

Прийнято до спеціалізованої
вченої ради ДФ 08.084.034
13.08.2024р.

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри «Будівельне виробництво та геодезія»
Українського державного університету науки і технологій

Нетеси Миколи Івановича

на дисертаційну роботу **Бондаренко Наталії Костянтинівни**
«Параметричний аналіз напружено-деформованого стану
горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом»,
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

Спорудження перегінних тунелів метрополітену, які є горизонтальними виробками, завжди пов'язане з наявними інженерно-геологічними умовами їхнього залягання. Від наявності ґрунтів або гірських порід навколо виробки залежить напружено-деформований стан оправи, яка є несучою конструкцією. Важливим під час визначення напружень та деформацій такої системи «горизонтальна виробка – породний масив» є те, що обов'язковим є врахування взаємодії між двома частинами вказаної системи. Якщо ця умова не виконується, отримати адекватні дійсності параметри напружено-деформованого стану неможливо, що може призводити до порушення експлуатації метрополітену або навіть аварійних ситуацій.

Особливою складністю під час виконання цієї умови в розрахунках перегінних тунелів є те, що оточуючий породний масив частіш усього не є однорідним і має властивості анізотропії, неоднорідності або шаруватості. Шаруватий масив, який перетинається перегінним тунелем, формує кардинально інший напружено-деформований стан, ніж у випадку однорідного. Існує також складність методологічного порядку, оскільки для однорідних масивів існують фундаментальні аналітичні рішення, а для шаруватих масивів підхід до розрахунку не дуже розроблений.

Відповідно, з огляду на проаналізовані аспекти науково-технічної задачі, слід констатувати, що вирішення задачі визначення напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє з шаруватим масивом, є актуальним для галузі будівництва, а саме для спорудження перегінних тунелів

метрополітену.

Вирішення цієї науково-технічної задачі, як і було виконано в дисертаційній роботі, базується на комплексному теоретико-практичному підході, який включає в себе чисельний аналіз із отриманням узагальнених рішень визначення напружень та деформацій системи «горизонтальна виробка – оточуючий масив», а також порівняльного аналізу отриманих результатів з даними натурних маркшейдерських вимірювань переміщень оправи перегінних тунелів Київського метрополітену.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематики науково-дослідних робіт Українського державного університету науки і технологій (УДУНТ) (до грудня 2021 року – Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)), а саме держбюджетних науково-дослідних робіт «Аналітичні закономірності напружено-деформованого стану оправи шахтних стовбурів при проведенні спеціальних робіт» (номер державної реєстрації 0117U006810), «Наукове обґрунтування інноваційних технологій відновлення об'єктів транспортної інфраструктури України» (номер державної реєстрації 0119U001139), «Математичне моделювання взаємодії тимчасового кріплення з оточуючим масивом при будівництві залізничних тунелів» (номер державної реєстрації 0119U001140), «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку "Технічні науки" Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на 2021 рік» (номер державної реєстрації 0122U000381) та «Теоретико-практичні основи визначення напружено-деформованого стану в оправах підземних конструкцій метрополітенів» (номер державної реєстрації 0121U108031).

Авторка була виконавицею робіт у вказаних науково-дослідних роботах, результати дисертаційної роботи у вигляді основ параметричного аналізу застосовувалися під час роботи над ними. Достатньо довгий термін роботи над дисертацією дозволив здобувачці, окрім публікаційної діяльності, впровадити

наукові результати в 5 науково-дослідних роботах, що характеризує рівень впровадження теоретичних та практичних авторських побудов як високий. Постійна та планомірна участь здобувачки Бондаренко Н. К. в науково-дослідних роботах свідчить про її чіткий план в досягненні мети дисертаційної роботи.

3. Ступінь обґрунтованості основних наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації забезпечується коректним застосуванням математичного апарату, високим рівнем володіння розрахунковим комплексом SCAD та порівнянням результатів параметричного аналізу перегінного тунелю Київського метрополітену з інструментальними вимірюваннями переміщень оправи.

4. Наукова новизна і практичне значення дисертаційної роботи

Наукова новизна полягає в розробці основ параметричного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом, а саме:

1. Вперше з коефіцієнтом кореляції $R^2=0,97...0,99$ отримано закономірності напружень на контурі незакріпленої виробки в шаруватому масиві, які для трьох характерних точок є логарифмічними, а для двох точок мають лінійний характер, значення ж переміщень реальної закріпленої виробки на відміну від виробки з $R=1$ збільшуються в стільки разів, наскільки збільшується модуль пружності матриці при незмінному рівні напружень.

Слід підкреслити, що перше наукове положення отримане на базі масиву даних чисельних розрахунків, які потім узагальнено для отримання закономірностей напружено-деформованого стану. Причому отримані закономірності є майже функціональними і такими, що дозволяють отримати новий науковий результат аналітичного плану. Це було заявлено в задачах дисертаційної роботи і повною мірою доведено на основі чисельного аналізу в першому науковому положенні. Можна вважати, що значення переміщень реальної закріпленої виробки, які визначаються за допомогою авторського

прийому застосування виробки з одиничним діаметром, є повністю доведеними з високою мірою достовірності.

2. Вперше визначено, що для отримання напружень і переміщень незакріпленої виробки в шаруватому масиві будь-якого радіусу слід збільшити напруження в n разів (де n – відношення радіусів), а переміщення – в n^2 разів системи з одиничним радіусом $R=1$, тобто достатньо розрахувати лише один випадок шаруватості із визначеною товщиною шару та відношенням модулів пружності матриці і шару, щоб визначити напружено-деформований стан виробок з іншими геометричними і деформаційними параметрами.

Друге наукове положення також позначене науковою новизною, оскільки воно пропонує науково обґрунтоване рішення визначення напружено-деформованого стану незакріпленої виробки в шаруватому масиві. Слід підкреслити, що низка отриманих чисельних рішень дозволила обґрунтувати теоретичне положення, яке дозволяє виконувати розрахунок один раз з можливістю екстраполяції на виробки інших радіусів, що закладені в шаруватих масивах з різним сполученням модулів пружності ґрунтових шарів.

Практичне значення полягає в розробці положень параметричного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки в шаруватому масиві, який дозволяє отримувати переміщення та напруження на коловій виробці із одиничним радіусом та за допомогою авторських параметрів екстраполювати його на виробки будь-якого радіусу, а також в практичних розрахунках для незакріпленої виробки при різних значеннях уведеного авторкою χ -параметру (відношення модулів пружності матриці і шару) та для закріпленої за допомогою k -параметру (відношення модулів пружності конструкції і матриці) визначати НДС горизонтальної виробки і виконувати підбір матеріалу оправи.

В рамках дисертаційної роботи розроблений комплекс практичних методик, що дозволяють розраховувати напружено-деформований стан виробок будь-яких радіусів в незакріпленому та закріпленому варіантах за допомогою авторської системи спеціальних параметрів. Цей комплекс в дисертації було успішно втілено для вирішення задачі визначення переміщень оправи

перегінного тунелів Київського метрополітену, що залягають в шаруватому масиві.

Проведене порівняння результатів параметричного аналізу перегінного тунелю Київського метрополітену з інструментальними вимірюваннями доводить високий ступінь адекватності розроблених авторкою теоретико-практичних положень параметричного аналізу, оскільки похибка між вертикальними переміщеннями, отриманими в ході математичного моделювання та маркшейдерських вимірювань, складає 3,0...14,5 %.

5. Оцінка змісту дисертації

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг – 128 сторінок, з них 102 сторінки основного тексту, 52 рисунки на 46 сторінках, 4 таблиці на 4 сторінках, список використаних джерел з 99 назв на 11 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 виконано аналіз стану питання визначення напружено-деформованого стану системи «горизонтальна виробка – шаруватий масив». Детально розглянуто науково-технічну задачу спорудження горизонтальної виробки під час щитової проходки, яка має характерні особливості, що пов'язані з технологічним процесом розробки ґрунту, який є шаруватим. Після цього проведений аналіз методологічних підходів до шаруватості гірського масиву, ослабленого горизонтальною виробкою, в якому авторка визначила, що загального концептуального уявлення до цієї важливої проблеми розроблено не було. Аналітичний та чисельний підходи до визначення напружено-деформованого стану системи «горизонтальна виробка – породний масив» доводять, що чисельний превалює над аналітичним під час дослідження вказаної системи, однак деякі теоретичні прийоми можна також застосовувати.

В другому розділі детально розроблені теоретичні основи параметричного

аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки в шаруватому масиві. Авторка, розробивши скінченно-елементної моделі системи «горизонтальна виробка – породний масив», наводить дані первинного параметричного аналізу напружено-деформованого стану на основі моделі з одиничними параметрами і розроблює основи оригінального підходу, який вона називає скейлінг, тобто масштабування чисельного рішення для отримання узагальнених теоретичних закономірностей.

В третьому розділі авторкою проведений параметричний аналіз і отримано закономірності напружено-деформованого стану закріпленої виробки, що залягає в шаруватому масиві. Як і в другому розділі для випадку незакріпленої виробки, в третьому авторка уводить спеціальний масштабний параметр для закріпленого варіанту, який дозволяє узагальнити рішення для напружено-деформованого стану виробок будь-якого радіусу, що залягають в шаруватому масиві. Також, на основі вже розробленого авторського комплексу параметричного аналізу, проведено аналіз напружено-деформованого стану реальних перегінних тунелів метрополітену.

В четвертому розділі надане порівняння результатів параметричного аналізу перегінного тунелю Київського метрополітену з інструментальними вимірюваннями, які представляють собою результати маркшейдерських вимірювань оправи перегінних тунелів під час спорудження підземних об'єктів Київського метрополітену, виконані спеціалістами АТ «Київметробуд» та ДП «Укргеодезмарк». Це логічний методологічний хід, який підтверджує авторські теоретичні побудови, що позначені новизною, за допомогою реальних вимірювань оправи горизонтальних виробок, що залягають в шаруватому масиві.

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 «Параметричний аналіз напружено-

деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом» Бондаренко Н. К. опубліковано 12 наукових публікацій, що повно розкривають основний зміст дисертаційної роботи та є апробацією результатів, отриманих при підготовці дисертаційної роботи, з яких 3 фахові статті в журналах категорії «Б», 1 стаття, яка опублікована у періодичному виданні, що індексується у наукометричних базах Scopus або WoS, та 8 тез доповідей міжнародних наукових конференцій (з яких 3 індексуються у наукометричній базі Scopus).

Публікація 4 статей у фахових журналах «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», «Acta Technica Jaurinensis» (закордонне видання, Угорщина) й «Mining of Mineral Deposits» (український науковий журнал, що індексується у наукометричних базах Scopus та WoS), 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 здобувачки Бондаренко Н. К. Участь в 8 профільованих конференціях, матеріали яких також опубліковані, причому 3 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 Бондаренко Н. К. як високу.

7. Зауваження

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

1. Проводячи в першому розділі аналіз науково-технічної задачі спорудження горизонтальної виробки під час щитової проходки, авторка, хоча і

розглядає низку закордонних публікацій, приділяє майже всю увагу конкретним особливостям Київського метрополітену, хоча, на мій погляд, слід було б висвітлити і проблеми європейських метрополітенів.

2. На стор. 50 наведено твердження, цитую: «Авторкою пропонується система граничних умов, яка розроблена на основі положень аналітичних методів та найбільш адекватна реальним умовам поведінки системи «горизонтальна виробка – породний масив», однак не наведені докази адекватності цієї системи.

3. Слід відмітити, що в пункті 3.1 «Параметричний аналіз деформованого стану закріпленої виробки на основі еквівалентної жорсткості оправи» хоча і доволі детально наведено алгоритм процесу автоматичної тріангуляції вбудованим процесором спеціалізованого комплексу SCAD, проте не надано дані про створення саме оправи, яка є різною для двох варіантів (див. рис. 3.3).

4. Не зовсім зрозуміло, чому у випадку незакріпленої виробки параметри напружено-деформованого стану визначаються для п'яти характерних точок, а для закріпленого варіанту – лише трьох (точка 1 – склепіння, точка 3 – точка на горизонтальному діаметрі, точка 5 – лоток, див. схему на рис. 2.6, б).

5. В розділі 4 під час побудови нормованих діаграм вертикальних переміщень перегінних тунелів між станціями «Славутич» – «Осокорки», «Осокорки» – «Позняки» і «Позняки» – «Харківська» пікові значення вертикальних переміщень дещо згладжені. На мій погляд, до вже побудованих трьох кривих слід було добудувати четверту, яка враховувала б ці аномальні значення.

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, тобто розробки теоретико-практичних основ параметричного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю та практичним значенням здобутих результатів дисертаційна робота Бондаренко Наталії Костянтинівни на тему «Параметричний аналіз напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом» 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, Бондаренко Наталія Костянтинівна, 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



*М. НЕТЕСА засвідчує
надавши відрив картки
Лесі ШЛАКОВИЧ*