

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Слацова Ігоря Миколайовича «Розвиток наукових основ геомеханічного та радіометричного контролю параметрів безпеки шахт», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка» та 05.26.01 – «Охорона праці»

Здобувачем на рецензію подано дисертацію, автореферат та опубліковані роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, а також 30 додатків. За темою дисертації опубліковано 58 наукових робіт, у тому числі 7 публікацій у закордонних періодичних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз, 1 монографія, 30 наукових статей у фахових виданнях, 6 у матеріалах конференцій, 2 у виробничо-практичних журналах, 2 галузевих стандарти України, 10 патентів.

1. Актуальність теми дисертації

Вугільна галузь України потерпає від економічної кризи та переживає не найкращі часи. На це є як об'єктивні природні чинники так і фактори, що спричинені неефективною та нераціональною діяльністю людини і непрофесійним керуванням. До перших можна віднести зростання глибини залягання пластів, погіршення гірничо-геологічних умов видобутку, велику газоносність пластів, обводненість несучих порід. До суб'єктивних факторів відноситься фізичний знос та моральна застарілість обладнання, низький рівень автоматизації технологічних процесів, недостатній контроль параметрів масиву, низька релевантність моделей та достовірність прогнозування складних геомеханічних та газодинамічних процесів. Наведені фактори не тільки зменшують продуктивність праці та економічні показники гірничодобувних підприємств, а й служать причинами різноманітних аварійних ситуацій, що загрожують безпеці персоналу і можуть викликати вкрай негативні економічні та соціальні наслідки.

На сучасному етапі механіка гірських порід як академічна і прикладна наука отримала значний розвиток завдяки впровадженню інформаційних технологій і потужних комп'ютерних систем, більш широкому застосуванню теорії нелінійних динамічних систем, теорії хаосу та теорії катастроф, а у системах керування і моніторингу – математичного апарату нечіткої логіки, генетичних алгоритмів та нейронних мереж. Але, як уже було зазначено вище, нерозривність природних, техногенних та суб'єктивних факторів, які впливають на процес видобування корисних копалин, комплексність наслідків діяльності людини (технологічних,

економічних та соціальних) спонукали автора проводити дослідження на стику двох спеціальностей: 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка» та 05.26.01 – «Охорона праці».

В роботі дисертанта розробляється актуальна науково-технічна проблема дослідження та встановлення закономірностей зміни напружено-деформованого стану структурно-неоднорідних газонасичених порід в процесі видобування під впливом гірничих робіт, закономірностей емісії газів метану та радону в гірничі виробки шахт, обґрунтування методів і програмно-технічних засобів геомеханічного та радіометричного контролю параметрів виробничого середовища шахт з метою підвищення безпеки та забезпечення безаварійного функціонування. Це розширює базу контролю параметрів безпеки шахт за рахунок геомеханічного і радіометричного моніторингу (більше контрольованих параметрів, критеріїв та індикаторів небезпеки) і поглиблює його (уточнені більш релевантні моделі враховують встановлені закономірності). Це дає можливість не тільки вдосконалити нормативно-технічну документацію, а й покращити моніторинг за рахунок нових алгоритмів опрацювання даних, що отримані вимірювальними приладами оперативного і системами автоматизованого контролю у режимі реального часу.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України відповідно до галузевих планів НДР та Постанов бюро Відділення механіки НАН України у яких автор був виконавцем та відповідальним виконавцем.

2. Оцінка наукових положень, висновків та рекомендацій, їх новизна, обґрунтованість та достовірність

Поставлена **комплексна проблема** розбита на окремі наукові задачі, розв'язання яких дало змогу сформулювати окремі **наукові положення**, у яких автором наведені встановлені залежності:

а) витрат фільтраційного перенесення газів крізь тріщинуваті структури породного масиву в залежності від параметрів системи пор і тріщин;

б) розвитку системи тріщин з часом, зміни їх геометричних розмірів та фізичних параметрів в періоди активних та сталих зсувів і забезпечення при цьому стійкості гірничих виробок в складних гірничо-геологічних умовах слабких обводнених порід з використанням систем комбінованого кріплення;

в) квазіперіодичної у просторі емісії метану в свердловини при віддаленні від очисного вибою з чергуванням (послідовною зміною) перенапружених та розвантажених ділянок породного масиву;

г) емісії в гірничі виробки дочірніх продуктів розпаду радону від джерел формування, динамічних змін напружено-деформованого стану порід в приконтурній зоні виробок.

Це в сукупності дало можливість запропонувати обчислення комплексних показників, що слугують критеріями, які сигналізують про критично небезпечну ймовірність розвитку небезпечних сценаріїв протікання геомеханічних та газодинамічних процесів, що може призвести до аварій та руйнування виробок.

Кожне з цих наукових положень характеризується **науковою новизною**, яка полягає у розвитку математичних моделей, розробці нових методів, алгоритмів і показників безпеки, урахуванні факторів і параметрів які достатньо легко виміряти в реальних виробничих умовах, але які не були взяті до уваги або не були враховані у попередніх дослідженнях. Пункти наукової новизни наведені в авторефераті в редакції, що не викликає заперечень:

- подальший розвиток отримала математична модель для оцінки зон руйнування в газонасичених та обводнених гірських породах, яка відрізняється спільним урахуванням природних структурних дефектів, магістральних тріщин, шаруватості порід, пластових газових тисків, наявності води в тріщинах і порах, а також визначенням інваріантів компонент головних деформацій, які характеризують зміни форм і об'ємів порово-тріщинного простору де формуються області газового живлення в процесі ведення гірничих робіт;

- вперше для використання в геоінформаційних системах отримані аналітичні залежності між параметрами геомеханічного процесу – тріщинною пористістю, кутами падіння і простягання систем тріщин з параметрами газодинамічного процесу – інтенсивністю, витратами і напрямками переміщення газів, що дозволило розробити нові алгоритми визначення параметрів тріщинуватих зон з використанням методів контролю емісії газу метану та еманачії дочірніх продуктів розпаду радону в атмосфері гірничих виробок;

- вперше встановлена затухаюча квазіперіодична залежність емісії газу метану в свердловини, що дозволяє визначати зональність ділянок підвищеного газовиділення в виробки та схеми розташування свердловин для збільшення ефективності дегазації і забезпечення безпеки ведення гірничих робіт;

- вперше запропоновано співвідношення для оцінки передбачуваних об'ємних витрат газу в області впливу свердловин на базі розрахунків приросту кульової частини тензора деформацій і об'ємів зруйнованих елементів геомеханічної моделі, що дозволяє прогнозувати продуктивність газової свердловини з довільною конфігурацією робочої зони;

- вперше розроблено метод прогнозу потенційно небезпечних проявів гірського тиску в виробках шахт, який засновано на ідентифікації синхронних, асинхронно протифазних або хаотично стрибкоподібних одночасних змін інтенсивності відхилень від середнього значення величин концентрації метану і параметрів наведеної еквівалентної рівноважної об'ємної активності емісії дочірніх продуктів розпаду радону в газоповітряному середовищі виробок;

- вперше для умов глибоких горизонтів вугільної шахти встановлено залежність еманцій в гірничу виробку короткоживучих α -частинок Po^{218} та взаємопов'язаних еманцій продуктів розпаду радону Pb^{214} і Bi^{214} , які мають більш тривалий період напіврозпаду, з утворенням тріщин і руйнуванням гірських порід, що дозволяє на базі радіометричного моніторингу виявляти дислокацію новоутворених систем тріщин;

- подальший розвиток отримав метод оцінки рівнів безпеки ведення гірничих робіт, що відрізняється використанням комплексних показників, які отримані за сумуванням і відбором максимальних значень в групах факторів ризиків, визначених за сценаріями розвитку геомеханічних і газодинамічних процесів;

- отримали розвиток методи функціонування підсистеми управління персоналом і підтримки прийняття рішень, які відрізняються ієрархічною структурою побудови систем контролю гірничотехнічних процесів та розширеними функціями щодо статистичних обробок комплексу виробничих показників.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується застосуванням апробованих методів механіки гірських порід, механіки суцільного середовища, теорії ризиків, нечіткої логіки і побудови інформаційних систем; обробкою статистично значущого об'єму даних властивостей порід, зміщень і деформацій виробок, параметрів дегазаційних свердловин, емісії продуктів розпаду радону в гірничі виробки; значною кількістю проведених чисельних експериментів з оцінки напружено-деформованого стану породного масиву; узгодженістю результатів математичного моделювання з натурними даними (надійність результатів не нижче 95 % при відносній похибці не більше 25 %); позитивними результатами апробації на практиці рекомендацій з контролю параметрів безпеки шахт, та впровадженням нормативно-технічних документів.

3. Практичне значення отриманих результатів

Основний **практичний результат** роботи полягає в можливості більш точного розрахунку параметрів напружено-деформованого стану масиву на основі

поточних вимірів у режимі реального часу, безпечному веденню гірничих робіт, охороні праці та результативності управління ризиками, забезпечення автоматизованого контролю стану та ефективного керування стійкістю виробок з метою усунення небезпечних факторів і, як результат, гарантування безпечних умов праці.

В роботі розроблено:

- методики і рекомендації щодо комплексного моніторингу проявів гірського тиску та обґрунтування силових характеристик анкерного та комбінованого рамно-анкерного способів підтримання гірничих виробок;
- нове програмне забезпечення для моделювання геомеханічних і газодинамічних процесів з урахуванням газо- і водонасиченості гірських порід;
- елементи технологій дегазації з урахуванням напружено-деформованого стану породного масиву, що сприяє підвищенню безпеки праці гірників;
- концепцію безпечного підтримання і провітрювання гірничих виробок з використанням ефективних методів, способів кріплення, схем провітрювання і дегазації;
- методику встановлення впливу волого- і газонасиченості на процеси тріщиноутворення та руйнування гірських порід і руху двофазних потоків в системі «гірничі виробки - вироблений простір»;
- методичні рекомендації щодо оцінки умов накопичення газу метану в гірничих виробках і визначення зон тектонічної порушеності на основі радіаційного контролю газу радону та продуктів його розпаду;
- новий спосіб прогнозу потенційно небезпечних проявів гірського тиску в виробках шахт з використанням методу радіометричного контролю;
- новий спосіб видобутку метану на полях закритих вугільних шахт;
- науково-методичні рекомендації з комплексної оцінки геомеханічних і газодинамічних параметрів стану масиву порід для забезпечення безпеки систем підтримання гірничих виробок;
- методичні рекомендації з особливостей застосування інформаційної системи для прогнозування інтегральних показників оцінки небезпечних станів граничнонапружених гірських порід;
- командний інтерфейс підсистеми підтримки прийняття рішень, що дозволяє дізнатися, де сталася подія і яка, знайти джерело помилкових рішень;
- два галузевих Стандарти України «Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні

технічні вимоги» та «Система управління виробництвом і охороною праці у вугільній промисловості України.

Одержані результати (методики, рекомендації та нормативні документи) використано при впровадженні способів управління силовими характеристиками системи «кріплення-масив» в умовах анкерного і рамно-анкерного кріплення, технологій дегазації, результативності управління ризиками, параметрів та вимог міжнародних стандартів з безпечного ведення гірничих робіт і охорони праці. Результати мають соціальний, екологічний та економічний ефекти. Економічний ефект складає 4,8 млн. грн.

4. Оцінка змісту дисертації та її завершеності в цілому

Дисертація є завершеною науковою роботою. Матеріал дисертаційної роботи достатньою мірою проілюстровано графічно. Мова та стиль викладення роботи є логічними, послідовними, аргументованими й відповідають фаховій термінології. Істотні орфографічні та стилістичні помилки текстового та редакційного характеру відсутні.

У **першому розділі** проведено аналіз стану проблеми забезпечення стійкості гірничих виробок та безпеки праці на гірничодобувних підприємствах. Показано, що недоліками існуючих розробок є те, що вони не враховують закономірності змін НДС газонасичених структурно-неоднорідних порід під впливом гірничих робіт і емісії газів метану та дочірніх продуктів розпаду радону в гірничі виробки. Стоїть питання розробки науково-методичного та нормативного забезпечення, що включає сучасні принципи математичного моделювання геомеханічного і газодинамічного станів породного масиву, нові методи контролю процесів руйнування, способи виявлення зон малоамплітудної тектоніки, методи прогнозування стійкості масиву порід і систем охорони гірничих виробок.

У **другому розділі** представлені результати досліджень з удосконалення методів ідентифікації параметрів напружено-деформованого стану обводненого газонасиченого масиву гірських порід. Розроблена математична модель для оцінки умов формування в газонасичених і обводнених пластах зон руйнування гірських порід, в яких активізуються процеси фільтрації метану і води під впливом градієнтів тисків через тріщини в вироблені простори. Розроблено програмний комплекс, який дозволяє моделювати складні гірничо-геологічні умови відпрацювання газо- і водонасичених пластів і використовується для ідентифікації факторів ризику втрати стійкості породного масиву. Розроблені методи і технології показали високу ефективність при впровадженні на шахтах.

У третьому розділі представлені результати аналітичних і шахтних досліджень напружено-деформованого стану масиву порід і стійкості анкерних, рамно-арочних і комбінованих систем підтримання гірничих виробок. Встановлено закономірності руйнування обводнених гірських порід і механізм утворення тріщин в різних гірничо-геологічних умовах. Встановлено закономірності формування поля напружень, зон непружних деформацій і зміщень порід покрівлі під впливом очисних робіт, визначено вплив сил опору кріплення у виробленому просторі на стан основної та безпосередньої покрівлі. Розроблено методичні рекомендації щодо комплексного моніторингу проявів гірського тиску, обґрунтовані силові характеристики системи «кріплення-масив». Результати увійшли в ряд патентів, методик, рекомендацій, а також в Стандарт «Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги».

У четвертому розділі проведена оцінка сумісного протікання геомеханічних та газодинамічних процесів в породному масиві для систем контролю виробничого середовища шахт. Встановлено взаємозв'язки між параметрами геомеханічного процесу (деформаціями порід, кутами падіння і простягання систем тріщин) з параметрами газодинамічного процесу (інтенсивністю, витратами і напрямками переміщення газів). Встановлено, що параметром ідентифікації рівня безпеки гірничих виробок по газовому фактору є об'єм емісії газу метану, визначений з урахуванням головних напружень і деформацій, поширеності зон непружних деформацій, а також змін об'ємів порово-тріщинного простору під впливом гірничих робіт. Встановлено, що емісія і концентрація газу метану в свердловини по довжині штреків при віддаленні від очисного вибою змінюється за затухаючою квазіперіодичною залежністю. Сформульовані принципи і визначені параметри дегазаційних свердловин, які увійшли в галузевий Стандарт України «Дегазація вугільних пластів і вміщуючих порід. Схеми дегазації», що сприяє підвищенню рівня безпеки праці гірників при розробці газонесних вугільних пластів.

У п'ятому розділі обґрунтовані параметри радіометричного контролю безпеки виробничого середовища в гірничих виробках шахт. На базі експериментальних досліджень встановлені фізичні особливості емісії в гірничі виробки метану спільно з дочірніми продуктами розпаду радону, а також її зв'язок з утворенням тріщин і руйнуванням гірських порід. Розроблено методичні рекомендації щодо комплексної оцінки параметрів стану масиву порід. Визначені вхідні дані радіометричного контролю, що застосовуються як індикатори для пошуку магістральних тріщин, зон геологічних порушень і малоамплітудної тектоніки.

У шостому розділі проведена ідентифікація потенційних ризиків проявів гірського тиску в виробках шахт з використанням інформаційних технологій і методів радіометричного контролю. Систематизовані домінуючі групи факторів ризиків, що пов'язані з геомеханічними процесами в породному масиві і впливають на ризики втрати стійкості систем підтримання гірничих виробок. Для управління процесами втрати стійкості гірничих виробок запропоновано оперувати діапазонами значень параметрів, межі яких можуть бути визначені моніторингом або аналітичними методами на основі імітаційних моделей, а показники ризиків – на основі нечітких моделей. Обґрунтовані алгоритми нечіткої логіки та комплексні показники для цифрових систем безпеки гірничих робіт.

У сьомому розділі обґрунтована структура системи геомеханічного та радіометричного контролю безпеки виробничого середовища шахт. Зниження ризиків виникнення аварійних і травмонебезпечних ситуацій забезпечується клієнт-серверною системою експертного центру прийняття оперативних рішень. Розроблена структура підсистеми управління персоналом для систем віддаленого контролю гірничотехнічних процесів, яка відрізняється використанням статистичних обробок виробничих показників. Погоджена остаточна редакція СОУ «Система управління виробництвом і охороною праці у вугільній промисловості України», який спрямований на забезпечення результативності управління ризиками у відповідності з міжнародними стандартами.

5. Зауваження по дисертаційній роботі

1. Рішення, що стосуються контролю гірничотехнічних процесів досить складні та вимагають від інженерів спеціальної підготовки. У подальших роботах доцільно привести плани підготовки персоналу, приклади схем встановлення датчиків у виробках, методи і принципи суміщення їх параметрів.

2. Перехід масиву з нестійкого стану в стійкий в умовах слабких порід залежить не тільки від несучої здатності заанкерованої частини масиву, але і інших гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів, тому слід було стверджувати не про переведення виробки в стійкий стан, а про підвищення стійкості, що автор переконливо доводить.

3. Здобувач враховує геомеханічний, газодинамічний і людський фактори, що впливають на безпеку шахт. Потрібно було зробити докладний опис, як саме здійснити найбільш зручне суміщення та інтеграцію запропонованих параметрів в системи безпеки, що зараз використовуються на шахтах.

4. Ризики несприятливого розвитку геомеханічних і газодинамічних процесів автором запропоновано визначати з індивідуальних ризиків окремих груп параметрів, що впливають на стійкість виробок і безпеку праці. Доцільно

було б побудувати ієрархію цих параметрів за ступенем впливу кожного з них на рівень безпеки гірничих виробок.

5. Автором для оцінки ризиків та прийняття рішень застосовано методи нечіткої логіки, які є одними з найбільш перспективних для управління процесами в умовах невизначеності. В роботі слід було на додаток до розроблених лінгвістичних правил і алгоритму нечіткого логічного виводу навести схему управління параметрами, детальніше відобразити управляючі змінні для сигналів і застосування заходів з безпеки.

6. У другому розділі є оглядовий матеріал щодо теорії дислокацій, в четвертому розділі – щодо зарубіжних публікацій з управління газовими колекторами в геологічному середовищі та оцінці безпеки (стор. 245, 246), які краще було б винести в першу главу.

Зауваження не впливають на високу оцінку одержаних результатів.

6. Висновок щодо відповідності матеріалів дисертаційної роботи встановленим вимогам

1) Автореферат і публікації розкривають основні положення дисертаційної роботи.

2) Наукові положення та результати наукових досліджень кандидатської дисертації Слацова І.М. на тему «Обґрунтування параметрів підтримання підготовчих виробок в структурно-неоднорідних породах», яка була представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – «Підземна розробка родовищ корисних копалин», в роботі не використовувались.

3) Дисертація відповідає п.п. 5, 9, 10 паспорта спеціальності 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка» та п.п. 2, 3, 6 паспорта спеціальності 05.26.01 – «Охорона праці».

4) Дисертація Слацова І. М. є завершеною науковою роботою, що присвячена розробці актуальної наукової проблеми встановлення закономірностей зміни напружено-деформованого стану структурно-неоднорідних газонасичених порід під впливом гірничих робіт, закономірностей емісії газів метану та радону в гірничі виробки шахт. Цінні наукові та практичні результати дають можливість ефективного керування напружено-деформованим та газодинамічним станом гірського масиву, зменшення аварійності шахт та уникнення важких наслідків техногенних катастроф. Розроблені методи, методичні рекомендації, способи та програмно-технічні засоби геомеханічного та радіометричного контролю параметрів безпеки шахт, вдосконалені нормативні

документи з безпечного функціонування гірничих виробок і охорони праці. Впровадження розробок дозволило отримати загальний економічний ефект у сумі 4,8 млн. грн.

5) Дисертація відповідає п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів» МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор Слащов Ігор Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка» та 05.26.01 – «Охорона праці».

Офіційний опонент

завідувач кафедри охорони праці та
цивільної безпеки

Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка» МОН України

доктор технічних наук, професор


Голінько В.І.

Підпис Голінька В.І. засвідчую:

Учений секретар Вченої ради

НТУ «Дніпровська політехніка»




Калюжна Т.М.