

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"

СТУПНІК МИКОЛА ІВАНОВИЧ

УДК 622.272:622.646

НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ СТІЙКОГО СТАНУ
ПОРУШЕНОГО ФАЗОВО-НЕОДНОРІДНОГО МАСИВУ
ПРИ ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КРУТОСПАДНИХ РУДНИХ ПОКЛАДІВ

05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

Дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Вілкул Юрій Григорович,
Державний вищий навчальний заклад
«Криворізький національний університет»
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
завідувач кафедри відкритих гірничих робіт,
міський голова м. Кривого Рогу.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кузьменко Олександр Михайлович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
професор кафедри підземної розробки родовищ
(м. Дніпропетровськ),

доктор технічних наук, професор
Софійський Костянтин Костянтинович,
Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова
НАН України, завідувач відділу проблем технології
підземної розробки вугільних родовищ
(м. Дніпропетровськ),

доктор технічних наук, професор
Касьян Микола Миколайович,
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
завідувач кафедри розробки родовищ корисних
копалин.

Захист відбудеться «19» квітня 2012 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (пр. К. Маркса, 19, т. 47-24-11, м. Дніпропетровськ, 49027).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (пр. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49027).

Автореферат розісланий «19» березня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03
кандидат технічних наук, доцент



В. І. Тимошук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Науково-практичний досвід з ведення гірничих робіт у Кривбасі є значним і стосується питань стійкості гірських порід, ефективності технологічних схем видобутку руди, закономірностей утворення зон обвалення земної поверхні при підземній розробці рудних родовищ, інфільтрації води зі шламосховищ, системи скидання шахтних вод та ін. Але в них недостатньо простежується взаємозв'язок технології підземної розробки родовищ з геотехнічним станом поверхні.

Відпрацювання запасів багатьох родовищ призвело до дисбалансу діючих сил у геологічному середовищі, що викликає надзвичайні ситуації, пов'язані з гірськими ударами, проникненням глинистих порід у вироблений простір та гірничі виробки. Науковий опис і прогнозування цих геомеханічних процесів при формуванні порушеного фазово-неоднорідного масиву в умовах контакту обваленої гірської породи з глинистими породами, насиченими водою, слід визнати фрагментарними і не доведеними до формату наукових основ. Сучасна практика свідчить, що з глибиною розробки понад 1000 м суміш глинистих й обвалених скельних порід поступово досягає контуру очисного простору, ускладнюючи відпрацювання ділянок покладів залізних руд та погіршуючи гірничотехнічні умови робіт. Є факти, й існує постійна загроза проривів глинистої маси до очисних виробок. Тому наукові основи формування стійкого стану порушеного фазово-неоднорідного масиву при підземній розробці крутоспадних рудних покладів, а також розробка ефективних способів та технології відпрацювання складноструктурних ділянок, які дозволять видобувати руду в умовах контакту з налягаючими глиновмісними породами є **актуальною науковою проблемою**, яка має важливе практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з «Концепцією розвитку гірничо-металургійного комплексу України до 2010 року» та відповідає тематиці виконаної Криворізьким технічним університетом науково-дослідної роботи: «Розроблення технології відпрацювання складноструктурних покладів, що контактують з налягаючими глиновмісними породами», № ДР 0109U002336.

Метою дисертаційної роботи є створення наукових основ для визначення параметрів технології підземних робіт із формування стійкого стану фазово-неоднорідного масиву, що утворюється при розробці крутоспадних рудних покладів, які межують з глинистими породами.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язувалися такі завдання:

1. Аналіз технологій підземної розробки родовищ корисних копалин, що контактують з налягаючими глиновмісними породами.
2. Дослідження фізико-механічних властивостей глин різного генезису в геологічних масивах крутоспадних рудних покладів.
3. Визначення параметрів зони зсування й воронки обвалення в зоні підземних гірничих робіт, дослідження механізму проривів обводнених

глинистих порід у підземні гірничі виробки й обґрунтування заходів щодо їх попередження.

4. Визначення оптимальних параметрів випуску руди під налягаючими глиновмісними породами на фізичних моделях.

5. Обґрунтування технології відпрацювання рудних покладів і параметрів випуску відбитої руди, що контактує з налягаючими водонасиченими глинистими породами.

6. Розробка практичних рекомендацій щодо створення паспортів систем розробки рудних покладів, які дозволяють запобігати проривам глинистих порід у вироблений простір.

Ідея роботи полягає у використанні гідрогеомеханічних властивостей захисного шару подрібнених рудовміщуючих порід або руди, які дозволяють керувати рухом зволжених глинистих порід з дотриманням якісних кондицій руди.

Об'єкт досліджень – процеси взаємодії геологічних відкладів при відпрацюванні рудних покладів під налягаючими обваленими породами, які знаходяться під тиском обводнених глинистих порід.

Предмет досліджень – параметри технології підземної розробки складноструктурних рудних родовищ на підставі геомеханічних закономірностей випуску відбитої руди, що межує з глиновмісними породами.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети в роботі було використано комплексний метод досліджень, що включав аналіз та узагальнення наукових джерел і практичного досвіду гірничих робіт з проблем порушення стійкості неоднорідного зволоженого масиву, планування експерименту, стандартні дослідження властивостей та імітаційне моделювання набухання глин, фізичне моделювання механізму проникнення обводнених глинистих порід в очисний простір і гірничі виробки на моделях із еквівалентних матеріалів, аналітичні рішення щодо стійкості стану порушеного масиву та руху фазово-неоднорідної суміші у виробках, статистичний багатofакторний аналіз, промисловий експеримент.

Наукові положення, які виносяться на захист.

1. Глиниста фракція $<0,005$ мм у Криворізькому басейні представлена мінералами, які обумовлюють потенційно пластичний стан глинистих порід і при вологості понад 40 % переходять у в'язко-текучий стан. Підвищення гірського тиску на глинисті породи збільшує їх опір, підвищує напруження зсуву, але знижує межу миттєвого переходу в текучий стан, який для червоно-бурих глин відбувається при гірському тиску 2–3 МПа та збуджується періодичним виникненням і зняттям тиску при проведенні вибухових робіт. Зміна механічних властивостей глинистих порід пов'язана з кількістю адсорбованої води і проявляється у зменшенні опору простому стисненню та модуля пружності. Означені фактори обумовлюють процес проникнення глинистих порід через обвалений скельний масив до очисного простору.

2. Ширина зони зсування та обвалення на земній поверхні знаходиться в обернено пропорційній тангенціальній залежності від кута зсування глинистих порід, кутів зсування скельних порід висячого та лежачого боків і прямо

пропорційна потужності наносних глинистих порід та граничній глибині підземної розробки рудного родовища, нижче якої процес зсування та обвалення вміщуючих порід затухає. Відношення розміру зони зсування до довжини рудного покладу експоненціально залежить від мінімального кута зсування порід висячого боку на граничній глибині. Це дозволяє визначити параметри зони зсування шарів глинистих порід по відкосу воронки обвалення для прогнозування об'ємів проривів глинистих порід у вироблений простір.

3. Проникнення обводнених глинистих мас через породну «подушку» відповідає законам в'язко-пластичної течії. Коефіцієнт проникнення глинистих обводнених порід крізь скельний обвалений масив при системах підповерхового обвалення змінюється в межах 0,54–1,72 залежно від гідростатичного тиску глиновмісних налягаючих порід, часу проникнення, товщини та фізико-механічних властивостей породної «подушки», що дозволяє визначити параметри технології підземної розробки рудного покладу з попередженням прориву глинистих порід в очисний простір.

4. Технологічна схема протидії руху зволжених глинистих порід шляхом утворення переущільненого шару руди дозволяє досягти зменшення коефіцієнта втрат руди з 20 до 14 % зі збільшенням товщини переущільненого шару з 0,125 до 0,25 висоти блока. При цьому зменшення коефіцієнта розпушення шару з 1,2 до 1,1 практично не впливає на коефіцієнт втрат руди, який зменшується з 16,1 до 15,9 % при товщині переущільненого шару 0,2 висоти блока.

Наукова новизна одержаних результатів:

– уперше встановлено закономірності змін фізико-механічних властивостей глинистих порід у Криворізькому басейні при їх переміщенні до очисного простору і здійсненні впливу на конструктивні елементи систем розробки, що відрізняються врахуванням мінералізації розчинів, які насичують глини, та параметрів їх переміщення, визначених на підставі теорії рідин і фактичних аналізів підземних вод;

– уперше встановлено залежності ширини зони зсування порід від потужності глинистих відкладів, глибини розробки та міцності вміщуючих порід крутоспадного рудного покладу;

– уперше встановлено закономірності глибини проникнення глиновмісних порід у розпушений масив захисної породної «подушки» залежно від фізико-механічних характеристик обвалених порід «подушки» та проникних характеристик налягаючих глиновмісних порід;

– уперше для шахт Криворізького басейну визначено параметри еліпсоїда випуску та розпушення руди під переущільненим захисним шаром, які суттєво відрізняються від параметрів традиційного випуску під налягаючими породами;

– уперше знайдено залежність відносної глибини й часу проникнення обводнених глинистих мас через породну «подушку» на підставі реологічної моделі Бінгама-Шведова.

Обґрунтованість і вірогідність положень, висновків і рекомендацій підтверджені використанням апробованих методів досліджень в'язко-пластичного середовища, механіки гірських порід, фізичного моделювання,

математичної статистики, адекватністю розроблених математичних моделей реальним об'єктам і процесам, коректним узгодженням результатів аналітичних досліджень з даними натурних спостережень (похибка не перевищує 9–14 %), позитивними результатами практичного використання розробок і рекомендацій.

Наукове значення роботи полягає в обґрунтуванні параметрів технології підземних робіт з формуванням стійкого стану фазово-неоднорідного масиву з використанням гідрогеомеханічних властивостей і закономірностей проникнення глинистих порід через захисний породний шар при розробці крутоспадних рудних покладів, що є важливим для подальшої розробки залізородних родовищ в Україні.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці:

- методичних вказівок до проектування технологічних схем відпрацювання рудних покладів із захисними заходами від проникнення глинистих порід в очисний простір;
- методики розрахунку геометричних параметрів запобіжної породної «подушки» у виробленому просторі робочого поверху;
- методики визначення максимальної глибини проникнення глинистих порід крізь скельні обвалені породи з домішками втраченої руди;
- технологічних схем випуску відбитої руди на контакт з глиновмісними породами;
- технологічних заходів щодо запобігання проривам обводнених глинистих порід;
- типових паспортів систем розробки складноструктурних рудних покладів, що враховують закономірності взаємодії фазово-неоднорідного середовища при відпрацюванні рудних покладів під запобіжною породною подушкою та налягаючими глиновмісними породами.

Реалізація роботи. На підставі виконаних досліджень:

- розроблено й затверджено «Методичні вказівки до розробки технологічних схем випуску руди на контакт з запобіжною породною подушкою та налягаючими глиновмісними породами в умовах ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка»;
- розроблено «Типові паспорти підповерхово-камерної системи розробки для відпрацювання покладу «Шурфів 42–46»;
- упроваджено технологію відпрацювання очисних блоків у зоні обвалення наносних глиновмісних порід при підземній розробці багатих руд на гор. 1260 м ш. «Ювілейна» ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка».

Особистий внесок здобувача в наукових результатах, що виносяться на захист, полягає у: формулюванні мети роботи, постановці завдань досліджень й обґрунтуванні наукових положень, висновків і рекомендацій за результатами роботи; розробці методик експериментальних і лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей глиновмісних вміщуючих порід і механізму їх прориву в технологічний простір діючих очисних блоків; створенні математичного опису й узагальненні ключових аналітичних залежностей; розробці (у співавторстві) технології відпрацювання очисних блоків у зоні

обвалення наносних глиновмісних порід; упровадженні результатів досліджень у виробництво і навчальний процес.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи й результати досліджень доповідалися на: науково-практичних конференціях КТУ в 2006–2010 рр.; Міжнародній конференції «Форум гірників – 2007, 2010», Дніпропетровськ, НГУ; III Міжнародній конференції «Школа підземної розробки», Дніпропетровськ, НГУ, 2009.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 34 друковані праці, серед яких 24 статті у фахових виданнях, 8 доповідей на наукових конференціях і симпозіумах та 2 нормативні документи.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, списку використаних джерел і додатків. Роботу викладено на 270 сторінках машинописного тексту, включає 67 рисунків, 28 таблиць, список використаних джерел з 230 найменувань і 3 додатки. Загальний обсяг роботи складає 301 с.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано напрям досліджень дисертації, актуальність, розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, ідею та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладено основні наукові положення, новизну та значення отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів та структуру роботи.

Перший розділ дисертації містить детальний аналіз стану проблеми й обґрунтування задач досліджень.

Уперше питання про прориви глини у гірничі виробки Прокоп'євсько-Кисельовського вугільного родовища було розглянуто у 1945 р. спеціальною комісією Наркомвугілля СРСР, яку склали відомі вчені і фахівці гірничої промисловості – Н. А. Чинакал, С. Г. Авершин, А. С. Стугарьов, В. Ф. Парусимов, В. С. Мучник, Р. А. Бірюков та інші. Комісія встановила основні причини проривів глини й визначила напрям подальших досліджень з даної проблеми.

Прориви водонасичених глин та суглинків у гірничі виробки відбувалися на рудниках Криворізького басейну, Уралу, Гірської Шорії, Рудного Алтаю та інших регіонів, які застосовували як системи з відкритим очисним простором, так і системи з обваленням руди і вміщуючих порід. При проривах спостерігається високий тиск цих порід, який руйнував металеве, бетонне кріплення і навіть бетонні перемички. Катастрофічні наслідки мали прориви водонасичених глиновмісних порід на шахтах «Комунар», «Батьківщина», «Ювілейна», «Гвардійська», ім. Леніна і «Першотравнева 1-2» у Кривбасі.

Масштаби проривів глин у названих випадках визначаються реологічними параметрами глиновмісних порід та їх об'ємом у зоні обвалення та виробленому просторі. Зазвичай це супроводжується виносом

водонасичених глинистих порід у гірничі виробки об'ємом до декількох тисяч кубічних метрів.

За тематикою визначеної проблеми відомими є дослідження Р. А. Бірюкова, Б. М. Болотова, Ю. Г. Вілкула, А. Г. Дубиніна, В. В. Єгошина, Д. М. Казікаєва, М. М. Касьяна, А. С. Колодезньова, С. В. Кравчука, О. М. Кузьменка, Ю. Н. Кулакова, Є. І. Логачова, Г. Ф. Міхєєва, І. Ф. Оксанича, Ю. С. Осипенка, О. І. Писарева, Б. І. Римарчука, В. З. Семешина, Л. М. Синельникова, І. Г. Ткачова, В. Ф. Храмцова, В. В. Цариковського, Є. П. Чистякова, В. С. Шевцова, К. К. Софійського, А. П. Широкова, А. Г. Якимчука та ін.

Аналіз наукових робіт і практичного досвіду показав наступне.

При відпрацюванні крутоспадних стовпоподібних рудних покладів з міцними та стійкими рудами і вміщуючими породами камерними системами розробки у гірничі виробки проривається глина, яка накопичується у виробленому трубоподібному просторі й знаходиться під великим статичним тиском.

Відпрацювання потужних покладів руд середньої міцності та значного простягання (300–700 м) з нестійкими породами висячого боку системами з обваленням руди і вміщуючих порід може супроводжуватися проривом глини у виробки, якщо висота товщі обвалених скельних порід незначна (100–150 м), а процес фільтрації обводнених глин протікає інтенсивно. Прориви глини відбуваються за умов, коли кількість глинистих порід у виробленому просторі перевищує 20 % його об'єму.

При накопиченні глини в зоні обвалення або у виробленому просторі необхідно локалізувати зону її розповсюдження одним із способів: обваленням масовим вибухом порід висячого боку і заповненням виробленого простору подрібненими породами (породна «подушка»); залишенням запобіжних міжповерхових рудних ціликів; видаленням глинистих порід із воронок обвалення, якщо це технічно можливо; видаленням глинистих порід по всій площі проектного контуру зони обвалення до початку розробки родовища; зміненням реологічних параметрів глинистих порід шляхом засипки зони обвалення роздробленими скельними породами або застосуванням кускової закладки з поверхні. Дотепер немає надійних методів розрахунків параметрів описаного небезпечного явища, недостатньо досліджено механізм фільтрації водонасичених глин крізь обвалені вміщуючі породи та не розроблено надійні й ефективні технологічні засоби щодо його запобігання і забезпечення стійкого стану порушеного фазово-неоднорідного масиву. Це визначило дослідження як розв'язання актуальної наукової проблеми і формулювання детальних завдань роботи.

Другий розділ дисертації присвячено опису теоретичних та експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей глиновмісних порід, які є джерелом гідрогеомеханічних ускладнень при відпрацюванні рудних покладів Кривбасу. Дослідження полягали у вивченні процесів обводнення, набухання, переходу глинистих порід у пластичний та в'язко-текучий стан і в теоретичному відображенні вказаних процесів. Переважна

більшість випробувань базується на одометричних дослідженнях набухання, головна мета яких – визначення двох важливих параметрів – набухання та тиску набухання, – і теоретичні пояснення одержаних результатів. Лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей глинистих порід виконано згідно з чинними методиками та Державними стандартами України. Для дослідження набухання глинистих порід використано такі методи: попереднього набухання, паралельного набухання, подвійного набухання (подвійної одометрії), набухання з протидією, набухання при різних напруженнях. Дослідження виконано при різних умовах зволоження (вода, сольовий розчин, ступінь вологості).

Потужність наносних глинистих порід у Криворізькому басейні коливається в межах 30–40 м. Мінералогічний склад глинистих порід різноманітний і в значній мірі представлений ілітами та смектитами. При цьому фракція <0,005 мм представлена в основному ілітами, смектитами і в незначній кількості монтморилонітом. Глинисті породи такого складу потенційно пластичні та при вологості понад 40 % переходять у в'язко-текучий стан.

Багаторічна розробка покладів залізних руд з інтенсивним дренаванням привела до утворення на території Кривбасу депресійної воронки глибиною понад 1200 м, довжиною до 80 км і шириною 4–6 км. Площа зони інтенсивної фільтрації атмосферних опадів та забруднюючих солоних шахтних і кар'єрних вод становить майже 280 км². При об'ємах водовідведення шахтних вод у середньому 20 млн м³/рік, кар'єрних вод – 20 млн м³/рік, дощових і талих вод – 120 млн м³/рік навантаження на 1 м² поверхні в середньому становить 714 м³/рік, а з урахуванням потужності наносів – 0,05 м³ води за добу на 1 м³ глинистих порід. При виникненні перешкод для фільтрації та відтоку вод на будь-якій ділянці вказаної зони достатньо 10 діб для переходу глинистих порід у в'язко-текучий стан.

Для криворізьких глинистих порід, які легко набухають, межа пластичності W_p становить 0,23–0,25; межа текучості W_L – 0,39–0,50; водонасиченість W_0 – 0,29–0,35 част. од. У переважній більшості шахтних глинистих порід вологість характеризується величинами, близькими до величин межі пластичності, тому сезонні збільшення потоку фільтраційних вод порушують рівновагу, що сприяє переходу глин із пластичного стану у в'язко-текучий, при якому утворюються умови для небезпечних раптових проривів глинистих порід у гірничі виробки діючих горизонтів.

Підвищення гірського тиску на глинисті породи збільшує їх опір, підвищує напруження зсуву, але значно знижує межу миттєвого переходу в текучий стан. Для червоно-бурих глин при тиску по нормалі 0,2 МПа та опору зсуву 0,15 МПа явище переходу у в'язко-текучий стан може відбутися вже при гірському тиску 2–3 МПа. Збуджуючими можуть бути періодичні процеси виникнення і зняття тиску при проведенні вибухових робіт. За проведеними розрахунками для червоно-бурих глин при зміні тиску від 0,013 до 2,60 МПа в'язкість змінюється від $1 \cdot 10^6$ до $4 \cdot 10^{-2}$ Па·с, а текучість – від 10^{-6} до $2,5 \cdot 10^{-2}$ Па⁻¹·с⁻¹.

Результати дослідження процесу набухання глинистих порід показують, що деформації, обумовлені набуханням і стисненням, залежать також і від впливу концентрації та природи солей, розчинених у мінералізованій воді. Вільне набухання є більш високим для розчину NaCl і більш слабким для розчину KCl, середнім – для розчину CaCl₂. Деформації є значними і не залежать від шляху хімічного впливу, який діє на зразок під слабким напруженням. Активність розчину не має прямого впливу на набухання. Вплив активності розчинів у різних глинистих породах на набухання проявляється за диференціації впливів різних типів катіонів, які знаходяться у розчині.

Зміна механічних властивостей глинистих порід пов'язана з кількістю адсорбованої води і проявляється у зменшенні опору простому стисненню та параметрів пружності.

На відміну від четвертинних ґрунтів, для глинистих порід коефіцієнт анізотропії набухання є більш значним, що пояснюється їхньою структурою. Орієнтація лусочок та випадковість їх розташування в глинистих ґрунтах не мають якогось певного напрямку, а в глинистих породах є більш орієнтованими. Це відбулося завдяки трансформаціям осажденої породи під впливом процесу діагенезу.

Отже, визначено, що головним чинником переходу глинистих порід у в'язко – текучий стан є їх обводнення, а сольовий склад гідратуючих розчинів, гірський тиск, фільтраційні властивості глинистих порід, водопритлив, процеси набухання є додатковими факторами, які ускладнюють прояв текучості глинистої породи у часі. Процеси такого переходу починаються з набухання глини на верхніх горизонтах при контакті з прісними приповерхневими водами та з десорбції порової води за законами осмосу при контакті глинистих порід з високомінералізованими водами глибоких горизонтів.

Для прогнозування проривів обводнених глинистих порід у гірничі виробки необхідно проводити на діючих шахтах Криворізького басейну моніторинг фізико-механічних властивостей глинистих порід, гірського тиску обвалених порід у виробленому просторі, сезонних швидкостей фільтраційних потоків та їх об'ємів, швидкості сорбції води глинистими породами, сольового складу фільтраційних вод.

У третьому розділі наведено результати аналітичних досліджень механізму прориву наносних глинистих порід у технологічний простір очисних блоків на шахтах Кривбасу, а також запропоновано технологічні схеми, які унеможливають прориви глинистих порід у гірничі виробки.

Дослідження стосувалися розробки залізородних покладів Кривбасу на глибині 900–1300 м із застосуванням двох класів систем розробки: системи з обваленням руди та вміщуючих порід і системи з відкритим очисним простором (камерні системи).

При застосуванні систем з обваленням руди утворюється зона зсування й обвалення вміщуючих і наносних глинистих порід, які в процесі розробки рудних покладів переміщуються вслід за очисними роботами. У цьому випадку обвалені глинисті породи проникають через обвалені скельні породи на значну глибину, але, як правило, не досягають очисних блоків.

При застосуванні камерних систем для відпрацювання крутоспадних покладів міцних і стійких руд зі стійкими вміщуючими породами утворюються локальні зони обвалення вміщуючих порід і глинистих наносів, які переміщуються вслід за очисними роботами. Однак зі збільшенням глибини розробки товщина шару обвалених вміщуючих порід зменшується, у результаті чого на певній глибині розробки рудного покладу відбувається розрив цього шару, і глинисті породи прориваються в очисний простір.

Для прогнозування проривів глинистих порід у вироблений простір визначено параметри зсування глинистих порід по відкосі воронки обвалення, а також параметри воронки обвалення. Схему сил, діючих на контур призми зсуву глинистих порід, яка знаходиться на відкосі воронки обвалення, представлено на рис. 1.

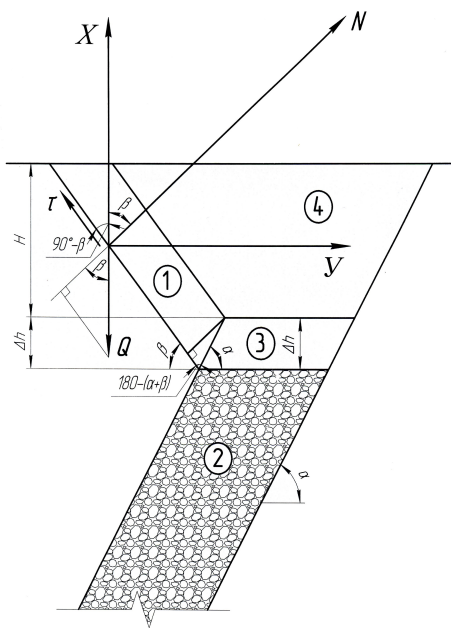


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення глибини воронки обвалення:

- 1 – призма зсуву глинистих порід висячого боку;
- 2 – обвалені вміщуючі породи над очисними блоками;
- 3 – товщина шару обвалених порід, які опускаються на величину Δh ;
- 4 – контур воронки обвалення.

За умов послідовного руху питома сила тертя призми зсування по поверхні ковзання з урахуванням глибини розробки, кута падіння покладу та ширини шару, що підробляється, визначається виразом

$$\tau = \mu Q \cos \beta + \frac{c(H + \Delta h)}{\sin \alpha}, \quad (1)$$

де Q – вага призми зсування; μ – коефіцієнт тертя між частинками глинистих порід; c – величина зчеплення глинистих порід; H – глибина воронки обвалення; α – кут падіння рудного покладу, що відпрацьовується, град.

За найбільшої ймовірності кута зсування $\beta \geq 45^\circ$ отримано рівняння

$$0,5(\sin \beta + \mu \cos \beta) \sin(\alpha + \beta) \gamma \sin \alpha \Delta h^2 + (H(\sin \beta + \mu \cos \beta) \sin(\alpha + \beta) \gamma \sin \alpha + c \sin^2 \beta) \Delta h + Hc \sin^2 \beta = 0, \quad (2)$$

розв'язання якого дозволяє знайти величину Δh .

Для умов Криворізького залізорудного басейну за отриманою залежністю визначено проникнення наносних глинистих порід через середовище обвалених скельних порід в очисні блоки залежно від кута падіння покладу (рис. 2).

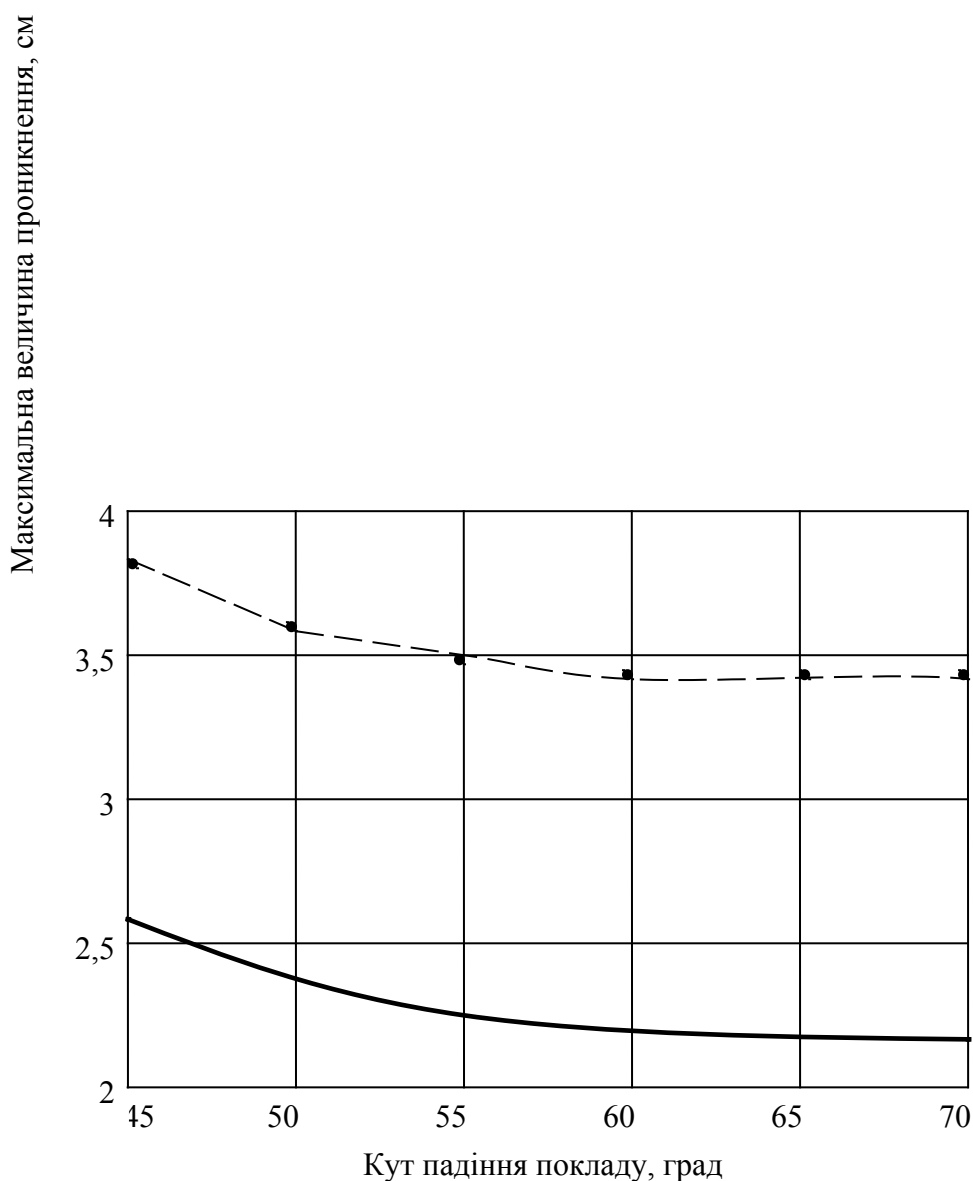


Рис. 2. Величина проникнення глинистих порід в очисні блоки при просіданні нижньої частини воронки провалу на глибині 1200 м залежно від кута падіння покладу (— кут призми зсуву 45 град; --- кут призми зсуву 60 град)

Видно, що зі збільшенням кута падіння покладу просідання нижньої основи конусоподібної воронки зменшується.

Найбільший розмір зони зсування та обвалення на земній поверхні навхрест простягання покладу, контур якої наближається до еліптичної форми, визначається за умови формування цих зон за відомими кутами зсування скельних порід відносно висячого та лежачого боків β і γ та граничною глибиною розробки рудного покладу у вигляді формули

$$B_3 = (H_{кр} - h_n) \frac{\sin(\beta + \gamma)}{\sin\beta \sin\gamma} + M + \frac{2h_n}{tg\varphi}, \quad (3)$$

де M – потужність покладу; $H_{кр}$ – гранична глибина підземної розробки рудного покладу, нижче якої процес зсування та обвалення вміщуючих порід з досягненням земної поверхні припиняється; h_n – потужність наносних глинистих порід; φ – кут зсування глинистих порід, град.

При застосуванні систем розробки з обваленням руди на великих глибинах проникнення глинистих порід у вироблений простір не відбувається. Коли глинисті породи розташовано в скельних породах над сліпим рудним покладом (навхрест простягання на деякій глибині), існує можливість проникнення їх у зону обвалення. Кількість глинистих порід, які потрапляють у вироблений простір, буде в першу чергу залежати від розмірів скупчення глини, її фізико-механічних властивостей та умов їх проникнення через обвалені породи. При цьому застосування традиційних систем розробки з масовим обваленням руди призведе у подальшому до засмічення руди або проривів глини у гірничі виробки.

Якщо глинисті породи розташовано в проекції зони зсування та обвалення порід висячого боку за простяганням плаstopодібного рудного покладу, проникнення їх в очисний простір відбудеться після обвалення земної поверхні в результаті поглиблення очисних робіт. Як правило, зсування наносних глинистих порід відбувається тоді, коли на земній поверхні утвориться воронка обвалення, а мульда зсування порушує скупчення глинистих порід.

Найбільший розмір зони обвалення на земній поверхні навхрест простягання покладу, контур якого наближається до кривої, з урахуванням кутів фактичного обвалення порід лежачого γ'' і висячого β'' боків визначається за формулою

$$B_o = \frac{(H_{кр} - h_n) \sin(\gamma + \beta'') \sin\beta - (H_{кр} - h_n) \sin(\beta - \beta'') \sin\gamma}{\sin\beta \sin\gamma \sin\beta''} + \frac{h_n}{2tg\varphi - tg\beta} + M + M_c, \quad (4)$$

де M_c – потужність скупчення глинистих порід, м.

Унаслідок впливу торцевого розпору, що збільшується з глибиною розробки, зсування порід висячого боку відбувається тільки до критичної глибини, на якій кути зсування порід висячого боку приймають найменше значення, а процес зсування порід висячого боку з виходом на земну поверхню припиняється. На критичній глибині активна довжина рудного покладу теж приймає мінімальне значення, яке можна розрахувати за формулою

$$L_a = L - 2H_{кр} ctg\delta, \quad (5)$$

де L – довжина рудного покладу в межах критичної глибини, яка приймається на підставі геологічних даних; δ – кут зсування порід за простяганням рудного покладу від нижньої границі очисних робіт на критичній глибині, град.

Гранична глибина пропорційна довжині рудного покладу та емпіричному коефіцієнту, який урахує довжину, потужність, кут падіння рудного покладу та стійкість вміщуючих порід. Величина коефіцієнта змінюється від 0,90 для шахт південної групи до 0,75 – для шахт північної групи.

Дуже важливим для практичних розрахунків параметрів процесу зсування вміщуючих порід є залежність, яку представлено на рис. 3.

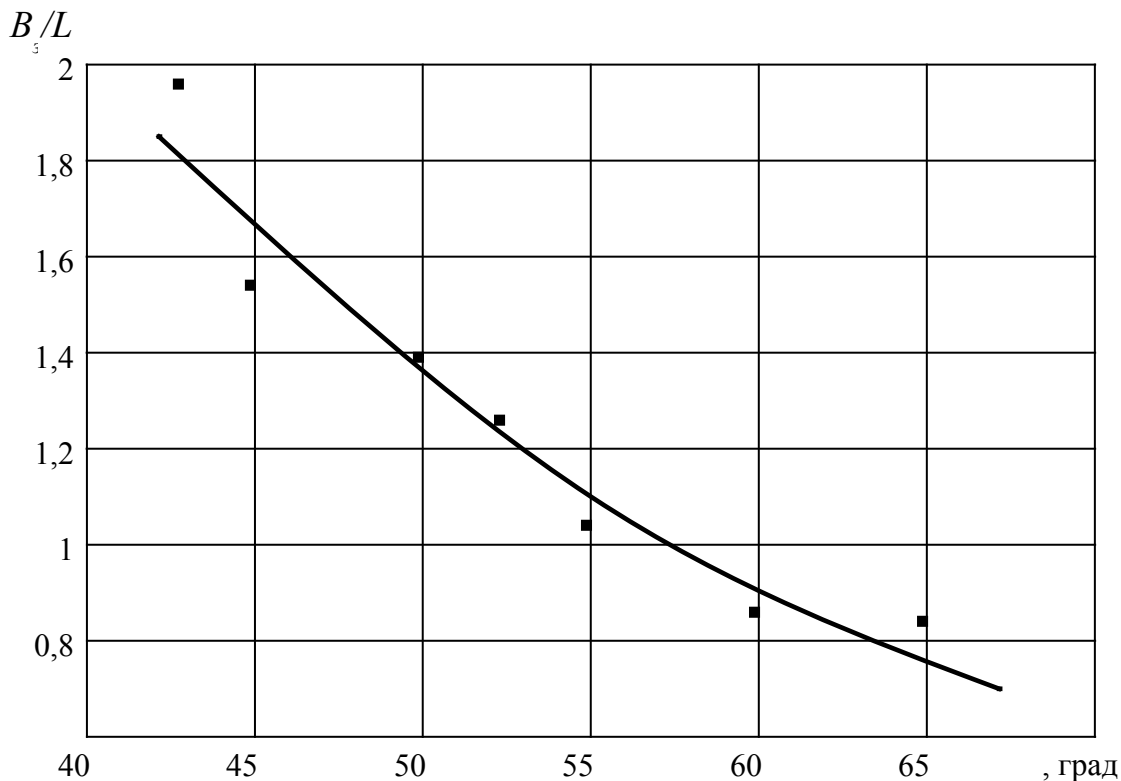


Рис. 3. Залежність відношення розміру зони зсування до довжини рудного покладу B/L від мінімального кута зсування порід висячого боку β на граничній глибині розробки рудного покладу $H_{кр}$

Експоненціальна апроксимація графічної залежності дала змогу отримати залежність у вигляді функції

$$B/L = 8,87 e^{-0,037\beta}. \quad (6)$$

Піщано-глинисті та обвалені скельні породи утворюють складну систему, в якій під дією статичного тиску глинисті породи починають протискуватися крізь породну «подушку». Таку систему найбільш доцільно розглядати як

в'язко-пластичну течію рідини крізь дисперсну систему, до якої можна застосовувати рівняння та модель Бінгама-Шведова.

З практичної точки зору теоретична постановка задачі прогнозу прориву обводнених глинистих порід зводиться до визначення глибини їхнього проникнення у товщу обвалених порід та визначення мінімальної товщини обвалених порід (породної «подушки»), за наявності якої обводнені глини не досягнуть очисного простору. У дослідженнях розглянуто дві можливі схеми гідрогеомеханічного руху обводнених глинистих порід до гірничих виробок: при відпрацюванні стовпоподібних рудних покладів камерами та системами розробки з обваленням руди і вміщуючих порід. На рис. 4 наведено останню схему як більш узагальнену.

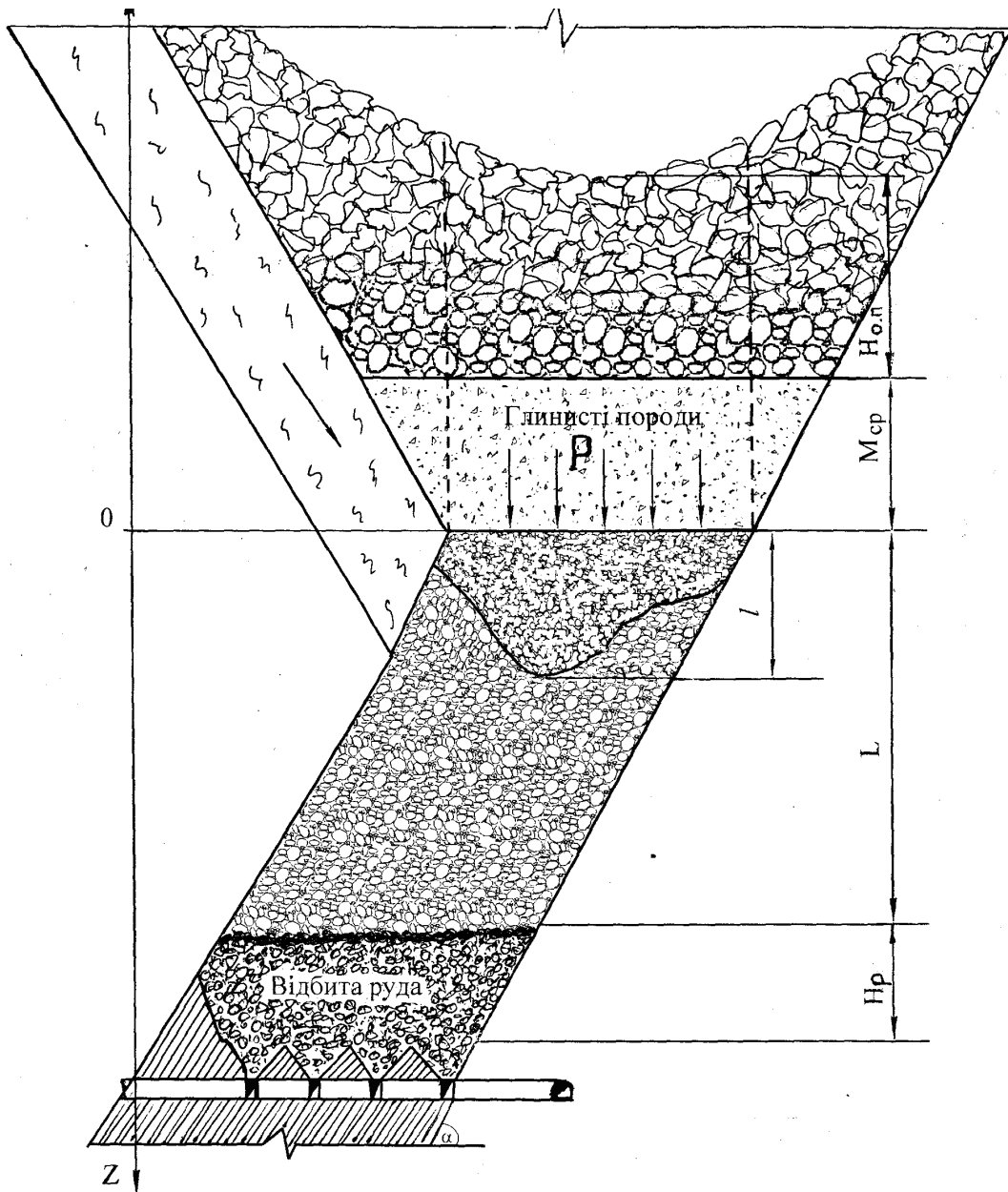


Рис. 4. Розрахункова схема до прогнозу прориву обводнених глинистих порід: M_{cp} – середня товщина глинистих порід у виробленому просторі; l – глибина проникнення глинистих порід у породну «подушку»; L – товщина

обвалених вміщуючих порід (породної «подушки»); H_p – товщина (висота) шару відбитої руди; $H_{оп}$ – середня товщина (висота) обвалених порід висячого боку; α – кут падіння залізородного покладу, град; P – тиск глинистих порід на поверхню «подушки»

За нерозривності течії граничні умови в кожній точці фронту переміщення піщано-глинистих порід крізь породну «подушку» описуються рівнянням

$$n \frac{\partial \ell}{\partial t} = - \frac{C}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \pm \beta_0 - \rho g \right), \quad (7)$$

де n – пористість породної «подушки», част. од.; C – коефіцієнт проникності обвалених скельних порід; β_0 – початковий градієнт зсуву; μ – пластична в'язкість глин та їх щільність ρ ; g – прискорення вільного падіння; P – гідростатичний тиск глинистих порід.

Знайдені залежності (рис. 5) відносної глибини і відносного часу проникнення глинистих мас через породну «подушку» (абсолютними вимірами є параметри, що відповідають одиничній в'язкості, проникності й тиску). У дисертації наведено необхідні формули для визначення F_0 та \bar{z} залежно від конкретних гірничо-геологічних умов і отримання абсолютної величини часу і глибини проникнення глинистих порід.

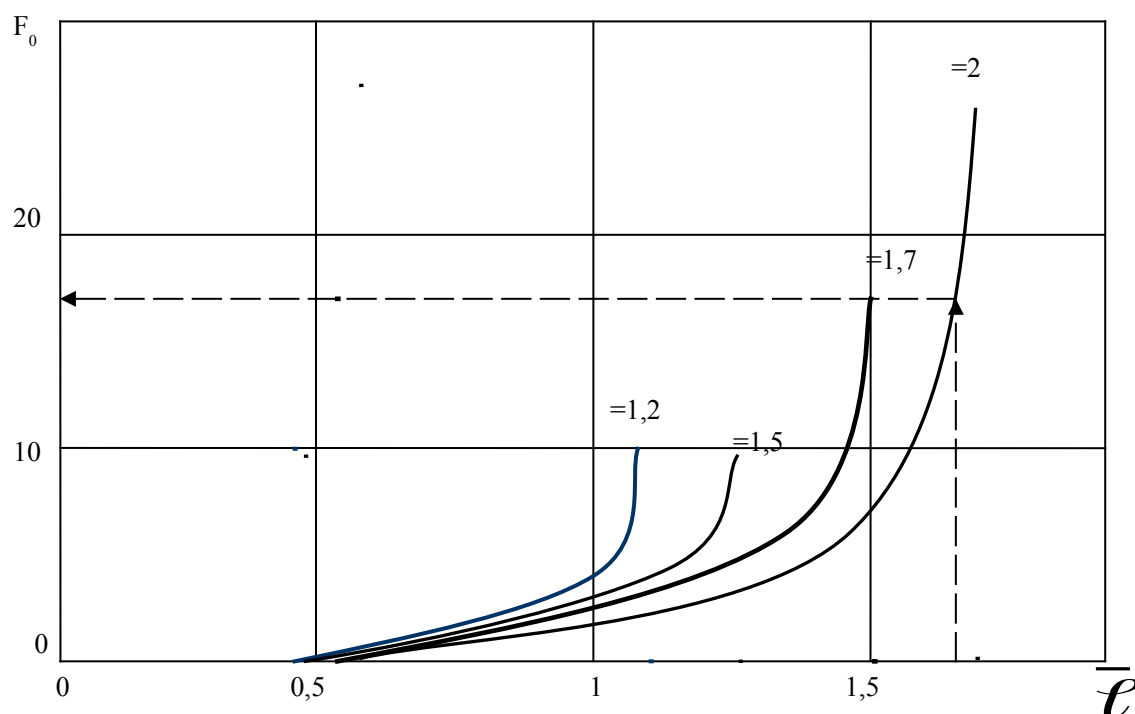


Рис. 5. Залежність відносної глибини проникнення обвалених глинистих порід у породну «подушку» \bar{z} від відносного часу F_0 за умови відпрацювання пластоподібних рудних покладів системами розробки з обваленням руди і вміщуючих порід ($\alpha = 80^\circ$)

Доведено, що коефіцієнт проникнення глинистих обводнених порід крізь скельний обвалений масив при системах підповерхового обвалення змінюється в межах 0,54–1,72 залежно від гідростатичного тиску глиновмісних налягаючих порід, часу проникнення, товщини та фізико-механічних властивостей захисної породної «подушки». Отримані залежності дозволяють визначити параметри технології підземної розробки родовищ багатих залізних руд з урахуванням глибини проникнення глинистих порід у захисну породну «подушку» та враховують товщину захисного породного шару, за наявності якого обводнені глинисті породи не досягнуть очисного простору на горизонті видобутку руди.

Результати досліджень властивостей обводнених глинистих порід, які можуть прорватися у виробки, показують, що це важка суспензія з високою об'ємною щільністю. При прориві у виробку під значним статичним тиском вона здатна розповсюджуватися по виробці на певну відстань. Аналізуючи прориви глинистих порід, які відбулися, та об'єми винесеної глинистої породи, встановлено факт обмеженої довжини переміщення породи у виробках. На це впливає здатність обводненої глинистої породи швидко віддавати воду, що підтвердилося дослідженнями вологості зразків відібраної глинистої породи, яка протягом 7–10 днів з текучої фази переходила в напівтвердий стан. Руйнування перемичок на шляху руху глини можливе за гідравлічного удару, але лише у початковій фазі, коли вологість глинистої породи вища за межу текучості.

За теорією М. Є. Жуковського, в описі явища гідравлічного удару змінною величиною є швидкість просування рідини. У нашому випадку, згідно з розрахунками граничного шляху проходження, швидкість обводненої глинистої породи, як показали дослідження, через 80–95 м знижується за рахунок втрати енергії на тертя до нуля.

Повний тиск на перемичку в i -тій точці її розташування дорівнює

$$P_n = P_c - F_m^i + P_{yd}^i, \quad (8)$$

де P_c – тиск глинистої породи на вході у виробку; F_m^i – приведена питома величина сил тертя в i -тій точці; P_{yd}^i – тиск від удару в i -тій точці. Всі ці параметри визначаються з виразів, які формалізовано за теорією М. Є. Жуковського.

Установлено, що на відстані 65–75 м від очисного простору повний тиск P_n майже дорівнює тиску глинистих порід у виробці P_r . Ця довжина складає приблизно 80 % загальної довжини шляху, пройденої глинистою породою ($l_{max} = 95$ м), отже, $l_i = 0,8 \cdot l_{max}$ є оптимальним місцем установлення перемички.

Після проходження певної відстані l глинисті породи зупиняються за рахунок тертя, а система переходить у стан рівноваги. За цієї умови визначається довжина шляху

$$l = \frac{P_r \cdot S}{c\Pi}, \quad (9)$$

де P_r – тиск на вході у виробку; S – площа перетину виробки; c – внутрішнє зчеплення глинистих порід; Π – периметр виробки.

Для забезпечення мінімального засмічення та втрати руди при підземному видобутку існують засоби із застосуванням захисного гнучкого перекриття або з утворенням переуцільненого шару руди на контактах з обваленою породою. Для адаптації до умов, що досліджуються, проведено якісний і кількісний аналіз можливості застосування вказаних способів.

Утворення гнучкого перекриття у верхній частині блока дозволяє зменшити проникнення глинистих порід у вироблений простір, однак це призводить до значного підвищення собівартості видобутку руди. При застосуванні системи підповерхового (поверхового) примусового обвалення з переуцільненим шаром руди на контакті з обваленими породами собівартість видобутку збільшується на 10–15 %, а втрати та засмічення руди у порівнянні з традиційними системами розробки зменшуються на 20–30 %.

Доведено, що параметри еліпсоїда випуску та розпушення руди під переуцільненим шаром суттєво відрізняються від традиційного випуску під налягаючими породами. Запропоновано методику з визначення параметрів еліпсоїда випуску руди під переуцільненим шаром. Втрати обваленої руди при відпрацюванні запасів під переуцільненим шаром визначаються за виразом

$$\Pi = \frac{Q_{п.ш.} \cdot k_{в.п} + \frac{d_e - d}{2} \left(L_{бл} M - n \frac{\pi}{12} (d_b^2 + d_b d + d^2) \right) \gamma_{рор} \operatorname{tg} \theta}{Q_{зап}} \times 100, \quad (10)$$

де $Q_{п.ш.}$ – запас руди в переуцільненому шарі, т; $k_{в.п}$ – коефіцієнт видобутку запасів із переуцільненого шару, част. од. (приймається 0,6–0,8 від об'єму видобутку); n – кількість випускних отворів у днищі блока, що виймається; d_e – діаметр воронки випуску, м; d – діаметр випускного отвору, м; $\gamma_{рор}$ – об'ємна вага розпушеної руди, т/м³; θ – кут твірної воронки випуску, град; $Q_{зап}$ – запас руди у блоці, т.

Застосування системи підповерхового примусового обвалення руди під переуцільненим шаром дозволяє значно знизити втрати й засмічення обваленої руди в цілому по блоку. При товщині переуцільненого шару 12 м втрати та засмічення руди в середньому складуть відповідно 10 та 9 % замість фактичних для систем з масовим обваленням 14 і 16 %.

У розділі 4 детально представлено методику й результати дослідження механізму проникнення обводнених глинистих порід у гірничі виробки методом фізичного моделювання.

З метою встановлення відповідності теоретичного опису процесів, що відбуваються при випуску обваленої руди із блоків у зоні впливу глинистих

порід, а також визначення області застосування відомих методик з випуску руди й розробки нових було використано фізичне моделювання на еквівалентних та натурних матеріалах.

При моделюванні розв'язувалося завдання з визначення параметрів фігур випуску й розпушення матеріалу із випускних отворів при рівномірно-випереджувальному режимі під переущільненим шаром руди, встановлення закономірностей проникнення глинистих порід у вироблений простір. Для одержання достовірних результатів досліджень було обґрунтовано основні положення застосовуваних методик при моделюванні та визначено критерії подібності моделей і натурних об'єктів.

У процесі моделювання повне дотримання всіх критеріїв подібності, що забезпечують подібність механічних процесів, неможливе, тому було виділено й забезпечено пропорційність фізичних констант, що мають вирішальне значення для досліджуваного явища.

Вибір масштабу моделювання виконували виходячи з таких факторів: мети дослідження, глибини розробки, що моделюється, методу реєстрації деформацій і напружень, можливості лабораторного устаткування, фізичних властивостей еквівалентних матеріалів.

Після узгодження всіх факторів масштаб моделювання приймався від 1:50 до 1:100, при цьому підбір еквівалентних матеріалів виконано на підставі теорії подібності процесів деформацій і напруженого стану порід. Критерії подібності при підборі еквівалентних матеріалів визначено для таких параметрів: границя міцності на стискання, об'ємна вага, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, модуль зсуву.

Матеріал для моделей готувався у спеціально виготовлених змішувачах.

При проведенні експериментів визначали критерій Стьюдента після кожної серії дослідів. У серію входило від 3–5 до 7–12 експериментів. Якщо розрахункове значення було більшим від критичного, досліди повторювалися до забезпечення збіжності результатів на 85–95 %.

За результатами моделювання встановлено, що формування фігур випуску та розпушення відбувається у три етапи: формування зони випуску в обваленій руді до досягнення переущільненого шару, формування еліпсоїда розпушення при проникненні його у переущільнений шар відбитої руди, подальший випуск обваленої руди (рис. 6).

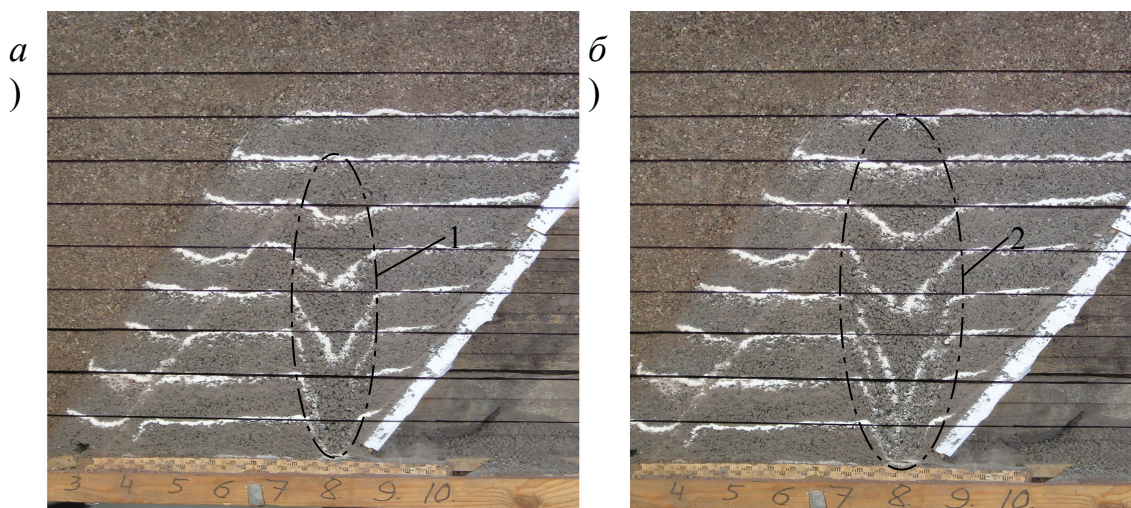


Рис. 6. Стадії моделювання випуску обваленої руди на різних етапах:

1 – еліпсоїд розпушення до досягнення переущільненого шару (а);

2 – еліпсоїд розрихлення після проникнення в переущільнений шар(б)

На другому етапі випуску обваленої руди мала піввісь еліпсоїда розпушення збільшується, при цьому його висота залишається незмінною, доки коефіцієнт розпушення в переущільненому шарі не наблизиться або не буде дорівнювати коефіцієнту розпушення в обваленому масиві.

У результаті виконаних досліджень отримано емпіричні вирази для визначення малої півосі еліпсоїда випуску для подрібненої руди при товщині переущільненого шару 5 м і 10 м, а також побудовано залежності втрат і засмічення обваленої руди від товщини переущільненого шару (рис. 7).

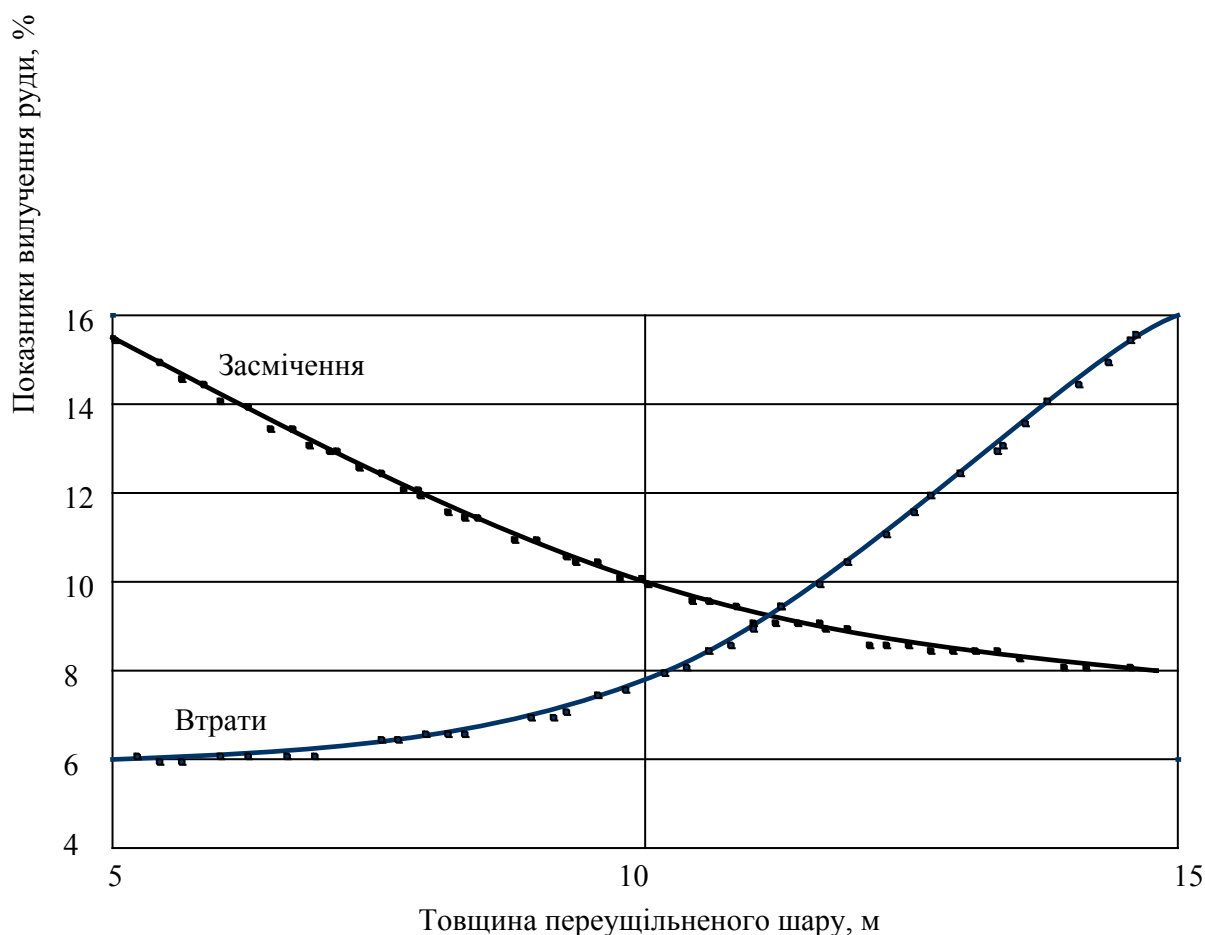


Рис. 7. Залежність зміни втрат та засмічення руди при видобутку системою з масовим обваленням руди і вмішуючих порід від товщини переущільненого шару при куті падіння покладу 60°

Видно, що зі збільшенням товщини переуцільненого шару обваленої руди втрати збільшуються з 6 до 16 %, а засмічення зменшується з 15 до 8 %. При товщині переуцільненого шару 10–12 м втрати та засмічення обваленої руди при випуску будуть мінімальними (9–10 %) порівняно з масовим обваленням руди та налягаючих порід (14 і 16 %). Загалом параметри еліпсоїда випуску та розпушення руди під переуцільненим шаром суттєво відрізняються від традиційного випуску під налягаючими породами.

Моделюванням визначено механічні властивості глинистих порід зі зміною їх вологості. Установлено, що при збільшенні насиченості глинистих порід вологою з 20 до 60 % кут зсуву глинистих порід зменшується з 80 до 40°.

Зі збільшенням насиченості глинистих порід вологою глибина їх проникнення у породну «подушку» збільшується в 1,28–1,58 разу, але в подальшому інтенсивність проникнення в обвалені породи зменшується. Це пов'язано з тим, що обвалені породи під вагою глинистих порід ущільнюються.

У результаті досліджень встановлено, що для зменшення проникнення глинистих порід в обвалені породи необхідно виключити попадання вологи в глинисті породи або залишити міжповерховий цілик, який запобігає подальшому проникненню глини. При застосуванні системи розробки з залишенням ціликів слід враховувати, що по обидва боки за простяганням родовища від блока, який контактує з глинистими породами, необхідно залишати 2–3 камери з ціликами, щоб виключити обхід глинистих порід по торцях відпрацьованого блока.

Застосування системи підповерхового обвалення руди в умовах контакту із глиновмісними породами призводить до втрати руди при випуску, що сягає 50–65 %. Зменшити втрати руди до 14–20 % можна за рахунок застосування у верхній частині та з боку висячого боку переуцільненого шару руди. При цьому засмічення руди не перевищить 14,8–16,3 %.

Для запобігання проникненню глинистих порід у вироблений простір можливе застосування технології з підриванням пустих порід висячого боку. При цьому породна «подушка», яка утворюється пустими породами, виключає проникнення глинистих порід у гірничі виробки. Однак при постійному насиченні вологою глинистих порід глибина їх проникнення, як відзначалося, збільшується у порівнянні з глинистими породами, які не мають постійного припливу мінералізованих вод.

Фізичним моделюванням підтверджено, що при значній кількості глинистих ґрунтів, розташованих на відносно невеликій глибині (100–200 м), вони при вологості понад 20 % проникають у вироблений простір та переміщуються по зоні обвалення до глибини 1100 м і нижче. Тому при відпрацюванні нижчерозташованих горизонтів необхідно вживати заходи щодо перешкоджання їх подальшому проникненню. Так, застосування камерних систем розробки із залишенням ціликів дозволяє призупинити проникнення глинистих порід. Але подальша розробка системами з масовим обваленням за рахунок утворення зони обвалення у висячому боці не виключає їх подальшого переміщення до глибин 1500–2000 м. Тому застосування системи розробки з

переущільненим шаром дозволяє уповільнити і призупинити проникнення глинистих порід у вироблений простір з постійним контактом глинистих порід.

Результати моделювання є необхідною складовою для розробки технології підземної розробки родовищ залізних руд, що контактують з глинистими породами.

П'ятий розділ роботи присвячено обґрунтуванню технологічних засобів попередження проривів обводнених глинистих порід у гірничі виробки.

Аналіз науково-практичного досвіду розробки залізрудних родовищ у Кривбасі, на Уралі та в Гірській Шорії дає можливість класифікувати основні групи способів боротьби з проривами обводнених глин у гірничі виробки очисних блоків.

Для гірничо-геологічних умов підземної розробки крутоспадних рудних покладів потужністю 15–30 м з міцними та стійкими породами висячого боку ($f = 12–16$) на глибоких (1200–1500 м) горизонтах обґрунтовано створення запобіжної породної «подушки» шляхом примусового обвалення порід висячого боку. Об'єм масиву порід висячого боку, що готується до масового вибуху, повинен бути не меншим за об'єм камери у період її максимального розвитку. Після відпрацювання камери підриваються породи висячого боку, і в камері до самої стелі утворюється породна «подушка», яка буде запобігати прориву глин у гірничі виробки із виробленого простору вищележачих горизонтів. У таких умовах є можливість відпрацювання тимчасового запобіжного рудного цілика одним із варіантів системи підповерхового обвалення (рис. 8).

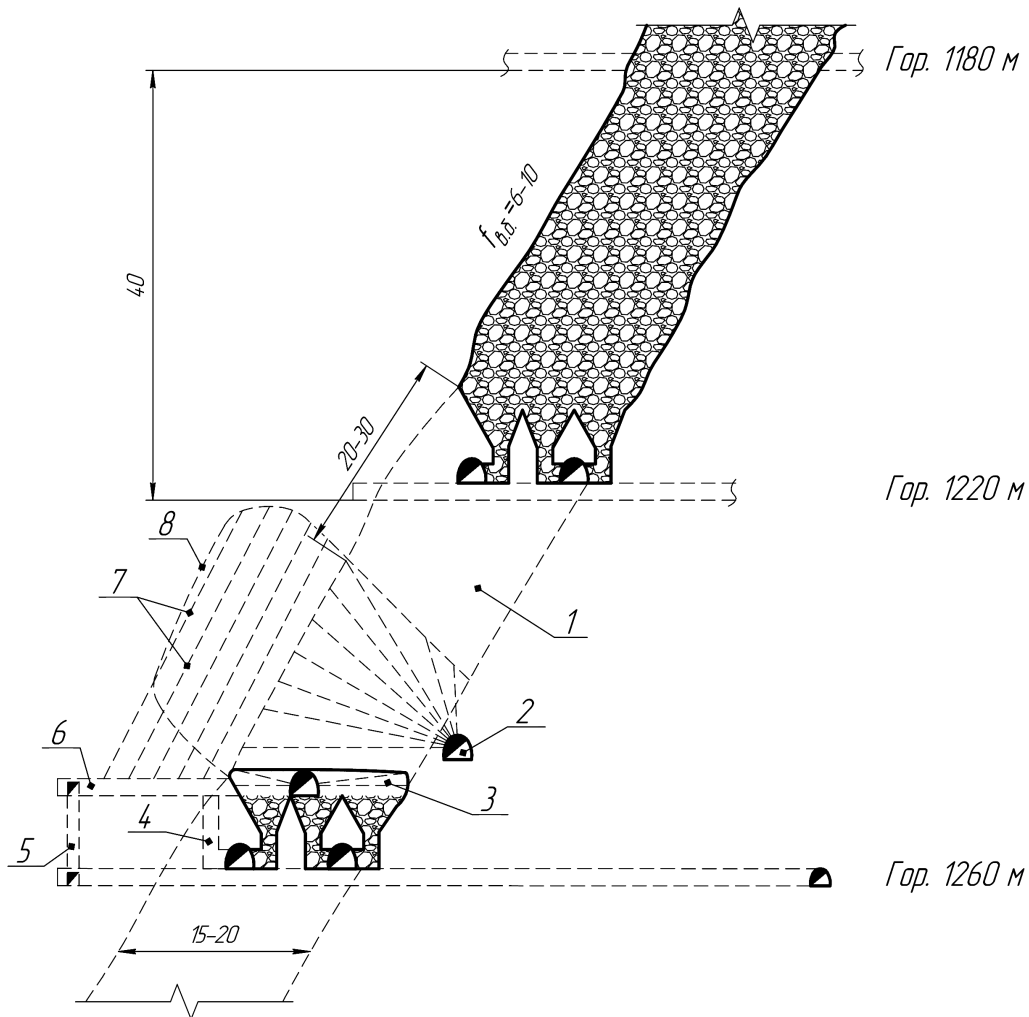


Рис. 8. Технологічна схема утворення запобіжної породної «подушки» шляхом обвалення порід висячого боку віялами підричних глибоких свердловин, пробурених із бурового орту: 1 – тимчасовий запобіжний рудний цілик; 2 – буровий штрек; 3 – горизонтальна підсічна камера; 4 – рудоспуск; 5 – ходовий підняттевий; 6 – буровий орт; 7 – віяла глибоких свердловин; 8 – контур зони обвалення порід висячого боку

Однією з головних вимог, яка виключає проникнення глинистих порід через обвалені породи висячого боку, є необхідність максимального заповнення камери обваленими породами, які повинні бути рівномірно подрібнені.

Обґрунтовано спосіб утворення запобіжної породної «подушки» шляхом обвалення порід висячого боку підриванням глибокими свердловинами. Цей спосіб рекомендується застосовувати в умовах відпрацювання крутоспадних покладів камерними системами, коли породи висячого боку представлено недостатньо стійкими породами міцністю 6–10 за шкалою М.М. Протодьяконова. Сутність способу полягає в тому, що нижче останнього підповерху, на якому спостерігалися прориви глин, залишається тимчасовий запобіжний рудний цілик висотою 20–30 м. Під захистом цього цілика відпрацьовується одним із варіантів підповерхово-камерної системи запасу руди. Одночасно з вийманням камерного запасу у висячому боці проходять

рудоспуск, ходовий підняттявий, буровий орт та інші необхідні виробки і камери для буріння паралельних віял глибоких підривних свердловин, якими після повного виймання камерного запасу руди буде обвалено породи висячого боку у проектних контурах. Відпрацювання цілика за цією схемою проводиться в умовах повної його ізоляції від основного рудного масиву, розташованого нижче горизонту доставки руди колишньої камери.

При розробці родовищ з обваленням руди та вміщуючих порід, коли у вироблений простір проникають глинисті породи, показники випуску відбитої руди в значній мірі залежать від параметрів захисного шару відбитої руди, зокрема від крупності руди та його товщини. Товщина захисного шару руди визначається виходячи з нормативів її втрат, засмічення руди при випуску, середньозваженого діаметра кусків обвалених порід.

Спосіб погашення текучості глинистих порід закладкою кусковими матеріалами з поверхні рекомендується застосовувати у процесі відпрацювання крутоспадних рудних покладів системами з обваленням руди при існуючих воронках обвалення, з яких неможливо видалити обводнені глинисті породи.

Для визначення необхідного об'єму кускових кристалічних порід треба знати кількість глинистого матеріалу, який потрапив у вироблений простір. Об'єм глинистих порід, які обвалились у вироблений простір при відпрацюванні крутоспадного рудного покладу, на 1 м за простяганням складає

$$V_{\Gamma} = k_{\text{р.г}} (h_{\text{н.г.}}^2 \cdot \text{ctg}\varphi + Mh_{\text{н.г.}}), \quad (11)$$

де V_{Γ} – об'єм глинистих порід у виробленому просторі; $k_{\text{р.г}}$ – коефіцієнт розпушення глинистих порід, част. од.; $h_{\text{н.г.}}$ – потужність наносних глинистих порід; φ_{Γ} – кут зсуву глинистих порід, град; M – горизонтальна потужність рудного покладу.

Погашення текучості глинистих порід кусковим матеріалом відбувається у тому випадку, коли з нього утворюється жорсткий каркас, тобто об'єм глинистої породи не перевищує пористості кускового матеріалу у виробленому просторі. Закладний кусковий матеріал подається з поверхні у воронки обвалення спеціальними стрілковими конвеєрами або пневматичним трубопроводним транспортом. Діаметр кусків кристалічної породи, що рекомендується для закладки, коливається в межах 10–100 мм.

Видалення глинистих порід над рудним покладом і подальша закладка кусковими породами з поверхні проводяться до початку очисних робіт при відпрацюванні крутоспадних стовпоподібних і незначної довжини (до 100 м) рудних покладів, що залягають під глинистими породами потужністю понад 10 м. Ця технологія має апробовану нормативну основу.

У шостому розділі дисертації обґрунтовано параметри технології підземної розробки складноструктурних рудних покладів, яка унеможливорює прориви обводнених глинистих порід у гірничі виробки на прикладі реальних об'єктів, а також наведено удосконалену методичку економічної ефективності розробок.

Конструктивні елементи системи розробки виконано для гірничо-геологічних умов відпрацювання покладу «Шурфів 42–46» шахти «Ювілейна» під виробленим простором, заповненим обводненими глинистими породами. Як основний спосіб попередження прориву обводнених глин обґрунтовано комбінований спосіб – залишення нижче гор. 1180 м міжповерхового запобіжного цілика завтовшки 30 м з подальшим утворенням у виробленому (підповерхово-камерною системою) просторі породної «подушки» шляхом масового підривання свердловинними зарядами порід висячого боку (рис. 9).

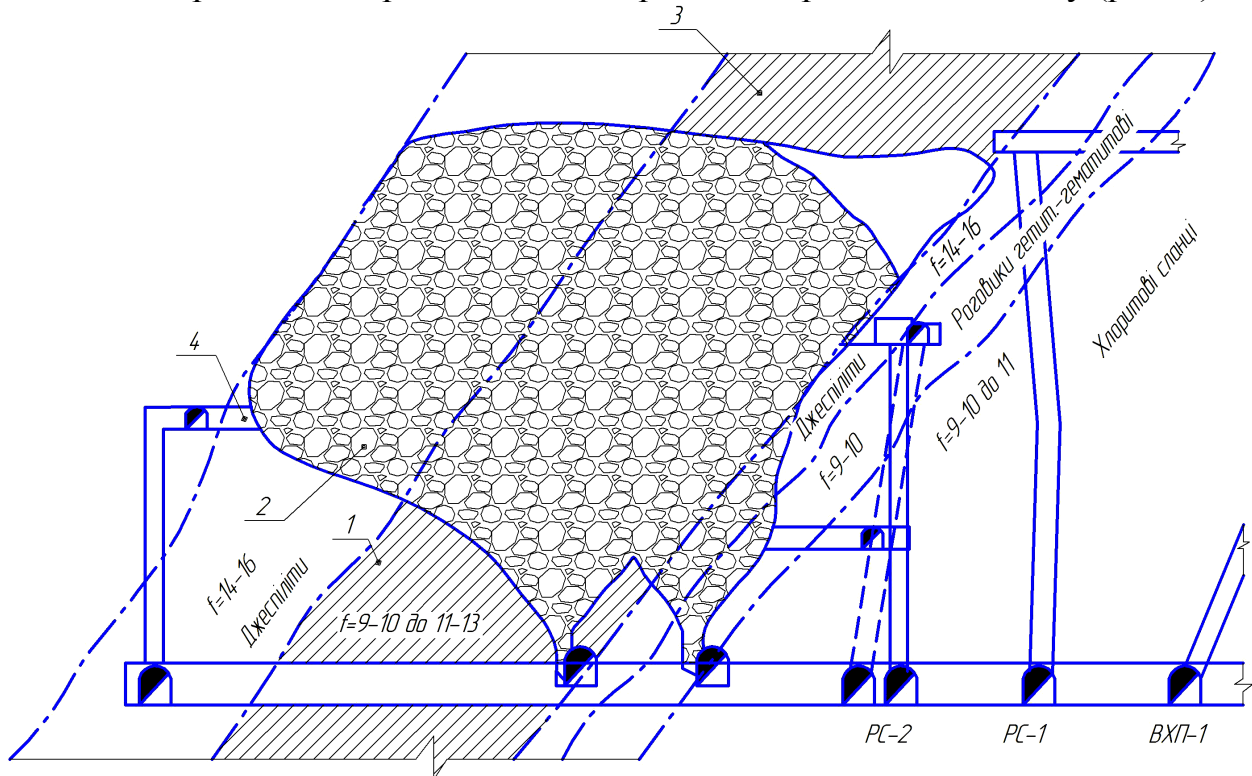


Рис. 9. Технологічна схема утворення породної «подушки» у виробленій камері: 1 – рудний поклад; 2 – породна «подушка»; 3 – рудний міжповерховий запобіжний цілик; 4 – буровий орт

Для зниження засмічення обваленої руди було запропоновано варіанти систем розробки підповерхового примусового обвалення з переуцільненим шаром руди, застосування яких дозволяє знизити втрати й засмічення обваленої руди в зоні проникнення глинистих порід в умовах шахти «Ювілейна» ПАТ «Євраз Суха Балка». Відпрацювання залізородних покладів, які граничать із глинистими породами, передбачається здійснювати системою підповерхового примусового обвалення руди і порід з формуванням рудного переуцільненого шару. Переуцільнений шар формується між обваленою рудою й глинистими породами.

За умови створення переуцільненого шару руди об'єм панелі визначається за формулою

$$V = (M - l_{om})(h_{n/n} - h_{om})L_{\delta l}, \quad (12)$$

де M – горизонтальна потужність рудного покладу; l_{om} , h_{om} – відповідно ширина (потужність) і висота шару руди, що відбивається для створення переущільненого шару; $h_{n/n}$ – висота підповерху, м; L_{bl} – довжина блока за простяганням.

Системи розробки з переущільненим шаром у порівнянні з системою, яка застосовується на шахті «Ювілейна» ПАТ «Евраз Суха Балка», призводять до збільшення собівартості видобутої руди на 0,48 грн, при цьому втрати й засмічення руди зменшуються відповідно на 1,4 % і 4,15 %, а вміст заліза у видобутій рудній масі збільшується на 1,0 %, а також не відбувається прориву глинистих порід в очисний простір блока, що відпрацьовується.

Економічний ефект від упровадження запропонованих систем розробки оцінюється на підставі єдиних методичних принципів визначення економічної ефективності нової техніки й технології, патентів і корисних моделей, установлених для підприємств гірничорудної промисловості України.

Застосування технологічних заходів запобігання проривам обводнених глинистих порід у гірничі виробки зумовили необхідність внесення уточнення в загальну методику визначення економічної ефективності. Економічний ефект у цьому випадку буде представляти чистий прибуток, який можливо було б отримати при недопущенні втрат уже підготовлених і готових до очисного виймання запасів руди в блоках за рахунок здійснення технологічних заходів із запобігання проривам глинистих порід у гірничі виробки.

Витрати на здійснення технологічних заходів із запобігання проривам глинистих порід у гірничі виробки визначаються для конкретного способу і заходів, а також обсягу робіт, передбачених проектом. Загальна сума виплат з балансового прибутку рудника (шахти) та податків визначається згідно з чинним законодавством України і нормами.

Економічний ефект від упровадження розробок автора на шахті «Ювілейна» ПАТ «Евраз Суха Балка» склав 558 830 грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій сформовано наукові основи визначення параметрів технології підземних робіт з формуванням стійкого стану фазово-неоднорідного масиву з використанням гідрогеомеханічних властивостей і закономірностей проникнення глинистих порід через захисний породний шар при розробці крутоспадних рудних покладів, що є важливим для подальшої розробки залізорудних родовищ в Україні.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у тому, що:

1. Показано, що у шахтах Кривбасу при застосуванні систем з обваленням руди утворюється зона зсування й обвалення вміщуючих і наносних глинистих порід, які в процесі розробки рудних покладів переміщуються вслід за очисними роботами. У цьому випадку обвалені глинисті породи проникають через обвалені скельні породи, але, як правило, не досягають очисних блоків. При застосуванні камерних систем утворюються локальні зони обвалення

вміщуючих порід і глинистих наносів, які переміщуються вслід за очисними роботами. У результаті цього на певній глибині розробки рудного покладу відбуваються прориви глинистих порід в очисний простір.

2. Установлено, що глиниста фракція $<0,005$ мм у Криворізькому басейні представлена в основному ілітами, смектитами і в незначній кількості монтморилонітом. Глинисті породи такого складу потенційно пластичні і при вологості понад 40 % переходять у в'язко-текучий стан. Підвищення гірського тиску на глинисті породи збільшує їх опір, підвищує напруження зсуву, але значно знижує межу миттєвого переходу в текучий стан. Для червоно-бурих глин при тиску по нормалі 0,2 МПа та опору зсуву 0,15 МПа явище переходу у в'язко-текучий стан може відбутися вже при гірському тиску 2–3 МПа. Провокуючими можуть бути періодичні процеси виникнення і зняття тиску при проведенні вибухових робіт. Для червоно-бурих глин при зміні тиску від 0,013 до 2,60 МПа в'язкість змінюється від $1 \cdot 10^6$ до $4 \cdot 10^{-2}$ Па·с, а текучість – від 10^{-6} до $2,5 \cdot 10^{-2}$ Па $^{-1}$ ·с $^{-1}$.

3. Доведено, що зміна механічних властивостей глинистих порід пов'язана з кількістю адсорбованої води і проявляється у зменшенні опору простому стисненню та параметрів пружності. Сольовий склад гідратуючих розчинів, гірський тиск, фільтраційні властивості глинистих порід, водопритлив, процеси набухання є додатковими факторами, які ускладнюють прояв текучості породи у часі. Процеси такого переходу починаються з набухання глин на верхніх горизонтах при контакті з прісними приповерхневими водами та з десорбції порової води за законами осмосу при контакті глинистих порід з високомінералізованими водами глибоких горизонтів.

4. Для умов Криворізького залізорудного басейну отримано формулу для визначення величини проникнення наносних глинистих порід через середовище обвалених скельних порід в очисні блоки залежно від кута падіння покладу. Зі збільшенням кута падіння покладу просідання нижньої основи конусоподібної воронки зменшується, а збільшення кута зсуву призми призводить до росту проникнення глинистих порід в очисні блоки.

5. Найбільший розмір зони зсування та обвалення на земній поверхні навхрест простягання покладу визначається за умови формування цих зон за відомими кутами зсування скельних порід відносно висячого та лежачого боків та граничною глибиною розробки рудного покладу. Гранична глибина пропорційна довжині рудного покладу та емпіричному коефіцієнту, який враховує довжину, потужність, кут падіння рудного покладу та стійкість вміщуючих порід. Величина коефіцієнта змінюється від 0,90 для шахт південної групи до 0,75 – для шахт північної групи. Визначено також експоненціальну залежність відношення розміру зони зсування до довжини рудного покладу від мінімального кута зсування порід висячого боку на граничній глибині розробки рудного покладу.

6. Для реологічної моделі Бінгама – Шведова одержано залежності відносної глибини і відносного часу проникнення обводнених глинистих мас через породну «подушку» за умови відпрацювання плаstopодібних рудних

покладів системами розробки з обваленням руди і вміщуючих порід. Доведено, що коефіцієнт проникнення глинистих обводнених порід крізь обвалений скельний масив при системах підповерхового обвалення змінюється в межах 0,54–1,72 залежно від гідростатичного тиску глиновмісних налягаючих порід, часу проникнення, товщини та фізико-механічних властивостей захисної породної «подушки».

7. Доведено, що параметри еліпсоїда випуску та розпушення руди під переущільненим шаром суттєво відрізняються від традиційного випуску під налягаючими породами. Запропоновано методику з визначення параметрів еліпсоїда випуску руди під переущільненим шаром. Застосування системи підповерхового примусового обвалення руди під переущільненим шаром дозволяє значно знизити втрати й засмічення обваленої руди в цілому по блоку. При товщині переущільненого шару 12 м втрати та засмічення руди складуть відповідно в середньому 10 та 9 % замість фактичних для систем з масовим обваленням 14 і 16 %.

8. Для гірничо-геологічних умов підземної розробки крутоспадних рудних покладів потужністю 15–30 м з міцними та стійкими породами висячого боку ($f = 12–16$) на глибоких (1200–1500 м) горизонтах обґрунтовано створення запобіжної породної «подушки» шляхом примусового обвалення порід висячого боку. Однією з головних вимог, яка виключає проникнення глинистих порід через обвалені породи висячого боку, є необхідність максимального заповнення камери обваленими породами, які повинні бути достатньо подрібнені.

9. Системи розробки та обґрунтування параметрів елементів блока для відпрацювання крутоспадного пластоподібного покладу руд середньої і нижче середньої міцності під виробленим простором, заповненими обводненими глинистими породами, впроваджено на шахті «Ювілейна» ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка». Очікуване зниження втрат руди за цих умов складає 3–4 %, засмічення – 2–2,5 % порівняно з нормативними показниками.

10. Економічний ефект від упровадження запропонованих систем розробки визначається на підставі єдиних методичних принципів визначення економічної ефективності нової техніки й технології та являє собою чистий прибуток, який можна було б отримати при недопущенні втрат уже підготовлених і готових до очисного виймання запасів руди у блоках за рахунок здійснення технологічних заходів із запобігання проривам глинистих порід у гірничі виробки. Економічний ефект від упровадження розробок автора на шахті «Ювілейна» ПАТ «Євраз Суха Балка» склав 558 830 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ

1. Ступник Н. И. Разработка рудных месторождений / Н. И. Ступник, П. Д. Петренко, В. Ф. Подшивалов // Респ. межвед. научно-техн. сб. – 1979. – Вып. 28. – С. 6–9.

2. Stoupnik N. The technology of mineral raw material by-product mining in zones of influence of underground mining operations / N. Stoupnik, E. Logatchov // Geotechnological issues of underground space use for environmentally protected world 2001. – Днепропетровск, 2001. – С. 91–93.

3. Ступник Н. И. Принципиальные технологические схемы добычи и переработки сопутствующего минерального сырья подземным способом в условиях Криворожского бассейна / Н. И. Ступник, Е. И. Логачев, В. А. Корж // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – 2001. – Т. 2, № 12. – С. 111–114.

4. Ступник Н. И. Определение потерь рудной массы при выпуске высокоподвижных сыпучих сред в условиях подрывки висячего бока / Н. И. Ступник, Е. И. Логачев // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – 2002. – Т. 1, № 13. — С. 114–118.

5. Ступник Н. И. Проблемы отработки полезных ископаемых подземным способом в Криворожском бассейне на глубинах 1200–1500 м / Н. И. Ступник, Ю. П. Капленко, Е. И. Логачев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 12. – С. 340–342.

6. Ступник Н. И. Особенности постановки задач при определении областей влияния выпускных отверстий / Н. И. Ступник, Ю. П. Капленко, Е. И. Логачев // Разработка рудных месторождений : научно-техн. сб. – 2006. – Вып. 1. – С. 48–51.

7. Ступник Н. И. Отработка сложноструктурных залежей подземным способом / Н. И. Ступник, Е. И. Логачев, С. В. Письменный, Н. В. Перетяцько // Качество минерального сырья. – Кривой Рог, 2008. – С. 115–120.

8. Ступнік М. І. Визначення параметрів воронки обвалення в зоні підземних гірничих робіт при розробці залізорудних родовищ / М. І. Ступнік, С. В. Письменный // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – 2010. – Вип. 26. – С. 26–30.

9. Ступнік М. І. Дослідження механізму проривів обводнених глинистих порід у підземні гірничі виробки та розробка технологічних заходів щодо їх запобігання / М. І. Ступнік, Ю. Г. Вілкул // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. пр. – 2011. – Вип. 28. – С. 3–10.

10. Ступнік М. І. Дослідження механізмів набухання глинистих вміщуючих порід рудних родовищ / М. І. Ступнік, Ю. Г. Вілкул, Л. Д. Єрмак // Разработка рудных месторождений : научно-техн. сб. – 2011. – Вып. 94. – С. 3–8.

11. Ступнік М. І. Аналітичні дослідження механізму проникнення глинистих порід крізь скельні обвалені породи з домішками втраченої руди / М. І. Ступнік // Металургійна академія. Теорія і практика металургії. – 2011. – № 3–4. – С. 38–40.

12. Ступнік М. І. Закономірності формування випуску під подушкою переущільненого шару при підземному видобутку руди / М. І. Ступнік // Металургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 5. – С. 64–67.

13. Ступнік М. І. Моделювання випуску відбитої руди під передущільненим шаром в зоні можливого прориву глинистих порід / М. І. Ступнік // Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. праць. –

Дніпропетровськ : Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України, 2011. – С. 223–228.

14. Ступнік М. І. Дослідження фізико-механічних властивостей глиновмісних вміщуючих порід / М. І. Ступнік // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2011. – № 5. – С. 25-27.

15. Ступнік М. І. Удосконалення технології запобігання проривам обводнених глинистих порід у очисний простір робочих горизонтів / М. І. Ступнік // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2011. – № 6. – С. 36–40.

16. Ступнік М. І. Обґрунтування параметрів системи розробки складноструктурних рудних покладів, що зменшують ймовірність проривів обводнених глинистих порід у гірничі виробки / М. І. Ступнік // Металургійна академія. Теорія і практика металургії. – 2011. – № 5–6. – С. 67–70.

17. Ступнік М. І. Визначення економічного ефекту від упровадження технологічних заходів із запобігання проривам глини у гірничі виробки / М. І. Ступнік, Ю. Г. Вілкул // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – 2011. – Вип. 29. – С. 3–6.

18. Ступнік М. І. Перспективи підземного видобутку та переробки багатих залізних руд в умовах можливого засмічення їх налягаючими глинистими породами / М. І. Ступнік, В. О. Калініченко // Збагачення корисних копалин. – 2011. – Вип. 46(87). – С. 24–27.

19. Ступнік Н. І. Система подэтажного обрушения с переуплотненным слоем руды / Н. И. Ступник // Збірник наукових праць ДП «Науково-дослідний гірничорудний інститут». – 2011. – № 53. – С. 143–150.

20. Ступнік М. І. Дослідження властивостей глинистих порід, взаємодіючих з високомінералізованими водами глибоких горизонтів шахт Кривбасу / М. І. Ступнік // Вісник національного університету водного господарства та природокористування : збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 2 (54). – С. 50–57.

21. Ступнік М. І. Визначення параметрів зон зсуву і обвалення наносних глинистих порід при підземній розробці рудних родовищ / М. І. Ступнік // Вісник національного університету водного господарства та природокористування : збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 3(55). – С. 26–30.

22. Ступнік М. І. Оцінка економічних результатів залізрудного виробництва / М. І. Ступнік, О. В. Калініченко // Известия Донецького горного інститута. – 2011. – № 2. – С. 124–128.

23. Ступнік М. І. Дослідження можливості гідравлічного удару в гірничих виробках і визначення величини повного тиску / М. І. Ступнік // Збірник наукових праць ДДТУ (технічні науки). – 2011. – Вип. №2 (17). – С. 135–139.

24. Ступнік М. І. Застосування системного підходу до закладних робіт з метою зменшення текучості обводнених глинистих порід / М. І. Ступнік // Системні технології : регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ : Дніпропетровська металургійна академія, 2011. – № 5 (76). – С. 158–163.

25. Ступник Н. И. Особенности обработки маломощных участков залежей неустойчивых руд / Н. И. Ступник, Ю. П. Капленко, Е. И. Логачев // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2005». – Дніпропетровськ : НГУ, 2005. – С. 199–203.

26. Stoupanik N. Problems of Underground Ore Mining at Great Depths in Kryvyi Rih Basin / Nicolas Stoupanik, Yuriy Vilkul, Yuriy Kaplenko, Victor Sydorenko // New Technological Solutions in Underground Mining. International Mining Forum 2006. – London, UK : Taylor & Francis Group plc, 2006. – P. 153–159.

27. Ступник Н. И. Снижение величины устойчивости выработок скреперования при формировании горизонтального компенсационного пространства / Н. И. Ступник, Ю. П. Капленко, Е. И. Логачев // Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки». – Дніпропетровськ, 2007. – С. 54–60.

28. Ступник Н. И. Методика определения величины ударной нагрузки, действующей на обнаженную поверхность массива разлетающимися кусками в процессе взрывной отбойки / Н. И. Ступник, Ю. П. Капленко, Е. И. Логачев // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2007». – Дніпропетровськ : НГУ, 2007. – С. 122–126.

29. Ступник Н. И. Совершенствование обработки наклонных залежей железных руд / Н. И. Ступник, Е. И. Логачев, М. И. Кудрявцев // Неделя горняка. – 2009. – Январь. – С. 65–71.

30. Ступнік М. І. Вплив ураженості геологічного середовища на технологію підземної розробки залізрудних родовищ / М. І. Ступнік, І. С. Паранько // Матеріали III Міжнародної конференції «Школа підземної розробки». – Дніпропетровськ : НГУ, 2009. – С. 122–128.

31. Ступнік М. І. Схеми відпрацювання рудних покладів, що містять глинисті включення / М. І. Ступнік, С. В. Письменний // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2010». – Дніпропетровськ : НГУ, 2010. – С. 221–226.

32. Ступник Н. И. Снижение потерь и засорения руды за счет применения переуплотняемого слоя руды / Н. И. Ступник, С. В. Письменный // Горная промышленность. – 2011. – С. 35–37.

33. Ступник Н. И. Методика расчета экономического эффекта от внедрения предложенных технологических мероприятий / Н. И. Ступник, В. А. Калиниченко, И. А. Кучерявенко, А. В. Моргун. – Кривой Рог : Издательский центр КТУ, 2010. – 9 с.

34. Ступник Н. И. Типовой паспорт системы поэтажного принудительного обрушения с использованием защитного переуплотненного слоя руды для условий залежей «Шурфов 42–46» ш. «Юбилейная» ПАО «Евраз Суха Балка» / Н. И. Ступник. – Кривой Рог : Издательский центр КТУ, 2011. – 9 с.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:
[1–3, 5, 7, 25–30, 34] – теоретичне обґрунтування параметрів технології підземної розробки рудних покладів; [4, 6, 32] – визначення показників

видобутку руди при системах з обваленням руди і вміщуючих порід; [8] – визначення параметрів воронки обвалення; [9, 31] – розробка технологічних заходів щодо запобігання проривам обводнених глинистих порід у підземні гірничі виробки; [10] – визначення закономірностей набухання глинистих вміщуючих порід; [18] – встановлення закономірностей засмічення багатих залізних руд налягаючими глинистими породами; [17, 22, 33] – установа економічної доцільності видобутку залізних руд під налягаючими глиновмісними породами.

АНОТАЦІЯ

Ступнік М. І. Наукові основи формування стійкого стану порушеного фазово-неоднорідного масиву при підземній розробці крутоспадних рудних покладів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2012.

Дисертацію присвячено визначенню параметрів технології підземних робіт з формуванням стійкого стану фазово-неоднорідного масиву з використанням геомеханічних властивостей і закономірностей проникнення глинистих порід при розробці крутоспадних рудних покладів на шахтах Кривбасу.

Установлено, що зі збільшенням кута падіння покладу просідання нижньої основи конусоподібної воронки зменшується, а збільшення кута зсування призми призводить до росту проникнення глинистих порід в очисні блоки. Критична глибина розробки рудного покладу пропорційна довжині рудного покладу та емпіричному коефіцієнту, який змінюється від 0,90 до 0,75.

Одержано залежності відносної глибини і часу проникнення глинистого масиву через породну «подушку» за умови відпрацювання плаstopодібних рудних покладів. Коефіцієнт проникнення глинистих обводнених порід крізь скельний обвалений масив змінюється в межах 0,54–1,72. При товщині переущільненого шару 12 м втрати та засмічення руди значно зменшуються. Проникнення глинистих порід попереджується створенням породної «подушки» відбійкою свердловинних зарядів.

Системи розробки та обґрунтування параметрів відпрацювання крутоспадного плаstopодібного покладу, що контактує з глинистими породами, впроваджено на шахті «Ювілейна» ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка». Втрати руди знижуються на 3–4 % і засмічення 2–2,5 % порівняно з нормативними показниками. Економічний ефект від упровадження розробок автора на шахті «Ювілейна» ПАТ «ЄВРАЗ Суха Балка» склав 558 830 грн.

Ключові слова: рудний поклад, фазово-неоднорідний масив, глиниста порода, геомеханічний процес, переущільнений шар, випуск руди.

АННОТАЦИЯ

Ступник Н. И. Научные основы формирования устойчивого состояния нарушенного фазово-неоднородного массива при подземной разработке крутопадающих рудных залежей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2012.

В диссертации решена актуальная научная проблема создания научных основ определения параметров технологии подземных горных работ по формированию устойчивого фазово-неоднородного массива с использованием свойств и закономерностей движения глинистых пород через защитный породный слой при разработке крутопадающих рудных залежей.

Показано, что с увеличением глубины разработки толщина слоя обрушенных вмещающих пород и некоторого количества потерянной руды уменьшается, в результате чего на определенной глубине разработки рудной залежи происходит разрыв указанного слоя и глинистые породы прорываются в очистное пространство.

Установлено, что породы глинистой фракции в Криворожском бассейне, представленные иллитом, смектитом и монтмориллонитом, являются потенциально пластичными и переходят в текучее состояние при влажности более 40 %. Повышение горного давления повышает напряжение их сдвига, но существенно уменьшает границу перехода в текучее состояние. Провоцируют это явление периодические процессы повышения и спада давления при ведении взрывных работ.

Доказано, что изменение механических свойств глинистых пород связано с количеством адсорбированной воды и проявляется в уменьшении сопротивления простому сжатию и параметров упругости.

Установлено, что при увеличении угла падения залежи проседание основания воронки уменьшается, а увеличение угла сдвига призмы сопровождается ростом проникания глин в очистные блоки.

Найдена граничная глубина, которая предопределяет условия формирования зон сдвижения и обрушения на земной поверхности в зависимости от эмпирического коэффициента, учитывающего длину, мощность, угол падения и устойчивость вмещающих пород. Для реологической модели Бингама-Шведова получены зависимости относительной глубины и времени проникновения обводненных глинистых масс через породную «подушку» в условиях обрушения руды и вмещающих пород. Коэффициент проницаемости водонасыщенных глинистых пород через обрушенный массив изменяется в пределах 0,54–1,72.

Доказано, что параметры эллипсоида выпуска и разрыхления руды под переуплотненным слоем существенно влияют на потери и засорение руды. Системы поэтажного принудительного обрушения при толщине

переуплотненного слоя 12 м позволяют снизить потери и засорение соответственно до 10 и 9 %.

В реальных условиях показано, что исключить проникновение глинистых пород через обрушенные породы всякого бока возможно полным заполнением камеры путем взрывания скваженных зарядов. Обоснован и внедрен вариант системы разработки крутопадающей пластообразной залежи под отработанным пространством, заполненным глинистыми породами, при этом рудный массив после образования отрезной щели обрушаются вертикальными слоями на ограниченных площадях и ведут выемку длинными панелями до 30 м.

Экономический эффект от внедрения разработок автора на шахте «Юбилейная» ПАО «ЕВРАЗ Суха Балка» составил 558 830 грн.

Ключевые слова: рудная залежь, фазово-неоднородный массив, глинистая порода, гидрогеомеханический процесс, переуплотненный слой, выпуск руды.

ABSTRACT

Stupnik M. I. Scientific basis of stable state formation of dislocated phase-heterogeneous array with underground mining of steep-dipping ore deposits. – Manuscript.

The thesis is for the Degree of Doctor of Engineering Science in specialty 05.15.02 – Underground Mining. – State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnepropetrovsk, 2012.

The thesis is devoted to defining the parameters of underground mining technology with the formation of stable phase-heterogeneous array using hydrogeomechanical properties and patterns of argillaceous rocks penetration through the protective layer at the development of steep-dipping ore deposits in mines of Krivbass.

It is found that with increasing of pitch angle of bedding the subsidence of bell-pit foundations decreasing and increasing the prism displacement angle leads to increase the penetration of argillaceous rocks into the stopes. Critical depth is proportional to the length of ore deposit and the empirical coefficient which varies from 0.90 to 0.75.

It is obtained the dependence of the relative depth and time of argillaceous rocks penetration through rock «cushion» provided working out of bedding ore deposits. The rate of argillaceous water-saturated rocks penetration through collapsed rock array varies within 0,54–1,72. When the thickness of over-caulked layer is 12 m, the loss and choking of ore are reduced. Argillaceous rocks penetration by collapsed rocks of back is compensated by using of vertical concentrated charges.

The systems of development and grounding of parameters of steep-dipping bedding deposit working out filled with water-saturated argillaceous rocks are introduced on the mine «Jubilejnaya» of PJSC «Euraz Sukha Balka.» The loss of ore reduces on 3–4 % and 2–2.5 % of contamination compared to standard values. The economic effect of the introduction of development by author on the mine «Jubilejnaya» of PJSC «Euraz Sukha Balka» was 558 830,00 UAH.

Keywords: ore deposit, phase-heterogeneous array, argillaceous rock, hydrogeomechanical process, over-caulked layer, ore drawing.

Ступнік Микола Іванович

**Наукові основи формування стійкого стану
порушеного фазово-неоднорідного масиву при підземній розробці
крутоспадних рудних покладів**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

Підписано до друку 16.03.2012 р.
Формат 60х90/16. Ум.-друк. арк. – 2,1. Авт. арк. – 2,2.
Тираж 100 прим. Зам. 16-03.

Друкарня СПД Щербенок С. Г.
Свідоцтво ДП 126-р від 12.10.2004.
вул. Рокоссовського, 5/3, м. Кривий Ріг, 50027.
(0564) 92-20-77.