

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

**КІШКО ОЛЕКСАНДР ЕРНЕСТОВИЧ**



**УДК 622.062:622.257.1**

**СТІЙКІСТЬ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ  
В ЗОНАХ ДИЗ'ЮНКТИВНИХ ПОРУШЕНЬ**

**Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірничча механіка»**

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

**Дніпропетровськ – 2011**

## Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі гірництва Антрацитівського факультету гірництва і транспорту Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Антрацит).

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Шашенко Олександр Миколайович**, завідувач кафедри будівництва і геомеханіки Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Садовенко Іван Олександрович**, завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ)

доктор технічних наук, професор  
**Петренко Володимир Дмитрович**, завідувач кафедри тунелів, основ та фундаментів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України

доктор технічних наук, доцент  
**Пілюгін Віталій Іванович**, директор дирекції з перспективного розвитку ПАТ «Павлоградвугілля» Міністерства енергетики та вугільної промисловості України

Захист відбудеться “ 08 ” липня 2011 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при ДВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ДВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий “07” червня 2011 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої  
ради



О.В. Солодянкін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність проблеми.** На цей час вугільна промисловість є однією з найважливіших галузей української економіки. Вона не тільки забезпечує паливом промислові підприємства і задовольняє комунальні потреби населення, але й водночас є постачальником сировини для низки інших галузей промисловості: коксохімічної, енергетичної тощо.

Введення в дію нових підприємств, які видобувають вугілля, потребує виконання великого обсягу робіт з проведення вертикальних, горизонтальних і похилих гірничих виробок, протяжність яких тільки на одній шахті сягає десятків кілометрів. Своєчасність введення нових потужностей, підтримка шахт на рівні планованих показників напряму залежить від швидкості спорудження капітальних і підготовчих виробок.

Одним із основних факторів, що зменшують швидкість проходки шахтних стволів і інших капітальних виробок, є обводненість гірських порід, особливо в зонах тектонічних (розривних) порушень.

Основний шлях забезпечення відповідних умов для підтримання стійкості гірничих виробок у таких умовах, є штучне покращення фізико-механічних властивостей ділянки породного масиву, в якому споруджується виробка. Попереднє подавлення водопритоків при спорудженні виробок різного призначення у складних гідрогеологічних умовах є, зазвичай, основним способом підвищення ефективності шахтного будівництва і подальшої безпечної експлуатації підземних споруд.

Традиційні способи боротьби с водопріпливами (цементация із вибою ствола або заморожування), які раніше достатньо широко використовувались, на цей час є або недостатньо ефективними, або занадто дорогими.

При застосуванні комплексного методу тампонажу обводнених тріщинуватих гірських порід скорочується термін підготовчого періоду будівництва шахти внаслідок того, що тампонаж виконується з поверхні заздалегідь або паралельно з оснащенням ствола, скорочується строк проходки стволів за рахунок виключення робіт по цементации вибою на кожному водонасиченому горизонті; відпадає необхідність у виконанні наступної цементации, яка, зазвичай, є малоефективною, у перекачному і підвісному обладнанні водовідливу при проходці стволів; скорочується трудомісткість і енергоємність робіт; покращуються умови роботи прохідників, що призводить до зниження травматизму, простудних захворювань і до підвищення продуктивності праці.

Ці позитивні якості комплексного методу тампонажу дозволяють зробити висновок про те, що його використання при проходці обводнених геологічних порушень в умовах глибоких вугільних шахт, на цей час є найбільш придатним за техніко-економічними і соціально-гігієнічними вимогами.

Тому, встановлення закономірностей забезпечення стійкості протяжних гірничих виробок глибоких вугільних шахт, що пройдені в породних масивах зі штучно поліпшеними внаслідок тампонажу фізико-механічними властивостями, на основі геомеханічних закономірностей поведінки обводненого породного масиву в зонах геологічних порушень є актуальною науково-технічною

проблемою, яка має важливе народногосподарське, соціальне і прикладне значення.

**Зв'язок роботи з науковими проблемами, планами і темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до тематичного плану держбюджетних НДР НГУ: ГП-366 (№ держреєстрації 0105U000519), ГП-410 (№ держреєстрації 0108U000541) – за пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки України «Новітні і ресурсозберігаючі технології в енергетиці», а також у рамках комплексної галузевої програми РН.Ц.001 «Удосконалення технічної бази паливно-енергетичного комплексу і підвищення ефективності використання енергоресурсів».

**Метою** дисертаційної роботи є забезпечення стійкості протяжних гірничих виробок глибоких вугільних шахт, що пройдені в обводнених породних масивах у зонах диз'юнктивних порушень зі штучно покращеними фізико-механічними властивостями.

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовані та вирішені наступні **основні задачі досліджень**:

1. Виконати аналіз сучасного стану вуглевидобувної галузі України, проблем и перспектив її розвитку.

2. Виконати дослідження особливостей тектоніки Східного Донбасу і фізико-механічних властивостей гірських порід навколо обводнених геологічних порушень.

3. Розвинути комплексний метод тампонажу для умов обводнених гірських порід в районах геологічних розривних порушень.

4. Встановити закономірності протікання геомеханічних процесів при проведенні гірничих виробок в зоні порід із зміненими фізико-механічними властивостями.

5. Виконати впровадження і дослідно-промислові випробування комплексного методу тампонажу протяжних гірничих виробок, що пройдені у зонах обводнених геологічних порушень.

**Основна ідея роботи** полягає в урахуванні змінених внаслідок тампонування в'язкопластичними розчинами фізико-механічних властивостей структурно-порушених гірських порід при дослідженні геомеханічних і фільтраційних моделей.

**Об'єктом дослідження** є геомеханічні процеси, що протікають в обводненому породному масиві при штучному покращенні його властивостей, фільтраційні та фізико-механічні характеристики затампованого вуглепородного масиву.

**Предмет дослідження** – параметри пружно-деформованого стану затампованого вуглепородного масиву в зонах геологічних порушень.

**Методи досліджень.** Структурний аналіз джерел інформації, шахтні дослідження поведінки обводненого вуглепородного масиву в зонах геологічних порушень, методи механіки гірських порід, механіки деформованого твердого тіла, теорії фільтрації динаміки в'язкопластичних тіл, гідродинаміки, теорії ймовірностей і математичної статистики.

### **Основні наукові положення, що захищаються у дисертації.**

1. Межа міцності на одноосьовий стиск породного масиву знаходиться в логарифмічній залежності від часу, який минув після моменту прориву води з області обводненого тектонічного порушення, що дозволяє визначити стійкість приконтурної області масиву навколо гірничої виробки.

2. Перепад тиску в тріщинах під час тампонажу основних систем тріщинуватості диз'юнктивних порушень глиноцементним розчином з варіативною рецептурою, має ступеневу залежність від кількості в'язучого, структуроутворювача і часу, а при рівності об'ємів відфільтровування рідкої фази з розчину і водопоглинання в ньому процесом тампонажу можна керувати за допомогою добавки, що дозволяє досягати високих міцнісних та протифільтраційних параметрів зависи.

3. Мінімальне значення коефіцієнту запасу міцності породного масиву навколо вибою незалежно від орієнтації в просторі протяжної виробки знаходиться у параболічній залежності від кута падіння розривного порушення, що дозволяє оцінити рівень навантаження на кріплення.

4. Довжина високонавантаженої частини протяжної виробки з кутом нахилу  $\beta$ , при її пересіченні з розривним порушення шириною  $2a$ , що має кут падіння  $\alpha$ , прямопропорційна ширині порушення і зворотнопропорційна синусу різниці кутів  $\alpha$  і  $\beta$ , що дозволяє визначити об'єм роботи з підсилення кріплення в районі порушення.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше встановлена залежність міцності обводненого складноструктурного породного масиву від рівня вологості і часу впливу підземних вод, що дозволяє оцінювати параметри геомеханічних процесів.

2. Вперше отримані залежності для обчислення деформаційних характеристик затампованого породного масиву, як для системної тріщинуватості, так і для хаотичного розташування тріщин, що дозволяє визначити величину переміщень контуру виробки і оцінити ступінь її стійкості.

3. На основі нових моделей руху в'язкопластичної рідини на тріщинах, отримані залежності для оцінювання реологічних якостей глиноцементного розчину, що дозволяє розрахувати параметри тампонажного процесу.

4. Вперше для обводненого тріщинуватого породного масиву запропоновані залежності, що дозволяють керувати процесом тампонажу завдяки варіювання рецептурою глиноцементних розчинів.

5. На основі узагальнених геомеханічних моделей встановлені закономірності зміни стійкості підземних виробок в зонах тектонічних розривних порушень, що дозволяє розрахувати параметри кріплення.

6. На основі структурної моделі виробки, що знаходиться в умовах випадкового впливу природних і техногенних факторів, запропонований критерій стійкості, що дозволяє керувати її станом з метою зниження експлуатаційних витрат.

7. Створені нові геомеханічні моделі і на їх основі виконані розрахунки по оцінці пружно-деформованого стану структурно порушеного породного масиву в районі розривних геологічних порушень при їх пересіченні довільно орі-

єнованими в просторі виробками: вертикальними, похилими, горизонтальними.

**Наукове значення роботи** полягає у розвитку теоретичних основ підвищення стійкості виробок, які споруджуються в зонах обводнених геологічних розривних порушень, що мають покращені, за рахунок тампонажу, фізико-механічні властивості на основі вперше встановлених закономірностей зміни напружено-деформованого стану складноструктурного породного масиву, керованого розповсюдження тампонажних розчинів у системах тріщин з проникними стінками.

**Практичне значення роботи** полягає в розробці методології забезпечення стійкості гірничих виробок в зонах тектонічних порушень шляхом їх тампонажу в'язкопластичними розчинами з керованими властивостями, що підвищує темпи та безпеку ведення гірських робіт і знижує збитки гірничих підприємств за рахунок підтримання виробок і водовідливу.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень і основних висновків** обумовлена коректністю прийнятих підходів і вихідних даних, які ґрунтуються на використанні комплексного методу дослідження взаємодії обводненого вуглепородного масиву, що містить штучно створену порожнину – гірничу виробку, з в'язкопластичним середовищем – тампонажним розчином, основних положень механіки суцільного середовища, гідродинаміки і теорії фільтрації, теорії ймовірностей і математичної статистики, позитивними результатами впровадження розробок у виробництво.

**Реалізація результатів досліджень.** Результати дисертаційної роботи використовуються ДВАТ «Донецькшахтопрохідка» у вигляді «Методичних вказівок з розрахунку параметрів попереднього і наступного тампонажу обводнених порід глибоких горизонтів вугільних шахт», НГУ, ДонНТУ, СНУ ім. В. Даля при організації навчального процесу у вигляді встановлених закономірностей процесу тампонування диз'юнктивних зон і геомеханіки затампованих порід, ТОВ «ТИССА» у вигляді «Методики проектування і технологічні схеми тампонажу диз'юнктивних зон» для проектування тампонажних робіт, ТОВ «Донбаспецбуд» у вигляді «Методики розрахунку рецептури розчину і технологічних параметрів» для проектування тампонажних робіт, шахтою «Комсомольська» ДП «Антрацит» для моніторингу стійкості виробок у вигляді «Критеріїв стійкості затампованих диз'юнктивів»: - відкаточний квершлаг № 1, гор. 960 м; - розвідувально-дренажний штрек», шахтою ім. 50-річчя Радянської України у вигляді «Критеріїв стійкості затампованих диз'юнктивів»: - західний вент. ствол № 3; - 8-й західний відкаточний штрек пл. К2, шахта «Південна», ДП «Макіїввугілля» для ліквідації аварійних проривів води у вигляді технологічної схеми, шахтою ім. 50-річчя Радянської України для ліквідації аварійних проривів води у вигляді технологічної схеми. Очікуваний економічний ефект при застосуванні тампонажу 15-го західного вентиляційного штреку шахти «Запорізька» становить 2317 тис грн.

**Особистий внесок автора.** Автором самостійно сформульовані мета, ідея, завдання, обрані методи досліджень, обґрунтовано розрахункові схеми, виконані лабораторні та натурні дослідження, аналітичні розрахунки за його участю, здійснено впровадження результатів досліджень на виробництві.

### **Апробація результатів роботи.**

Основні наукові положення роботи та її окремих розділів доповідалися і отримали схвалення на Міжнародних наукових конференціях «Проблеми гірничої справи та екології гірничого виробництва» (м. Антрацит, 2007-2010 рр.), «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2006-2009 рр.), на Всеросійській науково-практичній конференції «Перспективи розвитку Східного Донбасу» (Новочеркаськ, 2010 р.), на науково-практичній конференції «Проблеми підземного будівництва та напрямки розвитку, тампонажу та закріплення гірських порід» (м. Антрацит, 2006 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку» (м. Кривий Ріг, 2008 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалення технології будівництва шахт і підземних споруд» (м. Донецьк, 2009 р.), на засіданнях науково-технічних рад ДВАТ «Донецькшахтопроходка» та ТОВ «ТИССА» (2009 р.)

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковані в 38 наукових працях, зокрема в 5 монографіях, 15 статтях, опублікованих у фахових наукових виданнях, 8 статтях, опублікованих у збірниках конференцій, 3 статтях в інших виданнях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 198 найменувань на 21 сторінці та чотирьох додатків на 4 сторінках. Містить 273 сторінки машинописного тексту 94 рисунка і 15 таблиць. Загальний обсяг 315 сторінок.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

Гірничо-геологічні умови розробки вугільних пластів у Донбасі відносяться до категорії найбільш складних. На даний час глибина гірничих робіт перевищила 1000 м. Потужність пластів коливається, в основному, в межах 0,8 - 1,3 м. При цьому річний обсяг видобутку вугілля останніми роками є досить стабільним і складає, приблизно, 80 мільйонів тонн. Для підтримки такої виробничої потужності необхідно на рік проходити близько 480 км гірничих виробок. За статистикою близько 20 % підтримуваних виробок не відповідає вимогам Правил безпеки і технічної експлуатації. Якщо врахувати, що в найближчій перспективі вугільні шахти Україні повинні будуть видобувати близько 120 мільйонів тонн вугілля на рік, то ситуація в області проведення та підтримки виробок тільки погіршиться.

Вирішенню проблеми забезпечення стійкості виробок у складних гірничо-геологічних умовах присвячені роботи багатьох учених колективів провідних вузів і науково-дослідних інститутів. В Україні найбільший внесок до її рішення внесли роботи Бабіюка Г.В., Бондаренка В.І., Виноградова В.В., Глушка В.Т., Дружка Є.Б., Друцка В.П., Заславського Ю.З., Зоріна А.М., Зборщик М.П., Касьяна М.М., Коскова І.Г., Кошелева К.В., Литвинського Г.Г., Максимова О.П., Назимка В.В., Новикової Л.В., Парчевського Л.Я., Петренка В.Д., Пілюгіна В.И., Пінковського Г.С., Роевка А.М., Садовенко І.О., Сдвіжко-

вої О.О., Усаченка Б.М., Халимендика Ю.М., Шашенка О.М. і багатьох інших. Проте, не дивлячись на значні досягнення, враховуючи масштаби, специфіку об'єкту досліджень і постійну зміну умов, актуальність цієї проблеми не знижується.

Однією з істотних причин, що сприяють зниженню темпів проведення виробок і збільшенню вартості їх підтримки, є наявність в породному масиві великої кількості обводнених розривних порушень. Їх перетин гірничими роботами супроводжується значними технічними труднощами і матеріальними витратами.

Наявність зон геологічних розривів та їх особливостей у дисертації вивчались на прикладі Боково-Хрустальського і Должанно-Ровенецького вуглепромислових районів. За існуючою класифікацією тектонічні порушення в цій частині Донбасу віднесені, в основному, до II і III категорій. Геологічні порушення пов'язані з великою кількістю водоносних горизонтів, що інколи робить неможливим проведення виробок. Зони впливу діз'юнктивів поширюються на 200-300 м від площини розриву, містять одну або дві системи тріщин з розкриттям 0,5-2 мм, що суттєво послаблює породний масив.

Відповідно до класифікації, умови проведення та підтримки протяжних виробок при перетині ними обводнених, тріщинуватих зон розривних порушень відносяться до дуже складних. Одним з ефективних методів, що дозволяє проходити виробки в таких умовах, є комплексний метод тампонажу, розроблений у 70-ті роки минулого століття у ВО «Спецтампонажгеологія» під керівництвом доктора технічних наук Е.Я. Кіпка, розвинений згодом у роботах його послідовників. Вагомий внесок у розвиток комплексного методу тампонажу внесли: Кіпка Е.Я., Полозов Ю.А., Спічак Ю.М., Лушнікова О.Ю., Попов І.В., Попов О.В., Смородін Г.М., Левчинський Г.С., Цаплін Е.Г., Свірський Ю.І., Биков М.Л., Літовченко В.М., Шубін А.А., Дмитрієнко В.О., Должиков П.М. та інші.

В основі методу лежить використання глиноцементних розчинів, що нагнітаються в тріщинуватий масив за особливою технологією. Однак, ці розробки не стосувалися стійкості ділянок породних масивів в області розривних обводнених порушень. Метою досліджень, що виконанні в дисертації, є встановлення закономірностей забезпечення стійкості протяжних гірничих виробок глибоких вугільних шахт, пройдених в обводнених породних масивах у зонах діз'юнктивних порушень зі штучно поліпшеними внаслідок тампонажу фізико-механічними властивостями.

Для оцінки геомеханічних процесів, які розвиваються навколо протяжних виробок, що пройдені в породному середовищі зі штучно поліпшеними механічними властивостями, спочатку потрібно оцінити міцність породного масиву. У цьому випадку основними механічними характеристиками масиву є межа міцності на одноосьовий стиск, модуль Юнга, модуль деформації і коефіцієнт Пуассона. Оскільки всі вони пов'язані з інтенсивністю та системністю тріщинуватості, на рис. 1 наведені структурні моделі сіток тріщин для основних розривних деформацій – поперечних скидів I і II типу. На їх основі здійснювалися подальші теоретичні побудови.



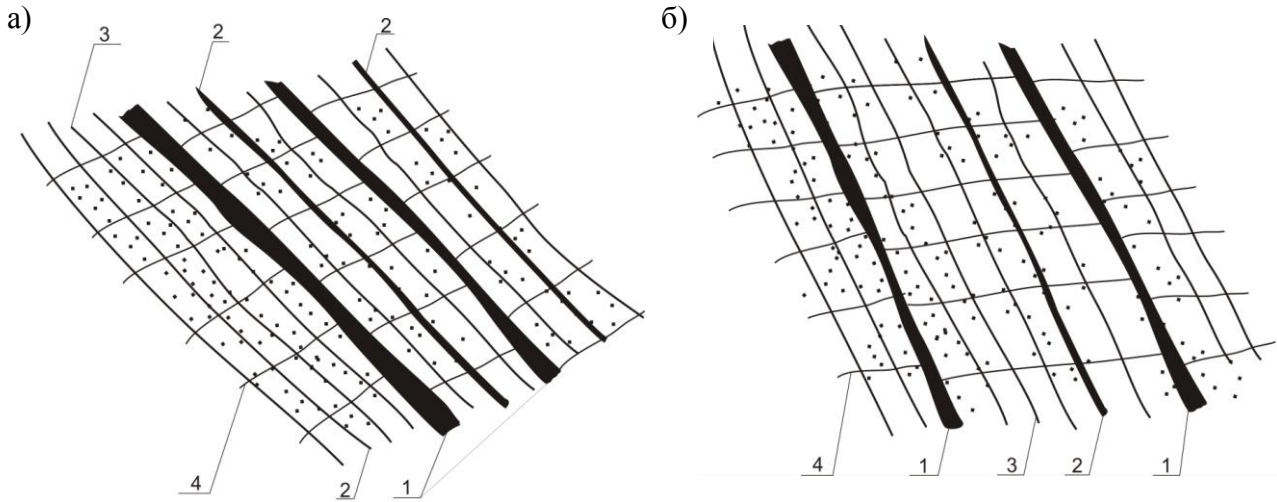


Рис. 1. Структурна модель сітки тріщин в зонах поперечних скидів:  
 а) I типу: 1 – змішувачі; 2 – тріщини максимального розкриття; 3 – тріщини субмеридіональної системи; 4 – тріщини субширотної системи;  
 б) II типу: 1 – змішувачі; 2 – тріщини максимального розкриття; 3 – тріщини субмеридіональної системи; 4 – тріщини субширотної системи

На рис. 2 показаний характер зміни міцності породного масиву навколо одиночної виробки від вологості і часу. Урахування тріщинуватості виконано на основі залежностей, запропонованих О.М. Шашенком і О.О. Сдвіжковою.

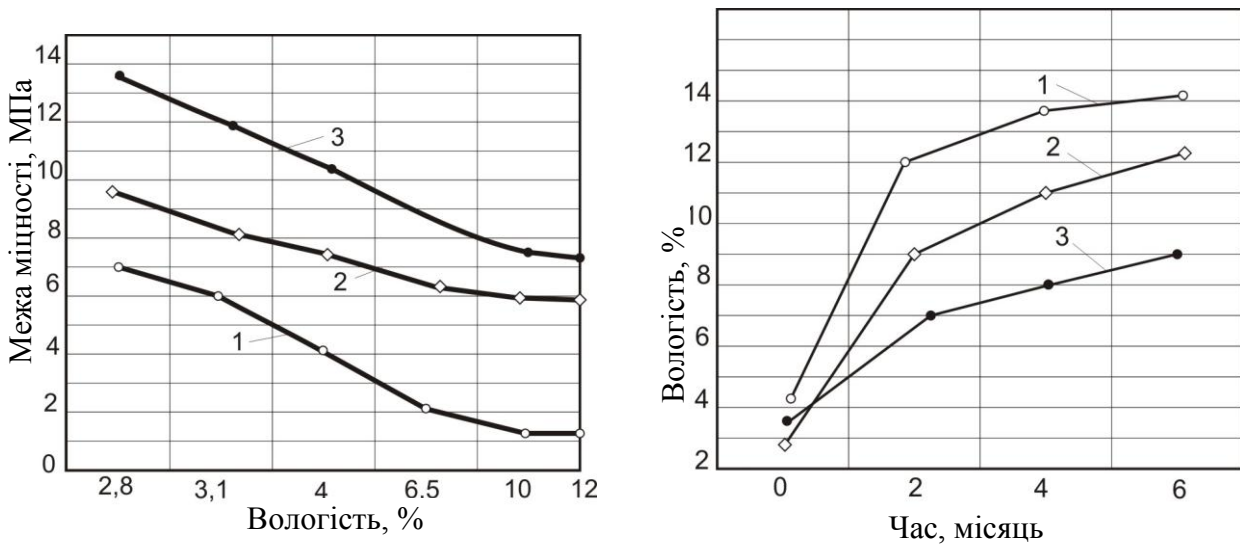


Рис. 2. Залежність міцності гірських порід від вологості та часу намокання:  
 1 – глинистий сланець; 2 – піщаний сланець; 3 – пісковик.

Виконані в дисертації лабораторні випробування основних вуглевмісних порід, дозволили встановити, як змінюється межа міцності на одноосьовий стиск від вологості, і, у свою чергу, як змінюється вологість у часі. Ці залежності мають наступний характер:

$$f(r) = \frac{A}{[r \cdot \alpha \ln(t + \beta)]^2} - B. \quad (1)$$

$$A = \frac{r_L^2}{1 - r_L^2} (1 - k_{ocm}); \quad B = \frac{r_L^2 - k_{ocm}}{1 - r_L^2},$$

де  $r_L$  - розмір зони непружних деформацій,  $k_{ocm}$  - остаточна міцність гірських порід,  $t$  - час.

Викладені вище дослідження дозволили констатувати, що межа міцності на одноосьовий стиск породного масиву знаходиться у логарифмічній залежності від часу, який пройшов після моменту прориву води з області обводненого тектонічного порушення, що дозволяє визначати стійкість приконтурної області масиву, що вміщає гірничу виробку.

На підставі виконаних досліджень, з урахуванням результатів, отриманих К.В. Рупенейтом, встановлені нові залежності, що дозволяють визначити модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона для затампованого тріщинуватого породного масиву:

- для системи тріщин:

$$E_0 = \frac{E_1}{1 + \frac{\alpha \delta (E_1 - E_p)}{(h + \delta)(E_p + \xi E_1)} + \frac{\beta \sigma}{\xi E_1 + E_p (1 - \xi)}}, \quad (2)$$

- для хаотичної тріщинуватості:

$$E_\varphi = \frac{8}{5} \frac{E_1}{1 + \alpha \eta + \frac{\beta \sigma}{\xi E_1 + E_p (1 - \xi)}}. \quad (3)$$

$$\nu_0 = \frac{\nu_1}{1 + \eta_1}, \quad (4)$$

де  $\nu_1$  - коефіцієнт Пуассона породних блоків,  $\eta_1 = \frac{\delta}{\xi \cdot h_1}$ ;  $h_1$  - відстань між породними блоками.

Тут  $E_1$  - модуль деформації породного блоку;  $E_p$  - модуль деформації глиноцементного розчину у тріщині;  $\nu_1$  - коефіцієнт Пуасона породного блоку;  $\xi$  - відносна площа скельних контактів у тріщині;  $h$  - розмір блоку без тріщин;  $\alpha$ ,  $\beta$  - безрозмірні константи, що характеризують деформаційну здатність гірської породи;  $\sigma$  - величина діючих напружень;  $\eta$  - показник, що враховує наявність глинистого розчину у блоці.

Враховуючи властивості тампонажного розчину та тріщинуватого масиву, на рис. 3. наведена отримана залежність модуля деформації від розкриття тріщин для різних умов контактування блоків.

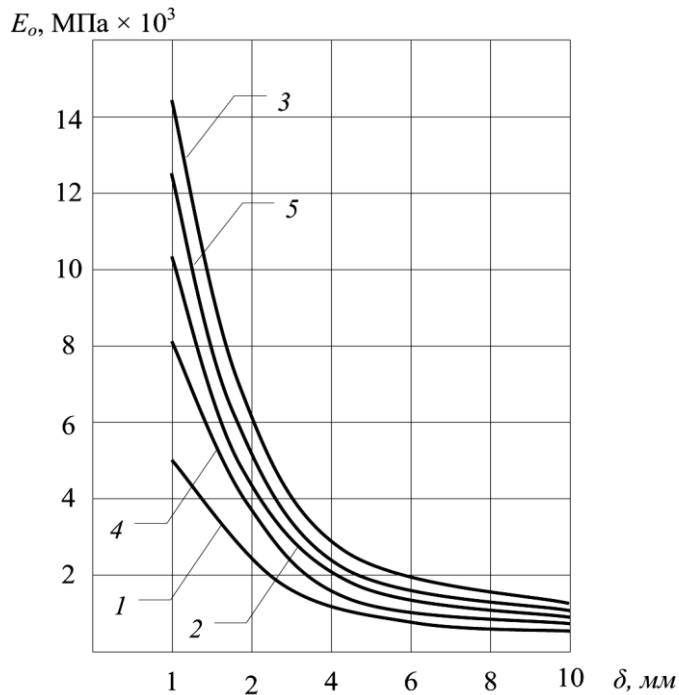


Рис. 3. Залежність модуля деформації порід від розкриття тріщин: 1 – тріщини без розчину; 2 – затампоновані тріщини зі скельними контактами і розчином з  $E_p = 15$  МПа; 3 – затампоновані тріщини зі скельними контактами і розчином з  $E_p = 33$  МПа; 4 – затампоновані тріщини без скельних контактів розчином з  $E_p = 15$  МПа; 5 – затампоновані тріщини без скельних контактів розчином з  $E_p = 33$  МПа

Аналіз наведених залежностей і розрахунки показують, що міцність і пружність затампонованого тріщинуватого породного масиву зростає, модуль деформації збільшується у 3...10 разів, коефіцієнт Пуассону – в 1,1...1,3 рази. Отримані залежності були використані при виконанні геомеханічних розрахунків.

Підвищена обводненість тріщинуватих гірських порід і прориви води у виробки відносяться до найбільш небезпечних факторів, що призводить до аварій у вугільних шахтах. Особливо ця небезпека проявляється поблизу і при перетині тектонічних порушень. Для оцінки ступеня небезпеки виникнення аварії у роботі запропоновано комплексний критерій аварійної небезпеки, що спирається на цілу низку факторів, що впливають:

$$k_o = \sum M \sqrt{\prod_{l \leq i \leq n} k_i^{M_i}}, \quad (5)$$

де  $M_i$  – вагомість показників аварійної небезпеки;  $n$  – кількість окремих показників, за якими оцінюють аварійну небезпеку.

Гірнична виробка являє собою технічну систему, що складається з  $n$  підсистем, які, у свою чергу, складені, у свою чергу, із структурних елементів. Таку систему можна розглянути, оперуючи випадковим вектором:

$$\vec{X}(t) = \vec{\xi}(t) + \vec{\eta}(t) + \vec{\zeta}(t), \quad (6)$$

де  $\vec{\xi}(t)$  – характеризує незворотні зміни в гірничій виробки і при контурній області, що її вміщує;  $\vec{\eta}(t)$  – зворотні зміни;  $\vec{\zeta}(t)$  – помилка вимірювальних ланцюгів.

Процес розвитку аварії в гірничій виробці є багатовимірним груповим процесом, математична модель якого має такий вигляд:

$$\vec{X}(t) = \vec{W}[\vec{\beta}(x), t] + \vec{V}[\vec{\alpha}(\varepsilon), t], \quad (7)$$

де  $\vec{V}[\vec{\alpha}(\varepsilon), t] = \|V_1(\vec{\alpha}^{(1)}, t), \dots, V_k(\vec{\alpha}^{(k)}, t)\|$  – вектор функції часу  $t$  і коефіцієнтів  $\vec{\alpha}$ .

У загальному вигляді комплексний критерій аварійності гірничої виробки може бути поданий наступною формулою:

$$K_a = K_{a1}\hat{a}_1 + K_{a2}\hat{a}_2 + \dots + K_{ad}\hat{a}_d, \quad (8)$$

де  $K_{ai}$  – ортогональний базис лінійного простору  $\{K\}$ ,  $e_i$  – параметри стану підсистем гірничої виробки.

Умова безаварійності виконується при дотриманні наступних умов:

$$K_{a \min} \leq K_a \leq K_{a \max}, \quad (9)$$

де  $K_{a \min}$  и  $K_{a \max}$  – відповідно припустимі значення критерію аварійності в умовах даної гірничої виробки, які визначаються, виходячи з досвіду експлуатації подібних виробок.

У роботі досліджена динаміка перебігу тампонажного глиноцементного розчину у породному масиву з метою врахування зміни реологічних характеристик в'язкопластичної рідини.

Скориставшись рівнянням Коші:  $\rho \frac{Dv_\alpha}{Dt} = \rho \cdot K_\alpha + \tau_{\alpha\beta}$ , де

$\frac{Dv_\alpha}{Dt} = \frac{\partial v_\alpha}{\partial t} + v_\beta v_{\alpha\beta}$  – субстанціональна похідна;  $v_{\alpha\beta}$  – абсолютна похідна зі швидкості, і підставивши в нього компоненти тензора напружень  $P_{\alpha\beta} = m \cdot \dot{e}_{\alpha\beta}$ , де

$m$  – модуль пластичності, отримано рівняння руху в'язкопластичної рідини в тензорній формі:

$$\rho \frac{Dv_{\alpha}}{Dt} = \rho \cdot K_{\alpha} - \frac{dP}{dt} \delta_{\alpha\beta} + \left( \eta + \frac{\tau_0}{p} \right) (v_{\alpha, \beta\beta} + v_{\beta, \alpha\beta}) + \left( \frac{d\eta}{dt} + \frac{d\tau}{dt} \cdot \frac{1}{h} \right) (v_{\alpha\beta} + v_{\beta\alpha}) - \frac{\tau_0}{h^2} \cdot \frac{dh}{dt} (v_{\alpha\beta} + v_{\beta\alpha}). \quad (10)$$

Таким чином, запропоноване диференціальне рівняння процесу руху в'язкопластичної рідини з урахуванням зміни її реологічних властивостей за довжиною потоку, що використовується при проектуванні тампонажних завіс.

Для глиноцементних розчинів зі змінними реологічними властивостями в роботі досліджено закономірності їх фільтрації в тріщинуватому обводненому середовищі, у результаті аналітично отримано рівняння для перепаду тиску в тріщині:

$$\Delta P = \frac{3}{K\delta_H} \sqrt{\frac{Q\varepsilon}{\pi m h}} \cdot F_2(\tau_0, \sqrt{t}). \quad (11)$$

де  $Q$  - розхід рідини;  $h$  - потужність пласта;  $m$  - тріщинуватість.

Залежність (11) враховує зміни реологічних властивостей розчину, але не дозволяє керувати процесом течії рідини, що дуже необхідно під час тампонажу напірних диз'юнктивних порушень. Для визначення змінного співмножника  $F_2$  виконані лабораторні дослідження зміни реологічних та структурних властивостей розчинів в процесі тампонажу.

Одним з основних технологічних параметрів при виконанні тампонажних робіт є тиск нагнітання тампонажного розчину в тріщинуватий обводнений масив. Були проведені лабораторні випробування на спеціальному стенді, в ході виконання яких встановлено, що процес відфільтровування рідкої фази має три стадії (рис. 4).

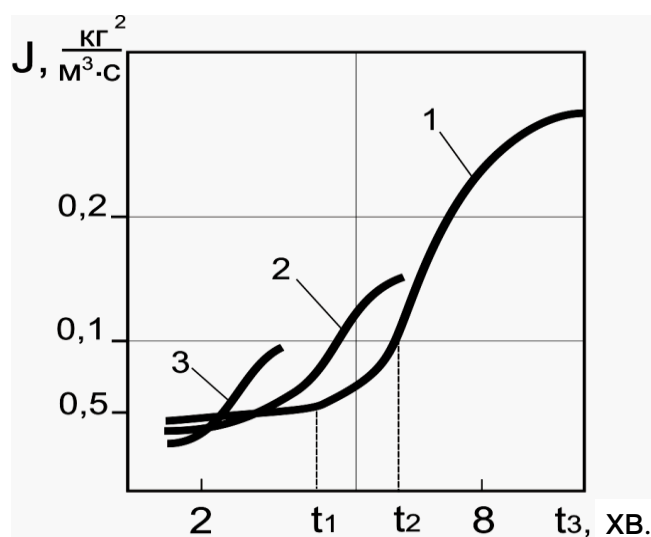


Рис. 4. Інтенсивність відфільтровування рідкої фази із розчину у часі:

1 – розкриття тріщини 2 мм; 2 – 4 мм; 3 – 6 мм.

Це дозволяє керувати процесом структурування розчину за рахунок введення в нього рідкого скла у другій половині ін'єкції, за умови рівності об'ємів водопоглинання та відфільтровування рідкої фази у розчині.

У роботі також виконані дослідження, пов'язані з управлінням рухом в'язкопластичних розчинів в тріщинуватому обводненому середовищі, коли відбувається безперервна зміна їх реологічних параметрів у часі. Регулювати їхню в'язкість можна, змінюючи кількість рідкого скла і цементу, що подають в розчин. Основними реологічними характеристиками при цьому є структурна в'язкість, динамічне напруження зсуву і час нагнітання.

Значення пластичної міцності розчинів від кількості цементу і рідкого скла наведені у табл. 1. Формули для визначення перепаду тиску в залежності від реологічних параметрів мають наступний вигляд:

$$\Delta P = \frac{3R}{2K\delta\sqrt{T}} \int_0^T \tau_0(t) t^{-\frac{1}{2}} dt \quad (12)$$

$$\Delta P = \frac{3R[\tau_0(C_1) + \tau_0(C_2)]}{K\delta} + \frac{3A(C_1, C_2)R}{K(2\epsilon + 1)} T^\epsilon, \quad (13)$$

де  $\tau_0(C_1, C_2) = \tau_0(C_1) + \tau_0(C_2)$  – динамічне напруження зсуву розчину залежно від кількості в'язучого і структуроутворювача, Па;  $A(C_1, C_2)$  – емпірична величина, що залежить від кількості цементу і концентрації рідкого скла у розчині;  $\epsilon$  – емпіричний коефіцієнт, що залежить від виду глини,  $\epsilon \geq 1$ .

Таблиця 1.

**Пластична міцність глиноцементного розчину  
при варіаціях цементу и рідкого скла**

Склад розчину на 1 м <sup>3</sup>			Пластична міцність, кПа, через		
Щільність глинистого розчину, кг/м <sup>3</sup>	Кількість цементу, кг	Кількість рідкого скла, кг	1 хвил.	4 години	10 діб
1180	60	65	0,25	3,4	217,4
	80	80	0,35	2,6	125,9
	100	95	0,46	7,7	170,2
1200	80	80	2,6	8,8	111,1
	100	65	1,72	3,7	260,3
	60	95	2,7	13,7	111,1
1220	80	65	1,2	12,0	125,9
	60	80	0,65	10,2	994,0
	100	95	1,6	7,3	660,8

На рис. 5-8 наведені зміни пластичної міцності та реологічних параметрів від складу розчину та часу його структурування.

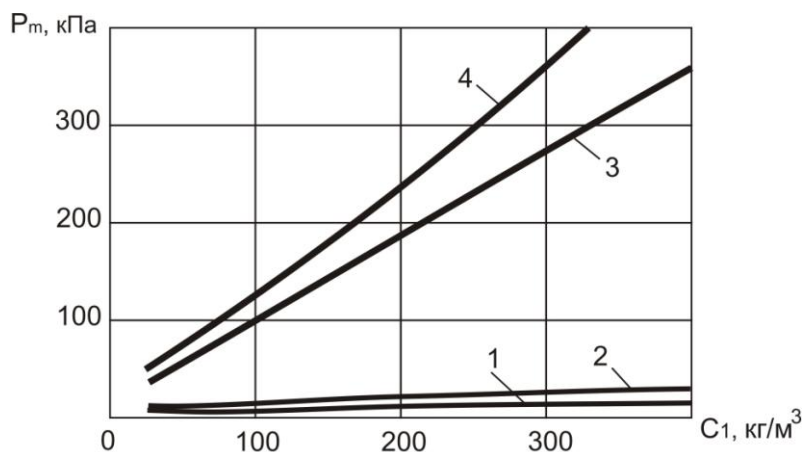


Рис. 5. Залежність пластичної міцності розчину від в'язучого і часу:  
1 – 1 година; 2 – 3 години; 3 – 1 доба; 4 – 3 доби

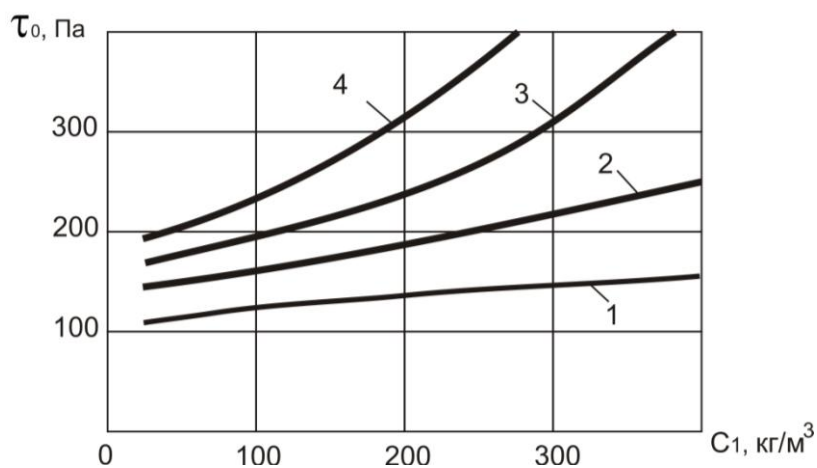


Рис. 6. Залежність динамічного напруження розчину від концентрації в'язучого і часу: 1 – 1 хвил.; 2 – 30 хвил.; 3 – 60 хвил.; 4 – 120 хвил.

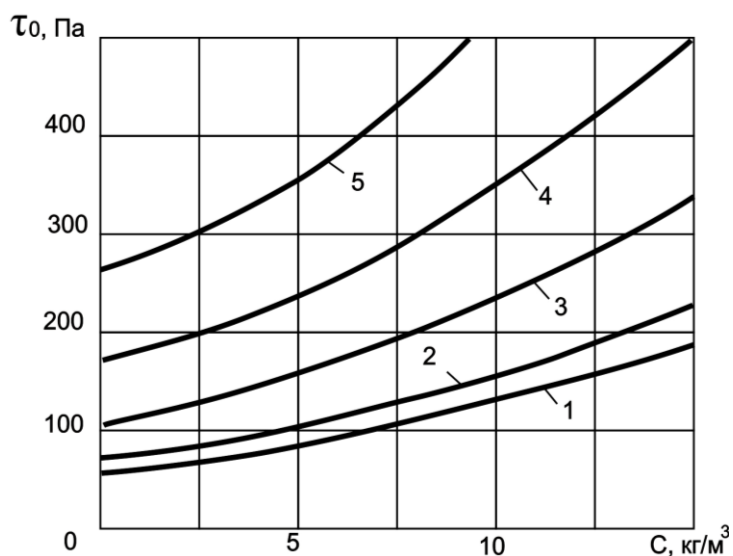


Рис. 7. Залежність динамічного зсуву розчину від концентрації рідкого скла і часу:  
1 – 1 хвил.; 2 – 10 хвил.; 3 – 60 хвил.; 4 – 90 хвил.; 5 – 120 хвил.

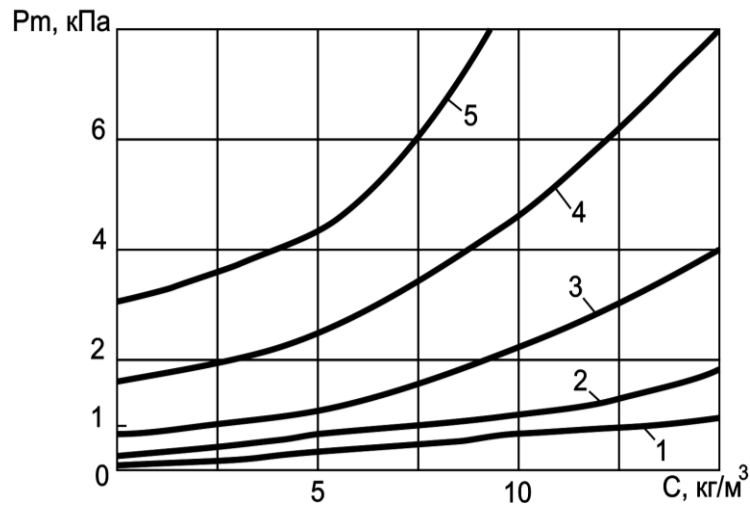


Рис. 8. Залежність пластичної міцності розчину від концентрації рідкого скла і часу: 1 – 1 хвил.; 2 – 10 хвил.; 3 – 60 хвил.; 4 – 90 хвил.; 5 – 120 хвил.

Отримані емпіричні залежності, які необхідні для визначення складів глиноцементних розчинів в залежності від кількості цементу, рідкого скла і часу нагнітання:

- динамічне напруження зсуву розчину при варіаціях цементу, Па:

$$\tau_0(C_1, t) = (2,15 \cdot C_1^{0,558} + 98,9)t^{0,156} \quad (14)$$

- динамічне напруження зсуву розчину при варіаціях рідкого скла, Па:

$$\tau_0(C_2, t) = (100,61 + 3,0C_2^{1,5})(0,68 + 1,21 \cdot 10^{-4} t^{2,02}). \quad (15)$$

Час у виразах (14) і (15) прийнято у хвиликах, для (14)  $R^2=0,79$ , для (15)  $R^2=0,81$ .

Перепад тиску при течії тампонажного розчину в тріщині залежить від опору руху рідини  $f = f_{2л} + \zeta_m + \zeta_T + \zeta_K + \zeta_l$ , де  $f_{2л}$  – опір шорсткості стінок тріщин;  $\zeta_m$  – опір типу шорсткості;  $\zeta_K$  – опір клиноподібності тріщини;  $\zeta_l$  – опір звивистості тріщини. Його величину можна визначити за формулами (16) та (17):

$$\Delta P = \frac{3V_{co}\eta \cdot l}{h^2 \left(1 - \frac{3}{2}\bar{x}_0 + \frac{1}{2}x_0^3\right)}, \text{ м} \quad (16)$$

$$\Delta P = f \frac{l V_{co}^2}{2h 2g} \gamma, \quad (17)$$

прирівнюючи які, отримаємо необхідну величину коефіцієнта опору:



$$f = \frac{12\eta \cdot g}{\gamma \cdot V_{co} h \left( 1 - \frac{3}{2} \bar{x}_0 + \frac{1}{2} \bar{x}_0^3 \right)}. \quad (18)$$

Звідси визначимо рівняння для параметра Рейнольдса:

$$Re^* = \frac{\gamma \cdot h \cdot V_{co}}{\eta \cdot g} \left( 1 - \frac{3}{2} \bar{x}_0 + \frac{1}{2} \bar{x}_0^3 \right) = Re' \beta. \quad (19)$$

де  $\beta$  – комплексний параметр тріщинуватості.

Для перевірки наведених залежностей були виконані лабораторні експерименти, які дозволили отримати реологічні характеристики тампонажних розчинів, задати параметри нагнітання (табл. 3), встановити залежність коефіцієнта гідравлічних втрат від критерію Рейнольдса і параметрів закачки тампонажного розчину при різній його щільності і ступеня розкриття тріщин:

$$f = \frac{2g \cdot \delta \cdot \Delta P}{v^2 \gamma (R_n - R_{n-1})}. \text{ Залежність коефіцієнта гідравлічних втрат } f \text{ від числа Рейнольдса наведена на рис. 9.}$$

льда наведена на рис. 9.

Таблиця 3.

### Параметри нагнітання тампонажного розчину

Розкриття тріщини, мм	Розхід розчину, л/с				
	t=5 с	t=10 с	t=15 с	t=20 с	t=25 с
1,2	0,400	0,250	0,280	-	-
2,8	0,140	0,150	0,175	0,175	0,230
5,6	0,280	0,300	0,300	0,280	0,280
10,0	0,280	0,300	0,300	0,310	0,260

Експериментально доведено, що режим течії розчинів є структурним, оскільки  $Re^* < 600$ .

Таким чином, в дисертації виконаний завершений цикл досліджень, пов'язаний з визначенням складів глиноцементних розчинів, що нагнітаються в обводнений тріщинуватий породний масив, і визначенням технологічних параметрів нагнітання.

Проведення протяжної виробки в області тріщинуватого породного масиву, зміцненого в результаті виконання тампонажних робіт, вносить обурення у вихідне поле напружень. При цьому на великих глибинах навколо виробок утворюються досить великі зони непружних деформацій. Їх розмір, поява додаткових пластичних деформацій, істотно впливають на стійкість проведених виробок.

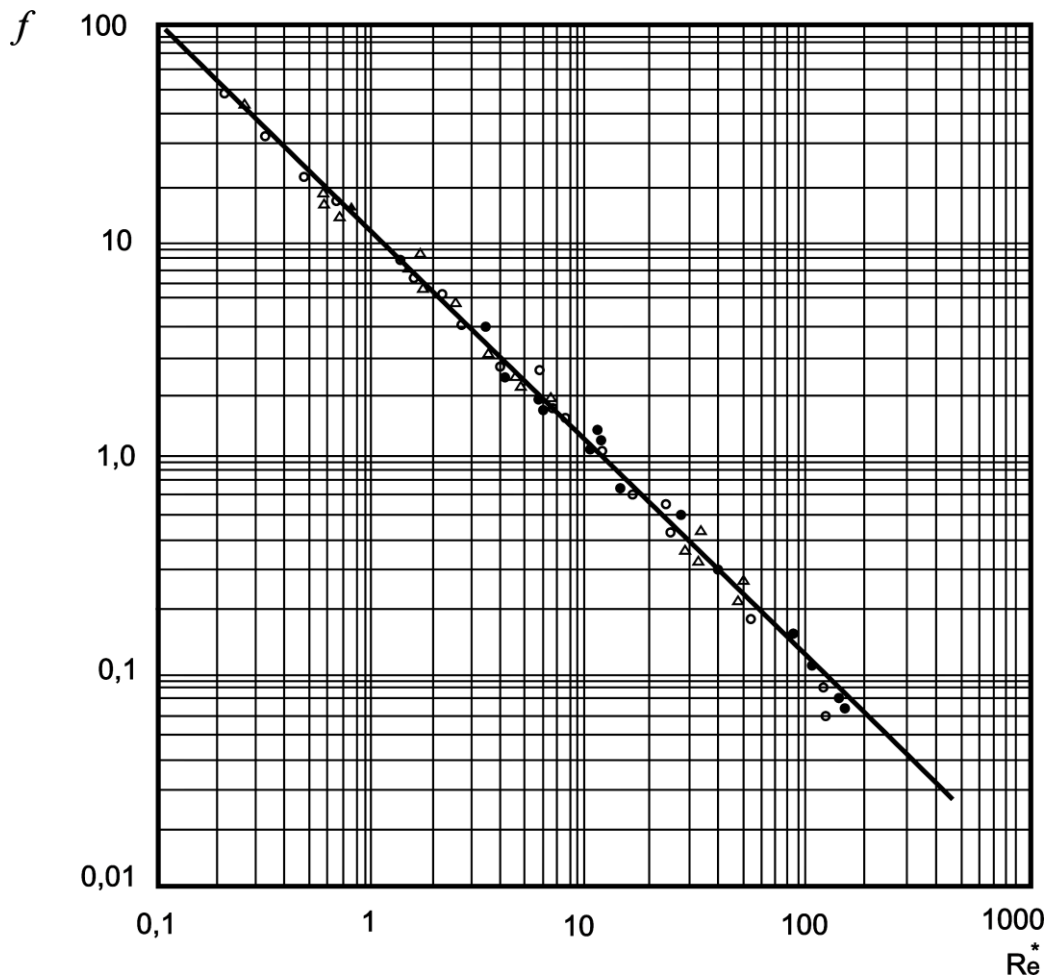


Рис. 9. Залежність гідравлічних втрат тампонажного розчину від числа Рейнольдса

На рис. 10 наведена розрахункова схема, яка дозволяє в узагальненому вигляді оцінити напружено-деформований стан породного середовища в зоні за-тампонованого тектонічного порушення при перетині його виробкою, довільно розташованої в просторі.

Завдання вирішувалося методом скінчених елементів за методикою, запропонованою В.В. Янко. Програмний продукт, розроблений на кафедрі будівництва і геомеханіки, враховує можливість руйнування гірських порід за межею міцності і появи зон руйнувань у відповідності з критерієм Парчевського-Шашенка:

$$\sigma_e = \frac{(\psi - 1)(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{(1 - \psi)^2 (\sigma_x + \sigma_y)^2 + 4\psi(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 16\psi\tau_{xy}^2}}{2\psi} < R_c, \quad (20)$$

де  $\sigma_x$  і  $\sigma_y$  – компоненти напружень;  $\psi = R_p / R_c$  – коефіцієнт крихкості, що дорівнюється відношенню межі міцності на розтягнення до межі міцності на стиск.

Алгоритм рішення геомеханічної задачі розроблений Гапєєвим С.М.

У процесі вирішення задачі оцінювання геомеханічних параметрів варіювався кут нахилу виробки, кут падіння вміщуючих порід і ширина зони впливу геологічного порушення.

На рис. 11. показаний елемент покрокового моделювання посування горизонтальної виробки до геологічного порушення, його перетин і вихід з порушення.

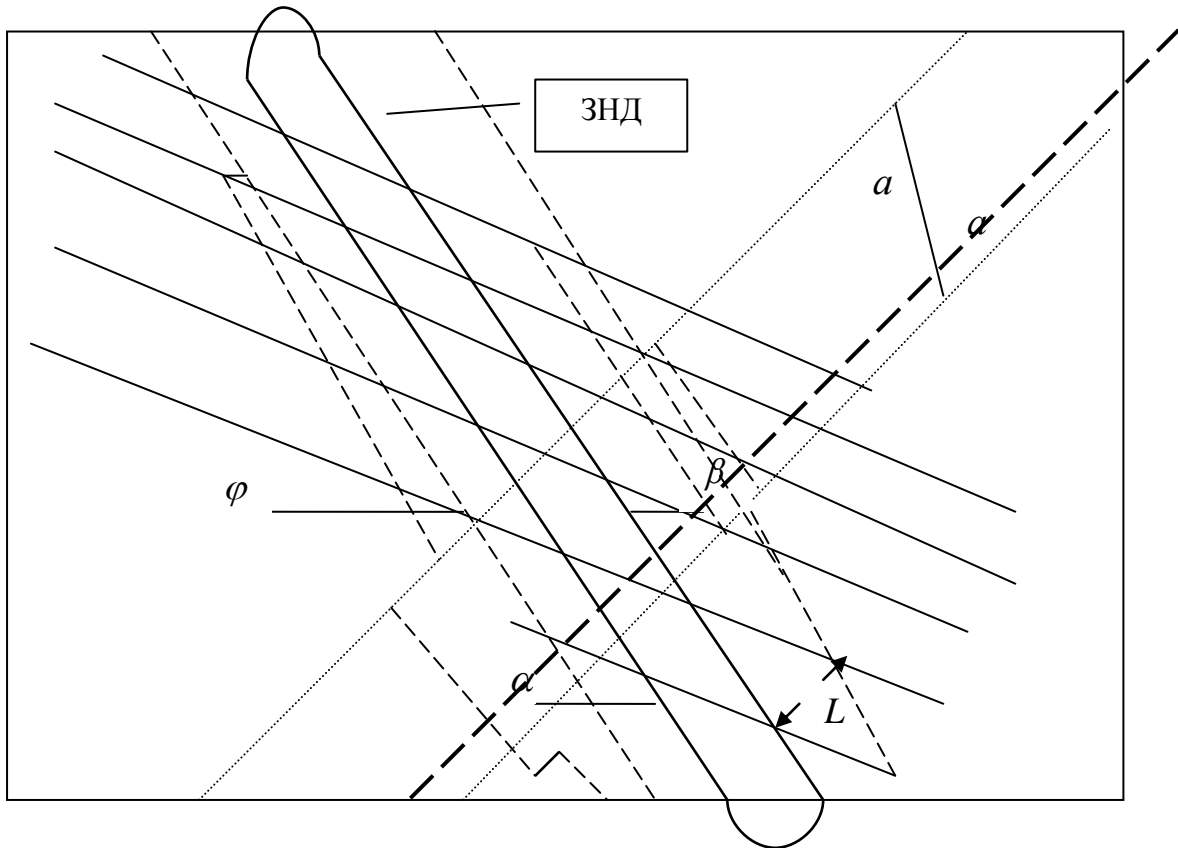


Рис. 11. Схема до визначення параметрів зони непружних деформацій поблизу геологічного порушення навколо виробки, що перетинає геологічне порушення:  $\alpha$  - кут нахилу виробки;  $\varphi$  - кут нахилу шарів порід;  $\beta$  - кут нахилу осі розривного порушення;  $\delta$  - напівширина зони геологічних порушень;  $L$  - амплітуда розривного зміщення порід.

Встановлено, що еквівалентні напруження зростають в міру наближення виробки до діз'юнктиву та зменшуються при її видаленні від порушення. При цьому змінюється і коефіцієнт запасу міцності порід у вибої виробки. У даному випадку він змінюється від величини 0,73 у країв порушення до 0,57 у його центрі. Відповідно, слід очікувати зниження стійкості виробки в 2,48 рази. Це тягне за собою зменшення кроку елементів кріплення, збільшення номеру профілю і перехід на більш потужні. Характер епюр напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  та  $\sigma_z$  при варіюванні параметрів в ході чисельного експерименту зберігається, але величина зони зруйнованих порід та її конфігурація істотно змінюється.

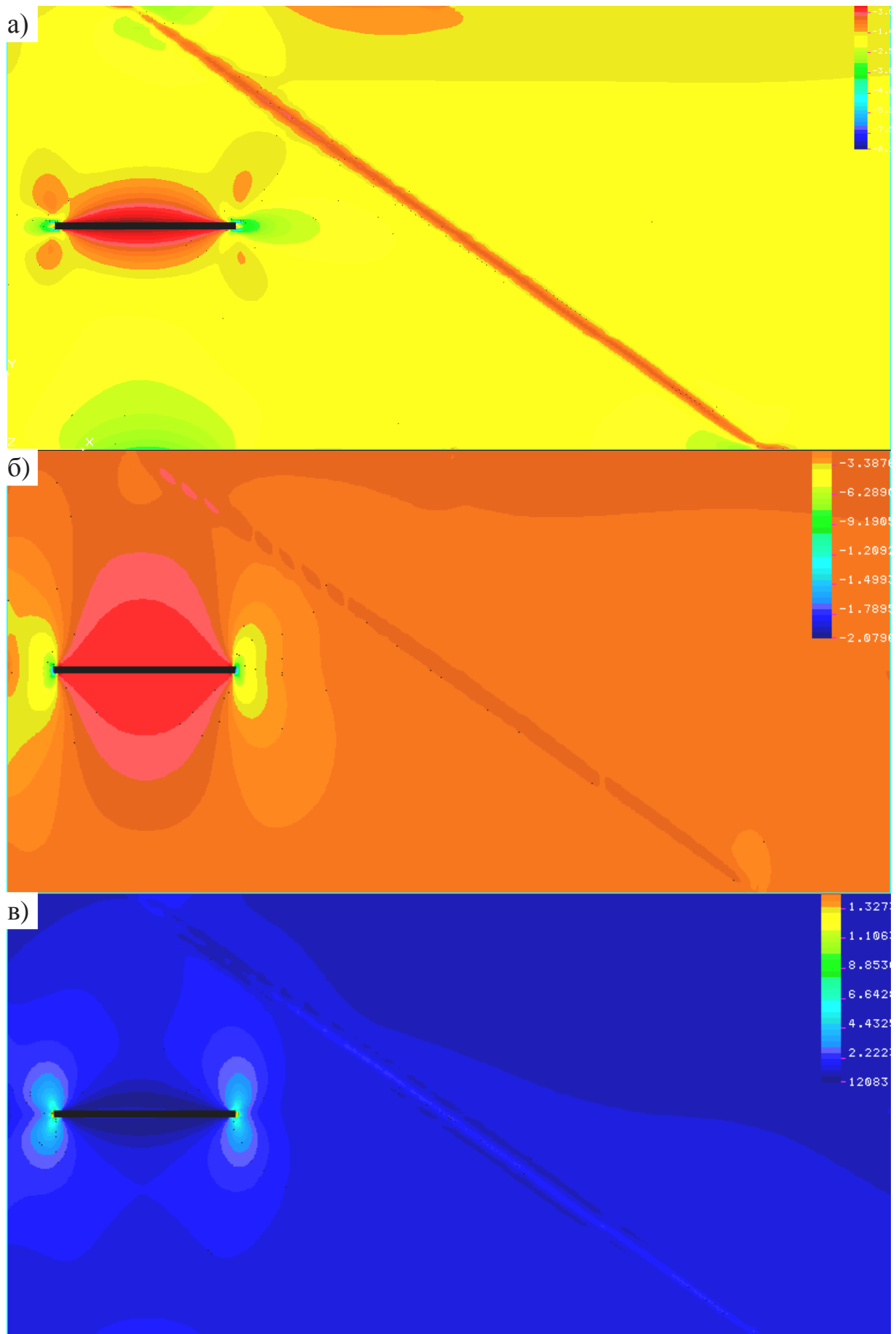


Рис. 11. Розподіл напружень при руху виробки ( $\alpha=0^\circ$ ) от 0 до 40 м:  
а)  $\sigma_x$ ; б)  $\sigma_y$ ; в)  $\sigma_z$ .

На рис. 12 наведені графіки зміни коефіцієнта запасу міцності породного масиву в межах порушення, що перетинається для кожного з модельованих варіантів.

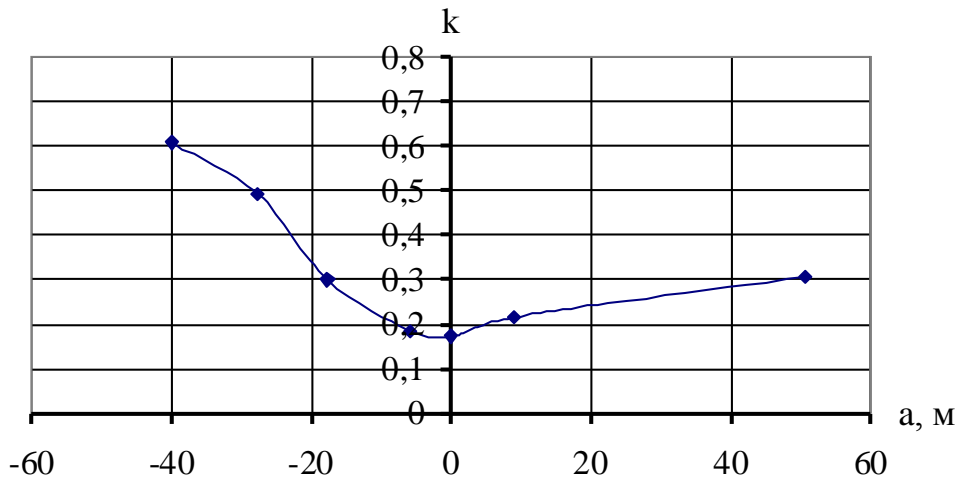


Рис. 12. Зміна коефіцієнта запасу міцності породного масиву по мірі перетину виробкою ( $\alpha = 90^\circ$ ) зони впливу діз'юнктива

На рис. 13 наведена залежність мінімального значення коефіцієнта запасу міцності від кута нахилу виробки.

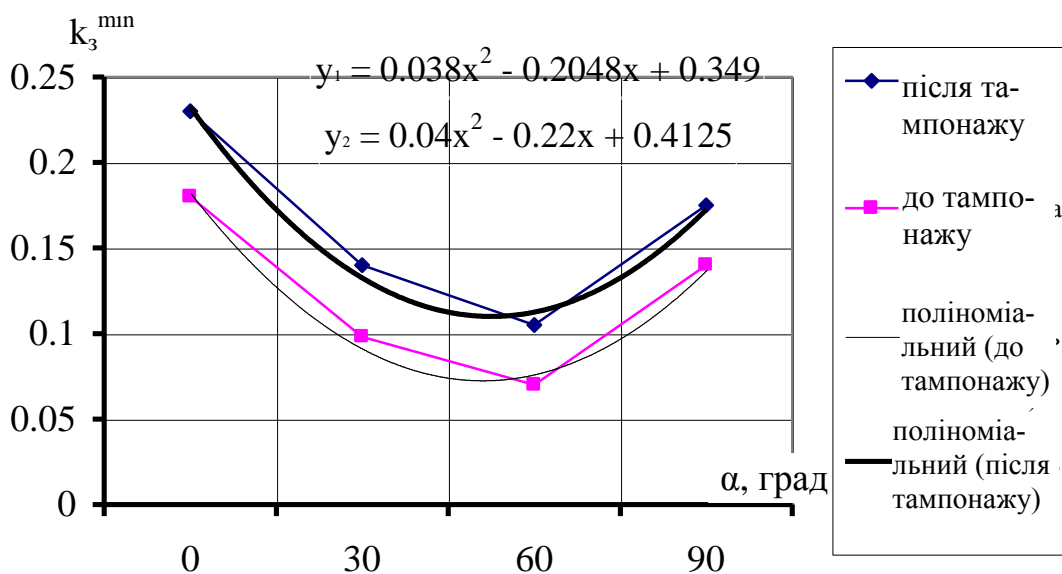


Рис. 13. Залежність мінімального значення коефіцієнта запасу міцності від кута нахилу виробки при куті нахилу порушення ( $\beta = 30^\circ$ ):

$y_1$  - після тампонажу,  $y_2$  - до тампонажу

Він добре апроксимується степеневою залежністю. З графіка витікає, що мінімальне значення коефіцієнта запасу міцності породного масиву навколо вибою незалежно від орієнтації в просторі протяжної виробки знаходиться в

параболічній залежності від кута падіння розривного порушення, що дозволяє оцінити рівень навантаження на кріплення.

В дисертації запропонована схема визначення довжини ділянки виробки, що сприймає підвищений гірський тиск в зоні порушення. На її основі вирішено відповідну задачу, що дозволила одержати залежність відносної ширини зони підвищеного тиску від взаємного розташування в просторі виробки і порушення, їх розмірів і рівня концентрації напружень:  $q_{\phi} = \Delta \gamma H (1 - x^2)$ , де  $x$  – лінійна величина, що змінюється від 0 до  $L$  ( $L$  – довжина виробки);  $\Delta$  – частка від вертикального навантаження. Із формули витікає що довжина високонавантаженої частини дальньої виробки з кутом нахилу при її перетині з розривним порушенням шириною  $a$ , що має кут падіння  $\alpha$ , прямо пропорційна ширині порушення і обернено пропорційна синусу різниці кутів  $\beta$  і  $\alpha$ , що дозволяє визначити обсяги робіт щодо посилення кріплення в районі порушення.

На основі результатів викладених досліджень розроблена «Методика проектування тампонажних робіт у зонах обводнених тектонічних порушень». Це дозволило встановити всі необхідні технологічні параметри. Виконані в роботі дослідження були впроваджені на шахтах Східного Донбасу при тампонажжі обводнених тектонічних порушень, що дозволило підвищити в 1,5... 2 рази стійкість проведених виробок (рис. 14, 15). Крім того, результати досліджень лягли в основу нормативного документа та впроваджені в навчальний процес.

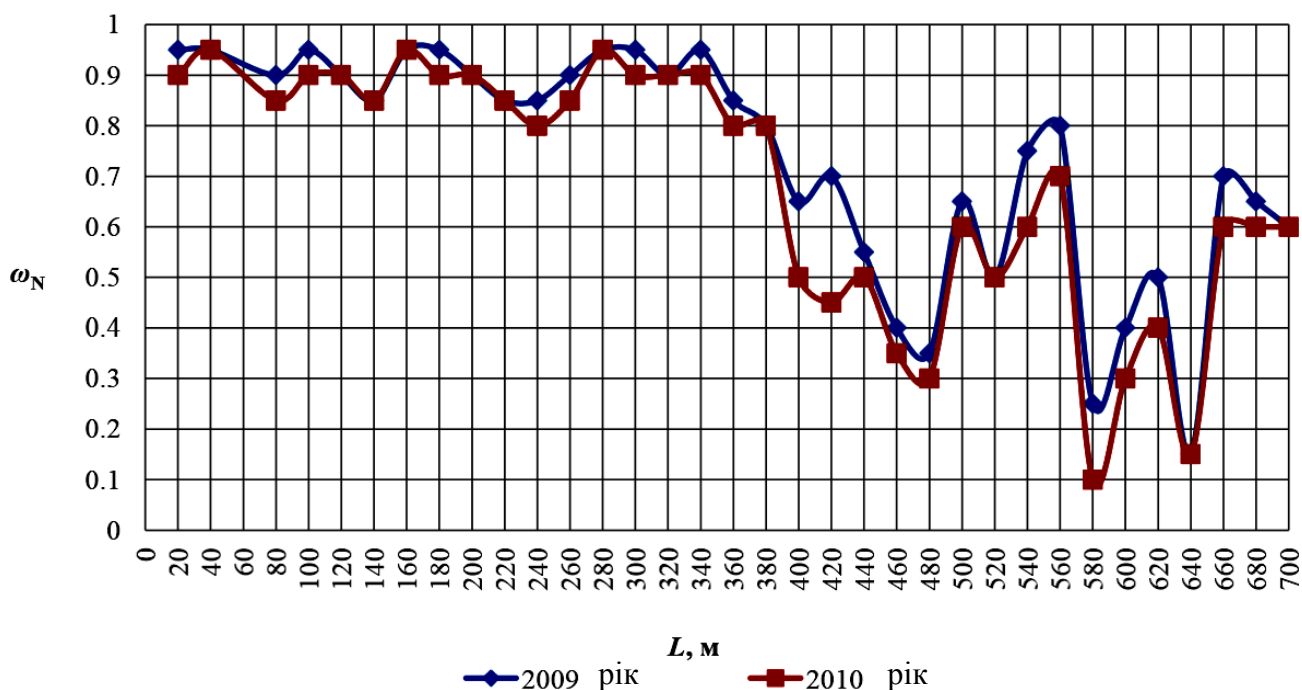


Рис. 14. Розподіл значень показника стійкості виробки  $\omega_N$  - відкаточного квершлага № 1 шахти «Комсомольська»

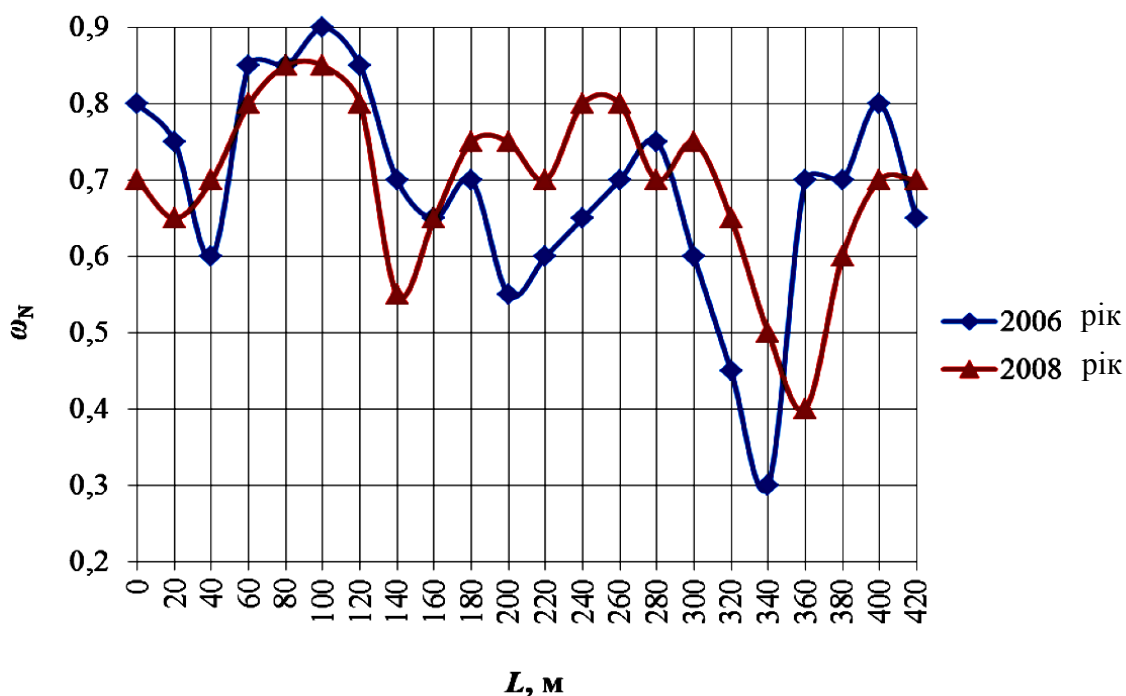


Рис. 15. Розподіл значень показника стійкості виробки  $\omega_N$  - в західному вентиляційному стволі № 3 шахти ім. 50-річчя Радянської України

Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів досліджень на шахті «Запорізька» склав 2317 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій надано теоретичне узагальнення й отримано рішення актуальної науково-практичної проблеми підвищення стійкості протяжних виробок, довільно орієнтованих в просторі, які споруджуються в зонах обводнених геологічних розривних порушень, що мають штучно покращені, за рахунок тампонажу, фізико-механічні властивості на основі вперше встановлених закономірностей зміни напружено-деформованого стану складноструктурного породного масиву, керованого розповсюдження тампонажних розчинів у системах тріщин з проникними стінками, що має важливе значення для підвищення ефективності шахтного будівництва і подальшої безпечної експлуатації підземних споруд.

### Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. Виконаний аналіз геологічного середовища вугільних шахт Східного Донбасу, що дозволило встановити наявність великої кількості розривних порушень і оцінити масштаби економічних втрат внаслідок зростання експлуатації витрат на підтримку протяжних виробок різного призначення: вертикальних, похилих, горизонтальних.

2. В якості основного інженерного впливу на тріщинувату і обводнену зону впливу диз'юнктивного порушення визначений комплексний метод тампонажу, який дозволяє досить надійно знизити водоприток, збільшити міц-

ність породного масиву, підвищити стійкість протяжних виробок, що експлуатуються.

3. Обґрунтовані параметри та відпрацьована технологія тампонажу зон розривних порушень у різних гірничо-геологічних умовах, що дозволило розробити «Рекомендації щодо забезпечення стійкості протяжних капітальних виробок в зонах впливу геологічних порушень».

4. Вперше встановлено, що межа міцності на одноосьовий стиск породного масиву знаходиться у логарифмічній залежності від часу, який пройшов після моменту прориву води з області обводненого тектонічного порушення, що дозволяє визначати стійкість приконтурної області масиву, що вміщує гірничу виробку.

5. Вперше теоретично і експериментально доведено, що нагнітання глиноцементного розчину з варійованою рецептурою в основні системи тріщин диз'юнктивного порушення призводить до збільшення модуля деформації в 3-10 разів і коефіцієнта Пуассона в 1,1 - 1,3 рази, причому перепад тиску в тріщинах, в залежності від концентрації в'язучого, структуроутворювача і часу, адекватно описується степеневою функцією, що дозволяє врахувати відфільтровування рідкої фази з розчину і забезпечити розрахункову міцність (до 500 кПа) і протифільтраційні ( $10^{-9}$  м/с) властивості завіси.

6. Розроблено геомеханічні моделі і на їх основі виконані розрахунки, що пов'язані з оцінкою напружено-деформованого стану структурно-порушеного породного масиву в районі розривних геологічних порушень при їх перетині довільно орієнтованими в просторі виробками: вертикальними, похилими, горизонтальними.

7. Вперше встановлено, що мінімальне значення коефіцієнта запасу міцності породного масиву навколо вибою незалежно від орієнтації в просторі протяжної виробки знаходиться в параболічній залежності від кута падіння розривного порушення, що дозволяє оцінити рівень навантаження на кріплення.

8. Запропоновано нові кінетичні моделі розповсюдження в'язкої рідини в тріщинуватому породному середовищі, на основі яких вирішено завдання з визначення і прогнозу необхідних фізико-механічних властивостей тампонажних розчинів.

9. Доведено, що довжина протяжної виробки, яка має кут нахилу  $\beta$  при її перетині з розривним порушенням шириною  $2\alpha$ , що має кут падіння  $\alpha$ , прямо пропорційна ширині порушення і обернено пропорційна синусу суми  $\alpha$  і  $\beta$ , що дозволяє визначити обсяги робіт щодо посилення кріплення в районі порушення.

10. Встановлено закономірності деформування протяжних виробок, пройдених в тріщинуватих затампованих породах з поліпшеними фізико-механічними характеристиками, що дозволило провести досліду перевірку рекомендованої технології тампонажу на шахтах Східного Донбасу.

11. Очікуваний економічний ефект при застосуванні тампонажу 15-го західного вентиляційного штреку шахти «Запорізька» становить 2317 тис грн.



**Результаты работы и положения диссертации відображені у 38 наукових працях, основні з яких є наступні:**

1. Кипко А.Э. Изменение реологических и структурно-механических характеристик глиноцементных растворов в процессе тампонажа трещиноватопористых горных пород / И.В. Попов, А.Э. Кипко // Новые технические решения при строительстве выработок, тампонаже и закреплении горных пород: [монография] [Под общ. ред. П.Н. Должикова, В.Д. Рябичева]. – Донецк: «Норд-Пресс», 2006. – С. 58-63.
2. Кипко А.Э. Физика движения вязкопластичных тампонажных растворов: [монография] / П.Н. Должиков, А.Э. Кипко. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 237 с.
3. Кипко А.Э. Создание научных основ комплексного метода тампонажа обводенных горных пород // Проблемы горного дела и экологии горного производства: [монография] / П.Н. Должиков, А.Э. Кипко. – Донецк: «ВЕБЕР», 2007. – 189 с.
4. Кипко А.Э. Электрохимический тампонаж тонкопористых песчаников: [монография] / П.Н. Должиков, А.Э. Кипко. – Донецк: «Норд-пресс», 2008. – 208 с.
5. Кипко А.Э. Устойчивость горизонтальных выработок глубоких шахт в обводненных породах: [монография] / [П.Н. Должиков, А.Э. Кипко, Ю.И. Кобзарь и др.] – Донецк: Норд-Пресс, 2010. – 191 с.
6. Кипко А.Э. О динамике несжимаемой неоднородной вязко-пластичной жидкости / П.Н. Должиков, А.Э. Кипко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2008. – № 21. – С. 49–52.
7. Кипко А.Э. Фильтрация вязкопластичного тампонажного раствора с изменяющимися реологическими свойствами / А.Э. Кипко // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 7. – С. 15–17.
8. Кипко А.Э. Тектонические нарушения – один из факторов гидроактивации геомеханических процессов в породных массивах / Г.М. Смородин, А.Э. Кипко, Ю.И. Кобзарь [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №12. – С. 19–23.
9. Кипко А.Э. О гидравлических потерях при движении тампонажного раствора в трещине / А.Э. Кипко // Науковий вісник НГУ. – 2009. – №1. – С. 17–19.
10. Кипко А.Э. Об управлении движением тампонажных растворов с учетом изменения их реологических свойств / А.Э. Кипко, Ю.П. Должиков // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 2. – С. 11–13.
11. Кипко А.Э. Способ определения прочности горных пород на одноосное растяжение / Р.Н. Терещук, А.Э. Кипко, Д.А. Шашенко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №1. – С. 8–9.
12. Кипко А.Э. Исследования деформационных характеристик затампонированных трещиноватых пород / П.Н. Должиков, А.Э. Кипко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 5. – С. 8–11.

13. Кипко А.Э. К оценке эффективности проходки горных выработок в зонах обводненных тектонических нарушений / А.Э. Кипко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 6. – С. 50–54.
14. Кипко А.Э. Комплексный критерий оценки аварийности при строительстве и эксплуатации протяженной горной выработки в зонах обводненных тектонических нарушений / С.К. Мещанинов, А.Э. Кипко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 7-8. – С. 24–28.
15. Кипко А.Э. Система геоконтроля в комплексной технологии тампонажа выработок, пройденных в зонах обводненных тектонически нарушенных горных пород / А.Э. Кипко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №9-10. – С. 40–43.
16. Кипко А.Э. Исследование устойчивости приконтурной области массива в зонах обводненных тектонических нарушений / С.К. Мещанинов, А.Э. Кипко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 11-12. С. 31–35.
17. Кипко А.Э. Исследование напряженно-деформированного состояния породного массива, содержащего протяженную горную выработку, пересекающую геологическое нарушение с использованием численного моделирования / А.Э. Кипко // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2010. – № 91. – С. 103–111.
18. Кипко А.Э. К обоснованию физической модели протяженной выработки в зоне геологического нарушения / А.Э. Кипко // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2010. – С. 11-17
19. Кипко А.Э. Исследование процесса упрочнения локальных зон разуплотненных грунтов методом напорных инъекций / А.Э. Кипко, Д.В. Корсаков // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 2. – С. 144–156.
20. Кипко А.Э. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг протяженной выработки, пересекающей геологическое нарушение / А.Э. Кипко, С.К. Мещанинов, С.Н. Гапеев // Науковий вісник НГУ. – 2011. – № 1. – С. 55–60.
21. Кипко А.Э. Магнитодинамическая интроскопия породного массива – новое направление в горной геофизике / Е.Г. Соболев, П.Н. Должиков, А.Э. Кипко // Проблемы подземного строительства и направления развития тампонажа и закрепления горных пород: научно-практич. конф.: материалы. – Луганск: Изд-во Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. – 2006. – С. 128–132.
22. Кипко А.Э. Исследование пористости и водопроницаемости песчаников в продуктивной толще Донбасса / Г.М. Смородин, А.Э. Кипко // Проблемы горного дела и экологии горного производства: междунар. науч.-практич. конф.: материалы. – Донецк: «Норд-Пресс». – 2007. – С. 189–197.
23. Кипко А.Э. Ликвидация аварийной ситуации в устьевой части главного наклонного ствола шахты «Южная» / Г.М. Смородин, А.Э. Кипко // Проблемы горного дела и экологии горного производства: междунар. науч.-практич. конф.: материалы. – Донецк: «Норд-Пресс». – 2008. – С. 75–77.

24. Кипко А.Э. Комплексная технология водоподавления в зонах тектонических нарушений на границах шахтных полей / Г.М. Смородин, А.Э. Кипко // Новые технические решения при строительстве выработок, тампонаже и закреплении горных пород: [монография] / Под общ. ред. Должикова П.Н., Рябичева В.Д. – Донецк: «Норд-Пресс», 2008. – С. 197–201.
25. Кипко А.Э. О применении новых видов крепления выработок в условиях шахты «Комсомольская» ГП «Антрацит» / А.Э. Кипко, Н.Н. Палейчук // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: междунар. науч.-техн. конф.: тезисы. – 2009. – Вып. 15. – Донецк: «Норд-Пресс» – С. 58–60.
26. Кипко А.Э. Методические основы проектирования систем геоконтроля / В.П. Сбитнев, А.Э. Кипко // Проблемы горного дела и экологии горного производства: междунар. науч.-практич. конф.: материалы. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – С. 150–153.
27. Кипко А.Э. Определение объема тампонажного раствора, уходящего в кровлю горной выработки / П.Н. Должиков, В.Д. Рябичев, А.Э. Кипко // Форум горняков: междунар. науч.-техн. конф.: материалы. - Днепропетровск. – 2006. – С.159–161.
28. Кипко А.Э. Обоснование технологических параметров тампонажа зон разрывов при строительстве горных выработок / П.Н. Должиков, Г.М. Смородин, А.Э. Кипко // Современные проблемы шахтного и подземного строительства. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – Вып. 10-11. – С. 120–125.
29. Кипко А.Э. О мерах по ликвидации процессов гидроактивизации геомеханических процессов в породных массивах в зонах обводненных тектонических нарушений / А.Н. Шашенко, С.К. Мещанинов, А.Э. Кипко // Перспективы развития Восточного Донбасса: междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ЮГРТУ. – 2010. – Ч.1. – С. 199–202.
30. Кипко А.Э. К вопросу о разработке геомеханических моделей нарушенного породного массива с искусственно измененными механическими характеристиками / А.Э. Кипко // Форум горняков: междунар. науч.-техн. конф.: материалы. – Днепропетровск. – 2009. – С.45-48.
31. Кипко А.Э. Методические указания по расчету параметров предварительного и последующего тампонажа обводненных пород глубоких горизонтов угольных шахт / А.Э. Кипко, Ю.А. Пшеничный. – Донецк: Норд – Пресс, 2008. – 31 с.

*Особистий внесок автора* в работах, опублікованих в співавторстві: [1, 2] – розробка теоретичних основ фільтрації в'язко-пластичної рідини в напірному режимі з відфільтруванням рідкої фази; [3, 4] – лабораторні та натурні дослідження фізико-механічних властивостей обводнених порід, критерій аварійності та технологічні схеми перетину тектонічних порушень; [5] – розробка моделі фільтрації в'язко-пластичної рідини; [7, 10] – дослідження геомеханічних процесів в породних масивах; [9, 11] – участь у лабораторних дослідженнях, обробка результатів; [13] – дослідження факторів аварійності у обводнених виробках; [15] – участь у лабораторних дослідженнях міцності гірських порід; [17]

– обробка результатів комп'ютерного моделювання течії розчинів у порушеннях; [19] – теоретичні дослідження; [22, 23, 24] – участь у лабораторних дослідженнях; [25, 26, 27] – розрахунок параметрів, розробка технологічних схем тампонажу гірських порід; [28, 29] – постановка задач досліджень, обґрунтування геомеханічних моделей; [30, 31] – розрахунок технологічних параметрів тампонажу зон тектонічних порушень.

## АНОТАЦІЯ

**Кіпко О.Е. Стійкість протяжних виробок глибоких вугільних шахт в зонах диз'юнктивних порушень. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка». – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2011.

Робота присвячена розробці теоретичних і практичних основ забезпечення стійкості підземних виробок (горизонтальних, похилих, вертикальних) пройдених в тріщинуватих обводнених масивах порід, що утворилися навколо розривних тектонічних порушень. розроблено критерій стійкості виробок, що знаходяться в умовах випадкового впливу великої кількості зовнішніх факторів. Запропонований спосіб оцінки міцності породного масиву. Отримані залежності для обчислення деформаційних характеристик масиву, що складений з породних блоків і містить тріщини, заповнені глинисто-цементним розчином. Вирішені задачі фільтрації в'язкопластичного розчину у тріщинуватому середовищі, що дозволило отримати залежності між перепадом тиску, тривалістю тампонування та реологічними параметрами розчину.

Поставлено і вирішено методом скінчених елементів задачу про стійкість підземної виробки, що довільно орієнтована у просторі, яка перетинає зону геологічного порушення. Отримані залежності, що дозволяють обчислити основні параметри кріплення на ділянці перетину виробкою зони диз'юнктивну.

Запропонована методика розрахунку параметрів технології тампонажу та кріплення виробки в зонах геологічних розривних порушень.

**Ключові слова:** диз'юнктивне геологічне порушення, підземна виробка, тампонаж, параметри нагнітання, пружно-деформований стан, стійкість породного масиву.

## АННОТАЦИЯ

**Кипко А.Е. Устойчивость протяженных выработок глубоких угольных шахт в зонах дизъюнктивных нарушений. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2011.

Диссертация посвящена разработке теоретических основ и практических рекомендаций обеспечения устойчивости произвольно ориентированных в пространстве подземных горных выработок, которые пересекают область трещиноватых обводненных пород в зоне влияния разрывного геологического нарушения.

В качестве основного способа повышения надежности трещиноватого обводненного породного массива, улучшения его физико-механических характеристик выбран комплексный метод тампонажа глиноцементными растворами.

Подземная выработка рассмотрена как сложная система с большим количеством случайных внешних факторов. На этой основе предложен критерий безопасного ее функционирования. Получены зависимости, позволяющие рассчитать основные деформационные и прочностные характеристики для породного массива, содержащего блоки исходных горных пород и трещины, заполненные глиноцементным раствором.

На основе математического и физического моделирования движения вязкопластичной жидкости по трещинам с проницаемыми стенками установлены основные требования к растворам, составлена их рецептура, предложены способы управления их свойствами за счет вариации вяжущего и структурообразователя.

Предложены зависимости, позволяющие рассчитать основные параметры технологии нагнетания глиноцементных растворов в трещиноватые обводненные горные породы.

Разработаны геомеханические модели применительно к подземным выработкам произвольно расположенные в пространстве при пересечении ими дизъюнктивного геологического нарушения. Методом конечных элементов решена упругопластическая задача по оценке напряженно-деформированного состояния прилегающего породного массива. Получены зависимости, позволяющие оценить степень разрушения приконтурного массива, определить длину участка с усиленной конструкцией систем крепи и рассчитать величину нагрузки на крепь.

Разработана методика расчета параметров технологии тампонажа и усиления конструкции крепи при строительстве выработок в зонах дизъюнктивных нарушений.

**Ключевые слова:** подземная горная выработка, дизъюнктивное геологическое нарушение, трещиноватый породный массив, метод комплексного тампонажа, напряженно-деформированное состояние, устойчивость.

## ANNOTATION

**Kipko A.E. Stability of extended workings of deep coal mines in the areas of disjunctive dislocations. – Manuscript.**

Thesis for obtain the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.15.09 – “Geotechnical and rock mechanics”. – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, 2011.

The thesis is devoted to the development of theoretical bases and practical recommendations to ensure the stability of an arbitrarily oriented in space underground mines, which intersect the fractured water-bearing rocks in the zone of discontinuous geological disturbances.

As the main way to increase reliability watered fractured rock mass, improve its physical and mechanical characteristics, it is chosen method of complex backfill of clay-cement mortar.

Winze is considered as a complex system with lots of random external factors. On this basis it is proposed the criterion of its safe operation. The dependencies allowing calculation the basic deformation and strength characteristics for a rock mass containing blocks of rocks and cracks filled with clay-cement mortar.

Based on the mathematical and physical modeling of motion of viscous-elastic liquid through the fractures with porous walls, the basic requirements to the solutions are formed; their recipe made up and ways to manage their properties are suggested.

Dependencies allowing calculation the basic parameters of clay-cement solutions injection technology in the flooded fractured rocks are offered.

Geomechanical model for the underground workings of randomly located in space as they cross the disjunction of geological disturbances are developed. Problem of evaluation the stress-strain state of the adjacent rock mass is solved with use of finite element method. The dependencies allowing assessment the degree of destruction of edge array, determination of the length of the construction with reinforced lining systems and calculation of the load on the lining are achieved.

The method for calculating the parameters of backfill technology and strengthening structures lining is developed.

**Keywords:** Underground mining, disjunctive geological dislocations, fissured rock mass, complex method of backfill, the stress-strain state, stability.

**Кіпко Олександр Ернестович**

**СТІЙКІСТЬ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ  
В ЗОНАХ ДИЗ'ЮНКТИВНИХ ПОРУШЕНЬ**

(Автореферат)

Підписано до друку \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.\_\_\_\_. Формат 60×90/16.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,9

Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 120 прим. Зам. № \_\_\_\_