

## ВІДГУК

офіційного опонента **Садовенка Івана Олександровича**

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»

Відгук складено на основі вивчення дисертаційної роботи, автореферату, опублікованих здобувачем результатів наукових досліджень, а також матеріалів, які підтверджують впровадження результатів роботи.

Дослідження проводились в Інституті геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова Національної академії наук України (м. Дніпро) відповідно до концепції державних програм та планів науково-дослідних робіт за безпосередньою участю здобувача.

### Актуальність теми досліджень

Загально відомо, що збільшення глибини розробки родовищ вугільних копалин привело до якісної і кількісної зміни напружено-деформованого стану (НДС) гірських масивів, зростанню динамічних проявів гірського тиску у вигляді раптових викидів вугілля і газу і обвалів порід, що призводять до аварійних наслідків.

Способи керування прийнятним руйнуванням масивів гірських порід в цілях розвантаження викидонебезпечних вугільних пластів, методи розрахунку напружень, засновані на використанні межі міцності дослідних зразків при їх стискуванні, мають недостатню достовірність через наявність масштабного ефекту. Достовірність може бути підвищена шляхом розвитку методів розрахунку параметрів локального руйнування гірських порід на базі найбільш відомого критерію міцності Кулона, урахуванням і нівелюванням масштабного ефекту межі міцності зсуву порід.

Для розв'язання проблем стійкості виробок і протидії негативним проявам гірського тиску у вигляді раптових викидів вугілля і газу першорядне значення має оцінка напружено-деформованого стану (НДС) масивів гірських порід. Відомі аналітичні методи розрахунку НДС порід не дозволяють повною мірою врахувати 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 призводить до зниження тиску газу в пласті і зменшує вірогідність раптових викидів вугілля і газу. Тому розвиток наукових основ визначення параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів з урахуванням закономірностей локального утворення і розвитку тріщин в гірських породах, що має важливе значення для підвищення безпеки та ефективності вуглевидобутку, визначає тему дисертаційної роботи Васильєва Д.Л., присвяченої вирішенню цієї проблеми.

Слід відзначити суттєвий зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Приведені в дисертації дослідження виконані в рамках держбюджетних тем ІГТМ НАН України «Наукові основи керування руйнуванням корисних копалин за рахунок зміни їх фрикційних властивостей при різних видах механічної дії – 2009» (№ ДР 0108U001985), «Виконати обґрунтування і розробити спосіб гідроімпульсної дії, який забезпечує підвищення безпеки праці при проведенні підготовчих виробок – 2011» (№ ДР 0107U002004), «Наукове обґрунтування, розробка і випробування в промислових умовах удосконалених засобів підвищення ефективності видобутку вугілля, шахтного метану і способів підготовки, переробки і транспортування мінеральної сировини 2012» (№ ДР 0111U009992), «Відпрацювати параметри пристрою гідроімпульсної дії на вугільний пласт при проведенні підготовчих виробок комбайнами в умовах шахт ВАТ «Краснодонвугілля» – 2011» (№ ДР 0110U007817); «Розвиток теорії та методів керування станом геотехнологічних систем для забезпечення інтенсифікації

роботи гірничодобувних підприємств» (№ ДР 01151U002534), а також 7 тем за господарською тематикою з ПАТ «Краснодонвугілля», по яких автор був виконавцем, а по темі «Наукові засади ризик-орієнтованого керування геотехнічними системами при розробці родовищ твердих корисних копалин» (№ ДР 0119U001349) автор є відповідальним виконавцем.

З детального аналізу стану проблеми автором визначена **мета роботи**, що полягає у встановленні закономірностей впливу домінуючих геодинамічних чинників на зниження несучої здатності викидонебезпечних вугільних пластів для визначення раціональних параметрів статичного (нормативного) і імпульсного способу та пристрою для досягнення гідророзпушування, що забезпечують запобігання раптовим викидам вугілля, породи та газу і сприяють швидкості проведення підготовчих виробок.

Досягнення мети деталізоване у **задачах досліджень**:

- дослідити закономірності розподілу контактних і внутрішніх напружень зразків і масивів гірських порід з урахуванням їх геометричних розмірів;
- обґрунтувати методи розрахунку параметрів руйнування в локальній області гірських порід з урахуванням їх внутрішнього і контактного тертя;
- розробити аналітичні методи та методики розрахунку межі міцності зразків гірських порід при стисканні і встановити їх достовірність за експериментальними даними;
- розкрити механізм привантаження і розробити метод розрахунку несучої здатності привибійної частини газоносних вугільних пластів з урахуванням тиску газу;
- впровадити методики для визначення раціональних параметрів нормативного і імпульсного способу та пристрою гідророзпушування привибійної частини газоносних вугільних пластів і обґрунтувати шляхи подальших досліджень.

**Методи дослідження** автора сучасні і результативні. Використано комплексний метод узагальнення попередніх досліджень: методи механіки тіла, що деформується; теорія пластичності; теоретичний опис та експериментальне підтвердження розподілу контактних, внутрішніх нормальних та дотичних напружень в гірських породах; зіставлення теоретичних позамежних кривих міцності зразків гірських порід з експериментальними діаграмами «нормальні напруження – поздовжня деформація»; узагальнення теоретичних і експериментальних закономірностей формування опорного гірського тиску; зіставлення результатів розрахунку зон розвантаження привибійної частини вугільних пластів з експериментальними вимірами цих зон при статичному та імпульсному гідророзпушуванні; методи статистичної оцінки аналітичних результатів та їх відповідність експериментальним даним; стандартні методи вимірювання параметрів.

**Зміст дисертації** викладений у 6-ти розділах.

У першому розділі наведений аналіз результатів досліджень провідних фахівців в галузі розробки і вдосконалення технологій гідророзпушування та її практичного застосування у вугільних шахтах, як засобу розвантаження гірничого тиску.

Оцінені заходи, спрямовані на зниження небезпеки раптових викидів вугілля і газу та інших динамічних форм проявів гірничого тиску, шляхом розвантаження вугільного пласта від гірничого тиску, що виводить його з граничного стану.

Відзначено, що дотепер не розроблені аналітичні методи, що дозволяють з високим ступенем достовірності розрахувати параметри розвантаження і оцінити рівень його ефективності. Особливо актуальні ці методи при застосуванні нових локальних способів запобігання раптовим викидам вугілля і газу для визначення їхньої ефективності. Методи розрахунку параметрів розвантаження газоносних вугільних пластів повинні бути розроблені на

урахуванні реального механізму розпушування. Проте відомі описи механізмів недостатньо глибоко відображають внутрішні процеси розпушування.

На підставі проведеного аналізу здобувач сформував мету та задачі досліджень.

У другому розділі обґрунтовані закономірності розподілу контактних і внутрішніх напружень тіла, що деформується і руйнується, з урахуванням його геометричних розмірів і показників внутрішнього і контактного тертя. Доведено, що для визначення напружень у вершинах тріщин потрібне знання функцій контактних нормальних і дотичних напружень, конкретної закономірності розподілу нормальних і дотичних напружень в будь-якій точці тіла. З'ясовано закономірності розподілу цих контактних і внутрішніх нормальних і дотичних напружень.

Надане роз'яснення, що в кутовій точці за віссю ординат виникає дотримання закону парності дотичних напружень через випуклість вільних (внаслідок бочкоутворення) поверхонь.

У третьому розділі обґрунтований 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.

Виведена система рівнянь, що дозволяє розрахувати вертикальні нормальні напруження в будь-якій точці зразка, що досліджується.

Розроблені методи розрахунку параметрів траєкторій тріщин, що розвиваються в гірських породах, і значень граничних нормальних напружень в їхніх вершинах. Система рівнянь з урахуванням закономірностей розподілу контактних і внутрішніх напружень тіла, що деформується, в наступному розділі роботи доведена до практичного використання в гірничій справі.

У четвертому розділі обґрунтована математична модель діаграм «нормальне напруження – поздовжня деформація» і методи оцінення несучої здатності зразків гірських порід, засновані на визначенні локальних напружень

у вершинах тріщин і розрахунку параметрів частини площі зразків, що виходить з-під навантаження у міру розвитку цих тріщин.

Даний розвиток теорії граничного стану матеріалів, який полягає у виведенні і розв'язанні диференціального рівняння рівноваги взаємозв'язаних силових параметрів і розробці на його основі методу розрахунку значень граничних нормальних напружень на траєкторії ефективних дотичних напружень на підставі критерію міцності Кулона, доповнений урахуванням контактного тертя.

В п'ятому розділі наведено результати досліджень з адаптації методів визначення несучої здатності зразків гірських порід на масиви вугільних пластів. Це забезпечується урахуванням геометричних параметрів об'єкту, 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, що дозволило описати експериментальну епюру гірського тиску, яка має вигляд опуклої квадратичної функції, початкове значення якої дорівнює нормальному напруженню у вершині привибійної тріщини, а кінцеве – гірському тиску у зоні незайманого масиву.

В шостому розділі надані теоретичні основи розрахунку параметрів розвантаження привибійної частини викидонебезпечних вугільних пластів при гідророзпушуванні.

Використовуючи експериментальні дані МакНДЦ проведена оцінка рівня достовірності розроблених автором методів. Порівняння результатів розрахунку показує, що середня похибка розрахунку по запропонованому методу параметра  $k_n$  складає 16,8 %, по методу МакНДЦ – 90 %.

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 роботи.**

Здійснений розвиток теорії граничного стану матеріалів, який полягає у виведенні і розв'язанні диференціального рівняння рівноваги взаємозв'язаних силових параметрів і розробці на його основі методу розрахунку значень граничних нормальних напружень за траєкторією ефективних дотичних напружень на підставі критерію міцності Кулона, який доповнений урахуванням контактної тертя.

Вперше встановлено механізм локального руйнування гірських порід, який полягає в зміні кутів повороту траєкторій ефективних дотичних напружень за зміною віддалення від контактних поверхонь, які навантажуються дотичними напруженнями, що загасають згідно принципу Сен-Венана.

Вперше розроблено методи розрахунку параметрів траєкторій тріщин, що розвиваються в гірських породах, і значень граничних нормальних напружень у їх вершинах, що враховують в критерії міцності Кулона контактне тертя і значення ефективних дотичних напружень, які не досягають межі міцності зсуву порід в точках виходу траєкторій на граничну поверхню.

Вперше розроблено аналітичні методи розрахунку межі міцності зразків гірських порід для чотирьох форм їх руйнування (усічено-клинової, клинової, діагональної, поздовжньої) на стиснення з використанням чотирьох показників властивостей гірських порід: межі міцності зсуву вугілля; коефіцієнта контактної тертя; коефіцієнта внутрішнього тертя; модуля пружності.

Запропоновано механізм формування привантаження привибійної частини вугільного пласта, який враховує лінійне загасання від кромки вибою у глибину масиву дотичних напружень від контактної тертя між пластом і бічними породами, що дозволяє описати експериментальну епюру гірського тиску.



Вперше розроблено метод розрахунку напружень у вершині тріщини в будь-якій точці привибійної частини газоносних вугільних пластів, що полягає в урахуванні значень опорного гірського тиску й тиску газу. Удосконалено метод граничного стану гірського тиску, що використовується МакНДІ, у вигляді квадратичної функції і виходу частини площі пласту з-під навантаження при розвитку привибійної тріщини від гірського тиску. Це дозволило удосконалити методики розрахунку параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів при їх статичному та імпульсному гідророзпушуванні.

Вперше розроблена математична модель і аналітичний метод розрахунку тиску рідини, необхідного для розвитку тріщин гідророзчленування і обґрунтовано, що максимальний імпульсний тиск, що розвивається кавітаційним генератором пристрою і перевищує тиск гідророзчленування, забезпечується при витраті рідини, що нагнітається в пласт,  $0,00092 \text{ м}^3/\text{с}$  (55 л/хв) за відношення підпірного тиску до тиску нагнітання  $0,1 - 0,25$ , що реалізується технічним керуванням підпірного тиску.

#### **Практичне значення роботи.**

Розроблено методики на 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 ідентичних умовах «Ш/у «Суходільське-Східне» і «Ш/у «Молодогвардійське» ПАТ «Краснодонвугілля», підтверджує зроблені автором теоретичні висновки.



**Рівень обґрунтованості наукових положень та висновків** забезпечується використанням комплексу сучасних методів досліджень, стандартної виміральної апаратури у поєднанні з методами математичного моделювання та комп'ютерної обробки результатів вимірів, узгодженням результатів, одержаних теоретично, з результатами, одержаними експериментально та порівнянням даних автора з даними літературних джерел.

#### **Зауваження до змісту роботи та її оформленню**

1. У постановці актуальності наукової проблеми є таке твердження автора (стор. 1 автореферату): «жодна відома аналітична формула ... не описує експериментальну епіюру вертикальних напружень ... з початковим значенням, яке не дорівнює нулю. У зв'язку з цим відомі аналітичні методи розрахунку НДС ... не дозволяють розкрити механізм ... розвантаження». Зауважу, що таке твердження протирічить науковій методології досліджень технічних систем, де експериментальні факти є найбільш надійним джерелом пояснення механізму розвитку будь-якого фізичного процесу.

2. У першому і другому положенні автор надає діапазон змін параметрів (або дотичних напружень) від 0,5 до 0 з невизначеною розмірністю. Якщо йдеться про відносні величини, слід це конкретизувати.

3. У параметричному ряді – межа міцності зсуву вугілля, коефіцієнт контактного тертя, коефіцієнт внутрішнього тертя, присутній також модуль пружності Юнга. Це не зовсім коректно з огляду реально існуючих відхилень від лінійності діаграм «нормальне напруження – подовжня деформація» зразків гірських порід.

4. У роботі, на погляд опонента, перебільшене суто аналітичне співставлення форм руйнування зразків гірських порід і породного масиву. Слід було б надати аналіз вірогіднісних підходів до цієї задачі з виконаними аналітичними розробками.

5. Емпірична формула (5.10) надана без приведення розмірності параметрів, а також кореляційних відношень. За вживання такої формули у подальшому аналітичному оціненні несучої здатності привибійної частини виникає питання щодо коректності результату.

6. Викладення дисертації українською мовою, нажаль, лише задовільне, хоча змістовність роботи заслуговує кращої оцінки.

### **Загальні висновки**

В дисертації надане рішення актуальної наукової проблеми, зі встановлення закономірностей локального утворення і розвитку тріщин в гірських породах, що визначені формуванням опуклої епюри опорного гірського тиску, зменшенням несучої здатності пласта із збільшенням тиску газу, зміною величин розвантаження залежно від потужності пласта, глибини його залягання, фізико-механічних показників вугілля і технологічного розвантаження газоносних вугільних пластів при їх гідророзпушуванні, що суттєво розвиває наукові основи прогнозу параметрів привибійної частини пластів з урахуванням їх контактного тертя і тиску в них газу та дозволяє обґрунтувати на цій основі загальнотехнічні і витратно – напірні параметри статичного та імпульсного способу гідророзпушування оригінальним пристроєм, що має суттєве значення для підвищення безпеки та збільшення швидкості проведення підготовчих виробок на викидонебезпечних пластах.

Наукові положення дисертації мають наукову новизну, достатньо обґрунтовані і достовірні.

Результати досліджень автора використані в методичній та проектній документації інституту ІГТМ і ПАТ «Краснодонвугілля»

Опубліковані роботи і автореферат дисертації відображають основний зміст дисертаційної роботи. Опубліковано 59 наукових праць, з яких 1 монографія, 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 робіт опубліковано без співавторів. Дисертація написана технічно грамотною мовою, її оформлення відповідає сучасним вимогам.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота «Розвиток наукових основ визначення параметрів розвантаження привибійної частини газоносних вугільних пластів» відповідає спеціальності 05.15.09 – «Геотехнічна

і гірнича механіка», представляє закінчену наукову роботу, відповідає існуючим вимогам МОН України щодо кваліфікаційних робіт, а її автор, **Васильєв Дмитро Леонідович**, за вирішення актуальної наукової проблеми заслуговує присудження вченого ступеня доктора технічних наук.

Професор кафедри гідрогеології та інженерної геології  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»

Міністерства освіти і науки України,  
доктор технічних наук, професор

  
І.О. Садовенко

Підпис професора Садовенка І.О. завіряю

Вчений секретар НТУ "Дніпровська політехніка"

  
О.А. Данилова



Read-Only