

Прийнято до спеціалізованої
вченої ради ДФ 08.084.034
13.08.2024р.

ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА,

Гашова С.В.Р.
д.т.н., проф.

доцента кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В. О. Російського
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету,

кандидата технічних наук, доцента *Смолянук Надії Володимирівни*

Банніков Д.О.

на дисертацію *Бондаренко Наталії Костянтинівни*

«Параметричний аналіз напружено-деформованого стану
горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом»,

подану на здобуття ступеня «доктор філософії»

зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,

галузі знань 19 – Архітектура та будівництво

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Будівництво об'єктів метрополітену є складним комплексним процесом, який задіє специфічні технології, матеріали та методи спорудження. На відміну від цивільного будівництва всі підземні споруди взаємодіють з оточуючим масивом, що призводить до сукупного формування напружено-деформованого стану, обумовленого властивостями як конструкції, так і ґрунту. Не виникає сумнівів, що така об'єктивна ситуація потребує усестороннього наукового обґрунтування напружено-деформованого стану, результати якого є основою визначення міцності, стійкості, надійності та довговічності підземних споруд.

Горизонтальні виробки метрополітену, тобто перегінні тунелі, що поєднують між собою станційні комплекси, є найбільш протяжними спорудами, які, по причині своєї довжини, перетинають різні геологічні умови. Аналіз їхнього напружено-деформованого стану, який раніше базувався на відомих аналітичних методах Метропроекту, О. Ю. Бугасвої або Ю. М. Айвазова, базувався на припущенні того, що масив є однорідним. Вказані методи дозволяли варіантні розрахунки плоских схем на різних ділянках перегінного тунелю, що робило моделювання більш адекватним реальній ситуації. Однак, в явному вигляді шаруватість в цих методах не була відображена.

Проте відтворення шаруватості під час розрахунків перегінного тунелю є однозначно важливим фактором, оскільки різні модулі пружності шарів та конструкції формують напружено-деформований стан, що далекий від однорідного. В практичному розрізі під час щитової проходки, що є основним методом будівництва тунелів в Україні, виявлено проблеми під час роботи щита, які були пов'язані з явною шаруватістю м. Києва та меншою мірою м. Харкова. Відмічено, що прохідницький щит врізається в декілька шарів, які під додатковим навантаженням деформуються неоднаково, а потім починає неконтрольовані рухи ножової частини («пірнання»), що можна характеризувати як неприпустиме явище під час будівництва.

Актуальність проведеного дослідження обумовлена потребою підземного будівництва, що характеризується особливостями взаємодії шаруватого масиву і, відповідно, розробка теоретико-практичних основ параметричного аналізу напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом, є актуальною темою дисертаційної роботи.

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 (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.

Участь Бондаренко Н. К. в науково-дослідних роботах свідчить про додаткове впровадження отриманих в її дисертаційній роботі наукових результатів, що разом із публікаційною та апробаційною діяльностями характеризує дисертацію як таку, що отримала усестороннє впровадження та презентацію.

3. Ступінь обґрунтованості основних наукових положень і висновків забезпечується коректним застосуванням математичного апарату, достатнім для вирішення задач в будівельній галузі рівнем володіння розрахунковим комплексом SCAD та порівнянням результатів параметричного аналізу перегінного тунелю Київського метрополітену з інструментальними вимірюваннями переміщень оправи.

Наукові положення та висновки, що сформульовані в дисертаційній роботі Н. К. Бондаренко, впливають 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 з коефіцієнтом кореляції $R^2=0,97\dots 0,99$ 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.

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.

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 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 κ -параметру (відношення модулів пружності конструкції і матриці) визначати НДС горизонтальної виробки і виконувати підбір матеріалу оправи.

Розроблені Бондаренко Н. К. положення чисельного аналізу формують оригінальну авторську методику визначення напружено-деформованого стану, що однозначно характеризує практичне значення дисертаційної роботи як високе.

5. Оцінка змісту дисертаційної роботи

Назва дисертації адекватно відображає її зміст та поставлені цілі. 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 дисертації, сформульовано мету, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження та задачі, які необхідно вирішити для її досягнення, а саме основні з них:

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

– 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;

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

У **Розділі 1** виконаний аналіз науково-технічної задачі спорудження горизонтальної виробки під час щитової проходки. Проаналізовано методологічні підходи до шаруватості гірського масиву, ослабленого горизонтальною виробкою. Із порівняння аналітичного та чисельного підходів до визначення напружено-деформованого стану системи «горизонтальна виробка – породний масив» виявлено, що саме чисельний може допомогти досягнути мети дисертації.

У **Розділі 2** для математичного моделювання створено скінченно-елементні моделі системи «горизонтальна виробка – породний масив», які дозволяють варіацію радіусу виробки та деформаційних властивостей шаруватого масиву, зокрема моделі з одиничними параметрами. Визначено параметр масштабування напружено-деформованого стану незакріпленої виробки в однорідному та шаруватому породних масивах, який характеризує відношення модулів пружності матриці і шару, що дозволяє узагальнити ряд випадків шаруватості. Викладено сутність параметричного аналізу визначення напружено-деформованого стану горизонтальної виробки (незакріплений та закріплений варіанти).

У **Розділі 3** проведено параметричний аналіз деформованого стану

закріпленої виробки на основі еквівалентної жорсткості оправи, який є методологічним прийомом, запропонованим авторкою. Визначено параметр масштабування напружено-деформованого стану закріпленої виробки в однорідному та шаруватому породних масивах. Отримано закономірності напружено-деформованого стану закріпленої виробки в шаруватому масиві.

У **Розділі 4** проведене 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.

Висновки по роботі чітко відображають отримані наукові результати. Літературні джерела адекватно відображають стан питань світового досвіду розрахунку горизонтальних виробок і власне перегінних тунелів, підходи до шаруватості та стратегії проведення чисельного аналізу. Джерела країни-агресора в дисертаційній роботі Бондаренко Н. К. відсутні.

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

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).

Матеріали дисертаційної роботи викладалися на таких наукових заходах: 78-81 Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту», 2018-2021 рр., м. Дніпро; I, II and III

International Conference Essays of mining science and practice, 2019-2022 p., м. Дніпро; I Міжнародна науково-технічна конференція «Транспортні споруди: стан, проблеми збереження, ремонт», 15 листопада 2019 р., м. Харків; VII Міжнародна науково-практична конференція «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 2020 р., ДНУЗТ, м. Дніпро.

Аналіз викладення основних результатів дисертаційної роботи у фахових виданнях та апробаційних матеріалах свідчить про усестороннє висвітлення наукових здобутків Бондаренко Н. К., 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. В першому розділі авторкою проаналізовані новітні конструкції прохідницьких щитів (*EPB*-щити або *mix*-щити), що дозволяють за допомогою спеціальної камери в ножовому кільці підтримувати стійкість чола забою, однак не наведено, як такі щити взаємодіють з шаруватим масивом.

2. На стор. 49 наведені розміри скінченно-елементної моделі, цитую: «висота – 20 м, ширина – 22 м, товщина – 1 м», проте з тексту незрозумілий вибір саме таких параметрів.

3. На мій погляд, в другому розділі під час параметричного аналізу незакріпленої виробки в шаруватому масиві кількісний аналіз переважає над якісним, при тому, що особливості напружено-деформованого стану у випадку шаруватого масиву явно спостерігаються (див. рис. 2.7 і 2.9).

4. В дисертаційній роботі, зокрема в другому та третьому розділах, авторкою декларується, що розроблена нею базова скінченно-елементна модель є, цитую «просторовою («квазіпросторовою») на основі об'ємних скінченних елементів». Що мається на увазі під цим новим терміном – «квазіпросторовий»?

Загальний висновок по дисертаційній роботі

На підставі аналізу дисертації Бондаренко Наталії Костянтинівни «Параметричний аналіз напружено-деформованого стану горизонтальної виробки,

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

Дисертаційна робота «Параметричний аналіз напружено-деформованого стану горизонтальної виробки, що взаємодіє із шаруватим масивом» 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, Бондаренко Наталія Костянтинівна, 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

