

Здійнято до спеціалізованої
вченої ради ДФ 08.084.034
13.08.2024р.

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри «Транспортна інфраструктура»

Голова с.в.р.

д.т.н., проф.



Банчинів Д.О.

Українського державного університету науки і технологій,
кандидата технічних наук, доцента Купрія Володимира Павловича
на дисертаційну роботу Бондаренко Наталії Костянтинівни
на тему «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

Актуальність теми дисертаційної роботи

Щитова проходка тунелів на сьогодні є найефективнішим способом їхнього спорудження, широко розповсюдженим під час будівництва метрополітенів у світі. За допомогою тунелепрохідницьких щитів споруджуються перегінні тунелі – горизонтальні виробки, що є найбільш протяжними підземними спорудами. Розвиток тунелепрохідницьких щитів дозволив створити агрегати для різноманітних інженерно-геологічних умов – від пливунів до міцних магматичних порід. Особливості геологічних формацій, що складають ґрунтовий або породний масив, є основними факторами під час вибору щиту та специфіки його роботи.

Так, наприклад, інженерно-геологічні умови м. Києва під час будівництва мілкозакладеної частини метрополітену характеризуються шаруватістю, наявністю слабких порід (піски, супіски, суглинки), підвищеною водонасиченістю. Неврахування такої об'єктивної картини може призвести до невірної вибору прохідницького щита або ускладнень в роботі вірно обраного агрегату для проходки. Це пояснюється тим, що шаруватий масив, в якому проходять горизонтальну виробку, створює навколо неї неоднорідний і змінний напружено-деформований стан, котрий пояснюється різницею деформаційних характеристик шарів. Задача в цьому випадку ускладнюється тим, що під час проектування слід обрати правильний матеріал оправи та характер її елементів – блоків або тюбінгів.

На відміну від відомих класичних рішень незакріпленої виробки в однорідному масиві, аналітичних рішень для напружено-деформованого стану виробки в шаруватому масиві в загальному виді не існує. Існуючі рішення, отримані в теоретичному руслі, можливо застосовувати лише для конкретних випадків шаруватості, оскільки їхнього узагальнення не було проведене. Відповідно, розробка теоретико-практичних основ чисельного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом є актуальною науковою задачею, що виникла в галузі будівництва, а її рішення характеризується науковою новизною і практичним значенням для будівництва метрополітенів.

Зв'язок дисертації з науковими темами, програмами та планами

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 (НДР) «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 НДР, результати дисертаційної роботи у вигляді основ параметричного аналізу застосовувалися під час роботи над ними.

Наукова новизна і практичне значення дисертаційної роботи

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці теоретико-практичних основ параметричного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом, а саме в двох наукових положеннях:

1. Вперше з коефіцієнтом кореляції $R^2=0,97\dots0,99$ 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.

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.

Аналіз наукових результатів, узагальнення та систематизація яких дозволили сформулювати два наукові положення, свідчить про їх високий ступінь довіри, оскільки вони були отримані в ході коректно проведеного чисельного аналізу, а також порівняні з результатами маркшейдерських вимірювань під час будівництва та експлуатації Київського метрополітену. Ці два положення пов'язані між собою, оскільки отримані для закріпленої та незакріпленої горизонтальної виробки в шаруватому масиві і за допомогою отриманих закономірностей повною мірою описують їхній напружено-деформований стан. В цих положеннях чітко і компактно сформульована наукова новизна, що отримана в ході математичного моделювання методом скінченних елементів, а потім для теоретичного узагальнення вибудована в систему спеціальних масштабних параметрів.

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.

На основі розробленої авторкою методики чисельного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки в шаруватому масиві розроблено рекомендації щодо вибору матеріалу оправи в залежності від деформаційних властивостей шарів масиву, що також підтверджує практичне значення дисертаційної роботи Бондаренко Н. К.

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** обґрунтовано актуальність теми кваліфікаційної роботи, наведено дані про мету, об'єкт, предмет, методи вирішення, надані формальні ознаки роботи та поставлені її основні завдання:

1. Провести аналіз стану питання визначення напружено-деформованого стану системи «горизонтальна виробка – шаруватий масив», зокрема методологічних підходів до шаруватості гірського масиву, ослабленого горизонтальною виробкою.

2. Створити скінченно-елементні моделі системи «горизонтальна виробка – породний масив», які дозволяють варіацію радіусу виробки та деформаційних властивостей шаруватого масиву, зокрема моделі з одиничними параметрами.

3. Розробити основи параметричного аналізу визначення напружено-деформованого стану горизонтальної незакріпленої або закріпленої виробок, обґрунтувавши авторські гіпотези результатами чисельного аналізу скінченно-елементних моделей при варіації їхніх деформаційних та геометричних властивостей.

4. Визначити параметр масштабування напружено-деформованого стану незакріпленої виробки в однорідному та шаруватому породних масивах, обґрунтувавши його уведення в систему параметричного аналізу результатами розрахунків скінченно-елементних моделей та отримавши закономірності, що дозволяють екстраполювання авторських рішень на інші розрахункові випадки.

5. Виконати параметричний аналіз деформованого стану закріпленої виробки, увівши поняття еквівалентної жорсткості оправи, та отримати закономірності її напружено-деформованого стану в шаруватому масиві.

6. Провести порівняння результатів параметричного аналізу перегінного тунелю Київського метрополітену з інструментальними вимірюваннями і оцінити достовірність розробленої авторкою системи параметричного аналізу.

В **першому** розділі проведено дослідження літературних джерел, яке мало три напрямки: аналіз науково-технічної задачі спорудження горизонтальної виробки під час щитової проходки; аналіз методологічних підходів до шаруватості гірського масиву; розгляд аналітичного та чисельного підходів до визначення напружено-деформованого стану системи «горизонтальна виробка – породний масив». Проаналізовані напрямки мають логічний зв'язок зі сформульованими задачами дисертаційної роботи і надають можливість досягнути її мети. З'ясовано, що задача визначення напружено-деформованого стану системи «виробка – масив» потребує нового підходу до її вирішення, уточнюючи власні можливості та окреслюючи потенціал вже отриманих результатів.

В **другому** розділі викладено та обґрунтовано основи параметричного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки в шаруватому масиві. Під параметричним аналізом в рамках дисертаційної роботи Бондаренко Н. К. розуміється чисельний аналіз на основі методу скінченних елементів, в ході якого

конкретне чисельне рішення за допомогою визначених авторських алгоритмів екстраполюється на інші розрахункові випадки. Для проведення чисельного аналізу створено скінченно-елементні моделі системи «горизонтальна виробка – породний масив», які дозволяють варіацію радіусу виробки та деформаційних властивостей шаруватого масиву, зокрема моделі з одиничними параметрами. Наукові результати, отримані під час математичного моделювання, дозволили сформулювати перше наукове положення.

В **третьому** розділі виконано параметричний аналіз і отримані закономірності напружено-деформованого стану закріпленої виробки, що залягає в шаруватому масиві. Розроблені три моделі кілець оправи перегінного тунелю Київського метрополітену, відображено геометричні розміри перегінних тунелів між станціями «Славутич» – «Осокорки», «Осокорки» – «Позняки» та «Позняки» – «Харківська».

В **четвертому** розділі виконане порівняння результатів параметричного аналізу перегінного тунелю Київського метрополітену з інструментальними вимірюваннями. Отримана похибка між вертикальними переміщеннями кілець, отриманих в ході математичного моделювання та маркшейдерських вимірювань кілець перегінного тунелю частини Сирецько-Печерської лінії на лівому березі р. Дніпро (3,0...14,5 %) доводить високий ступінь адекватності розроблених авторкою теоретико-практичних положень параметричного аналізу.

Дисертація Бондаренко Н. К. підсумовується загальними **висновками**, що послідовно та логічно витікають із змісту роботи та відповідають поставленим задачам. Вона повною мірою відповідає спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», галузь знань 19 «Архітектура та будівництво».

Повнота опублікування матеріалів дисертаційної роботи

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 індексуються у наукометричних базах Scopus або WoS, та 8 тез доповідей (з яких 3 індексуються у наукометричній базі Scopus).

Кількість публікацій, аналіз їхнього змісту та широта представлення наукових результатів на конференціях доводять високий рівень ознайомлення наукової спільноти зі змістом дисертаційної роботи Бондаренко Н. К.

Зауваження по дисертації

1. З аналізу видів шаруватого масиву в першому розділі авторкою зроблено висновок про важливість врахування випадку, коли деформаційні властивості (модуль пружності) двох шарів мають значні відмінності. На цьому висновку побудовані теоретичні положення параметричного аналізу. Чи коректно їх застосовувати, коли модуль пружності двох шарів відрізняється незначно, на 15...20 %?

2. Під час первинного параметричного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки на основі моделі з одиничними параметрами отримано значення деформованого стану (див. рис. 2.2), які потребують пояснення.

3. В ході параметричного аналізу закріпленої виробки в шаруватому масиві використовувалася скінченно-елементна модель з оправою товщиною h , що дорівнює 0,1 м (модель з одиничним геометричним параметром). Які кроки авторського алгоритму слід виконати, щоб отримати закономірності напружено-деформованого стану моделі з іншою товщиною, наприклад, 0,2 м?

4. Незрозуміло, чому в четвертому розділі для порівняння результатів параметричного аналізу перегінного тунелю Київського метрополітену з інструментальними вимірюваннями обрані кільця з ПК 215+04, ПК228+00 і ПК236+39.

Загальна оцінка дисертації та її відповідність вимогам

Дисертаційна робота Бондаренко Наталії Костянтинівни на тему

«Параметричний аналіз напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом» є закінченим самостійним дослідженням, в якому отримані нові наукові результати, що в сукупності дозволили досягти поставленої мети 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 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 «доктор філософії» за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Рецензент, доцент кафедри
«Транспортна інфраструктура»
Українського державного
університету науки і технологій,
канд. техн. наук, доцент


Володимир КУПРІЙ



*В. КУПРІЯ засвідчує
авторство
Леся ЧИТАКОВА*