

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Педченко Світлана Віталіївна

УДК 622.5:622.841:622.847



**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ
СТІЙКОСТІ ВОДРОЗДІЛЯЮЧИХ ШАРІВ В УМОВАХ
ЗГОРТАННЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ**

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі маркшейдерських та геодезичних досліджень Українського державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи (УкрНДМІ) НАН України (м. Донецьк).

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **ДРІБАН Віктор Олександрович**, заступник директора з наукової роботи Українського державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України (м. Донецьк).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент **КІПКО Олександр Ернестович**, професор кафедри гірництва Антрацитівського факультету гірничої справи і транспорту Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля Міністерства освіти і науки України (м. Антрацит);

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

СЛАЦОВА Олена Анатоліївна,

старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ корисних копалин на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ).

Захист відбудеться "26" червня 2013 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному вищому навчальному закладі "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України (49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України (49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розіслано "24" травня 2013 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

Педченко Світлана Віталіївна

Обґрунтування параметрів гідрогеомеханічної стійкості водорозділяючих шарів в умовах згортання гірничих робіт

(Автореферат)

**Підп. до друку 22.05.13 Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. №**

**Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49027, г. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна входить до 10 провідних держав світу за обсягами гірничовидобувних підприємств. При цьому питома площа її території складає лише 2%, що визначило видобуток твердих корисних копалин як головний чинник утворення концентрованої техногенно-геологічної системи у межах країни. Ведення підземних гірничих робіт призводить до змін в гідрогеологічній системі, до осідань земної поверхні над виробленим простором і є причиною появи негативних явищ (наприклад, виділення газу, провали поверхні, підтоплення та ін.).

Останні 20 років в рамках реструктуризації гірничої промисловості гостро стає питання щодо припинення роботи водовідливних комплексів ліквідованих шахт і рудників. В результаті реалізації цього рішення вироблений простір затоплюється і це створює загрозу безпеці гірничим роботам на суміжних підприємствах.

Існуючі на теперішній час нормативні документи не достатньо враховують параметри розрахунку стійкості водорозділяючих шарів і бар'єрних ціликів біля затоплених виробок, що необхідно для безпечного ведення гірничих робіт на шахтах суміжних із затоплюваними. Результати досліджень, покладені в основу обґрунтувань цих нормативів, отримані в період відновлення затоплених у роки війни шахт і рудників, коли глибина гірничих виробок не перевищувала 300 метрів. За останній час науково обґрунтовані підходи, що враховують як геомеханічні, так і гідродинамічні фактори формування гідрогеомеханічної стійкості водотривів і бар'єрних ціликів є поодинокими. Тому вивчення геомеханічних і фільтраційних процесів у гірничому масиві при затопленні виробленого простору в умовах реструктуризації гірничої промисловості, а також розробка методики розрахунку параметрів гідрогеомеханічної стійкості водорозділяючих шарів і бар'єрних ціликів, які є основним елементом безпеки ведення гірничих робіт поблизу затоплених виробок, є актуальним науковим і практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження виконані відповідно до програми науково-дослідних робіт Українського державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи Національної академії наук України (УкрНДМІ НАН України) та відповідно до планів науково-дослідних робіт Національної академії наук України за темами: № III-16/11 "Геомеханічні, гідрогеологічні та геологічні процеси у гірничих масивах при консервації гірничодобувних підприємств", №ДР 0110U007406 та госпдоговірними темами 89с/11-708 "Гідрогеологічний прогноз наслідків затоплення гірничих виробок ш. ім. М.О. Ізотова, що ліквідується, з визначенням стійкості бар'єрних ціликів"; 29с/11-140 "Гідрогеологічний прогноз наслідків затоплення ш. "Об'єднана" для гідрозахисту ш. "Шахтарська-Глибока"; 108/12 "Гідрогеологічний прогноз з розглядом надійності гідравлічних зв'язків між шахтами № 6 "Червона Зірка" і № 9 "Капітальна"; 149Д/12 "Гідрогеологічний висновок про наслідки затоплен-

ня гірничих виробок ш. «Слов'яносербська» та їх вплив на діючу ш. "Черкаська" ДП "Луганськвугілля"; №ДР 0107U009246 «Проведення гідрогеологічних і інженерно-геологічних досліджень з метою встановлення місць проникнення води у шахти Солотвинського солерудника та виконання досліджень геомеханічних процесів при розробці Солотвинського родовища кам'яної солі і впливу діяльності соляних шахт на навколишнє природне середовище; №ДР 0110U005763 «Розробка науково-технічних заходів щодо запобігання екологічно небезпечних наслідків підтоплення шахти №8 державного підприємства «Солотвинський солерудник» на підставі результатів комплексних досліджень багаторічної експлуатації шахт №8 та №9» та ін.

Мета роботи. Обґрунтування параметрів стійкості водорозділяючих шарів в умовах затоплення шахт з урахуванням зміни геомеханічного і геофільтраційного стану масиву у водотривах над виробленим простором.

У зв'язку з цим в дисертаційній роботі сформульовані та вирішені наступні **задачі**:

1. Виконати аналіз стану водорозділяючих шарів і вугільних ціликів на шахтах Донбасу та водотривів діапирових структур, систематизувати випадки проривів води із затоплених виробок в робочий простір.

2. Визначити закономірності формування гідродинамічного режиму фільтрації через водорозділяючі шари за результатами натурних спостережень і чисельного математичного моделювання геофільтрації.

3. Обґрунтувати емпірико-аналітичні підходи до кількісної оцінки гідро-геомеханічної стійкості водорозділяючих шарів.

4. Встановити закономірності протікання гідрогеомеханічних процесів у гірничому масиві при наближенні очисних виробок до водорозділяючих шарів.

5. Розробити методику оцінки ризику прориву води через бар'єрні цілики.

Ідея роботи полягає в урахуванні особливостей проявів геомеханічних і геофільтраційних процесів при визначенні параметрів стійкості водорозділяючих шарів за умов згортання гірничих робіт.

Об'єкт досліджень – гідрогеомеханічні процеси, що протікають в гірничому масиві поблизу водорозділяючих шарів при експлуатації і затопленні шахт.

Предмет досліджень – параметри фільтраційної і геомеханічної стійкості водорозділяючих шарів між шахтами, ділянками шахтного поля та водоносними горизонтами.

Методи досліджень. При виконанні роботи були використані комплексні дослідження, що включають аналіз та систематизацію даних літературних джерел, аналіз результатів шахтних експериментів, узагальнення даних натурних спостережень при затопленні ліквідованих шахт Донбасу та шахт Солотвинського родовища солі, аналітичні розрахунки та емпіричний аналіз фактичних даних, чисельне моделювання фільтраційних і геомеханічних процесів, інженерну апробацію результатів.

Наукові положення

1. Основними факторами, що визначають гідрогеомеханічну стійкість водорозділяючих шарів є процеси розклинюючої дії розчинів, диз'юнктивні та

техногенні розривні деформації вміщуючих пісковиків, вапняків і водотривів сольових діапирів. Перший фактор враховується величиною гідравлічного підпору цілика та розмірами фільтраційного перетину пласта і міцних бокових порід в базовій формулі основного закону фільтрації, а інші визначають граничні умови другого та третього роду у прогнозній фільтраційній моделі. Це дозволяє використовувати додатковий резерв стійкості бар'єрних вугільних ціликів і окреслити зони аномальних водопритоків до соляних шахт.

2. Послідовне сполучення плоских геомеханічних моделей суцільного і дискретного середовища, а також моделі нестационарної фільтрації визначають алгоритм, що дозволяє оцінити гідрогеомеханічні параметри бар'єрних вугільних ціликів і ступінь ризику фільтраційного прориву води: 1) фільтраційні потоки формуються головним чином за рахунок ресурсу підземних вод (80%) між верхніми горизонтами і виробленим простором пласта; 2) ступінь ризику прориву води до 0,33 забезпечує геомеханічну стійкість цілика ті відповідає триразовому запасу міцності.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше обґрунтовано емпіричний підхід щодо оцінки ширини бар'єрних ціликів вугільних шахт, який враховує особливості геофільтрації через бокові породи і передбачає ототожнення в нормативній формулі глибини робіт з величиною гідравлічного підпору, що дозволяє точніше врахувати гідравлічну стійкість вугільних ціликів і бічних водорозділяючих шарів.

2. Для випадків відсутності достовірних даних про величину коефіцієнта фільтрації бокових порід обґрунтована нова методика розрахунку, що враховує базові співвідношення основного закону фільтрації. Методика апробована емпірично і може бути застосована на інших шахтах, ліквідація яких супроводжується фільтрацією води в суміжні шахти і вимагає визначення рівня стабілізації затоплення з підвищеною точністю.

3. Аналітичними методами і моделюванням визначені кількісні співвідношення між кінетичними, геомеханічними і тектонічними факторами, що впливають на гідрогеомеханічну стійкість водорозділяючих шарів діапирової соленосної структури та визначена домінантна роль дез'юнктивів у формуванні водопритоку до виробок.

4. Встановлено, що послідовне сполучення плоских скінчено-елементних геомеханічних моделей суцільного і дискретного середовища, а також моделі нестационарної фільтрації в скінчених різницях визначають алгоритм, що дозволяє оцінити гідрогеомеханічні параметри водорозділяючих шарів, бар'єрних вугільних ціликів і ступінь ризику фільтраційного прориву води.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів, висновків і рекомендацій підтверджується репрезентативним об'ємом фактичних даних про параметри стану водорозділяючих шарів та бар'єрних вугільних ціликів (оцінено більше 150 випадків), застосуванням апробованих аналітичних оцінок щодо геомеханічного навантаження та фільтрації через водорозділяючі шари і цілики, використанням комплексу тестових чисельних моделей геофільтрації і геомеханіки, рішенням обернених чисельних задач оцінки гідрогеомеханічного

стану фактично існуючих ціликів зі збіжністю параметрів до 95%, перевіркою рекомендованих параметрів у шахтах.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей формування фільтраційної та геомеханічної стійкості водорозділяючих шарів та бар'єрних вугільних ціликів з врахуванням їх геометричних, геомеханічних, фільтраційних і часових параметрів, що відповідають умовам безпечного ведення гірничих робіт при закритті шахт або ділянок шахтного поля.

Практичне значення роботи полягає в розробці рекомендацій і методик проектних оцінок стану водорозділяючих шарів і бар'єрних вугільних ціликів у 10-ти вугледобувних підприємствах, та 2-х сольових шахтах.

Реалізація роботи Рекомендації з розрахунку стійкості бар'єрних ціликів впроваджені в проекті ліквідації шахти ім. М.О. Ізотова та при оцінці надійності гідравлічних зв'язків між шахтами № 6 «Червона Зірка» і № 9 «Капітальна», а також наукові та інженерні пропозиції по захисту виробок рудника, міста Солотвино і навколишнього середовища від негативного впливу діяльності соляних шахт.

Особистий внесок автора. Автором сформульовані мета, ідея і наукові положення роботи. Обґрунтовані розрахункові схеми щодо моделювання геомеханічних і гідродинамічних процесів навколо водорозділяючих шарів і бар'єрних вугільних ціликів при затопленні шахт, вирішені ідентифікаційні і прогностні задачі, зроблені висновки. Розроблена методика кількісної емпірико-аналітичної оцінки гідргеомеханічної стійкості водотривів та бар'єрних ціликів і надані рекомендації з її використання в проектах ліквідації окремих вугільних і соляних шахт.

Апробація результатів досліджень. Основні положення, результати і зміст роботи доповідалися та були схвалені на III науково-практичній конференції "Підтоплення-2005" (м. Лазурне, Херсонська обл., 2005), 20th World mining congress & expo 2005 "Mining and Sustainable Development" (Tehran, Iran, 2005); міжнародних науково-технічних конференціях "Гірнична геологія, геомеханіка и маркшейдерія" (м. Донецьк, УкрДНМІ, 2004, 2009); міжнародних науково-технічних конференціях "Форум гірників" (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2006, 2007); міжнародній науково-практичній конференції "Екологічна безпека техногенно перевантажених регіонів та раціональне використання надр" (м. Коктебель, АР Крим, 2007); Вченій раді УкрДНІМІ НАН України (м. Донецьк, УкрДНІМІ, 2010).

Публікації. Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи опубліковані в 16 друкованих працях, в т.ч. 10 – в спеціалізованих виданнях та 6 – у збірниках конференцій.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел із 120 найменувань на 9 стор., двох додатків на 3 сторінках і містить 146 сторінок машинописного тексту, 76 рисунків і 4 таблиці. Загальний обсяг роботи 198 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Аналіз досвіду ліквідації гірничих підприємств показав, що гідрогеологічні та геомеханічні зміни в гірничому масиві є визначальним чинником у прийнятті технічних рішень при закритті шахт. Це визначає необхідність розробки моделі геолого-технічного середовища, що дозволяє реально оцінювати гідрогеомеханічні зміни в гірничому масиві. Загальні підходи щодо вирішення цих задач визначені у другій половині 20-го століття науковими школами Ленінградського гірничого інституту, Всесоюзного науково-дослідного інституту геомеханіки і маркшейдерії, Дніпропетровського гірничого інституту, Криворізького технічного інституту та ін.

В подальшому значні кроки до розробки гідрогеологічних та геомеханічних моделей порушеного гірничого масиву зроблені фахівцями Національної гірничої академії України (1999 р.), Державної компанії з реструктуризації підприємств вугільної промисловості (ДК "Укрвуглереструктуризація", м. Донецьк) та відділення фізико-технічних гірничих проблем ДонФТІ НАН України (2000 р.). В основу відповідних обґрунтувань та рішень технологічних задач з управління гідродинамічним режимом при закритті вугільних шахт покладено дані про їхнє затоплення у воєнний період та відомості про стан водорозділяючих шарів і бар'єрних вугільних ціликів у наступні роки. Ці дані свідчать про нерівномірність підйому рівня шахтних вод на суміжних шахтах, затухання швидкості затоплення в межах кожної з них. Якщо враховувати, що згортання гірничих робіт супроводжується частковою або повною зупинкою роботи водовідливів, то при вирішенні завдань керування гідродинамічним режимом закриття шахт необхідно забезпечити планове відключення водовідливів з визначенням критичного рівня затоплення і величин водопритоків, які не загрожують руйнуванням водорозділяючих шарів.

Аналіз галузевих нормативно-методичних документів свідчить, що при розрахунку розмірів водорозділяючих шарів і ціликів не враховуються особливості гідрогеомеханічних процесів, які супроводжують оконтурювання водотривів очисними виробками. Особливості, що стосуються шахт Кривбасу слід визнати найбільш обґрунтованими.

З огляду робіт щодо розрахунку параметрів бар'єрних вугільних ціликів витікає, що основним критерієм визначення їхньої стійкості є дія напружень від ваги порід покрівлі. У розроблених методиках використовується межа міцності вугілля на одноосьовий стиск і не враховується збільшення міцності при об'ємному навантаженні цілика. Крім цього, існуючі методики і рекомендації щодо розмірів бар'єрних ціликів не враховують їхнього розташування на значній відстані від зони ведення гірничих робіт. При цьому водоприток із затопленої частини гірничого масиву може бути мінімальним. Вочевидь, у подібних випадках доцільно залишати цілики менших розмірів. Найбільш істотним недоліком існуючих нормативів є відсутність врахування водозахисних (або навпаки проникних) властивостей бокових порід. У гірничодобувній галузі

країни в останні роки виникло гостре питання наукових обґрунтувань у прийнятті технічних рішень зі стабілізації і ліквідації негативних гідрогеомеханічних проявів у соляних шахтах Солотвинського родовища, яке вважалось надійно захищеним водотривами. Попередній аналіз показав, що функції водорозділяючих шарів як вугільних родовищ так і сольових діапирів слід об'єднати у єдине наукове завдання.

Наведені узагальнення з розглянутого комплексу питань дозволили сформулювати основні задачі досліджень дисертаційної роботи та визначили методичні підходи до їх виконання.

Аналіз показує (О.П. Семенов), що тільки у 22,5% випадків фактичні розміри вугільних ціликів відповідають нормативним.

З даних про фільтрацію води через цілики зроблений висновок, що випадки проривів води через бар'єрні вугільні цілики досить рідкісні в порівнянні з проривами води через бокові породи цілика, особливо якщо вони представлені водопроникними пісковиками і вапняком. Крім цього надходження води із затоплених гірничих виробок відбувається головним чином у результаті їх геомеханічної взаємодії з виробками, що експлуатуються.

На основі отриманих висновків з аналізу фактичних даних розроблений новий емпіричний підхід до оцінки ширини бар'єрних ціликів (d), який враховує особливості геофільтрації через бічні породи і передбачає ототожнення в нормативній формулі глибини робіт з величиною гідравлічного підпору $[\Delta H]$, що дозволяє точніше оцінювати гідрогеомеханічну стійкість ціликів, як систему водорозділяючих шарів

$$d = 5M + 0,5[\Delta H] + 0,001L, \text{ м} \quad (1)$$

де $[\Delta H]$ – величина напору води поблизу цілика, м; M - потужність пласта, що виймається, м; L - сумарна довжина підземних теодолітних ходів, м.

У випадку відсутності достовірних даних про величину коефіцієнта фільтрації (k) гірських порід обґрунтована методика розрахунку, що враховує базові співвідношення основного закону фільтрації. Методика апробована емпірично і може бути застосована на шахтах, ліквідація яких супроводжується фільтрацією води в суміжні шахти і вимагає визначення рівня затоплення з підвищеною точністю. Параметр \bar{m} , що характеризує фільтраційний перетин, враховує перетікання через геомеханічно порушені бокові породи, які є основним провідником води з затопленої в працюючу шахту

$$k = 24Q_{cp}L_{ch} / \bar{m}\Delta HB, \text{ м/доб} \quad (2)$$

де Q - витрата притоку, м³/год; L_{cp} - середня довжина шляху фільтрації, м; \bar{m} - сумарна потужність водоносних горизонтів у покрівлі та подошві пласта, м; B - ширина фронту фільтрації, м.

Більш складні геологічні та гідрогеологічні чинники обумовлюють механізм взаємодії водорозділяючих шарів з підземними водами і гірничими виробками у соленосних діапирових структурах, які природно є непроникними (Солотвинське родовище). У роботі наданий детальний аналіз фактичної геомехані-

чної ситуації, яка супроводжує затоплення шахти №9. Найбільш характерними рисами цього процесу є: розмив поверхні діапіра за інтенсивного шахтного водовідливу і надходження прісних вод в обхід дренажних споруд, наявність у розрізі соляного тіла аргілітоподібної глини, вихід під четвертинні відкладення круто-падаючих глин, карстоутворення і формування провальних вирв на поверхні (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вид одного з типових провалів земної поверхні над відпрацьованим простором

Досліджений механізм взаємодії водотривких шарів з водою та розчинами. Визначено, що за умови крихкого руйнування породи та адсорбції (П.А. Ребіндер) зростання довжини тріщин на глибинах 50-100 м сягає 38%, а додатковий тиск у них збільшується на 32,5%. Швидкість проникнення води при цьому коливається у межах 0,02...2,0 м/год, при цьому гідрофобні ділянки займають лише 0,01 поверхні тріщин. Тобто вплив води і розчинів на тріщиноутворення є суттєвим.

Подальші дослідження були зосереджені на розкритті кількісних показників гідрогеомеханічної стійкості водорозділяючих шарів з використанням чисельних моделей гідродинаміки і геомеханіки. Це необхідно, щоб дійти більш узагальнених висновків щодо одержаних емпіричних залежностей, врахувати складність наведених геолого-гідрогеологічних умов діапірових структур, а також з'ясувати головне протиріччя щодо ціликів вугільних шахт Донбасу. Воно полягає в тому, що на глибинах понад 500-600 м відоме співвідношення $\frac{\sigma_{сж}}{\gamma H}$ буде менше за одиницю, що свідчить про нестійкий стан бар'єрного цілика. У цьому критерії використовується показник міцності на одноосьовий стиск, але в

масиві діє об'ємне поле напружень. Дослідження на трьохосьовому пресі, виконані А.Д. Алексєєвим та ін., показують, що боковий підпір зразка збільшує його міцність у 9-10 разів. Рівень напружень в середній частині цілика може сягати 1,5-2,9 $\gamma\text{Н}$.

Це склало постановочні передумови спільного врахування геомеханічних і гідродинамічних кількісних співвідношень параметрів у гірничому масиві в умовах конкретного гірничотехнічного об'єкта (рис. 2)

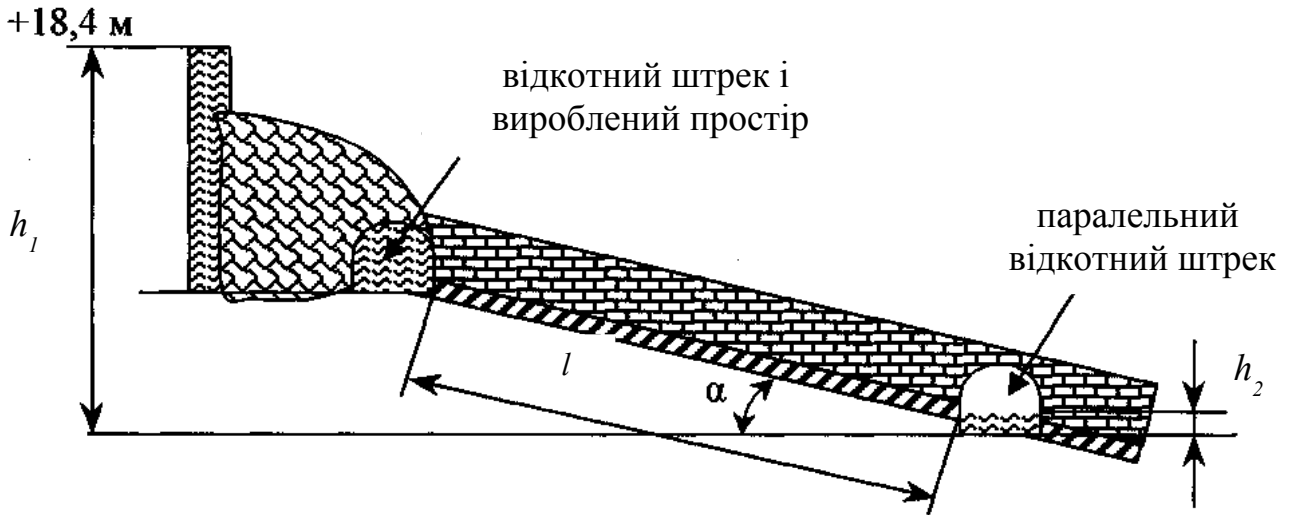


Рис. 2. Схематизація області фільтрації об'єкта моделювання при градієнті напору $((h_1 - h_2)/l)$

В алгоритм чисельної реалізації математичної моделі (програмний комплекс "Modflow") закладені скінчено-різницеві рішення диференційного рівняння фільтрації, що має вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (3)$$

де k_{xx} , k_{yy} й k_{zz} – гідравлічні провідності, відносно координат X , Y і Z ; h – функція напору (висота стовпа води), W – одинична витрата потоку: для вхідного в розрахункову область потоку $W > 0$, для вихідного потоку – $W < 0$, S_s – питома ємність пористого середовища, t – час.

Скінчено-різницева апроксимація рівняння (3) для розрахункового блоку області фільтрації

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot THICK_{i,j,k}) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}} \end{aligned} \quad (4)$$

де $h_{i,j,k}^m$ – напір в розрахунковому блоці i, j, k на часовому кроці m , CV , CR , CC – гідравлічні провідності або провідності на інтервалі між блоком i, j, k і

сусіднім блоком, $P_{i,j,k}$ – сума коефіцієнтів з напором, що визначає витрати притоку-відтоку в блоці, $Q_{i,j,k}$ – сумарні значення витрат притоку-відтоку у блок: $Q_{i,j,k} > 0$ – приток, $Q_{i,j,k} < 0$ – відтік, $SS_{i,j,k}$ – питома ємність блоку, $DELR_j$ – ширина блоку j -ої колонки в усіх рядах, $DEL C_i$ – ширина блоку i -го ряду у всіх колонках, $THICK_{i,j,k}$ – вертикальна товщина блоку i, j, k ; t^m .

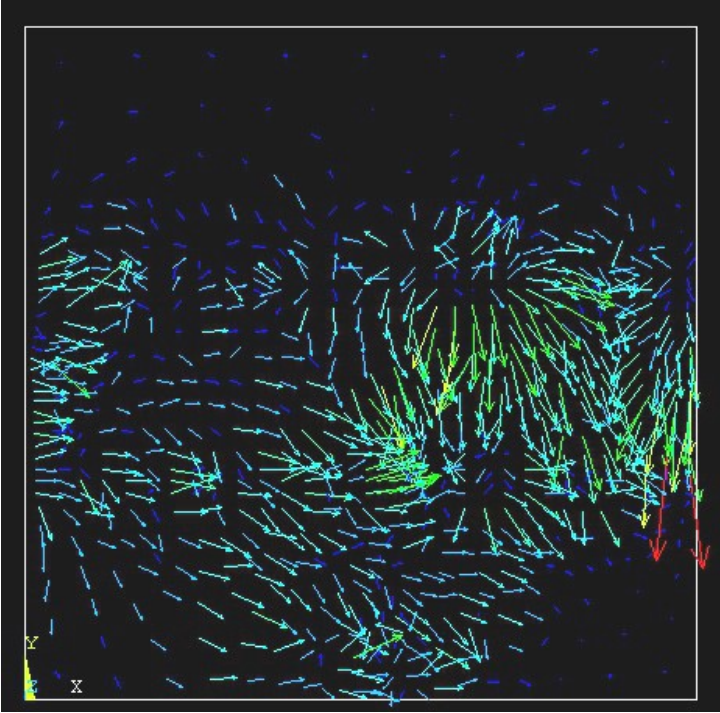


Рис. 3. Векторний розподіл інтенсивності потоків

мується на 80% за рахунок ресурсу.

Рис. 4, а ілюструє розподіл інтенсивності потоків підземних вод при затопленні вентиляційного горизонту виробленого простору 15 північної і південної лав пласта k_8 шахти Курахівська. Максимальна інтенсивність потоків спостерігається в південному крилі і належить до крайової частини виробленого простору. На рівні пласта k_8 також спостерігається зона максимальної інтенсивності гідравлічних потоків, яка локалізована в крайовій частині виробленого простору з південної сторони цілика, залишеного під пластом k_8 . Потoki обумовлені власними ресурсами водоносних порід і спрямовані в область мінімальних нормальних напружень.

При підвищенні рівня затоплення північного крила до позначки -400 м (рис. 4, б) спостерігається та ж сама якісна картина, однак потоки виробленого простору пласта l_2 і південного крила пласта k_8 об'єднуються.

За рахунок наповнення зони розвантаження формується гідравлічний підпір. Це призводить до просочування води через зону підвищеного гірського тиску (ПГТ). Потоки в південному крилі (рис. 4, в) в обох пластах практично об'єднуються і їх максимум співпадає з зонами розвантаження.

Геомеханічні зміни в масиві оцінювалися за допомогою чисельного моделювання об'єкта в пружно-пластичній постановці. Напруження Мізеса є функцією різниці нормальних напружень, що пропорційні дотичним напруженням. Ці напруження відображують пластичні деформації масиву, а їх максимальні значення спостерігаються в середній частині міжлавної цілика. Еквівалентні деформації відображують найбільш проникні зони. Поле фільтрації представлено векторами інтенсивності перетоків, які реагують на граничні відмітки затоплення і кількісно показують, що перетік підземних вод (рис. 3) фор-

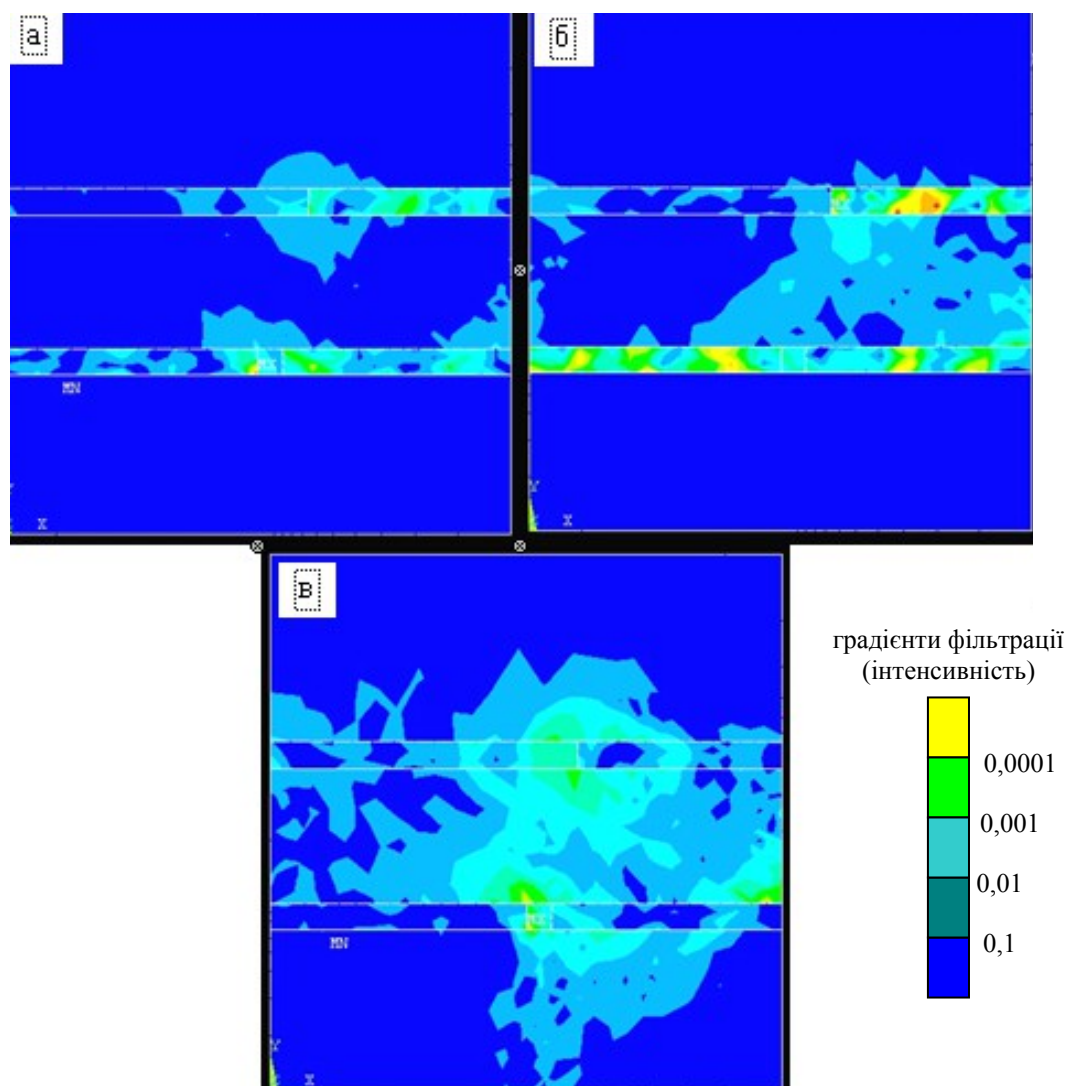
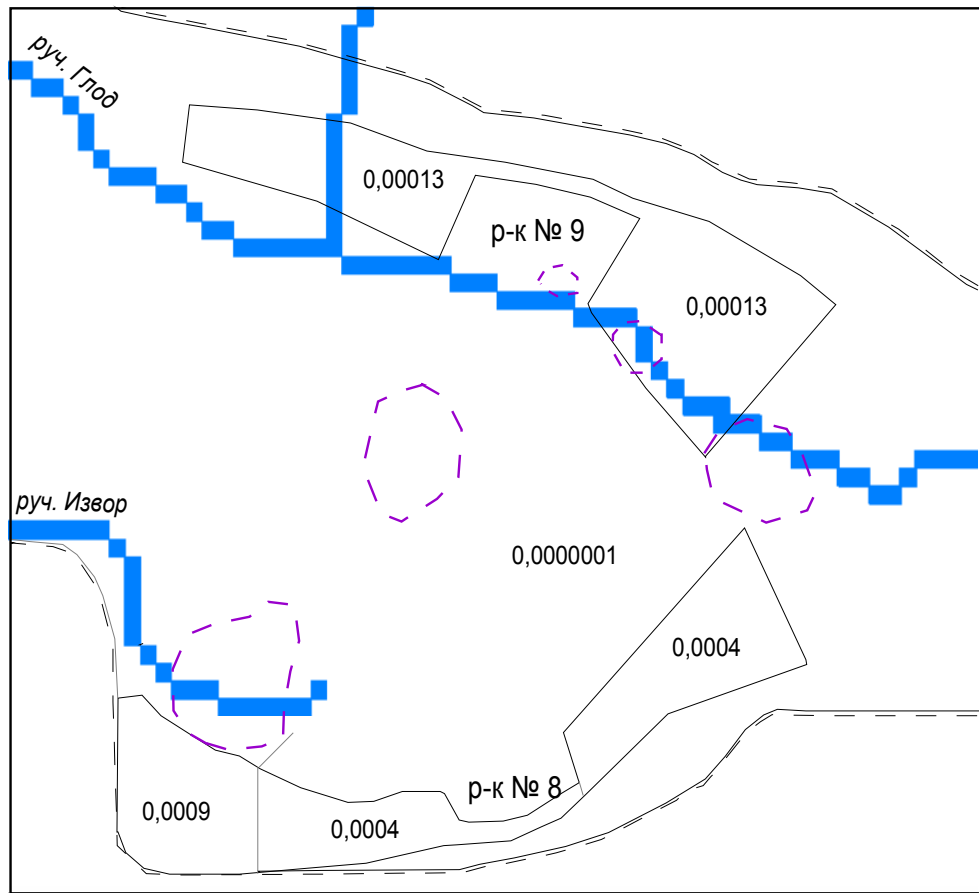


Рис. 4. Розподіл потоків в найбільш небезпечному перерізі при затопленні північного крила шахти Курахівська

Фільтраційні течії, що визначають роль водорозділяючих шарів у діапировій структурі Солотвинського родовища моделювались у двох варіантах граничних умов, що дозволило диференціювати значення четвертинних відкладень у балансі обводнення шахт, а головне визначити показники перетоку через водотрив порушений геомеханічними і тектонічними факторами, а також кінетикою розчинів (рис. 5 показує варіант результатів рішення). Встановлено, що розробка солі в 1,5...2,5 рази підвищила обводненість родовища, незважаючи на дренажні штольні. Тектонічні розриви, що перетинають водорозділяючий шар, забезпечують 50% обводнення рудника №8 і 35% рудника №9. Решта обводнення формується під впливом геомеханічних і кінетичних факторів в аргілітоподібних глинах.

З огляду на попередні результати слід відзначити надзвичайно складні умови формування НДС у масиві соляних шахт, які необхідно було відтворити на моделі для остаточних висновків щодо показників гідрогеомеханічної стійкості водорозділяючих шарів.



Умовні позначки:



Рис. 5. Схема питомої проникності порід об'єднаної товщі глини й солі в районі розташування рудників № 8 і № 9: 1 - модельна гідрографічна мережа; 2 - границя карстової воронки; 3 - рудники; 4 - границі ділянок водотриву із вказаним значенням питомої проникності, м³/доб; 5- границя куполу сольового діяпіра

Для цього обрана модель руху дискретних елементів Кюндалла, яка враховує рух елементів у часі, їхню пружну взаємодію, а також ділатансію у позамежному стані, що визначається критерієм Кулона-Мора. Геометричні розміри блоку моделювання склали 673x673x509 м. Фрагмент результатів моделювання ілюструє рис. 6.

Встановлено, що процес зрушення порід починається на глибині 250 м і створює перетин розмірами 150x250 м, який простягається уздовж контакту сольового купола з алевролітоподібними глинами. Це в подальшому призводить до формування провалу на фоні мульди осідань. Векторне поле рухів у масиві концентрується навколо максимальних зрушень з розривом водотривких шарів і характерною інверсією напрямків векторів у лежачому і висячому боках. Дані результати цілком узгоджуються з моделлю фільтраційних течій.



Рис. 6. Вертикальні осідання масиву у небезпечному перетині на глибині 250 м: --- диз'юнктив

Найбільш проблематичною при прийнятті інженерно-технічних рішень щодо закриття вугільних шахт Донбасу є задача оцінки ризику прориву води через бар'єрні цілики і визначення його кількісно.

Геомеханічна оцінка граничних співвідношень НДС у найбільш ризикованих перетинах за гірничо-геологічними умовами проведена на чисельній моделі суцільного середовища (рис. 7) для вивчення динаміки розвитку фільтраційної зони використана модель, що враховує дискретизацію масиву (модель Кюндалла).

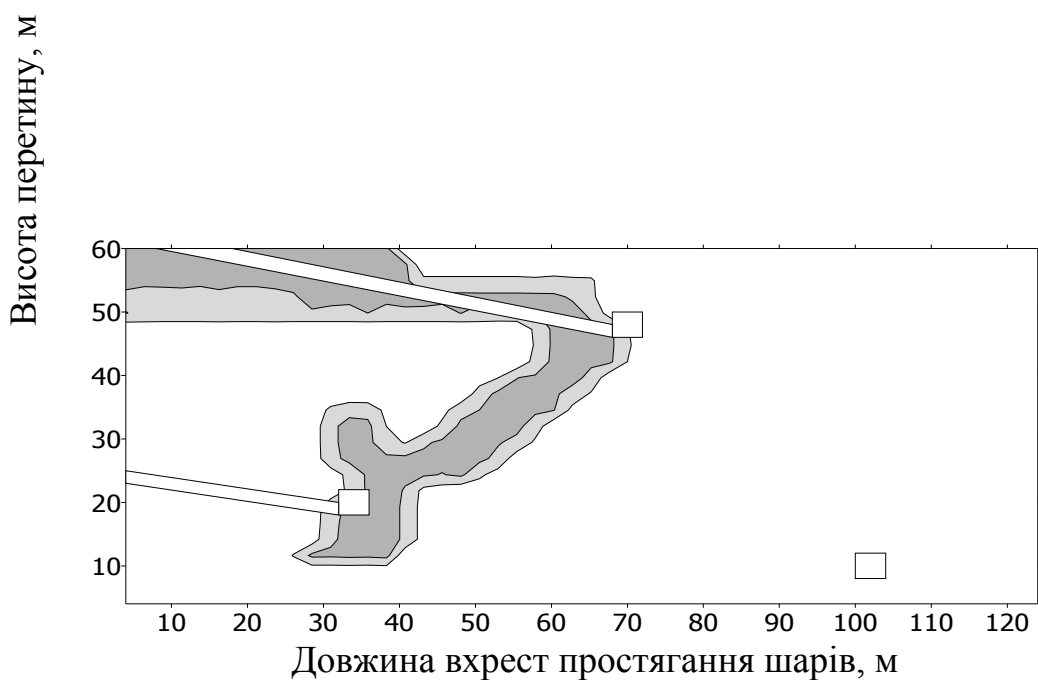


Рис. 7. Розподіл зон позамежних деформацій поблизу міжшахтного цілика при веденні очисних робіт у шахті «Донецька» по пластах l_3 і l_4

Зміна проникних зон в просторі і в часі за результатами моделювання призводить до руйнування бар'єрного цілика. Ступінь ризику фільтраційного прориву води визначається відношенням часу, за який досягнута існуюча геомеханічна ситуація, до часу, що відповідає моменту об'єднання водопровідних тріщин при моделюванні і корелює з розмірами цілика (рис. 8)

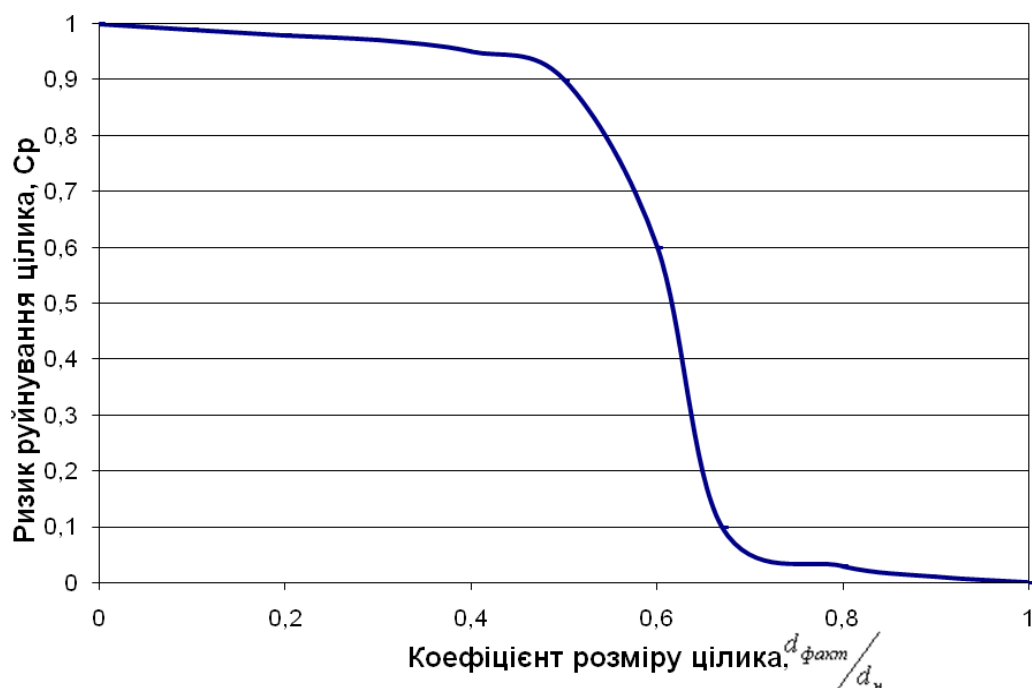


Рис. 8. Зв'язок між розмірами цілика та ступенем ризику його руйнування

$$C_{p\text{факт}} = 0,48 - 0,57 \left(d / d - 0,5 \right)^{1/5}, \quad (5)$$

де $d_{\text{факт}}$, d_n - відповідно фактична і нормативна ширина цілика, м. Дана функція має кореляцію з достовірністю 0,997, що дозволяє використовувати її при розрахунках як явну формулу.

Результати оцінки стійкості водорозділяючих шарів і ризику прориву цілика апробовані у 10-ти проектах закриття шахт, підтверджений економічний ефект складає 375 тис. грн (шахта ім. Н.О. Ізотова) та 350 тис. грн (шахти №6 «Червона зірка» та №9 «Капітальна»). Отримані параметри водорозділяючого шару на Солотвинському родовищі склали основу інженерних рішень щодо подальшої експлуатації шахт №8 і №9.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей формування фільтраційної і гідрогеомеханічної стійкості водорозділяючих шарів, вирішене актуальне науково – технічне завдання з обґрунтування їх геометричних, геомеханічних, фільтраційних і часових параметрів, що відповідають умовам безпечного ведення гірничих робіт при закритті суміжних шахт або ділянок шахтного поля, що має важливе значення для реструктуризації гірничодобувної галузі України.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Наявний досвід ліквідації гірничих підприємств показує, що гідрогеологічні та геомеханічні зміни в гірничому масиві є головним чинником, який необхідно враховувати при прийнятті технічних рішень щодо закриття шахт. Ця обставина визначила необхідність емпіричних оцінок і використання моделей, що дозволяють оцінювати гідрогеомеханічні зміни в гірничому масиві.

2. Вперше обґрунтовано емпіричний підхід щодо оцінки ширини бар'єрних ціликів вугільних шахт, який враховує особливості геофільтрації через бокові породи і передбачає ототожнення в нормативній формулі глибини робіт з величиною гідравлічного підпору, що дозволяє точніше врахувати гідравлічну стійкість вугільних ціликів і бічних водорозділяючих шарів.

3. Встановлено, що аварійна ситуація може створитися внаслідок сполучення між собою діючих і затоплених виробок по тріщинах гірських порід і корисної копалини в результаті зміни гідродинамічного режиму підземних вод. Для випадків відсутності достовірних даних про величину коефіцієнта фільтрації бокових порід обґрунтована нова методика розрахунку, що враховує базові співвідношення основного закону фільтрації. Методика апробована емпірично і може бути застосована на інших шахтах, ліквідація яких супроводжується фільтрацією води в суміжні шахти і вимагає визначення рівня стабілізації затоплення з підвищеною точністю.

4. Аналітичними методами і моделюванням визначені кількісні співвідношення між кінетичними, геомеханічними і тектонічними факторами, що впливають на гідрогеомеханічну стійкість водорозділяючих шарів діапирової

соленосної структури та визначена домінантна роль дез'юнктивів у формуванні водопритоку до виробок.

5. Встановлено, що основними факторами, що визначають гідрогеомеханічну стійкість водорозділяючих шарів є процеси розклинюючої дії розчинів, диз'юнктивні та техногенні розривні деформації вміщуючих пісковиків, вапняків і водотривів сольових діапирів. Перший фактор враховується величиною гідравлічного підпору цілика та розмірами фільтраційного перетину пласта і міцних бокових порід в базовій формулі основного закону фільтрації, а інші визначають граничні умови другого та третього роду у фільтраційній моделі. Це дозволяє використовувати додатковий резерв стійкості бар'єрних ціликів і окреслити зони аномальних водопритоків до соляних шахт.

6. Виконане послідовне сполучення плоских геомеханічних моделей суцільного і дискретного середовища, а також моделі нестационарної фільтрації визначають алгоритм, що дозволяє оцінити гідрогеомеханічні параметри бар'єрних вугільних ціликів і ступінь ризику фільтраційного прориву води: 1) фільтраційні потоки формуються головним чином за рахунок ресурсу підземних вод (80%) між верхніми горизонтами і виробленим простором пласта; 2) ступінь ризику прориву води до 0,33 забезпечує геомеханічну стійкості цілика ті відповідає триразовому запасу міцності.

7. Економічний ефект від використання рекомендацій з розрахунку стійкості бар'єрних ціликів на шахті ім. М.О. Ізотова склав 375 000 грн., на шахтах № 6 «Червона Зірка» і № 9 «Капітальна» 350 000 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Педченко С.В. Коэффициенты заполнения и время затопления шахт / Артеменко П.Г., Педченко С.В. // Уголь Украины. – 2003. – № 6. – С.46-47.
2. Педченко С.В. Оценка устойчивости ненормативных барьерных целиков при затоплении шахт / Педченко С.В., Шиптенко А.В., Артеменко П.Г. // Уголь Украины. – 2004. – № 9. – С.39-41.
3. Педченко С.В. Особенности защиты от подтопления подрабатываемых территорий / Артеменко П.Г., Шиптенко А.В., Педченко С.В. // Уголь Украины. – 2005. – № 9. – С.46.
4. Педченко С.В. Расчет фильтрации воды в действующую шахту при затоплении выработок ликвидируемой / Артеменко П.Г., Шиптенко А.В., Педченко С.В. // Уголь Украины. – 2005. – № 11. – С.47-48.
5. Педченко С.В. Оценка фильтрации через разделительные междушахтные массивы при затоплении шахт // Артеменко П.Г., Драган Л.А., Педченко С.В. // Уголь Украины. – 2006. – № 10. – С.32-33.
6. Педченко С.В. Время затопления шахт: прогноз и факт / Питаленко Е.И., Артеменко П.Г., Ягмур А.Б., Педченко С.В. // Збірник наукових праць УкрНДМІ НАН України. Випуск 1 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України. – 2007. – С. 165-173.

7. Педченко С.В. Изменение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при мокрой консервации шахт / Артеменко П.Г., Ягмур А.Б., Педченко С.В. // Збірник наукових праць УкрНДМІ НАН України. Випуск 7 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2010. – С.55-63.

8. Результаты изучения геомеханических и гидрогеологических процессов на Солотвинском солеруднике / Артеменко П.Г., Травник Е.С., Ягмур А.Б., Педченко С.В. // Збірник наукових праць УкрНДМІ НАН України. Випуск 8 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2011. – С.68-75.

9. Педченко С.В. Оцінка впливу ліквідації шахти № 8 Солотвинського родовища кам'яної солі методом затоплення / Артеменко П.Г., Ягмур А.Б., Педченко С.В. // Збірник наукових праць УкрНДМІ НАН України. Випуск 9 (часть I) / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2011. – С.89–103.

10. Педченко С.В. Обґрунтування гідрогеомеханічних параметрів стійкості бар'єрних ціликів при затопленні вугільних шахт Донбасу. – Кременчук: Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського: Вісник КрНУ ім. М. Остроградського, вип. 1/2013 (78). – С. 80-84.

11. Педченко С.В. Оценка гидравлической и геомеханической усойчивости угольных целиков при мокрой консервации шахт / Питаленко Е.И., Артеменко П.Г., Шиптенко А.В., Ягмур А.Б., Педченко С.В. // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників – 2006", Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ, 2006. – С.108-115.

12. Педченко С.В. Геомеханические исследования как метод изучения техногенного гидродинамического режима на территории Солотвинского солерудника / Тиркель.М.Г., Питаленко Е.И., Артеменко П.Г., Педченко С.В. // II Международная научно-техническая конференция "Горная геология, геомеханика и маркшейдерия Сборник научных работ УкрНДМИ НАН Украины. Випуск 5 / Под общ. ред. А.В. Анциферова. – Донецк, УкрНИМИ НАН Украины, 2009. – С.124-131.

13. Педченко С.В. К вопросу определения безопасного уровня затопления горных выработок ликвидируемых шахт / Питаленко Е.И., Педченко С.В., Васютина В.В., Ягмур А.Б. / Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. V междунар. науч.-практ. конф. (14 – 15 мая 2010 г., г. Антрацит) – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2010. – С.13-21.

14. Педченко С.В. Геотехнические меры по предотвращению проникновения воды из затопленного выработанного пространства в действующую шахту при мокрой консервации / Питаленко Е.И., Педченко С.В., Педченко М.А., Ягмур А.Б. // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Материалы Юбилейной XX Международ. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2010. – С.281-283.

15. Педченко С.В. Активизация деформационных процессов при затоплении шахт Центрального района Донбасса / Шиптенко А.В., Педченко С.В. // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления

в горных породах и выработках: Материалы XXII Международ. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2012. – С.264-266.

16. Pedchenko S.V. Research into criteria of geomechanical stability of barrier pillars in flooding mines / A.V. Shiptenko, P.G. Artemenko, Pedchenko S.V. // 20th World mining congress & expo 2005. 7-11 November 2005, Tehran, Iran . – “Mining and sustainable development”. – p. 705-709.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві: [1, 3, 6, 7, 9, 16] - постановка задач досліджень та аналітичні розрахунки, [2, 4, 5, 12, 15] - обґрунтування методики чисельних розрахунків та алгоритму моделювання, [4, 13] - розробка моделі та рішення прямих і обернених задач, [8, 11, 14] - аналіз результатів розрахунків, висновки та рекомендації.

АНОТАЦІЯ

Педченко С.В. Обґрунтування гідрогеомеханічних параметрів стійкості водорозділяючих шарів в умовах згортання гірничих робіт - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 - "Геотехнічна і гірнична механіка". Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет", Дніпропетровськ, 2013.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню параметрів безпечного ведення гірничих робіт на основі встановлених закономірностей формування фільтраційної і геомеханічної стійкості водорозділяючих шарів з урахуванням зміни їх стану при затопленні вугільних і сольових шахт або окремих ділянок.

В роботі доведено, що процеси кінетики розчинів, диз'юнктивні розриви, техногенні деформації вміщуючих бокових порід і водорозділяючих шарів враховуються параметрами гідравлічного підпору, розмірами фільтраційного перетину і гідрогеомеханічними властивостями шаруватої товщі, що дозволяє використовувати додатковий резерв стійкості бар'єрних ціликів, а також визначати рішення щодо згортання гірничих робіт. Методами моделювання геомеханічних процесів і процесів фільтрації при затопленні шахт оцінено гідрогеомеханічні параметри водорозділяючих шарів і ступінь ризику фільтраційного прориву води.

Розроблена методика оцінки ризику прориву води через бар'єрні цілики вугільних шахт дозволила одержати економічний ефект понад 700 тис. грн.

Ключові слова: водорозділяючий шар, параметри стійкості, діапир, затоплення шахт, фільтраційний прорив, безпека.

АННОТАЦИЯ

Педченко С.В. Обоснование гидрогеомеханических параметров устойчивости водоразделяющих слоев в условиях свертывания горных работ. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – "Геотехническая и горная механика". Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет", Днепрпетровск, 2012.

В диссертации на основе установленных закономерностей формирования фильтрационной и геомеханической устойчивости водоразделяющих слоев (включая барьерные целики) обоснованы параметры, отвечающие условиям безопасного ведения горных работ при закрытии угольных и солевых шахт или участков шахтного поля, что имеет важное значение для реструктуризации горнодобывающей отрасли Украины.

По результатам анализа имеющегося опыта ликвидации горных предприятий установлено, что гидродинамические и геомеханические изменения в горном массиве являются основным фактором, который необходимо учитывать при принятии технических решений при закрытии шахт. Эмпирические оценки и созданные модели, позволили реально оценить гидрогеологические изменения в горном массиве. Установлено, что размеры барьерных целиков меньше нормативных имеют запас устойчивости. Прорывы воды из затопленных горных выработок в действующие происходят, в основном, в результате геомеханического взаимодействия затопленного массива и эксплуатируемых выработок.

Впервые обоснован эмпирический подход к оценке ширины барьерных целиков угольных шахт, который учитывает особенности геофильтрации через боковые породы и предполагает отождествление в нормативной формуле глубины работ по величине гидравлического подпора, что позволяет точнее учесть гидравлическую устойчивость угольных целиков и боковых водоразделяющих слоев.

Установлено, что аварийная ситуация может создаваться в результате соединения между собой действующих и затопленных выработок по трещинам горных пород и полезного ископаемого в результате изменения гидродинамического режима подземных вод. Для случаев отсутствия достоверных данных о величине коэффициента фильтрации боковых пород обоснована новая методика расчета, учитывающая базовые соотношения основного закона фильтрации. Методика апробирована эмпирически и может быть применена на других шахтах, ликвидация которых сопровождается фильтрацией воды в смежные шахты и требует определения уровня стабилизации затопления с повышенной точностью.

Аналитическими методами и моделированием определены количественные соотношения между кинетическими, геомеханическими и тектоническими факторами, влияющими на гидрогеомеханическую устойчивость водоразделяющих слоев диапиров соленосной структуры и определена доминантная роль дизъюнктивов в формировании водопритока в выработки.

Установлено, что основными факторами, определяющими гидрогеомеханическую устойчивость водоразделяющих слоев являются процессы расклинивающего действия растворов, дизъюнктивные и техногенные разрывные деформации вмещающих песчаников, известняков и водоупоров солевых диапиров.

Первый фактор учитывается величиной гидравлического подпора целика и размерами фильтрационного пересечения пласта и прочных боковых пород в базовой формуле основного закона фильтрации, а другие определяют граничные условия второго и третьего рода в фильтрационной модели. Это позволяет использовать дополнительный резерв устойчивости барьерных целиков и определить зоны аномальных водопритоков в соляные шахты.

Проведено последовательное сочетание плоских конечно-элементных геомеханических моделей сплошной и дискретной среды, а также модели нестационарной фильтрации в конечных разностях, что определяет алгоритм, позволяющий оценить гидрогеомеханические параметры барьерных угольных целиков и степень риска фильтрационного прорыва воды: 1) фильтрационные потоки формируются главным образом за счет ресурса подземных вод (80%) между верхними горизонтами и выработанным пространством пласта; 2) степень риска прорыва воды 0,33 на дискретной модели соответствует трехкратному запасу геомеханической устойчивости целика и обеспечивает использование инженерных подходов к определению размеров целика.

Внедрение методических разработок и проектных рекомендаций позволяет оценить экономический эффект в сумме более 700 тыс. грн.

Ключевые слова: водоразделяющий слой, параметры устойчивости, диапир, затопление шахт, фильтрационный прорыв, безопасность.

ABSTRACT

Pedchenko S.V. The Substantiation of Hydraulic and Geomechanical Parameters of Watershed Layer Sustainability in Conditions of Closing-down Mines. - Manuscript.

The thesis for obtain a scientific degree of candidate of the technical sciences on the specialty 05.15.09 - "Geotechnical and mining mechanics". – National Mining University, Dnipropetrovsk, 2013.

The dissertation provides the substantiation of safe mining parameters on the basis of established regularities of forming filtrational and geomechanical watershed layer sustainability with account for changes of their substance while closing down coal or salt mines as well as separate sites.

The account of kinetic solution processes, disjunctive breaks, technogenic deformation of enclosing rocks and watershed layers by hydraulic head parameters, filtrational confluence size, hydraulic and geomechanical irregularities of bedded formation is proved. It permits to use supplementary rigidity barrier reserve and make decisions on closing-down mines. Hydraulic and geomechanical parameters of watershed layers and filtration water irruption risk are estimated by modeling filtrational and geomechanical processes caused by mine flooding.

The developed technique of water irruption risk assessment allows to get over 700 thousand UAH economic benefit.

Keywords: watershed layers, parameters of sustainability, diapir, mine flooding, filtrational water irruption, safety.