

ВІДГУК

рецензента на дисертаційну роботу

Яковенка Валерія Геннадійовича на тему: «Наукове обґрунтування параметрів попереднього ін'єкційного закріплення тріщинуватих порід приконтурного масиву в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське»», яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 18 – Виробництво та технології за спеціальністю 184 – Гірництво

Рецензію укладено на підставі ґрунтовного аналізу дисертаційної роботи, опублікованих здобувачем наукових праць, а також матеріалів, що засвідчують практичне впровадження та використання результатів дослідження.

1. Обґрунтування актуальності обраної теми досліджень та зв'язок з науковими програмами, планами і темами

Вугільна промисловість залишається важливою складовою енергетичного балансу України. Основні запаси зосереджені у пластах енергетичного вугілля марок Д, Г та ДГ. Коксівне вугілля марки К (1,925 млрд т) видобувається виключно на ПрАТ «ШУ «Покровське», що визначає його стратегічну роль.

У гірничо-геологічних умовах глибин 800–1000 м на ПрАТ «ШУ «Покровське» спостерігається підвищена інтенсивність проявів гірського тиску та вивалоутворень, зокрема в зонах геологічних порушень. Ослаблені та тріщинуваті породи зумовлюють ризики руйнування виробок навіть при використанні комбінованих систем кріплення. Ключовою проблемою залишається високий рівень травматизму - 31,4% нещасних випадків припадають на обвалення порід, пов'язані зі зниженням стійкості приконтурного масиву.

Аналіз публікацій свідчить, що ін'єкційне закріплення переважно застосовувалося локально — у місцях порушеної покрівлі та сполученнях виробок. Дослідження попереднього ін'єкційного зміцнення порід саме на стадії проведення виробок, у зонах впливу порушень, практично відсутні.

Отже, визначення параметрів попереднього ін'єкційного закріплення приконтурного масиву для стабілізації виробок у складних геотехнічних умовах є актуальним та малодослідженим напрямом.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі гірничої інженерії та освіти НТУ «Дніпровська політехніка» відповідно до Національного плану дій в галузі енергетики до 2030 року №687, затвердженим Міністерством енергетики та вугільної промисловості України в 2018 році, і планом держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України в 2020 – 2024 роках: ГП-509 «Наукове та практичне обґрунтування оптимізаційних рішень при впровадженні інноваційних технологій мінімізації ризиків при закритті вугільних шахт» (№ держреєстрації 0122U001719), ГП-514 «Розробка геомеханічних моделей гірського масиву та

інноваційних технологій комплексного видобутку мінеральних ресурсів вугільних шахт» (№ держреєстрації 0123U101808), ДТ521 «Створення інформаційних та геомеханічних систем інноваційного видобутку корисних копалин у повоєнний період відновлення України» (№ держреєстрації 0124U000547), де автор був виконавцем.

2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

На підставі детального вивчення дисертаційної роботи вважаю, що науковою новизною отриманих результатів здобувачем особисто є наступне:

1. Встановлено залежності зміни фізико-механічних властивостей композитного матеріалу з різними співвідношеннями жорсткого породного скелету та полімерної матриці з поліуретанової смоли.

2. Дсліджено геомеханічний стан масиву зі зниженням геологічного індексу міцності у діапазоні $GSI = 50 \dots 20$, що імітує входження прохідницького вибою у зону геологічного порушення й встановлено порогове значення $GSI \leq 35$, за якого необхідно термінове застосування ін'єкційного зміцнення масиву поліуретановою смолою.

3. Встановлено поліноміальні залежності зміни зміщень покрівлі та боків виїмкового штреку в залежності від ширини зміцнення приконтурної зони поліуретановою смолою, що дозволяє за технологічними особливостями піддатливості кріплення прогнозувати оптимальну ширину зміцнення.

4. Уточнено експоненційний кореляційний зв'язок ступеня тріщинної та міжфракційної пустотності для різних літотипів (алевроліт, пісковик) з індексом його геологічної міцності (GSI) масиву у зонах впливу дрібноамплітудних геологічних порушень для умов розробки запасів шахтного поля ПрАТ ШУ «Покровське»

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується коректною постановкою та розв'язанням завдань з використанням апробованих методів аналітичних і лабораторних досліджень процесу підземної газифікації вугілля, застосуванням основних положень теорії теплообміну порід, математичної статистики, достатнім обсягом виконаних досліджень і високою відповідністю результатів проведених досліджень (збіжність отриманих результатів складає 77 – 95%).

3. Оцінка змісту роботи та повнота викладу положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 126 найменувань, додатка на 3 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 169 сторінок, у тому числі 54 рисунки і 19 таблиць.

Дисертаційна робота характеризується логічною структурою, текст роботи викладено чітко, коректно й грамотно науково-технічною мовою.

Вступ дисертаційної роботи містить обґрунтування актуальності теми та її науково-практичної важливості, чітке формулювання мети і завдань дослідження, узагальнення здобутих результатів та визначення їх новизни. Крім того, у вступі відображено практичне значення проведених досліджень, подано опис структури роботи та наведено список основних наукових праць здобувача, опублікованих за темою дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи здобувачем здійснено аналіз умов роботи ПрАТ «ШУ «Покровське». Аналіз показує, що на тлі зниження видобутку кам'яного вугілля, особливо марок К і Г, основне навантаження на видобуток коксівного вугілля припадає саме на це підприємство, де понад 30% аварій пов'язані з обваленнями порід у тріщинуватих масивах. Встановлено, що більшість вивалів висотою 0,5–4,0 м приурочені до зон дрібноамплітудних порушень із підвищеною тріщинуватістю, де традиційне рамно-анкерне кріплення є недостатньо ефективним. Автор вважає, що у цих умовах перспективним напрямом підвищення стійкості виробок є завчасне ін'єкційне зміцнення приконтурного масиву поліуретановими смолами, що дозволяє перетворити ослаблені ділянки в армовану структуру, знизити ризик вивалів, підвищити безпеку, ритмічність робіт та зменшити потребу в перекріпленні гірничих виробок.

У другому розділі дисертаційної роботи за результатами проведених лабораторних, шахтних і чисельних досліджень встановлено, що породи приконтурного масиву в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське» за гранулометричними характеристиками належать до I–II категорій кускуватості, а найбільш ефективним способом їхнього зміцнення є ін'єкційне нагнітання поліуретанових смол. Представлена методика визначення фізико-механічних властивостей поліуретаново-породного композиту, яка ґрунтується на лабораторному моделюванні заповнення пустот та аналітичній оцінці характеристик за узагальненим правилом сумішей. Запропоновано підхід до визначення індексу геологічної міцності GSI у зоні порушення, що інтегрує результати буріння, структурно-геологічного аналізу та оцінки тріщинуватості. Створено методику чисельного моделювання стійкості масиву на основі поетапної трансформації параметрів середовища, поєднання критеріїв Хоека–Брауна і Мора–Кулона та урахування властивостей зміцненого композиту. Розроблено шахтну методику експериментального контролю ефективності ін'єкцій, яка включає буріння, нагнітання, моніторинг та оцінку зміцнення за керновими зразками, що дозволяє кількісно визначати вплив технологічних параметрів на реальне покращення стійкості масиву.

У третьому розділі за результатами лабораторних досліджень та чисельного моделювання встановлено закономірності зміни фізико-механічних властивостей поліуретаново-породного композиту залежно від співвідношення жорсткого

скелету та полімерної матриці, зокрема поліноміальні залежності міцності на стиск і розтяг, експоненційний зв'язок модуля пружності та лінійну залежність зчеплення. Проаналізовано геомеханічний стан масиву в діапазоні $GSI = 50 \dots 20$, що відповідає зоні геологічного порушення, та визначено критичний рівень $GSI \leq 35$, за якого необхідно застосовувати ін'єкційне зміцнення. Встановлено стабільний експоненційний зв'язок між тріщинною та міжфракційною пустотністю різних літотипів і значенням GSI у зонах дрібноамплітудних порушень. Визначено поліноміальні залежності зміщень покрівлі та боків виїмкового штреку від ширини ін'єкційного укріплення, що дає змогу обґрунтовувати оптимальні параметри технології. Показано, що ін'єкційне закріплення поліуретановою смолою забезпечує суттєве підвищення стійкості приконтурного масиву.

У четвертому розділі дисертації представлена методика визначення параметрів попереднього ін'єкційного зміцнення, яка інтегрує результати лабораторних досліджень, чисельного моделювання та шахтних спостережень і ґрунтується на уточненні двох ключових характеристик — сукупної тріщинної пустотності та раціональної ширини зони закріплення. Встановлений кореляційний зв'язок між GSI та пустотністю дозволив перейти від усереднених оцінок до точного визначення необхідного об'єму смоли, а моделювання забезпечило обґрунтування оптимальної ширини зміцнення. Доведено значну економічну ефективність технології.

Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві, а отримані наукові й практичні результати щодо підвищення рівня культури безпеки на підприємствах вугільної галузі безумовно відносяться до спеціальності 184 Гірництво.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 2 статті у виданнях, що індексовані у наукометричних базах даних Scopus та Web of Sciences, 1 стаття у фаховому науковому виданні з переліку МОН України, 5 публікацій у матеріалах міжнародних та вітчизняних конференцій.

4. Значення роботи для науки та практики та суспільства

Наукова новизна полягає у встановленні закономірностей зміни властивостей консолідованого поліуретановими смолами масиву залежно від співвідношення жорсткої та полімерної фаз, взаємозв'язку тріщинної пустотності з індексом геологічної міцності, що визначає вплив цих факторів на трансформацію геомеханічного стану приконтурного масиву, дозволяє обґрунтувати параметри його ін'єкційного закріплення та забезпечити стійкість виїмкових виробок як при їх проведенні, так і під подальшим впливом фронту очисних робіт.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

1. Вдосконалені методики чисельного моделювання геомеханічного стану приконтурного масиву при його ін'єкційному зміцненні із застосуванням

комбінованого підходу, що полягає у застосуванні критеріїв міцності ХоекаБрауна та Мора-Кулона;

2. Розробці методики розрахунку параметрів ін'єкційного закріплення приконтурного масиву поліуретановими смолами у зонах підвищеної тріщинуватості

5. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

У результаті детального ознайомлення з дисертаційною роботою та аналізу звіту з перевірки на запозичення встановлено відсутність порушень академічної доброчесності. Усі цитати з наукових джерел супроводжені відповідними посиланнями.

6. Дискусійні положення та зауваження по роботі:

1. Результати натурних випробувань наведено на прикладі однієї виробки блоку №11. За відсутності серії повторних експериментів, вибіркового аналізу або статистичної перевірки узагальнення висновків на всі виробки з аналогічними умовами може бути передчасним. Механізм проникнення смоли, характер тріщинуватості та параметри порушень суттєво варіюють навіть у межах одного блоку. Для підтвердження наукової та практичної універсальності результатів бажано розширити базу спостережень.

2. Лабораторні дослідження моделюють заповнення міжфракційного простору смолою, проте не враховують масштабних ефектів, неоднорідності масиву, різного ступеня звивистості тріщин та нерівномірності заповнення, характерних для натурних умов. Крім того, не наведено похибок вимірювань і статистичної обробки результатів. У зв'язку з цим перенос лабораторних характеристик композиту на масив у повному масштабі може викликати наукові питання щодо достовірності оцінок фізико-механічних параметрів.

3. Оцінка економічного ефекту у 64,2 млн грн подана без деталізованої структури витрат, методики розрахунку, дисконтування, аналізу чутливості та ймовірнісних сценаріїв. За відсутності цих вихідних даних складно перевірити обґрунтованість наведених цифр. Крім того, не враховано витрати на буріння, нагнітання, можливі технологічні відмови, особливості закупівлі смоли. Таким чином, економічні висновки слід вважати попередніми, а не остаточними.

4. Автор розглядає поліуретанову смолу як універсально ефективний матеріал. Проте світові дослідження показують істотне зниження ефективності поліуретанів у водонасичених масивах, при низьких температурах або в дрібнокапілярних середовищах, де проникнення смоли є мінімальним. У тексті відсутній аналіз умов застосування матеріалу та його потенційних обмежень, що необхідно врахувати для підвищення наукової повноти викладу.

5. Термін «породний скелет» не належить до усталених у гірничій геомеханіці; більш коректним є використання формулювання «структурний каркас породи».

Наведені зауваження та виявлені недоліки не зменшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи й не впливають на рівень її наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів.

7. Загальний висновок щодо дисертаційної роботи

Подана дисертація є завершеним науково-дослідним дослідженням, у якому розв'язано актуальну науково-технічну задачу з обґрунтування параметрів попереднього ін'єкційного закріплення тріщинуватих порід приконтурного масиву в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське». На основі встановлених нових закономірностей визначено зміни властивостей консолідованого поліуретановими смолами масиву залежно від співвідношення жорсткої та полімерної фаз, взаємозв'язку тріщинної пустотності з індексом геологічної міцності.

Вважаю, що дисертаційна робота Яковенка Валерія Геннадійовича «Наукове обґрунтування параметрів попереднього ін'єкційного закріплення тріщинуватих порід приконтурного масиву в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське»», задовольняє всім вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки України від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії...» (пункти 5, 6, 8).

За розвиток уявлень про механізм формування попереднього ін'єкційного закріплення тріщинуватих порід приконтурного масиву; встановлення залежності зміни фізико-механічних властивостей композитного матеріалу з різними співвідношеннями жорсткого структурного породного каркасу та полімерної матриці з поліуретанової смоли; виявлення закономірностей зміни зміщень покрівлі та боків виїмкового штреку в залежності від ширини зміцнення приконтурної зони поліуретановою смолою; обґрунтування раціональних параметрів технології ін'єкційного закріплення приконтурного масиву поліуретановими смолами у зонах підвищеної тріщинуватості для гірничо-геологічних умов ПрАТ «ШУ «Покровське»; а також за розроблення методики чисельного моделювання геомехнічного стану приконтурного масиву при його ін'єкційному зміцненні Яковенко Валерій Геннадійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 18 – Виробництво та технології за спеціальністю 184 – Гірництво.

Рецензент:

Кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гірничої інженерії
та освіти НТУ «Дніпровська політехніка»

Владислав РУСЬКИХ