

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Снігура Василя Григоровича** «Наукові основи оптимізації взаємодії інноваційного кріплення виробок, що повторно використовуються, з гірським масивом шахт Західного Донбасу» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – «Підземна розробка родовищ корисних копалин»

На рецензію подано дисертацію, реферат та опубліковані роботи.

Аналіз дисертації Снігура В.Г. «Наукові основи оптимізації взаємодії інноваційного кріплення виробок, що повторно використовуються, з гірським масивом шахт Західного Донбасу» дозволяє сформулювати висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості, основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел з 211 найменувань на 24 сторінках і 5 додатків на 20 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 356 сторінок, у тому числі 76 рисунків та 6 таблиць.

За темою дисертації опубліковано 33 наукові праці, з яких: : 2 колективні монографії (1 – англійською мовою у видавництві CRC Press/Balkema); 10 статей у періодичних виданнях, включених до переліку фахових наукових видань України; 4 статті у періодичних виданнях, що індексуються у базах даних Scopus і WoS (квартиль  $Q_2$ ) і прирівнюються до 12 публікацій; 13 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій, 4 публікації у інших виданнях.

Реферат і публікації повністю розкривають основні положення дисертаційної роботи. Матеріали кандидатської дисертації в роботі не використовувались.

### **1. Актуальність обраної теми дисертації та її зв'язок з науковими програмами**

Проблема ресурсо- і енергозбереження є дуже актуальною, особливо у гірничій справі. Альтернативні джерела енергії розвиваються швидкими темпами, але традиційний видобуток вугілля все ще залишається актуальним в усьому світі.

На даний час в Україні з вугілля виробляється понад 30% електроенергії і це означає, що щорічно електростанціям необхідно близько 30 млн т при зростанні затребуваності газових марок вугілля. В цьому плані Західний Донбас відіграє ключову роль у вугледобувній промисловості України.



На сьогоднішній день набуває все більшої актуальності проблема швидкого відтворення потрібної довжини виїмкових штреків у відповідності до високих темпів посування очисних вибоїв. А це пов'язано з ресурсозберігаючим підтриманням виробок у складних умовах слабометаморфізованих порід малої міцності. Тут виникає низка питань щодо вибору параметрів інноваційних кріпильних систем при їх керуванні гірським тиском у напрямі мінімізації його проявів.

Запропоновані оптимізаційні підходи стосовно систем підтримання виробок, що повторно використовуються у слабометаморфізованому масиві при вирішенні даної проблеми дадуть вагомий економічний, соціальний, екологічний та інші ефекти.

Тому є актуальною науковою проблемою розробка напрямів оптимізації режимів взаємодії вуглевмісного масиву слабометаморфізованих порід з кріпильною системою виробок, що повторно використовуються, що є базою для створення рекомендацій щодо ресурсозберігаючого підтримання виробок у зоні впливу очисних робіт.

Слід відмітити, що дисертаційна робота виконана у відповідності зі «Стратегією розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року» (Вугільна промисловість), Програми «Українське вугілля» і планів держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України в 2017 – 2023 роках: тема ГП-474 «Розвиток наукових основ управління навантаженням кріпильних, охоронних систем повторно використовуваних виробок. Підвищення ефективності протипилового захисту», тема ГП-493 «Теоретичні та практичні основи управління нестійкими геомеханічними системами «масив – кріплення підземних виробок», тема ГП-501 «Виявлення закономірностей фазових перетворень газогідратів, напружено-деформованого стану гірського масиву і розробка інноваційних геотехнологій», тема ГП-504 «Наукові та практичні основи оптимізації розрахунку параметрів інноваційних технологій при видобутку корисних копалин підземним способом».

## **2. Оцінка наукових положень, висновків і рекомендацій, їх новизна, достовірність і обґрунтованість**

Наведені у дисертації наукові положення, теоретичні та практичні результати досліджень є достатньо обґрунтованими і змістовними, що підтверджується аналізом і узагальненням виконаних досліджень.

### ***Наукові положення, захищаються в дисертації:***

1. Оптимальні параметри деформаційно-силових характеристик кріпильних конструкцій виїмкових виробок, що повторно використовуються, знаходяться у ступеневому зв'язку з геомеханічним показником  $H/R$  відношення глибини  $H$  розміщення виробки до середнього розрахункового



опору стиску  $R$  літотипів прилеглого масиву. Отримані закономірності дозволяють виробити універсальний підхід до мінімізації проявів гірського тиску за умови слабометаморфізованого масиву.

2. Закономірності оптимізації зв'язку навантаження  $P$  на кріплення з його піддатливістю  $u$  мають стабільні тенденції зростання за степеневими залежностями від геомеханічного показника  $H/R$  у всіх трьох групах узагальнених текстур вуглевмісної товщі, які класифіковані за параметрами літологічних різниць, потужності та коефіцієнту міцності. Це дозволить використовувати єдиний механізм взаємодії армопородних розпирних конструкцій між собою, з рамним кріпленням і прилеглим масивом слабометаморфізованих порід при оптимізації деформаційно-силової характеристики інноваційного кріплення.

3. Деформаційно-силові характеристики інноваційних кріплень мають степеневі залежності зв'язку з геомеханічним показником  $H/R$  і комбінацію степеневих з показовими функціями по відношенню до розрахункового опору стиску  $R_{зак}$  заанкерованих порід з урахуванням складання вуглевмісного масиву і схем кріпильних конструкцій. Така сталість закономірностей впливу геомеханічних факторів обґрунтовує єдину стратегію ресурсозберігаючого вдосконалення кріпильних конструкцій з комбінованими анкерними системами.

4. Область доцільного застосування комбінованих анкерних систем визначається діапазонами змін геомеханічного показника  $H/R \geq 45 - 50$  м/МПа та розрахункового опору стиску  $R_{зак} \leq 14 - 20$  МПа. Це дозволить цілеспрямовано впроваджувати інноваційні кріпильні конструкції у тих гірничо-геологічних умовах, де вони забезпечують максимальний ефект підвищення стійкості гірничих виробок.

*Достовірність* підтверджується коректністю постановки та вирішення задач з використанням апробованих положень механіки гірських порід, будівельної механіки та методів математичної статистики; достатнім обсягом шахтних досліджень стану виїмкових виробок, що повторно використовуються при анкерному зміцненні приконтурного масиву, у тому числі комбінованими анкерними системами, задовільним ступенем відповідності результатів аналітичних досліджень та чисельного моделювання з експериментальними даними з відхиленнями в діапазоні від декількох відсотків до 20 – 30% для різних кріпильних конструкцій; позитивними результатами впровадження розроблених рекомендацій.

#### ***Наукова новизна отриманих результатів:***

1. Вперше розроблено алгоритм мінімізації параметрів проявів гірського тиску стосовно виїмкових виробок, що повторно використовуються і підтримуються в слабометаморфізованому вуглевмісному масиві порід незначної міцності.



2. Обґрунтовано нові методичні положення алгоритму пошуку оптимальних режимів взаємодії кріпильної конструкції та вуглепородного масиву, що відрізняються від відомих поєднанням багатоваріантних обчислювальних експериментів для розрахунку (методом скінченних елементів) деформаційно-силової характеристики масиву, що знеміцнюється, та вдосконаленої нормативної методики для визначення деформаційно-силової характеристики порід склепіння природної рівноваги.

3. Вперше встановлено закономірності зв'язку мінімальних параметрів проявів гірського тиску з геомеханічним показником  $H/R$  умов підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються, для основних груп текстур слабометаморфізованого масиву гірських порід.

4. Запропоновано нову концепцію механізму взаємодії розпірних конструкцій (комбіновані анкерні системи) між собою, з рамним кріпленням та прилеглим масивом, яка реалізована шляхом комбінації (при взаємному доповненні) багатоваріантних обчислювальних експериментів та аналітичних методів будівельної механіки.

5. Вперше встановлено закономірності зв'язку параметрів деформаційно-силової характеристики з геомеханічним показником  $H/R$  та розрахунковим опором стиску  $R_{зак}$  порід заанкереної покрівлі для трьох основних груп текстур вуглепородного масиву.

6. Вперше обґрунтовано область доцільного застосування комбінованих анкерних систем для підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються в умовах слабометаморфізованого вуглевмісного масиву.

### **3. Практичне значення отриманих результатів**

1. Розроблено методику керування параметрами проявів гірського тиску, яка дозволяє мінімізувати їх інтенсивність залежно від геомеханічних факторів підтримання виробок, що повторно використовуються у слабометаморфізованому вуглевмісному масиві.

2. Створено узагальнюючу методику розрахунку деформаційно-силових характеристик серії кріпильних конструкцій, що включають сталеполімерні та канатні анкери.

3. Розроблено методику вибору раціональних кріпильних конструкцій з комбінованими анкерними системами.

4. Розроблено рекомендації з ресурсозберігаючої підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються у слабометаморфізованих вуглевмісуючих породах.

5. Рекомендації впроваджено на шахті «Павлоградська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (20 виробок). Отримано економічний ефект – 142,34 млн грн.



6. Рекомендації впроваджено на шахті ім. Героїв Космосу ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (8 виробок). Отримано економічний ефект – 54,85 млн грн.

**Використання отриманих результатів.** Результати дисертаційної роботи протягом 2014 – 2024 рр. впроваджено на вугільних шахтах Західного Донбасу та у навчальному процесі, а саме: «Методика прогнозу небезпечних зон при сумісному відпрацюванні пластів вугілля Західного Донбасу» (2019 р.); «Методика керування параметрами проявів гірського тиску при повторному використанні виїмкових виробок на шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (2020 р.); «Методика вибору раціональних кріпильних конструкцій з комбінованими анкерними системами для вугільних шахт України» (2023 р.); «Рекомендації з ресурсозберігаючого підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються у слабометаморфізованих вуглевміщуючих породах» (2023 р.); навчальні програми підготовки бакалаврів і магістрів з дисциплін: «Механіка гірських порід», «Гірнична інженерія», «Моделювання геомеханічних систем у задачах підземного видобутку корисних копалин» у НТУ «Дніпровська політехніка» (2018 – 2023 рр.). Фактичний річний економічний ефект від впровадження наукових розробок становить 388,35 млн грн. Частина автора при використанні рекомендацій, науково-методичних і конструктивно-технологічних рішень становить 20% від загального економічного ефекту, тобто 77,67 млн грн.

#### **4. Аналіз змісту дисертаційної роботи**

**У першому розділі** проведено аналіз досвіду використання інноваційних технологій ресурсозбереження у гірничій промисловості за кордоном і в Україні, обгрунтовано актуальність і новизну підходу оптимальної взаємодії масиву з кріпленням гірничих виробок та необхідність досліджень про вплив геомеханічних факторів на стан деформаційно-силової характеристики кріпильної системи. Сформульовано мету дослідження та комплекс геомеханічних і науково-практичних завдань, об'єднаних в єдине ціле у структурно-логічній схемі.

**У другому розділі** розглянуто основні принципи пошуку раціональної деформаційно-силової характеристики кріпильної системи в процесі зміни гірничо-геологічних умов за довжиною виробки. Доведено основні тенденції впливу текстури масиву на варіацію характеристик інноваційного кріплення, що має широку перспективу в плані зміцнення порід комбінацією різних типів анкерів. Розроблені якісні схеми оптимізації є базою для отримання комплексу кількісних закономірностей взаємозв'язку геомеханічних факторів і деформаційно-силових характеристик кріпильних елементів.

**У третьому розділі** розроблено алгоритм пошуку раціональних режимів опору кріпильної системи вуглевмісному масиву, що є прилеглим до виїмкової



виробки. Алгоритм включає формування мінімально-можливого навантаження у конкретних гірничо-геологічних умовах підтримання виробки, узгодження між собою деформаційно-силових характеристик елементів, що входять до кріпильної системи, оптимізація конструктивних параметрів кріпильних елементів за критерієм їх рівномірності. Проведено комбіновані дослідження за допомогою методів скінченних елементів і рекомендацій нормативних документів з розрахунку розмірів склепіння природної рівноваги. На базі сформульованих принципів розроблено методику отримання деформаційно-силової характеристики масиву, що знеміцнюється, залежно від основних впливових геомеханічних факторів: глибина розміщення виробки, текстура порід надвугільної товщі і її міцнісні властивості. Отримано закономірності з розрахунку оптимальних параметрів кріпильної системи у вигляді графіків і рівнянь регресії. Виявлено степеневий зв'язок оптимальних параметрів кріпильної системи з геомеханічним показником умов розробки незалежно від текстури вуглевмісного масиву, що дозволить здійснювати єдину стратегію удосконалення кріпильних систем виробок для Західного Донбасу.

**У четвертому розділі** обґрунтовано методичні положення послідовної реалізації етапів з оптимізації режимів роботи кріпильної системи, що включає рамне кріплення у поєднанні з комбінацією сталеполімерних і канатних анкерів. Механізм взаємодії кріпильної системи з прилеглим масивом класифіковано на п'ять взаємопов'язаних складових. Обґрунтовано і розроблено схематичні уявлення про механізм утворення розпірних систем і зв'язку їх деформаційно-силових характеристик з текстурними особливостями порід покрівлі в межах досяжності зміцнюючого ефекту від канатних анкерів. Розроблено загальний і покроковий механізм опору кожної розпірно-блокової системи, що входить в армопородну конструкцію. Обґрунтовано механізм підвищення опору кріпильної системи і виникнення додаткових можливостей щодо регулювання параметрами і режимом роботи конструктивних зв'язків анкерів і рамного кріплення.

**У п'ятому розділі** розроблено нову методику оцінки стану та розрахунку деформаційно-силової характеристики конструкції за допомогою принципу поєднання технологічних прийомів обчислювального експерименту з положеннями аналітичних методів будівельної механіки та опору матеріалів. Отримано три групи емпіричних функцій для повного опису режимів роботи кріпильної конструкції, які спільно з критеріями мінімізації гірського тиску створили основу для отримання оптимальних конструктивно-технологічних рішень щодо забезпечення стійкості виїмкової виробки.

**У шостому розділі** доведено на конкретних прикладах можливість досягнення задовільної відповідності деформаційно-силової характеристики кріпильних конструкцій оптимальних значень, за яких мінімізується інтенсивність проявів гірського тиску. Створено базу для порівняльної оцінки



результатів шахтних експериментів та аналітичних розрахунків на базі проведених обчислювальних експериментів з розрахунку деформаційно-силових характеристик низки кріпильних конструкцій, реально застосовуваних на шахтах Західного Донбасу. Отримано сім'ю рівнянь регресії, що визначають режим опору цілої низки кріпильних конструкцій. Обґрунтовано достовірність методики вибору раціональних кріпильних конструкцій. Аналітично та експериментально обґрунтовано область доцільного застосування комбінованих анкерних систем для підтримання виїмкових виробок. Доведено впровадження розробленої методики оптимізації режимів взаємодії масиву з кріпильними конструкціями та вибору їх раціональних параметрів з урахуванням застосування інноваційних комбінованих анкерних систем.

У загальних висновках дисертації наведено основні, отримані автором наукові і практичні результати, що підкреслюють їх новизну і значимість.

### **5. Зауваження щодо змісту дисертації та її оформлення**

1. У завданнях досліджень доцільно було б на перше місце поставити аналіз сучасних підходів до оптимізації рішень взаємодії гірського масиву з кріпильними конструкціями.

2. Вважаю, що можливо розширити структурно-логічну схему (рис. 1.18) у напрямі тих складових, які закладені в кожен блок.

3. Не зрозуміло як здійснюватиметься інтенсифікація технологічних процесів (стор. 79). На мою думку, це треба описати розгорнуто.

4. Висновки до розділу можливо було б сформулювати більш конкретно та стисло.

5. Схема, яка наведена на рис. 4.2, загальна та не має наукового значення.

6. У роботі досить часто зустрічається термін «інноваційна». Не зрозуміло, що автор розуміє під цим терміном.

7. Рис. 5.3 і 5.4 не досить чіткі для сприйняття.

### **Висновок**

1. Структурне побудування дисертації, стиль викладення та подача матеріалу досліджень логічні, послідовні та пов'язані єдиною цільовою спрямованістю.

2. Структура та склад реферату повністю відповідає рукопису дисертаційної роботи.

3. Реферат і публікації повністю розкривають основні положення дисертаційної роботи. Матеріали кандидатської дисертації в роботі не використовувались.



4. Дисертація Снігура В.Г. відповідає паспорту спеціальності 05.15.02 – «Підземна розробка родовищ корисних копалин». Спрямованість дисертаційної роботи характеризується як технічна.

5. Дисертація Снігура В.Г. є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна та важлива проблема оптимізації режимів взаємодії вуглевмісного масиву слабометаморфізованих порід з інноваційними кріпильними конструкціями, які включають комбіновані анкерні системи для підтримання виїмкових виробок, що повторно використовуються; сутність результатів полягає в обґрунтуванні механізму та встановленні закономірностей впливу деформаційно-силових характеристик кріпильних конструкцій на процес мінімізації параметрів проявів гірського тиску, що дозволило сформулювати єдину стратегію їх ресурсозберігаючого вдосконалення для підвищення надійності відпрацювання вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах.

6. Дисертація відповідає пп. 7 та 9 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» Кабінету міністрів України від 17.11.2021 року №1197, а її автор Снігур Василь Григорович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – «Підземна розробка родовищ корисних копалин».

Офіційний опонент:

Проректор з наукової роботи  
ДВНЗ «Донецький національний  
технічний університет»,  
доктор технічних наук, професор



С.В. Подкопаяв

Підпис д.т.н., професора, проректора з наукової роботи  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» Сергія ПОДКОПАЄВА засвідчую:  
Начальник відділу кадрів Вікторія ЧЕРНЕНКО



Відсутні отриманні  
Вч. сер. Д 02080 03  
19.05.2024  
М.В. Петьобанний