

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Петренка Володимира Дмитровича  
на дисертаційну роботу Васильєва Дмитра Леонідовича

**«Розвиток наукових основ визначення параметрів розвантаження  
привибійної частини газоносних вугільних пластів»,**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка»

### **Актуальність проблеми**

Для розв'язання проблеми стійкості виробок и боротьби з негативними проявами гірського тиску у вигляді раптових викидів вугілля і газу першорядне значення набуває оцінка напружено-деформованого стану (НДС) масивів гірських порід. Відомі аналітичні методи розрахунку НДС масивів гірських порід не дозволяють розкрити механізм розвитку під дією гірського тиску, тиску в них газу і тиску рідини локального внутрішнього процесу утворення тріщин, за рахунок яких відбувається дегазація привибійної частини газоносних вугільних пластів, що приводить до зниження тиску газу в пласті і зменшує вірогідність раптових викидів вугілля і газу. Тому тема дисертації Васильєва Д.Л., яка направлена на розвиток наукових основ визначення параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів з урахуванням закономірностей локального утворення і розвитку тріщин в гірських породах, має високу актуальність для вугільної промисловості.

### **Зміст роботи**

Дисертація Васильєва Д. Л. складається із анотації, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 202 найменувань на 24 сторінках, містить 373 сторінки машинописного тексту, включає 11 таблиць, 91 рисунок (основна частина 260 сторінок), 26 додатків на 53 сторінках

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та завдання дослідження, наукова новизна і практичне значення роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами, темами, приведена апробація результатів дисертації, показаний особистий внесок автора.

У першому розділі проаналізовані дослідження в області розв'язання проблеми керування напружено-деформованим станом (НДС) масивів гірських порід і оцінки їх несучої здатності в процесі руйнування поблизу виробок. Керування НДС масивів гірських порід в процесі деформації направлено на розв'язання двох протилежних проблем: на підвищення стійкості підземних виробок і зниження несучої здатності – розвантаження привибійної частини вугільних пластів з метою запобігання раптових викидів вугілля і газу у вироблений простір.

У другому розділі обґрунтовані закономірності розподілу контактних і внутрішніх напружень в тілі, що деформується і руйнується, з урахуванням його геометричних розмірів і показників внутрішнього і контактного тертя.

У *третьому розділі* розроблений метод розрахунку параметрів граничного стану матеріалу в локальній області крихкого тіла з урахуванням внутрішнього і контактного тертя в процесі його позамежного деформування на підставі критерію міцності Кулона.

У *четвертому розділі* розроблена математична модель і методи побудови діаграм «нормальне напруження – поздовжня деформація» і методи визначення несучої здатності зразків гірських порід, засновані на визначенні локальних напружень у вершинах тріщин і розрахунку параметрів частини площі зразків, що виходять з-під навантаження у міру розвитку цих тріщин по траєкторії максимальних ефективних дотичних напружень (ТМЕДН). Початковими параметрами моделі є граничне значення опору матеріалу зсуву ( $k_n$ ), коефіцієнт внутрішнього тертя ( $\mu$ ), коефіцієнт контактного тертя ( $f_k$ ), модуль пружності матеріалу ( $E$ ). На підставі розробленого методу розкритий механізм утворення чотирьох форм (усічено-клинова, клинова, діагональна, поздовжня) руйнування зразків гірських порід, що полягає у взаємозв'язку параметрів контактних нормальних і дотичних напружень на ТМЕДН і геометрії виходу цих траєкторій на вертикальну вісь симетрії зразків. Зіставлення розрахункових даних з експериментальними проводилося по даним, що були прийняті з кадастру гірських порід.

У *п'ятому розділі* методи визначення несучої здатності зразків гірських порід були перенесені на масиви вугільних пластів. Перенесення було забезпечено урахуванням геометричних параметрів тіла, що деформується. Запропоновано механізм формування привантаження привибійної частини вугільного пласта, який полягає у лінійному загасанні від кромки вибою у глибину масиву дотичних напружень від контактного тертя між пластом і вміщуючими породами. Крім того, було розроблено метод розрахунку напружень у вершині тріщини в будь-якій точці привибійної частини газоносного вугільного пласта, який полягає в урахуванні значень опорного гірського тиску, горизонтальних стискаючих напружень бічного підпору і тиску в ній газу.

У *шостому розділі* висловлені теоретичні основи розрахунку параметрів розвантаження привибійної частини викидонебезпечних вугільних пластів при гідророзпушуванні. Розроблено математичну модель, аналітичні методи і методику та встановлено закономірності параметрів розвантаження привибійної частини вугільного пласта при гідророзпушуванні. Розроблено також методики проведення гірничо-експериментальних робіт і рекомендації в доповнення до технологічної проектної документації проведення і кріплення підготовчих виробок СП «Ш/у Суходільське-Східне» і «Ш/у «Молодогвардійське» ПАТ «Краснодонвугілля», і в «Технічне завдання «Пристрій для гідроімпульсної дії на вугільний пласт», яке розроблено ІГТМ НАН України спільно з ТОВ «Теплогірський завод гідрообладнання».

Порівняння ефективності використання статичного і імпульсного гідророзпушування в однакових умовах «Ш/у «Суходільське-Східне» і «Ш/у «Молодогвардійське» ПАТ «Краснодонвугілля» при проведенні підготовчих виробок свідчить, що при імпульсному гідророзпушуванні через свердловини

діаметром 43 мм завдовжки від 6 до 7 м з глибиною герметизації від 4,0 до 5,0 м за критерієм системи контролю АПСС «активний процес завершений» і сейсмічного контролю за допомогою пристрою ЗУА-98 за величиною зони розвантаження встановлено зниження викидонебезпечності вугільних пластів в порівнянні зі статичним розпушуванням, що, в цілому, підтверджує зроблені автором теоретичні висновки.

У додатках представлено результати шахтних досліджень, ефективності використання статичного і імпульсного гідророзпушування в однакових умовах «Ш/у «Суходільське-Східне» і «Ш/у «Молодогвардійське» ПАТ «Краснодонвугілля» при проведенні підготовчих виробок, акти впровадження результатів дисертаційних досліджень.

**Основні наукові результати, одержані здобувачем, та їх новизна полягає у наступному.**

1. Вперше розроблено математичну модель, аналітичні методи, методики розрахунку і встановлено закономірності межі міцності на стиск та побудови діаграм «нормальне напруження – подовжня деформація» зразків гірських порід для чотирьох форм їх руйнування (усічено-клинової, клинової, діагональної, повздовжньої) з використанням чотирьох показників властивостей гірських порід (межа міцності зсуву вугілля, коефіцієнт контактного тертя, коефіцієнт внутрішнього тертя, модуль пружності Юнга) на підставі значень граничних нормальних напружень у вершинах тріщин, що враховують у критерії міцності Кулона контактне тертя і значення ефективних дотичних напружень, які не досягають межі міцності зсуву порід в точках виходу траєкторій на граничну поверхню, що дозволило встановити межу міцності вугілля простими способами в умовах шахт.

2. Вперше запропоновано механізм формування привантаження привибійної частини вугільного пласта, який полягає у лінійному загасанні від кромки вибою у глибину масиву дотичних напружень від контактного тертя між пластом і вміщуючими породами та розроблено математичну модель, аналітичний метод розрахунку, і встановлено закономірності гірського тиску, епюра якого описується опуклою квадратичною функцією, та несучої здатності привибійної частини вугільних пластів, що дозволило описати епюру гірського тиску, відповідну експериментальній.

3. Вперше розроблено метод розрахунку напружень у вершині тріщини в будь-якій точці привибійної частини газоносного вугільного пласта, що полягає в урахуванні значень опорного гірського тиску, горизонтальних стискаючих напружень бічного підпору і тиску в ній газу, що дозволило пояснити зниження міцності вугілля за наявності в ньому газу під тиском і визначити параметри тріщин в привибійної частини вугільного пласту.

4. Вперше встановлені закономірності зміни величин зони розвантаження вугільного пласту, які описується функцією, що зростає в залежності від потужності та глибини залягання пластів і спадає в залежності від показників фізико-механічних властивостей вугілля, що дозволило обґрунтувати

мінімально допустиму глибину герметизації, яка виключає небезпечний гідровіджим.

5. Вперше розроблено математичну модель, аналітичні методи і методику та встановлено закономірності параметрів розвантаження привибійної частини вугільного пласта при гідророзпушуванні за рахунок виходу його частини з-під навантаження при розвитку однієї привибійної тріщини віджиму і 3...6 похилих тріщин, що по черзі розвиваються, та зниження несучої здатності цієї частини пласта при імпульсному гідророзпушуванні в порівнянні із статичним за рахунок зниження внутрішнього тертя в вершинах тріщин і контактного тертя між пластом і бічними породами від динамічної дії рідини, що нагнітається в пласт.

6. Вперше розроблено математичну модель, аналітичні методи розрахунку і встановлені закономірності зміни значень тиску рідини у межах від 0 до 20 МПа, необхідних для розвитку тріщин гідророзпушування, від ординати їх вершин, при цьому перевищення значень цього тиску забезпечується максимальним імпульсним тиском, що розвивається кавітаційним генератором пристрою з керуванням підпірного тиску – гідроопору вугілля при витраті рідини, рівної  $0,00092 \text{ м}^3/\text{с}$  (55 л/хв), що нагнітається в пласт, в умовах відношення підпірного тиску до тиску нагнітання у діапазоні  $0,1 \dots 0,25$ , при цьому для виключення небезпечного гідровіджиму витрата рідини не повинна перевищувати  $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$  (60 л/хв), що дозволяє підвищити безпечну зону безперервної виїмки вугілля з 3,0 м до 6...7 м і швидкість проведення виробок у 2...2,3 рази.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Основні положення і висновки, сформульовані в дисертаційній роботі і винесені автором до захисту, представляються у достатній мірі обґрунтованими. Обґрунтованість положень і висновків забезпечується, зокрема, використанням системного підходу для вирішення коректно поставлених задач і апробованих сучасних методів механіки деформованого тіла, математичної статистики; достатнім обсягом експериментальних досліджень, одержаних у представницьких умовах експлуатації; використанням методик розрахунку параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів, заснованих на перевірених практикою припущеннях і гіпотезах.

### **Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій; їх новизна.**

Вивчення дисертації й наукових публікацій автора дозволяє оцінити результати роботи в основному як достовірні. Обґрунтованість і достовірність положень, висновків і рекомендацій підтверджено коректністю постановки задач; високим ступенем збіжності результатів, які отримані за розробленими методами розрахунку параметрів діаграм «нормальне напруження – повздовжня деформація» при одноосьовому стискуванні зразків гірських по-

рід з відносною похибкою розрахунку в межах 0,14...0,21, коефіцієнтом варіації – в межах 0,147...0,22 при надійності результатів в межах 93...99 %; збігом аналітичної епюри гірського тиску у вигляді квадратичної функції з експериментальною, що було підтверджено результатами гірничо-експериментальних робіт з гідророзпушування газоносних вугільних пластів, що підтвердили теоретично передбачене збільшення в 1,3...1,5 рази зони розвантаження пластів при їх гідроімпульсній обробці.

**Наукове значення роботи** полягає у встановленні закономірностей локального утворення і розвитку тріщин в гірських породах, формування опорного гірського тиску, зменшення несучої здатності пласта із збільшенням тиску газу, зміни величин зон розвантаження від потужності пласта, глибини його залягання і показників фізико-механічних властивостей вугілля, розвантаження газоносних вугільних пластів при їх гідророзпушуванні, удосконаленні методів розрахунку параметрів розвантаження цих пластів на базі критерію міцності Кулона з урахуванням їх контактного тертя і тиску в них газу.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці наступних технічних документів:

1. Методик розрахунку межі міцності на стиск та побудови діаграм «нормальне напруження – подовжня деформація» зразків гірських порід.
2. Методики розрахунку величини зони розвантаження викидонебезпечних вугільних пластів при їх гідророзпушуванні.
3. Методики проведення гірничо-експериментальних робіт і рекомендації по гідроімпульсному розпушуванні вугільних пластів для безпечного проведення підготовчих виробок.
4. «Технічного завдання на дослідно-конструкторську роботу «Пристрій для гідроімпульсної дії на вугільний пласт» для промислового освоєння, в якому обґрунтовані параметри пристрою.

**Реалізація результатів роботи** полягає в розробці шести важливих для виробництва технічних документів та впровадженні їх на шахтах Донбасу. В результаті економічний ефект від впровадження імпульсного гідророзпушування газоносних викидонебезпечних вугільних пластів при проведенні підготовчих пластових виробок комбайном на шахтах ПАТ «Краснодонвугілля» складає до 0,7 млрд грн./рік в цінах 2014 р. («Розрахунок очікуваної економічної ефективності від вживання імпульсного гідророзпушування вугільних пластів при проведенні виробок комбайнами на шахтах ПАТ «Краснодонвугілля» – Краснодон, 2014 р., затверджений генеральним директором товариства 14.08.2014 р).

**Рівень апробації результатів дисертації.**

Основні положення дисертаційної роботи повною мірою доповідалися і

одержали позитивну оцінку на Міжнародних конференціях, наукових школах з 2002 р. по 2016 р. та на семінарах «Обробка металів тиском» (2014 р.) в ДНМАУ і «Актуальні проблеми механіки тіл і конструкцій», що деформуються, в ДНУ при Придніпровському науковому центрі.), International Conference Essays of Mining Science and Practice (Dnipro, Ukraine, June 25-27 2019 р.).

### **Повнота публікації результатів дисертації.**

Основний зміст роботи опубліковано в 59 наукових працях, з яких в одній монографії, 23 в спеціальних виданнях України і 6 у виданнях, що входять в міжнародні наукометричні бази, 4 в спеціальних виданнях за кордоном України. Одержано 5 патентів України. 9 робот опубліковано без співавторів.

### **Особистий внесок автора.**

Автором самостійно сформульована наукова проблема, мета роботи і задачі досліджень, наукові положення, висновки й рекомендації з їх практичної реалізації; розроблено математичні моделі формування напружень у вершинах тріщин, методи і методики розрахунку межі міцності на стиск та побудови діаграм «нормальне напруження – подовжня деформація» об'єктів гірських порід. Розроблено аналітичні методи розрахунку епюри опорного гірського тиску і несучої здатності привибійної частини вугільних пластів. Розроблено методи розрахунку параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів при статичному та імпульсному гідророзпушуванні. Автор брав безпосередню участь в проведенні гірничо-експериментальних робіт на шахтах ПАТ «Краснодонвугілля» разом із співробітниками ІГТМ НАН України, МакНДІ і технічного персоналу шахт ПАТ «Краснодонвугілля».

Текст дисертації і автореферату викладено автором особисто.

Наукові положення і результати, які виносилися на захист в кандидатській дисертації здобувача не винесені на захист в докторській дисертації.

**Автореферат відображає зміст дисертації.**

### **Зауваження по роботі та рекомендації**

1. На стор. 2 у вступній частині матеріалу першого речення викладений на 19 рядках, що ускладнює визначення головної частини наданого тезису.

2. На стор. 39, 100 та по всій роботі вказується на статичний (нормативний) спосіб гідророзпушування. На мій погляд, таке формулювання характеризується нефізичним підходом.

3. На стор. 47-48 речення про обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій викладено також на 21 рядках.

4. На стор. 68 та 99 наводяться речення про вибійну тріщину, але невідомо, який характер її розташування, тим більше, що немає рисунку і вона має ефемерне значення.

5. На стор. 97 перехід до аналізу [14, 15] зовсім не пов'язаний з попере-

днім матеріалом.

6. На стор. 112 безумовно, тобто без належного пояснення приймається коефіцієнт тертя в 2,0 та 3,0 одиниці (робота Тажибаєва К. Т.). При такому підході дотичні напруження будуть перевищувати нормальні в декілька разів, що може вказувати на помилковий характер таких сивновків.

7. На стор. 153 не зрозуміло, як можна прийняти пружну модель, придатну для крихких і пластичних матеріалів.

8. На рис. 4.13-4.16 не вказано, що позначається «у» по осі абсцис.

9. На стор. 199 (рис. 4.21) руйнування зразків породи аналогічне як на металах (лінії Людерса). Разом з тим, не наведено, що зразки мабуть були з дуже міцних матеріалів (залізисті кварцити, габродіабази та інші).

10. На стор. 269, на мій погляд, четверте наукове положення є дуже загальним і краще було б розробити номограму, яка б дозволила конкретизувати розрахунки в залежності від усіх основних параметрів об'єктів.

11. На стор. 295, в табл. 6.3 наведено значення параметрів, що були одержані при 26 циклах гідророзпушування в статичному режимі і при 13 циклах імпульсного нагнітання рідини. На мій погляд, таке формулювання має деякі протиріччя.

12. Текст, наведений на стор. 318-319 спочатку загальних висновків складається з 19 рядків. Це стилістично невірно.

13. У четвертому висновку на стор. 320 наведено про виникнення дотичних напружень від контактної тертя між пластом і вміщуючими породами. На мій погляд, достатньо складно з петрографічної точки зору зрозуміти виникнення такого явища.

Вказані недоліки в певній мірі стосуються основних наукових положень, які запропоновано до захисту у дисертації, але не впливають на її загальну позитивну оцінку.

### **Висновок**

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. 10 «Порядку присудження наукових ступенів і привласнення вченого звання старшого наукового співробітника МОН України». Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій розв'язана актуальна науково-прикладна проблема розвитку наукових основ визначення параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів, яка полягає у встановленні закономірностей локального утворення і розвитку тріщин в гірських породах, формування опуклої епюри опорного гірського тиску, зменшення несучої здатності пласта із збільшенням тиску газу. Крім того, визначено зміни поля напружень від потужності пласта, глибини його залягання і фізико-механічних показників вугілля і розвантаження газоносних вугільних пластів при їх гідророзпушуванні, що дозволило обґрунтувати на цій основі технологічні і витратно-напірні параметри способу та пристрою гідророзпушування, які були використані при підготовці рекомендацій в проекти проведення підготовчих виробок при проведенні виробок комбайнами на шахтах, що має суттєве значення для під

вищення безпеки та збільшення швидкості проведення підготовчих виробок на викидонебезпечних пластах в умовах шахт ПАО «Краснодонвугілля». Дисертація відповідає вимогам МОН України, а її автор, **Васильєв Д. Л.**, заслуговує на присудження вченого ступеня доктора технічних наук за фахом 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка».

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри мостів та тунелів  
Дніпровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна  
Міністерства освіти і науки України



Особистий підпис

*В. Д. Петренко*

В. Д. Петренко  
засвідчую  
Нач. загального відділу Дніпровського  
національного університету залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна

*Сержанова С.У.*

« 08 » 09 20 19 р.