що разом із публікаційною та апробаційною діяльністю характеризує дисертацію як таку, що отримала усестороннє впровадження та презентацію.

### **3. Ступінь обґрунтованості основних наукових положень і висновків**

забезпечена коректним застосуванням математичного апарату, достатнім для вирішення задач в будівельній галузі рівнем володіння розрахунковим комплексом «ЛІРА» та порівнянням результатів чисельного аналізу із результатами геодезичного моніторингу під час будівництва ескалаторного тунелю Дніпровського метрополітену.

Наукові положення та висновки, що сформульовані в дисертаційній роботі С. І. Белікової, випливають з її змісту та відображають нові результати.

### **4. Наукова новизна і практичне значення**

**Наукова новизна** дисертаційної роботи на основі отриманих авторкою закономірностей напружено-деформованого стану чітко та стисло сформульована в двох положеннях:

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.

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.

Слід відмітити, що наукова новизна отримана в ході узагальнення результатів чисельного аналізу, вихідні дані якого дозволяють оцінити його достовірність. Отримані закономірності мають функціональний вигляд, тобто можливе їхнє застосування для визначених в дисертаційній роботі умов. Отримані авторкою значення напружень і переміщень для умов метрополітену є вперше отриманими, відповідно ці наукові результати позначені науковою новизною.



**Практичне значення отриманих результатів** 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.

Розроблені Беліковою С. І. положення чисельного аналізу формують авторську методику визначення напружено-деформованого стану, що однозначно характеризує практичне значення дисертаційної роботи як високе.

## **5. Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається зі 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. Назва дисертації адекватно відображає її зміст та поставлені цілі.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження та основні задачі, які необхідно вирішити для її досягнення, а саме:

1. Провести порівняльний аналіз технологій спорудження ескалаторного тунелю і обґрунтувати розрахункову стратегію дослідження конструкції похилого тунелю, що споруджується NATM.

2. Розглянути особливості аналітичного, експериментального та чисельного підходів до пошуку закономірностей напружено-деформованого стану похилих виробок як багат шарової системи «тимчасове кріплення – оправа – оточуючий масив».

3. Створити скінченно-елементні моделі похилих виробок, що споруджуються під час будівництва Дніпровського метрополітену, кожна з яких дозволить поетапне розкриття виробки і варіацію видів тимчасової оправи (металеві арки, анкери і набризк-бетон).

4. Провести моделювання системи «похила виробка – оправа – оточуючий масив» з можливістю імітації різних видів додаткового кріплення масиву

(цементация і заморожування).

5. На основі результатів чисельного аналізу віднайти закономірності напружено-деформованого стану похилого ходу, закріпленого різними типами тимчасового кріплення.

6. Проаналізувати результати геодезичного моніторингу, отримані під час будівництва похилого ходу станції «Театральна» Дніпровського метрополітену, та навести основи практичної реалізації теоретичних побудов.

У **Розділі 1** виконаний порівняльний аналіз технологій спорудження ескалаторного тунелю. Відмічені переваги Новоавстрійського способу над звичним в українських реаліях збірним способом. Детально описана технологія, сутність і філософія NATM, як нового для України тунельного методу. За допомогою детального порівняльного аналізу був обґрунтований доцільний і раціональний спосіб закріплення слабкого масиву при спорудженні NATM для ескалаторних тунелів Дніпровського метрополітену. Розглянуті основні технології додаткового закріплення масиву, перераховані їх недоліки і переваги саме у ситуації будівництва похилої виробки. Обґрунтована розрахункова стратегія дослідження конструкції похилого тунелю, що споруджується NATM.

У **Розділі 2** продемонстрована практична реалізація 2D і 3D моделювання для поставленої задачі. Для з'ясування впливу просторового фактору розроблені скінченно-елементні моделі ескалаторного тунелю в плоскій і просторовій постановках. Виконаний аналіз напружено-деформованого стану обох варіантів. Проведено чисельний аналіз зміни силових факторів в тимчасовому кріпленні при спорудженні тунелю новоавстрійським способом на основі моделі, створеної у програмному комплексі ЛІРА. Розробка тунелю зображена стадійно, з поетапним розкриттям калоти і штроси. Визначені силові фактори у тимчасовому кріпленні.

У **Розділі 3** сформовані закономірності напружено-деформованого стану системи «кріплення – масив». Виконані моделі проходки у двох стадіях – розробка калоти і розробка штроси, з двома різними типами додаткового кріплення масиву – заморожування і цементация. Проаналізовані ізополя і ізолінії вертикальних переміщень і вертикальних напружень. На основі результатів виведені закономірності максимальних напружень і переміщень.

У **Розділі 4** описана практична реалізація теоретичних побудов на основі маркшейдерських випробувань на будівництві Дніпровського метрополітену. Обґрунтоване застосування струминної цементації в умовах слабких ґрунтів. Доведено успішне застосування NATM у міцних породах за результатом буровибухових робіт.

Висновки по роботі чітко відображають отримані наукові результати. Літературні джерела адекватно відображають стан питань світового досвіду у застосуванні NATM, існуючих методів додаткового закріплення ґрунтів, досвіду математичного моделювання і застосування програмних комплексів. Джерела країни-агресора в дисертаційній роботі Белікової С. І. відсутні.

#### **6. Аналіз викладення основних результатів дисертаційної роботи у фахових виданнях та апробаційних матеріалах**

За темою дисертації на тему «Закономірності напружено-деформованого стану багат шарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом» Беліковою 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 (з яких 2 індексуються у наукометричній базі Scopus).

Матеріали дисертаційної роботи викладалися на таких наукових заходах: 78 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», 17.05-18.05.2018 р., ДНУЗТ, 2018; I Міжнародна науково-технічна конференція «Транспортні споруди: стан, проблеми збереження, ремонт», м. Харків, 15 листопада 2019 р.; I International Conference "Essays of Mining Science and Practice", June 25-27, 2019, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine; 79 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», 16-17 травня 2019 р., ДНУЗТ, м. Дніпро; 81 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», 22-23 квітня 2021 р., ДНУЗТ; III International

Conference Essays of Mining Science and Practice, October 06-08, 2021, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine.

Аналіз викладення основних результатів дисертаційної роботи у фахових виданнях та апробаційних матеріалах свідчить про усестороннє висвітлення наукових здобутків Белікової С. І., надання можливості познайомитися з ними науковій спільноті, а матеріали, що індексуються у наукометричній базі Scopus свідчать про високий рівень наукової роботи.

### **7. Зауваження по дисертаційній роботі**

1. У першому розділі авторкою описані сутність і переваги NATM у порівнянні їх зі способом, оснований на застосуванні збірних елементів, однак не наведено розміри виробок. Незрозуміло, чи дозволяє Новоавстрійський спосіб створювати великих діаметрів у порівнянні зі стандартними способами будівництва похилих тунелів.

2. У другому розділі на рисунку 2.5 зображені просторова і плоска скінчено-елементні моделі ескалаторного тунелю, проте плоска модель також зображена об'ємною, що потребує пояснення.

3. У другому розділі на стор. 56 у тексті зазначено, що при створенні моделі для підвищення точності розрахунку та наближення його до реальних умов взаємодії в системі «тимчасове кріплення – оточуючий масив», навколо виробки відображено породний масив розмірами 40×40 метрів, дискретизований на скінченні елементи 0,5×0,5 м, проте не обгрунтований вибір саме такої кількості скінченних елементів.

4. У четвертому розділі не продемонстровані результати буровибухових робіт при проходці нижньої частини (штроси).

### **Загальний висновок по дисертаційній роботі**

На підставі аналізу дисертації Белікової Софії Іванівни «Закономірності напружено-деформованого стану багатошарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом», поданої на здобуття ступеня



«доктор філософії» зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, можна стверджувати, що робота є закінченим, самостійним науковим дослідженням, в якому отримані нові результати, що в сукупності вирішують поставлені наукові завдання і мету отримання закономірностей напружено-деформованого стану багат шарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом.

Дисертаційна робота «Закономірності напружено-деформованого стану багат шарового кріплення похилих тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом» відповідає 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., а її авторка, Белікова Софія Іванівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

**ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:**

доцент кафедри мостів, конструкцій  
і будівельної механіки ім. В. О. Російського  
Харківського національного  
автомобільно-дорожнього університету  
Міністерства освіти і науки України,  
кандидат технічних наук, доцент



Надія СМОЛЯНЮК