

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний вищий навчальний заклад
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ПРОБЛЕМИ ГІРСЬКОГО ТИСКУ

Збірник наукових праць

№1 (24) – 2 (25) ' 2014

Донецьк – 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний вищий навчальний заклад
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ПРОБЛЕМИ ГІРСЬКОГО ТИСКУ

Збірник наукових праць

Заснований у грудні 1995 року

Виходить 2 рази на рік

№1 (24) – 2 (25) ' 2014

Донецьк – 2014

Друкується за рішенням Вченої ради Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 7 від 26.09.2014 р.)

Збірник «Проблеми гірського тиску» продовжує публікацію нових експериментальних та теоретичних результатів досліджень прояву гірського тиску та стану гірського масиву

Засновник та видавець – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Редакційна колегія:

д-р техн. наук О.А. Мінаєв – головний редактор, ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук С.М. Александров – ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук А.В. Анциферов – УкрНДМІ НАНУ, м. Донецьк
д-р техн. наук Ю.Ф. Булгаков – заст. головного редактора ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук Ю.М. Гавриленко – ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук М.М. Грищенков – заст. головного редактора, ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук В.Г. Ілюшенко – ДАУ, м. Донецьк
д-р техн. наук М.М. Касьян – ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук В.П. Кондрахін – ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук С.В. Подкопєєв – заст. головного редактора, ДонНТУ, м. Донецьк
д-р г-м. наук В.О. Корчємагін – ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук Ю.Ф. Креніда – ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук Г.Г. Литвинський – ДГМІ, м. Алчевськ
д-р техн. наук С.Г. Мозильний – ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук В.В. Назимко – заст. головного редактора, ДонНТУ, м. Донецьк
д-р техн. наук Є.І. Піталєнко – УкрНДМІ НАНУ, м. Донецьк
д-р техн. наук І.О. Садовєнко – НГУ, м. Дніпропетровськ
д-р техн. наук О.О. Сдвижкова – НГУ, м. Дніпропетровськ
д-р техн. наук К.К. Софійський – ІГТМ НАНУ, м. Дніпропетровськ
д-р техн. наук О.М. Шашєнко – НГУ, м. Дніпропетровськ

Редакційна рада:

проф. Н. Азіз (Ph.D) – університет Вуллонгонга, Австралія
проф. С. Пенг (Ph.D) – університет Західної Вірджинії, США
акад. РАПН, проф. Б.А. Картозія, Московський державний гірничий університет
проф. В.Л. Шкуратник, Московський державний гірничий університет
акад. РАПН, проф. О.П. Дмитрієв, Московський державний гірничий університет
акад. Л.О. Назарова, Інститут гірничої справи СБ РАН, м. Новосибірськ
проф. В.П. Зубов, Санкт-Петербурзький державний гірничий інститут

Редакція збірника:

канд. техн. наук. Н.А. Колєсник – ДонНТУ, м. Донецьк

Адреса редакції: 83000, Україна, м. Донецьк, вул. Артема, 58, к. 11.319; Тел.: (062) 337-20-24; E-mail: victor_nazimko@mail.ru, bugayovanatasha@mail.ru

Збірник зарєстрований в Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Свідоцтво: серія КВ №7383 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 31 травня 2011, надруковано в бюлетені ВАК №7, 2011)

УДК 658.012.23

В.В. Назимко (д-р техн. наук, проф.)Донецький національний технічний університет, м. Донецьк
nvv1952@yandex.ua

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ ПРОЕКТУ ПРОГНОЗУ І РОЗВІДКИ МАЛОАМПЛІТУДНИХ ПОРУШЕНЬ

Розроблено метод управління проектом розвідки і переходу мало амплітудного порушення на основі трансформації оперативного управління у тактичне. Метод реалізується завчасною проходкою розвідувально-перехідної камери, покрівля якої посилюється анкерним кріпленням і наливними тумбами з синтетичного матеріалу, який легко руйнується виконавчим органом очисного комбайну.

Ключові слова: управління проектом, малоамплітудні порушення, геологічна розвідка.

ВСТУП

Стабільний розвиток вугільної промисловості України гарантує її енергетичну незалежність. Проте переважна більшість вугільних родовищ нашої держави розроблюється підземним способом, причому майже всі шахтопласти пошкоджені малоамплітудними порушеннями (МАП). Існуючі технології розвідки і прогнозу параметрів МАП не забезпечують необхідну надійність розвідки і тому не популярні серед практиків. До цього ж існує ряд організаційних, економічних та психологічних факторів, які можуть бути враховані тільки на основі застосування проектно-зорієнтованого підходу до розвідки МАП.

Фактично проект розвідки МАП прив'язується до проекту відпрацювання виїмкового стовпа і реалізується в режимі оперативного управління [1]. Розвідка виконується з протилежних штреків методом просвічування та інтерполяції, застосовуючи геофізичні методи та методи штучного інтелекту. Найбільш ефективним методом управління проектом розвідки МАП є трансформація оперативних методів розвідки у тактичні. Саме такий підхід забезпечує радикальне підвищення надійності розвідки і ро-

бить її результати абсолютно достовірними.

Обґрунтування одного з таких методів і є темою даної статті.

ОБГРУНТУВАННЯ НОВОГО МЕТОДУ ПЕРЕХОДУ МАП

Найбільш поширені методи ущільнення календарного плану проекту засновані на скороченні, або стисненні робіт критичного шляху, а також на паралельному виконанні окремих робіт [2]. Найбільші резерви криються у методах скорочення часу на виконання робіт. Як свідчить аналіз, під час переходу МАП робота очисного вибою затримується на 5-12 місяців, що призводить до прямих збитків, які обчислюються сотнями мільйонів гривень. Таким чином, саме скорочення тривалості операції безпосереднього переходу МАП очисним вибоєм є найбільш ефективною мірою для покращення якості управління проектом. У даній роботі розроблена нова технологія переходу МАП, яка використовує методи кооперації і об'єднання і дозволяє радикально скоротити час переходу, а також отримати додаткові переваги, які в підсумку підвищують ефективність управління проектом саме в умовах параметричної і структурної невизначеності [3].

Існуюча технологія передбачає перехід МАП очисним вибоєм безпосередньо (рис. 1) [4]. Найбільш небезпечно переходити порушення, амплітуда яких більша за виїмкову потужність. Видно, що в такому випадку очисний вибій повинен переходити через значну ділянку безпосередньої покрівлі (позиція 1), підосви 2 або й покрівлі і підосви 3. Як уже вказувалось, це призводить до дуже великих втрат часу і видобутку, зношення механізованого комплексу, підвищує травматизм і небезпеку робіт. Наочно складність переходу такого порушення ілюструє рис. 2, на якому наведені вертикальні розрізи товщі уздовж очисного вибою на послідовних етапах переходу порушення. Етапи відмічені датами, а горизонтальний масштаб розрізу збільшено на порядок у порівнянні з вертикальним для наочності. Вугільний пласт вказаний чорним кольором. Видно, що по мірі посування вибою майже уся його середня ділянка попадає у порушення.

Зрозуміло, що в такому випадку лава буде видобувати не вугілля, а в основному породу, яка розубожує корисну копалину, а отже зменшує якість рядового вугілля.

Сутність нової технології полягає в тому, що роботи по розвідці МАП у підготовці його переходу виконуються за допомогою проходки так званої перехідної камери [3]. Спосіб придатний для використання зі стовповою системою розробки. Виїмковий стовп 1 готують шляхом проходки виїмкових виробок 2, 3 (наприклад вентиляційного і конвеєрного штреків), а також монтажної камери 4 (рис. 3). Лаву (очисний вибій) 5 відпрацьовують зворотним ходом, як показано стрілкою.

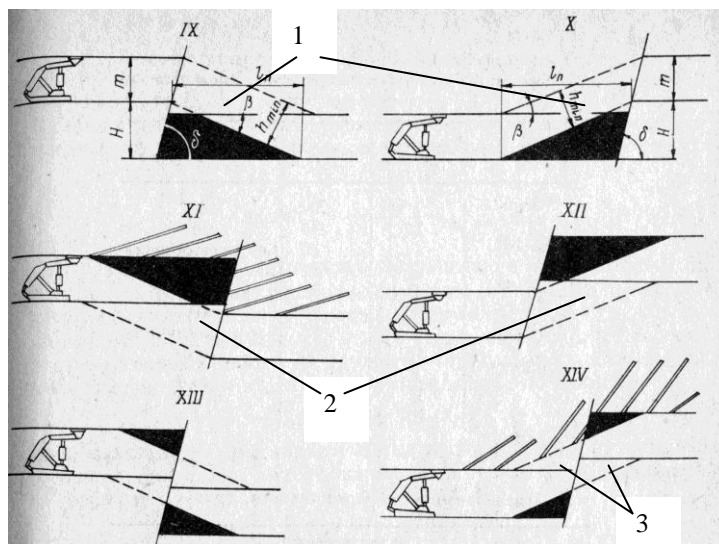


Рис. 1. Існуюча технологія переходу малоамплітудного порушення очисним вибоєм

Заштрихованим трикутником вказана епюра динамічного опорного тиску попереду діючого очисного вибою. Розвідку МАП починають з виїмкових виробок (наприклад зі штреків), які оконтурили стовп. На стінках штреків 2, 3 виявляють порушення б, які мають найбільшу амплітуду і є небезпечними з точки зору переходу очисним вибоєм.

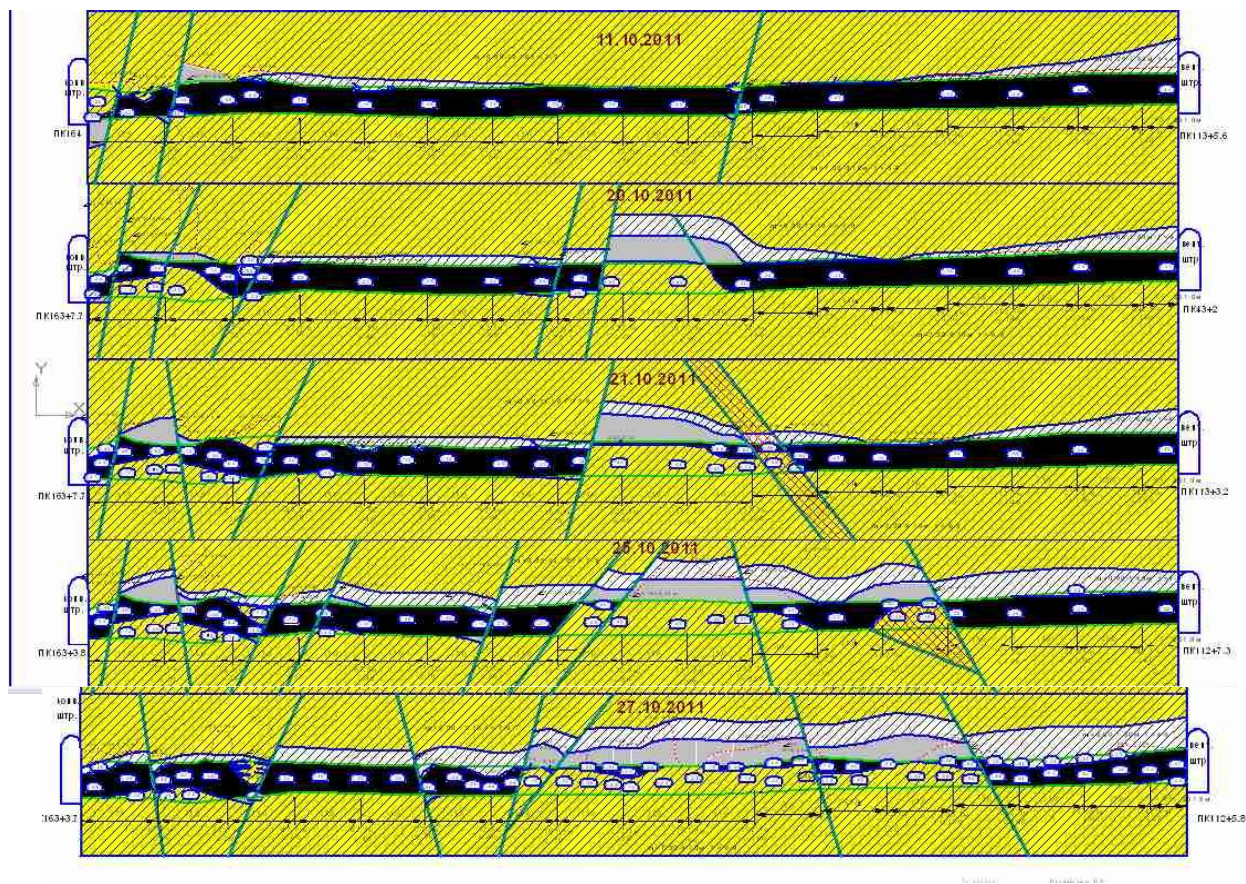


Рис. 2. Ілюстрація розвитку малоамплітудного порушення у процесі його переходу

Заздалегідь, до підходу очисного вибою на відстані D , більшою за довжину опорного тиску ОП здійснюють проходку розвідувальної камери 7. Проведення виробки 7 (рис. 4), по малоамплітудному порушенню 6 уздовж його лінії, з підривкою порід покрівлі 8 лежачого крила 9 малоамплітудного порушення 6 та порід підшови 10 висячого крила 11 малоамплітудного порушення 6. Підкреслимо, що проведення виробки 7 здійснюють в момент, коли відстань D від діючого очисного вибою 5 до порушення 6 є не меншою довжини зони динамічного опорного тиску ОП і не більшою за довжину виїмкового стовпа ВС.

Проведення виробки 7 здійснюють прохідницьким комбайном (на кресленнях не показаний) або буропідривним способом, або відбійними молотками. Для забезпечення стійкості виробки 7 її покрівлю 8 посилюють анкерним кріпленням 12 [6, 7] і встановлюють тумби 13 (рис. 5). Ці тумби можна виготовляти на

місці шляхом засипання вуглецементної суміші у спеціальні пластикові форми. При діаметрі тумби 0,6-0,8 м і міцності на одноосевий стиск 30 МПа несуча спроможність однієї тумби досягає 8-12 МН, або 8000-12000 тонн, що достатньо для забезпечення стійкості виробки 7 під час переходу її очисним вибоєм 1 [3]. З другого боку така міцність вуглецементної суміші дозволяє руйнувати тумби 13 очисним виконавчим органом. Для безпечного проведення виробки 7 по викидонебезпечному пласту здійснюють гідродинамічну підготовку через свердловини, що бурять уздовж лінії порушення 6 [3].

Виробка 7 слідує за лінією малоамплітудного порушення у площині вугільного пласта. Це гарантує абсолютну достовірну детальну розвідку порушення.

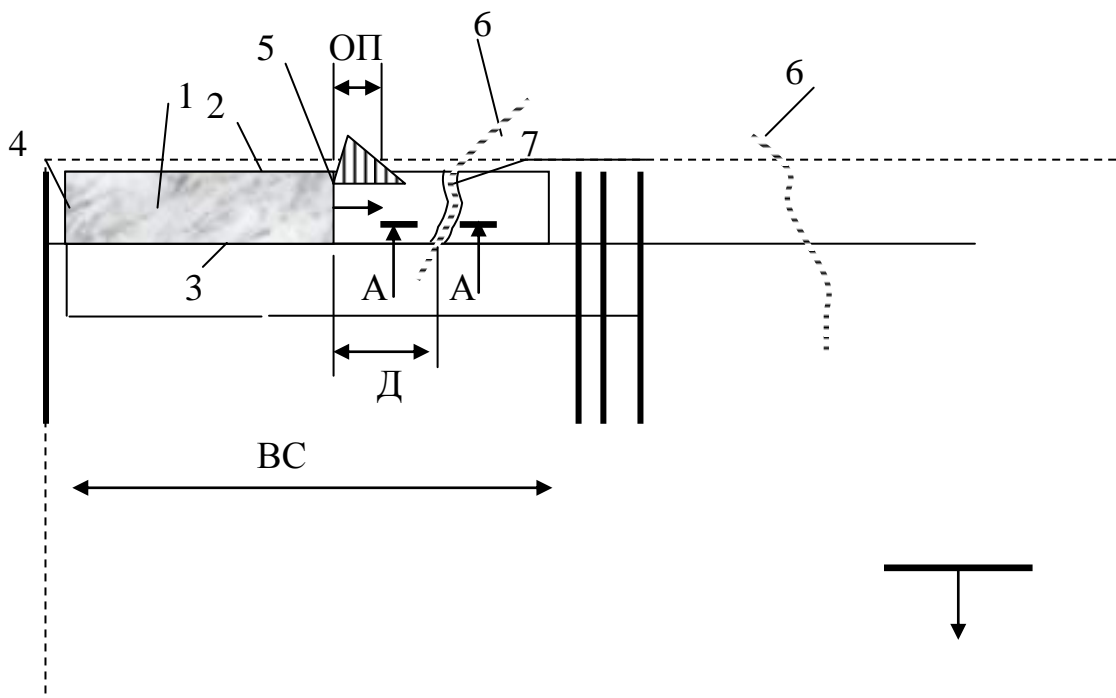


Рис. 3. Схема переходу малоамплітудного порушення

Таким чином розвідувальна виробка 7 виконує дві основні функції: по-перше, вона розвідує порушення, по-друге - створює канал, по якому очисний вибій 5 переходить без перешкод малоамплітудне порушення 6. Це вирішує задачу підвищення швидкості та безпечності переходу.

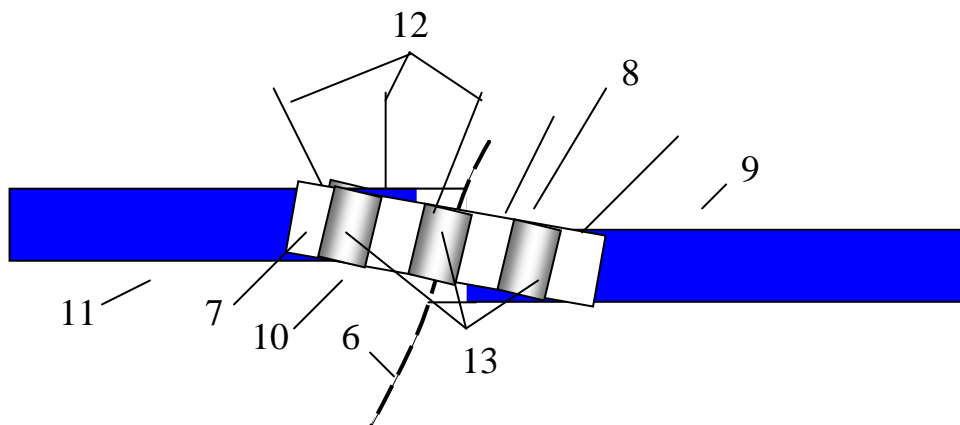


Рис. 4. Схема розвідки диз'юнктивного малоамплітудного порушення

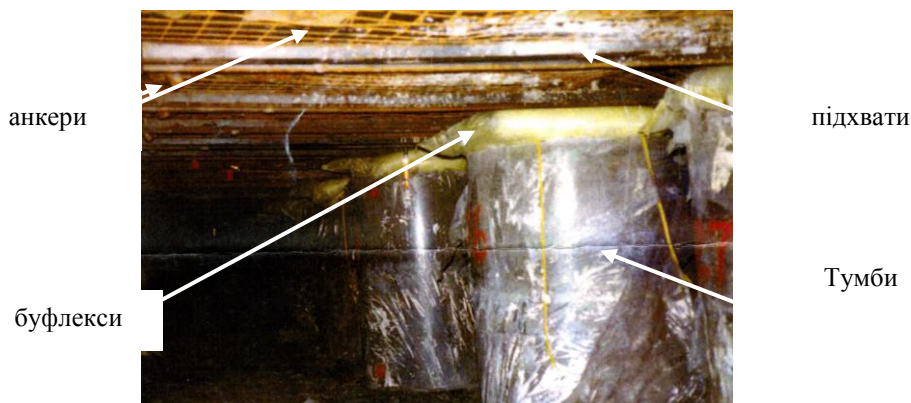


Рис. 5. Приклад кріплення камери тумбами

ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕХОДУ МАП

На рис. 6 показаний приклад реалізації нової технології переходу МАП. Перехідна камеру 1 проходять знизу ввверх, тому що на конвеєрному штреці амплітуда порушення була максимальною і перевищувала виїмкову потужність пласта на 30 %. Отже ширина перехідної камери дорівнювала 9 м. По мірі проходки розвідувальної (перехідної) камери амплітуда порушення зменшувалась, що дало змогу зменшувати ширину камери, як показано на рис. 6. У верхній частині виїмкового стовпа амплітуда порушення зменшилась настільки, що лава змогла перейти його без будь якої підготовки. Тому проходку камери зупинили.

Перевагою нової технології переходу є те, що її собівартість

у декілька разів нижча ніж собівартість технології переходу з використанням геофізичної розвідки. Достовірність розвідки ж є абсолютною на відміну від кращого досвіду провідних фірм, які виконують геофізичну розвідку. Додамо, що геофізична розвідка не дає змогу попередити обхід порушення, а отже пов'язана з великими втратами підготовлених запасів. Нова технологія дозволяє відпрацювати ті запаси, які пошкоджені неперехідними порушеннями.

Справа в тому, що спеціальна підготовча виробка, яка виконує одночасно розвідувальні і підготовчі функції, може бути пройдена уздовж зміщувача порушення при любых його параметрах. Темпи проходки невеликі (порядку 20-100 м/міс), проте розвідка і підготовка порушення до переходу виконується заздалегідь і паралельно основним роботам календарного плану вуглевидобутку. Тому ця робота не лежить на критичному шляху календарного плану проекту. Робота по розвідці і підготовці порушення переходу очисним вибоєм згідно нової технології є незалежною від робіт очисного вибою [3] і фактично реалізує метод трансформації оперативного управління у стандартне.

Проходка розвідувально-перехідної камери може здійснюватися різними способами. Основними з них є комбайновий, буропідривний і проходка за допомогою відбійних молотків. Який спосіб прийняти – вирішується в залежності від ступеня невизначеності параметрів малоамплітудного порушення, його відстані від монтажної камери очисного вибою, потужності вугільного пласта, схильності його до раптових викидів, наявності техніки, матеріальних і людських ресурсів.

Малоамплітудні порушення, що розташовані на відстані кількох сотень метрів і далі від монтажної камери, можуть проходитись відбійними молотками. Справа у тому, що підошва перехідної камери повинна бути нахиленою і не кожен прохідницький комбайн придатний для проходки такої камери.

Головним обмеженням у цьому є доступний резерв часу, який є для здійснення проходки розвідувально-перехідної камери уздовж зміщувача порушення.

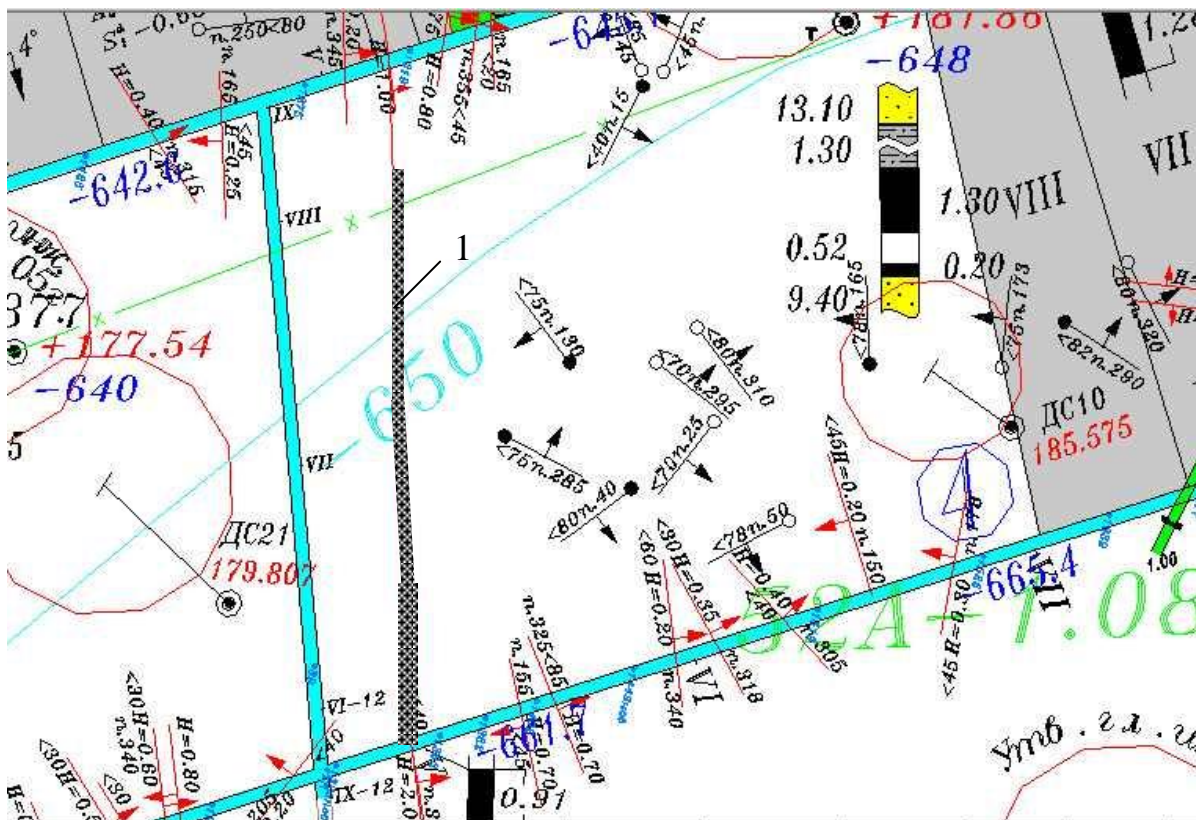


Рис. 6. Приклад застосування розвідувальної - перехідної камери

В окремих випадках перехідна камера може бути пройдена за допомогою буршнекових установок, які виготовляються вітчизняними фірмами і є оптимальною технологією у випадку, коли пласт є викидонебезпечним. Як видно, для реалізації нової технології розвідки малоамплітудного порушення є багато технологій і їх вибір не є проблемою для методології управління проектами.

Для кількісної оцінки скорочення критичного шляху календарного плану розвідки МАП врахуємо, що з одного боку затримка очисних робіт під час відпрацювання лави без розвідки становить 5-12 міс. У випадку застосування нової технології перехід МАП очисним вибоєм здійснюється навіть швидше за штатне посуювання лави на непошкодженій ділянці вугільного пласта. Отже скорочення критичного шляху календарного плану у вказаному випадку становить 5-12 місяців. Протягом такого

періоду високопродуктивні вибої отримують прибуток, який вимірюється у межах 200-800 млн. грн.

Порівняємо нову технологію з існуючою технологією прогнозу і розвідки. Тут можуть виникати два варіанта (див. дерево рішень на рис. 7). У випадку коли приймається рішення про перехід і воно не змінюється на обхід, затримка робіт на критичному шляху календарного плану становить близько 1-2 місяців. Додатково виникають втрати від підвищеного зношення механізованого комплексу. У випадку прийняття рішення про обхід порушення затримка календарного плану відсутня, проте втрачаються підготовлені запаси, а отже можливий прибуток від їх реалізації, який вимірюється у межах 40-80 млн. грн.

Доречно зауважити, що нова технологія переходу малоамплітудного порушення має суттєві переваги перед застосуванням камерно-стовпової технології відпрацювання порушених запасів, що залишають у випадку прийняття рішення про обхід малоамплітудного порушення. Сама технологія камерно-стовпової системи розробки дозволяє підвищити критерій оптимальності оперативного управління, оскільки зменшує втрати підготовлених запасів. Проте за допомогою камерно-стовпової системи розробки можна вийняти не більше 50-60 % запасів вугілля, тоді як перехід порушення через перехідну камеру забезпечує повне відпрацювання запасів навколо порушення.

Підкреслимо, що як камерно-стовпова система розробки, так і технологія застосування перехідної камери повністю знімають як параметричну, так і структурну невизначеність проекту, тому що камери виконують не тільки функцію вуглевидобутку, але й детальної та, головне, достовірної розвідки порушення. У всіх інших випадках у замовника залишаються сумніви щодо результатів прогнозу, що підвищує невпевненість або невизначеність (як параметричну так і структурну), а отже знижує якість управління проектом. Іншими словами розроблений метод надає потужне інформаційне забезпечення процесу розвідки і переходу малоамплітудних порушень, яке повністю усуває невизначеність.

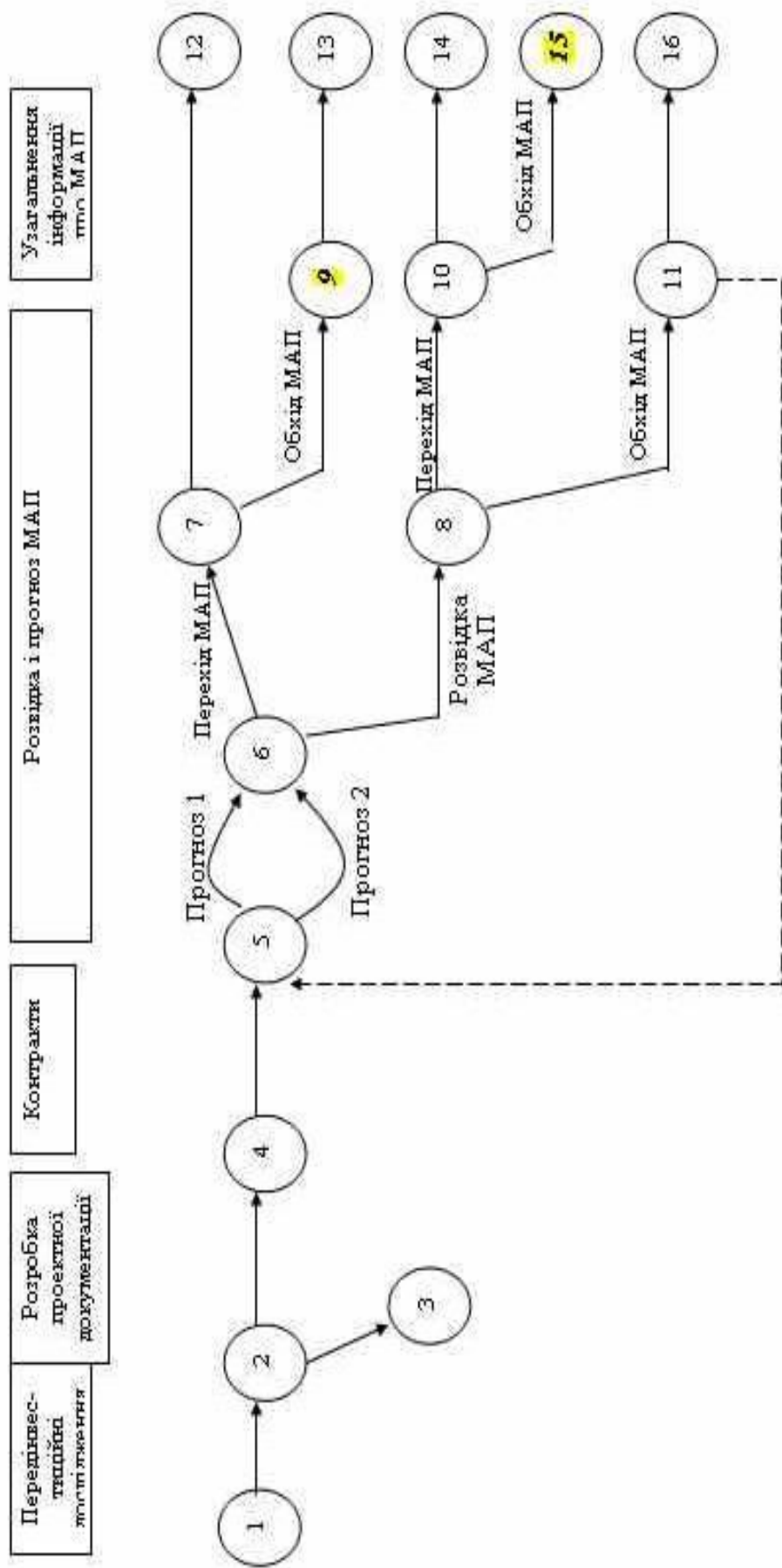


Рис. 7. Дерево рішень

У таблиці 1 наводяться підсумки порівняння нової технології з існуючими на сьогодні з врахуванням усіх факторів якості управління проектом прогнозу і розвідки МАП.

Таблиця 1

Характеристика варіантів розвідки малоамплітудних порушень

Варіант	Затримка робіт на критичному шляху проекту, місяців	Втрати підготовлених запасів	Додаткове зношення механізованого комплексу	Погіршення безпеки робіт	Невизначеність проекту	
					Параметрична	Структурна
Використання розвідувальної-перехідної камери	-	-	-	-	-	-
Камерно-стовпова система	-	+	-	-	-	-
Перехід МАП	1-2	-	+	+	+	+
Перехід МАП – обхід	3-10	+	++	++	+	+
Обхід МАП	1-2	++	-	-	++	++
Перехід МАП всліпу	5-12	+	++	++	++	++

+ помірні збитки; ++ значні збитки

Аналіз випадків переходу МАП свідчить про те, що приблизно половина порушень з небезпечною амплітудою відкривається ще на підготовчих виробках. Отже потенціал нової технології є дуже великий.

У випадках, коли малоамплітудне порушення є неперехідним, застосовуються методи залучення ресурсів тактики управління рухом очисного вибою. Зокрема розроблено спосіб розвороту очисного вибою [8], який дозволяє мінімізувати втрати корисних копалин за рахунок повного їх відпрацювання навколо неперехідного порушення.

ВИСНОВКИ

Вдосконалено метод ущільнення календарного плану проекту прогнозу і розвідки МАП. Метод заснований на завчасній про-

ходці розвідувально-перехідної камери уздовж зміщувача порушення. Камера проходиться тільки на ділянці неперехідного порушення. Покрівля камери посилюється анкерним кріпленням і наливними тумбами з матеріалу, який легко руйнується виконавчим органом очисного комбайну. Розроблений метод сприяє скороченню часу виконання робіт, що знаходяться на критичному шляху, трансформує оперативні ризики у тактичні, знижує втрати підготовлених запасів, зменшує додаткове зношення вибійного обладнання і зберігає безпеку підземних робіт.

Список літератури

1. Назимко В.В. Многообъектная распределенная система управления проектом / В.В.Назимко // Міжнародний симпозиум "Форум гірників - 2013", 02 - 05 жовтня. - Дніпропетровськ: НГУ, 2013.- С.87-95.
2. Advanced Project Management (Vol. 3) erschienen. Komplexität, Dynamik und Unsicherheit in Projekten, damit befasst sich der 3. GPM Buchreihe Forschung,-2013.-480 p.
3. Спосіб переходу очисним вибоєм порушення пласта: патент України на винахід 29779: МПК7 E2123/00: E21C41/18 / Назимко В.В.; заявник і патентовласник Донецьк. націон. техн. універ. - а200711089; заявл. 08.10.2007; опубл. 25.01.2008, бюл. №2.-5с.
4. Kang Y., Liu Q., Gong G., Wang H. Application of a combined support system to the weak floor reinforcement in deep underground coal mine. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Vol. 71, 2014, 143-150.
5. Основы построения проекта системы управления технологическим процессом гидравлического воздействия на анизотропный горный массив /В.Н.Павлыш, С.С.Гребенкин, Орва Аль-Джерди, и др.// Збірник наукових праць Донецького державного університету управління "Проектно-орієнтована діяльність соціально-економічних систем: сучасний погляд". Випуск 176.-2011.-С.46-51.
6. Senent S., Mollon G., Jimenez R. Tunnel face stability in heavily fractured rock masses that follow the Hoek–Brown failure criterion. *Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Vol. 60, 2013, 440-451.
7. Nemcik J., Ma S., Aziz N., et.al. Numerical modelling of failure propagation in fully grouted rock bolts subjected to tensile load. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Vol. 71, 2014, 293-300.
8. Спосіб розвороту механізованого комплексу/ Назимко В.В., Масалов Р.О. / Патент України на винахід 21038 А . Заявка а94010078 від 13.04.1993. МПК: E21C 41/16 (2006.01) Опубл. 07.10.1997.-6с.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2014.
Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.М. Павлишом

В.В. Назимко

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПЛОТНЕНИЯ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА ПРОЕКТА ПРОГНОЗА И РАЗВЕДКИ МАЛОАМПЛИТУДНОЙ НАРУШЕНИЙ

Разработан метод управления проектом разведки и перехода малоамплитудного нарушения на основе трансформации оперативного управления в тактическое. Метод реализуется заблаговременной проходкой разведывательно-переходной камеры, кровля которой усиливается анкерной крепью и наливными тумбами из синтетического материала, который легко разрушается исполнительным органом очистного комбайна.

Ключевые слова: управление проектом, малоамплитудные нарушения, геологическая разведка.

V.V. Nazimko

Donetsk National Technical University, Donetsk

COMPRESSING OF PROJECT SCHEDULE DURING LONGWALL TRANSITION THROUGH A MICRO-FAULT

Longwall extraction of coal deposits complicates with micro-faults that cannot be detected confidently. Practitioners evade geophysical methods of the exploration because they are costly and not confident enough. In addition, there are some economic, organizational and physiologic factors that impede usage of modern exploration technologies and force practitioners to go through the micro-faults without employment any exploration methods.

Project management approach is the only reliable way to enhance the process of exploration. We proposed a method that reduces the time of longwall transition through a micro-fault. Special room should be driven in advance along micro-fault junction. Section of this room must be driven through the hanging and laying wings of micro-faults. Hence the transition room will play the role of a tunnel for the longwall travelling. The roof of the room is strengthened by rock bolts and cans. These cans will be destroyed by shearer during the process of transition.

Key words: project management, micro-faults, exploration.

УДК 622.023

И.Г. Сахно (канд. техн. наук., доц.)Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
sahno_i@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГИДРАТАЦИИ РАСТВОРА НРС МЕТОДОМ ЯМР СПЕКТРОСКОПИИ

При подземной разработке полезных ископаемых в ряде случаев применение невзрывных методов разрушения позволяет быстро и безопасно решать острые производственные задачи. Один из таких способов основан на использовании невзрывчатых разрушающих смесей (НРС). Важнейшей практической задачей применения НРС в условиях подземных горных выработок является управление процессом разрушения пород. Несмотря на сорокалетнюю историю этих композиций, до сих пор не было системных исследований и разработок, ориентированных на применение НРС в подземных горных выработках. Повышение эффективности их работы должно основываться на регулировании скорости протекания процесса гидратации. В этом ключе исследование кинетики гидратации НРС и ее изменение при введении химических добавок является важной научной задачей.

Эксперименты проводились на автодинном ЯМР-спектрометре: использована дифференциальная методика регистрации спектров. Установлены закономерности изменения фазового состояния воды в растворе НРС в процессе его гидратации по формируемому спектру ЯМР водорода и определено влияние химических добавок на этот процесс, что являлось задачей исследований. В качестве регулирующих добавок применяли пластификатор СП-6, этановую кислоту и гумат натрия. Исследовали процесс в жесткой (стеклянная пробирка) и податливой (пробирка из фторопласта) системах.

Анализ результатов проведенных исследований и теорий гидратации извести В.В. Осина и Ребиндера показывает, что можно выделить четыре характерные стадии работы НРС на основе оксида кальция. Проведенные исследования позволили установить взаимосвязь стадии гидратации НРС с фазовым состоянием раствора и, соответственно, с саморасширением твердеющей системы. Установлено, что гидратационное твердение и саморасширение происходит по-разному в образцах НРС в свободном состоянии и при ограничении объемных изменений. Выявлено влияние различных добавок на протекание процесса гидратации.

Ключевые слова: невзрывчатая разрушающая смесь, саморасширение, гидратация, ЯМР, фазовое состояние.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В настоящее время бесспорным лидером разрушения прочных горных пород в практике эксплуатации месторождений полезных ископаемых является буровзрывной способ. Основными недостатками этого способа являются: сейсмическое воздействие взрыва на горные породы, нарушение их сплошности, развитие трещин и ослабление массива, а кроме того, большое выделение газообразных продуктов взрыва, шум, особые меры безопасности при хранении, перевозке и использовании, относительно высокая стоимость.

Применение низкобризантных ВВ, патронов и зарядов специальных конструкций позволяют снизить динамическое воздействие на околошпуровую область, однако их применение приводит к повышению затрат на разрушение и в ряде случаев не обеспечивает требуемого конечного результата. Одним из возможных направлений решения этой проблемы является применение статических методов разрушения горных пород. Одним из перспективных направлений статического разрушения горных пород является использование невзрывчатых разрушающих смесей (НРС). Применение которых не требует специального режима безопасности ведения работ, не оказывает динамического воздействия на горные породы, не требует остановки работ основного цикла.

Анализ исследований и публикаций.

Начиная с 1980 г. по настоящее время только в Японии разработано более двух десятков различных невзрывных композиций. Традиционно применение НРС связывают с ликвидацией бетонных несущих конструкций и фундаментов в работающих цехах и других объектах при их реконструкции [1], разрушением асфальтобетонного покрытия в дорожном строительстве [2], а также при отбойке блочного камня и пассивировке пород.

В последнее время в ДонНТУ ведется работа, направленная на расширение области применения НРС, в частности использование их в условиях подземных горных выработок. Основными

недостатками, сдерживающими широкое применение НРС, являются: длительное, по сравнению с взрывным способом, время разрушения, недостаточное усилие расширения, что вызывает большие затраты на бурение, ограниченный диапазоном $+5 - +25^{\circ}\text{C}$ температурный режим работы, что сужает область применения способа.

Перспективными направлениями применения НРС в условиях угольных шахт является их использование при проходке выработок, оконтуривании сопряжений, креплении выработок, восстановлении эксплуатационного сечения и др. Разрабатываемая технология невзрывного разрушения должна обеспечивать минимальное время разрушения горных пород и учитывать особенности работы НРС в условиях подземных горных выработок при относительно высокой температуре пород, вмещающих шпур.

Важнейшей практической задачей применения НРС в условиях подземных горных выработок является управление процессом разрушения пород. Таким образом, повышение эффективности работы НРС должно основываться на регулировании скорости протекания процесса гидратации, что возможно осуществить путем добавления ускорителей, замедлителей и пластификаторов. Поэтому исследование кинетики гидратации НРС и ее изменение при введении химических добавок является важной научной задачей.

Управление скоростью гидратации в настоящее время осуществляют в основном за счет введения добавок, имеющих экзотермическую реакцию с оксидом кальция, однако в этом случае ускорение реакции наблюдается сразу после приготовления смеси. Таким образом, приготовление одной порции смеси для заряжения большого количества шпуров является затруднительным. Существующими составами НРС достичь сокращения времени разрушения пород в условиях высоких положительных температур, характерных для условий подземных горных выработок, при одновременном исключении «вышпуривания», достаточно сложно.

Постановка задач исследований.

Поиск рецептур НРС должен учитывать изменение фазового состояния раствора в процессе гидратации и саморасширения. Установление закономерностей изменения фазового состояния воды в растворе НРС в процессе его гидратации, по формируемому им спектру ЯМР водорода, и определение влияния химических добавок на этот процесс и является задачей представленных исследований. В качестве регулирующих добавок применяли пластификатор СП-6, этановую кислоту и гуamat натрия.

Реакция гидратации НРС продолжается 8-24 часа, в зависимости от состава. Для исследования динамики изменения фазового состояния воды в растворе НРС необходимо производить непрерывную запись спектра ЯМР.

Изложение материала и результаты.

Первой особенностью исследований является то, что в процессе реакции гидратации происходит увеличение объема смеси НРС. Это приводит к разрушению пробирки, в которую он помещен. В связи с этим было проведено две серии исследований. В первой из них раствор помещали в стеклянную пробирку диаметром 10 мм, длиной 10 см, которую для предотвращения попадания НРС и частей пробирки после ее разрушения в контур магнита установки ЯМР обматывали фторопластовой лентой Ф-4Д толщиной 0,2 мм. После разрушения пробирки образец извлекали из контура и эксперимент считался законченным.

Во второй серии экспериментов раствор НРС помещали в специально изготовленную из фторопласта F-4 пробирку с размерами аналогичными стеклянной. Увеличение объема НРС приводило к упруго-пластическому деформированию стенок пробирки, однако ее разрушение не происходило, что позволяло записать спектр ЯМР на протяжении всего периода гидратации. Наиболее интересным является начальный период гидратации, на котором вода переходит из свободного состояния в химически связанное, что четко прослеживается по изменению линии спектра. Этот период характеризуется наиболее интенсивным ростом объема НРС.

Вторая особенность исследований связана с тем, что реакция гидратации является экзотермической. В активной стадии происходит самонагревание раствора НРС, что приводит к повышению температуры в контуре, смещению линии спектра и ее растяжению по оси абсцисс, а после стабилизации температуры раствора – возвращению температуры в контуре к исходному значению и, соответственно, смещению линии спектра в обратном направлении. Таким образом, анализ фазового состояния раствора целесообразно проводить не по ширине линии спектра, которая меняется в зависимости от температуры, а по амплитуде. Поскольку площадь сигнала, характеризующая шириной и амплитудой, является константой, такой анализ допустим.

Таким образом, начальный период гидратации исследовали путем непрерывной записи спектров ЯМР, при этом время записи одного спектра составляло 3-4 минуты. В активной стадии гидратации проводили подстройку в ручном режиме для отображения всей линии спектра. После стабилизации скорости гидратации частоту экспериментов снижали, последний эксперимент проводили через 24 часа. Предполагалось, что в это время скорость изменения структуры новообразований настолько мала, что ей можно пренебречь, то есть считали, что реакция гидратации закончена.

Применяемая в экспериментах аппаратура позволяет изучать полный спектр ЯМР на водороде. В растворе НРС сразу после его приготовления водород находится в химически несвязанном состоянии в молекулах воды. В ходе реакции гидратации водород переходит в химически связанное состояние в гидроксиде кальция, что вызывает уменьшение количества резонирующих ядер в структуре вещества, скорость реакции может быть определена по интенсивности изменения ширины и амплитуды линии поглощения. На автодинном ЯМР-спектрометре использована дифференциальная методика регистрации спектров [3]. Производится запись первой производной спектра поглощения.

На рис. 1а приведен спектр ЯМР ^1H помещенного в пробирку прореагировавшего НРС, представляющего собой порошок, полученный измельчением материала в твердой фазе, извлечен-

ного из стенда для испытаний НРС. Приведенный спектр образован узкой (лоренцова форма) 1 и широкой 2 (гауссова форма) линиями. Эти линии, сформированные большими группами атомов водорода, могут быть частично или полностью разрешены, что позволяет применять их параметры (амплитуда, ширина, площадь под кривой) для анализа состояния исследуемого образца. Применялась специальная методика математической обработки спектров ЯМР ^1H , позволяющая при расчете восстанавливать соотношение его компонент [3].

Фиксируемый при испытаниях спектр ЯМР ^1H свежеприготовленного НРС в пастообразной фазе, образован линией, имеющей лоренцову форму, так как гауссова линия в этом случае имеет ширину больше, чем возможная развертка поля. Типичный спектр ЯМР ^1H в НРС через 60 минут после затворения смеси, а также линия аппроксимации представлены на рис. 1б. Ширина линии спектра $\Delta H \sim 0,75-1,25$ Э, амплитуда $\Delta U \sim 1,4$ В.

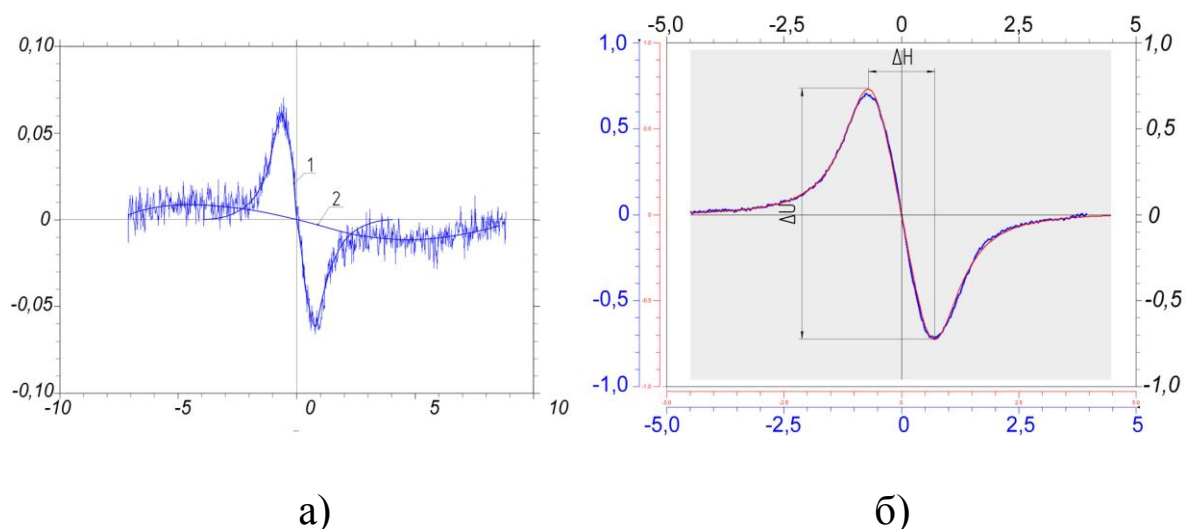


Рис. 1. Линия первой производной спектра поглощения ЯМР ^1H НРС: а) в твердой фазе, б) через 60 минут после затворения смеси
1 – узкая составляющая первой производной спектра поглощения; 2 – широкая составляющая первой производной спектра поглощения.

Проводить численное сравнение приведенных линий достаточно сложно, поскольку в экспериментах образцы в пробирках имели разную массу и плотность, а образец с измельченным НРС (рис. 1а) имел также фоновую влажность, поскольку перед запи-

сью спектра сушка его не производилась. Для обеспечения чистоты эксперимента анализ необходимо проводить на одном образце, проходящем последовательно все стадии гидратации.

На рисунке 2 сведены два спектра поглощения ЯМР ^1H раствора НРС, помещенного в пробирку из фторопласта на моменты его нахождения в пастообразной (30 минут после приготовления) и твердой (26 часов после приготовления) фазах. На протяжении всего эксперимента пробирка не извлекалась из контура магнита. Так как на ширину резонансной линии оказывает влияние подвижность атомов в исследуемой структуре, с увеличением плотности исследуемого вещества и с повышением закрепленности резонирующих ядер в структуре вещества наблюдается рост ширины линии поглощения и уменьшение ее амплитуды.

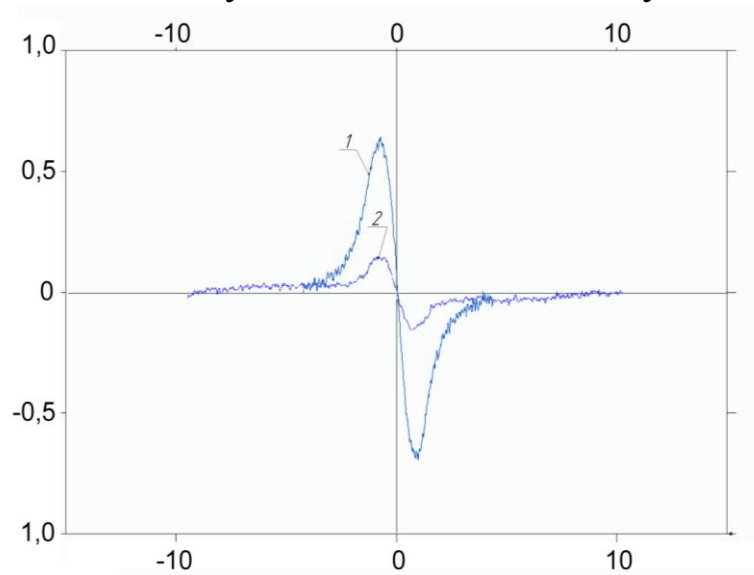


Рис. 2. Спектры фазового состояния раствора НРС

1 - после приготовления (пастообразное состояние); 2 – после затухания гидратации (твердое состояние).

Ширина линии 1 спектра 1,16 Э и интенсивность сигнала 1,55 В свидетельствуют о нахождении воды в свободной фазе и адсорбированном состоянии. По линии 2 спектра прослеживается также широкая составляющая. Ширина узкой составляющей линии 2 спектра 0,932 Э и интенсивность сигнала 0,218 В свидетельствуют о нахождении воды в химически связанном состоянии. Таким образом, по изменению спектра во времени можно судить о протекании реакции гидратации.

Оценку влажности в пробе обычно проводят путем сравнения интенсивностей полученных спектральных линий эталонного и испытуемого образца. Поскольку в нашем случае широкая линия спектра в пастообразной фазе не прослеживается, а в твердой прослеживается не четко, при этом кривая аппроксимации, описывающая весь спектр только узкой составляющей имеет достаточно высокий коэффициент корреляции 0,94-0,97; сравнение проведем по интенсивности узкой линии. Так как превращения происходят в одном и том же образце, оценим динамику изменения амплитуды спектральной линии во времени (рис. 3). Поскольку активные химические превращения происходят в начальный период после приготовления раствора НРС, а затем наблюдается стабилизация и затухание процесса, наиболее интересным с точки зрения анализа фазового состояния является начальный период.

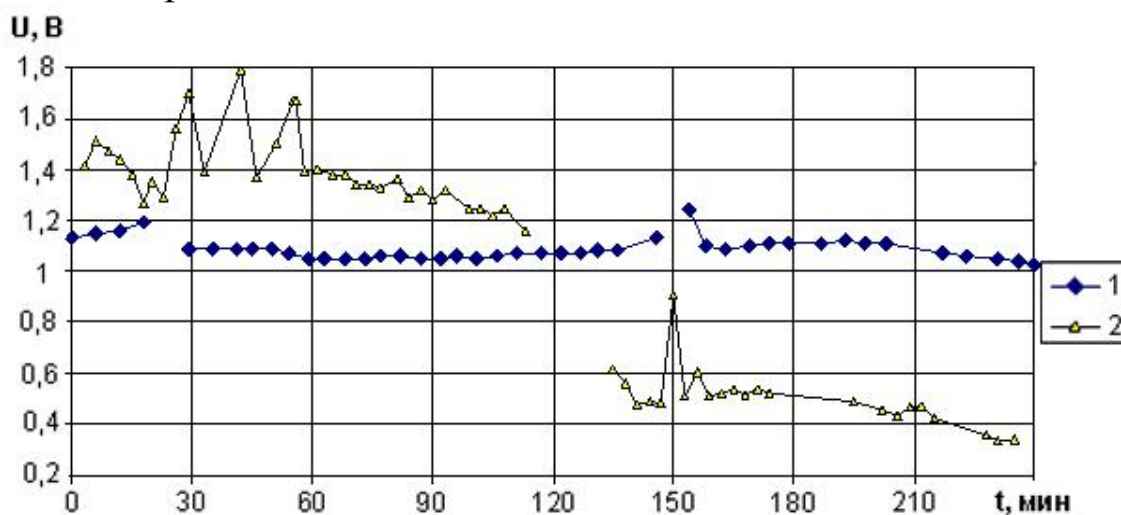


Рис. 3. Изменение амплитуды первой производной линии спектра НРС во времени при помещении ее:
1 – в пробирку из фторопласта; 2 – в стеклянную пробирку.

Результаты экспериментов по изучению динамики роста давления саморасширения [4, 5] позволяют выделить временной диапазон до 4 часов с момента приготовления раствора НРС, на протяжении которого наблюдается начало и наиболее интенсивный рост давления саморасширения. Исследования [6] показали, процесс гидратации обожженного измельченного оксида кальция

с водой при положительных температурах занимает 3,5 – 4,0 ч с достижением тепловыделения 250 – 300 кДж/кг. Поэтому детальные исследования фазового состояния будем проводить именно в этот период. Проведенные эксперименты позволили установить отличие в протекании процесса гидратации в жесткой оболочке (стеклянная пробирка) и в условиях пластического деформирования (пробирка из фторопласта).

Анализ полученных кривых, приведенных на рисунке 3, позволяет сделать вывод, что в начальный период, 20-30 мин после затворения смеси, происходит непродолжительное повышение амплитуды спектральной линии, то есть, количество свободной воды увеличивается. Исследования на УНТС [5] и в разработанном стенде показывают, что в этот период объем смеси уменьшается, а по результатам испытаний подвижности смеси по расплаву конуса видно, что ее подвижность увеличивается (рис. 4). Этот эффект объясняется В.В. Осиним [7] протеканием периодов коагуляции и образования коагуляционных структур. Колебания в течение первых 60 мин соответствуют изменению подвижности смеси в начальный период. Через 60-70 минут процесс стабилизируется. Затем происходит постоянное снижение интенсивности спектральной линии, что характеризует переход воды в связанное состояние, и соответствует, согласно [7] процессу перекристаллизации тонкодисперсных фракций и образованию гидроокиси кальция, которое сопровождается увеличением объема смеси.

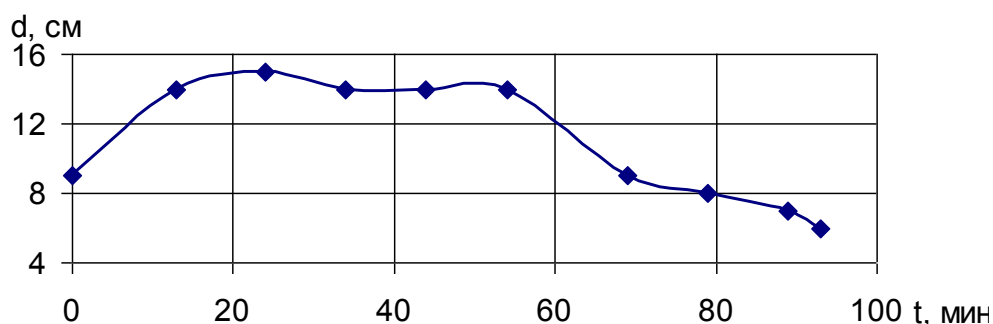


Рис. 4. График изменение подвижности НРС во времени

При исследовании образца в жесткой оболочке происходит рост давления, что приводит к разрушению пробирки, которое на

кривой 2 (рис. 3) характеризуется скачком. Этот период (120-150 минут после затворения) соответствует максимальной скорости гидратации и можно говорить об интенсивном изменении фазового состояния воды в растворе НРС (переходе ее из адсорбированного в связанное состояние). НРС при этом переходит в твердую фазу. Аналогичный скачок наблюдается и в пробирке из фторопласта, но он характеризуется первоначальным повышением интенсивности линии спектра, а затем ее спадом. Повышение интенсивности линии спектра можно объяснить ростом температуры при протекании активной фазы реакции гидратации и переходом воды в пар. Дальнейшее активное поглощение воды характеризуется резким спадом интенсивности линии спектра.

Разный угол наклона кривых интенсивности спектральной линии в пробирках из стекла и фторопласта говорит о разной скорости протекания реакции. Анализ показывает, что в условиях жесткой оболочки процесс протекает более интенсивно, что также наблюдается при испытании НРС на УНТС [5]. Рост давления саморасширения, а, соответственно, и скорости реакции более интенсивный при нулевых деформациях расширения.

Добавление в состав НРС пластификатора СП-6 приводит к стабилизации процесса гидратации на начальном этапе (60 мин), что характеризуется отсутствием скачков интенсивности спектральной линии в этот период. Добавление СП-6 приводит к незначительному замедлению реакции гидратации, так разрушение пробирки происходит позже, на 159 минуте, что характеризуется скачком изменения фазового состояния на кривой 2 (рис. 5). Практически одинаковый угол наклона кривых интенсивности спектральной линии для образцов чистого НРС и с добавлением СП-6 говорит об одинаковой скорости реакции; замедление, вызванное добавлением СП-6, отмечается только на начальной стадии реакции.

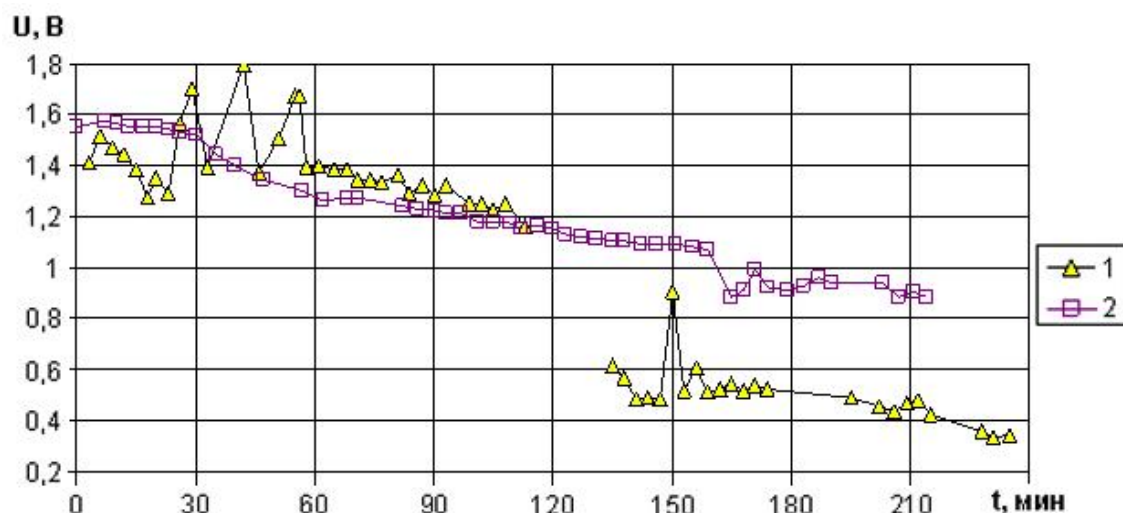


Рис. 5. Изменение амплитуды спектральной линии ЯМР во времени образцов чистого НРС (1) и с добавлением бмасс. % СП-6 (2)

Добавление в состав НРС 2 масс. % гумата натрия существенно не изменяет линию спектра. Отмечается стабилизация на начальном после приготовления смеси периоде и снижение интенсивности на 30-40 минуте (рис. 6), что объясняется потерей подвижности смеси в этот период и связано, вероятно, с поглощением воды гуматом натрия. Рост активности зерен оксида кальция приводит к последующему «отсасыванию» воды, связанной гуматом натрия, что отмечается по линии спектра на 90-120 мин. Изменение фазового состояния отмечается на 150 минуте.

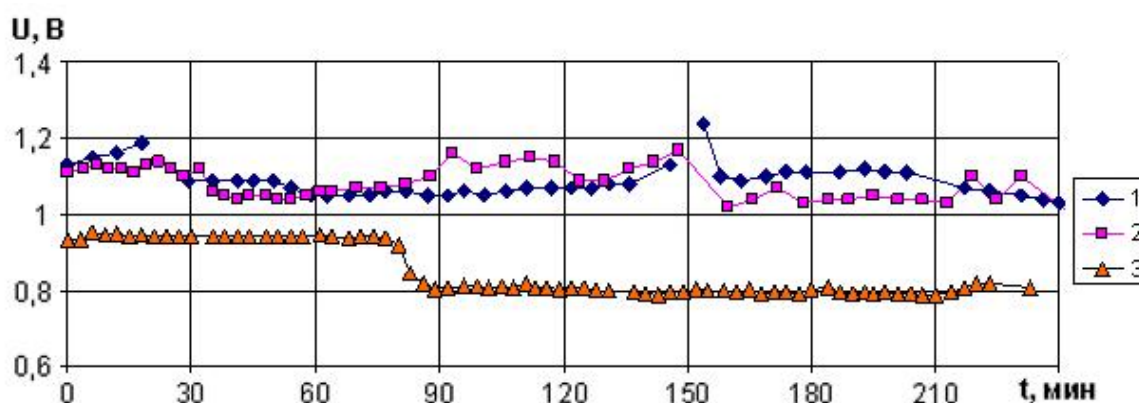


Рис. 6. Изменение амплитуды спектральной линии ЯМР во времени образцов чистого НРС (1), с добавлением 2 масс. % гумата натрия (2), с добавлением 0,35 масс. % этановой кислоты (3)

Добавление в состав НРС 0,35 масс. % этановой кислоты приводит к ускорению времени изменения фазового состояния, которое отмечается резким снижением интенсивности спектральной линии на 74 мин, кроме того, стабилизируется процесс гидратации в начальный после затворения смеси период, что видно по постоянной величине интенсивности линии спектра.

Реакция гидратации оксида кальция является экзотермической. Образование тепла, при этом, начинается не сразу и нарастает в несколько этапов. Для изучения динамики тепловыделения параллельно с экспериментами на ЯМР спектрометре были проведены замеры изменения температуры. Для этого в стеклянную пробирку, аналогичную использованной для ЯМР-спектроскопии, помещали НРС, внутрь которой устанавливали зонд электронного термометра DM-9231A. График изменения температуры смеси представлен на рисунке 7.

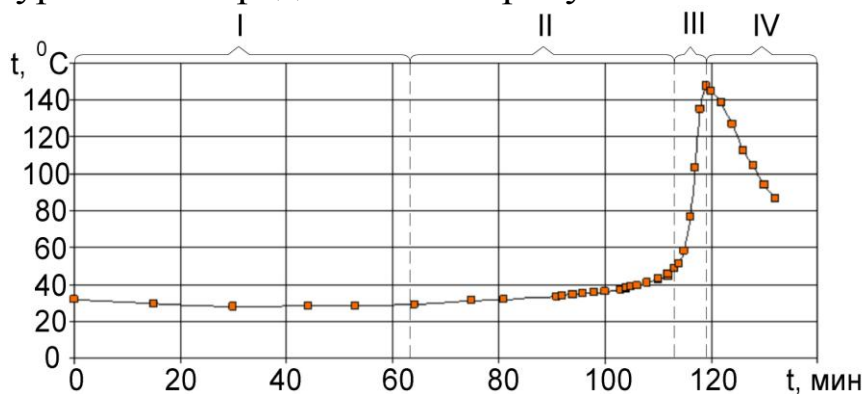


Рис. 7. Изменение температуры (t , °C) НРС, помещенного в пробирку, во времени и характерные стадии (I, II, III, IV) работы

Начало роста температуры в пробирке зафиксировано на 64 минуте. Этот период соответствует окончанию периода коагуляции [7] и началу перекристаллизации НРС, что видно из анализа спектров ЯМР. Дальше наблюдается плавный рост температуры до 113 минуты, в этот период происходит активный переход раствора в твердую фазу. После этого наблюдается скачок роста температуры до критического значения. Этот этап характеризуется резким возрастанием новообразований гидроксида кальция $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ с максимальным увеличением температуры и тепловыделения. В этот период наблюдается разрушение пробирки от са-

морасширения НРС. Что, по времени, соответствует скачку на кривой изменения амплитуды спектральной линии ЯМР. Следующим этапом является спад температуры и стабилизация интенсивности спектра ЯМР.

После проведенного анализа можно сделать вывод, что по изменению температуры состава в процессе гидратации можно отследить основные этапы гидратации НРС, а динамика изменения температуры является индикатором скорости роста давления саморасширения.

Анализ результатов проведенных выше исследований и теорий гидратации извести В.В. Осина [7] и Ребиндера [8] показывает, что можно выделить четыре характерные стадии работы НРС на основе оксида кальция. Первая стадия характерна пастообразным состоянием раствора, при этом вода находится в свободном состоянии (рис. 3), температура смеси стремится к температуре окружающей среды (рис. 7), согласно [7, 8] происходит насыщение раствора, образование мелких частиц гидроксида кальция путем непосредственного присоединения воды к зернам оксида кальция, происходит коагуляция с образованием новых коллоидных масс. Наблюдается отток воды, повышение подвижности смеси (рис. 4), колебания интенсивности спектральной линии ЯМР (рис. 3). Время протекания этого этапа определяется в основном температурой окружающей среды, температурой смешиваемых компонентов геометрическими параметрами заполняемой полости и количеством НРС.

Вторая стадия характеризуется переходом материала из пастообразного состояния в твердое, наблюдается переход воды из свободного и адсорбированного состояния в химически связанное (рис. 3), на этой стадии рост температуры во времени происходит плавно с постоянно повышающейся скоростью (рис. 7) и, согласно [7, 8], определяется протеканием перекристаллизации оксида кальция в гидроксид. Время протекания этой стадии определяется преимущественно теми же факторами, что и предыдущей.

Третья стадия характеризуется резким скачкообразным ростом температуры до своего максимума во времени (рис. 7), что является следствием возрастания новообразований гидроксида

кальция $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ с максимальным увеличением тепловыделения. Наблюдается скачок интенсивности спектральной линии ЯМР (рис. 3): можно говорить о переходе раствора в твердую фазу. Находясь в свободном состоянии НРС на этой стадии достигает максимального расширения и превращается в порошок; в замкнутом объеме этому периоду соответствует максимальный прирост давления саморасширения.

С момента перехода материала из пластифицированного состояния в твердое (вторая и третья стадии работы НРС), рост температуры (T), а соответственно и давление саморасширения (P) во времени (t), могут быть описаны экспоненциальной зависимостью. Время протекания этого периода практически не зависит от внешних факторов и определяется тонкостью помола и химическими добавками НРС.

На четвертой стадии основная часть состава уже перекристаллизовалась, вокруг кристаллов CaO образовались коллоидные пленки и гидратные оболочки [7, 8], происходит снижение температуры материала (рис. 7), сопровождающееся незначительным ростом объема, имеющем затухающий характер. На этом этапе гидратации, по представлениям [7, 8], происходит отслаивание и разрушение гидратных оболочек от кристалла CaO , отсасывание более слабо связанной воды и вступление ее в реакцию с не прореагировавшими активными кристаллами оксида кальция, находящимися ближе к центру зерен CaO . Со временем процесс замедляется в силу затруднения доступа воды через оболочки и пленки к не прореагировавшим кристаллам CaO . Время протекания этой стадии работы определяется в основном температурой окружающей среды.

Введение в оксид кальция пластификатора СП-6 вызывает снижение тепловыделения. Снижение теплового эффекта за счет добавки объясняется образованием тончайших пленок, препятствующих проникновению воды к оксиду кальция, которые по мере увеличения гидроксида кальция разрушаются. Следовательно, замедление процесса имеет место в начальные сроки. В дальнейшем процесс гидратации происходит в нормальном режиме, что подтверждается анализом спектров ЯМР (рис. 5). Введение в ок-

сид кальция этановой кислоты приводит к повышению скорости гидратации состава на первой и второй стадиях и снижению максимальной температуры, а также сокращению времени изменения фазового состояния воды в растворе (рис. 6). Введение в оксид кальция гумата натрия вызывает первоначальное связывание воды гуматом, что приводит к потере подвижности смеси и стабилизации процесса гидратации. Повышение активности в процессе перекристаллизации приводит к «отсасыванию» воды из соединения с гуматом натрия и вступление ее в реакцию с кристаллами оксида кальция. Замедление процесса имеет место не только в начальные сроки.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Проведенные исследования позволили установить взаимосвязь стадии гидратации НРС с фазовым состоянием раствора и соответственно с саморасширением твердеющей системы. Установлено, что гидратационное твердение и саморасширение происходит по-разному в образцах НРС в свободном состоянии и при ограничении объемных изменений. Выявлено влияние различных добавок на протекание процесса гидратации.

Список литературы

1. Заявка 57-187044, Япония, МКИ В 02 С 19/18. Средство для разрушения каменных материалов и бетона / Сайто Акира, Накатани Сэйити, Мива Акира, Аги Исао, Исакаи Дзюк; Дэнки кагаку коге к.к., № 56-71233 заявл. 12.05.81, опубл. 17.11.82.
2. Заявка 57-136954, Япония, МКИ В 02 С 19/18. Средство для разрушения каменных материалов, в том числе бетона / Нисихара Акио, Мива Мотому, Тада Сюти; Асахи дэнка коге к. к., №56-23509 заявл. 19.02.81, опубл. 24.08.82.
3. Леше А. Ядерная индукция. – М.: Иностранная литература, 1963. – 684с
4. Сахно, И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих составов в условиях их предварительного сжатия / И.Г. Сахно // Проблеми гірського тиску. 2011. - №19. С. 109-123.
5. Сахно И.Г. Лабораторные исследования динамики роста давления саморасширения невзрывчатой разрушающей смеси в типичных деформационных режимах / И.Г. Сахно, А.В. Молодецкий // Проблеми гірського тиску. 2013. - №1 (22)-2(23). С. 3-17.

6. Пустобриков В.Н. – Разработка способа и обоснование параметров разрушения горных пород с использованием невзрывчатых разрушающих составов при низких температурах друк. Дисс... докт. техн. наук: 25.00.22., 25.00.20– Владикавказ, 2005.– 268 с.

7. Осин В.В. Негашенная известь. – М.: Стройиздат, 1954. – 364 с.

8. Ребиндер П.А. Физико-химические представления о механизме схватывания и твердения минеральных вяжущих веществ // Труды совещания по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1956. – С. 125 – 137.

Стаття надійшла до редакції 28.08.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.В. Назимко

І.Г. Сахно

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ГІДРАТАЦІЇ РОЗЧИНУ НРС МЕТОДОМ ЯМР СПЕКТРОСКОПІЇ

При підземній розробці корисних копалин в ряді випадків застосування невибухових методів руйнування дозволяє швидко і безпечно вирішувати гострі виробничі завдання. Один з таких способів заснований на використанні невибухових руйнуючих сумішей (НРС). Найважливішим практичним завданням застосування НРС в умовах підземних гірничих виробок є управління процесом руйнування порід. Незважаючи на сорокарічну історію цих композицій досі не було системних досліджень і розробок, орієнтованих на застосування НРС в підземних гірничих виробках. Підвищення ефективності їхньої роботи має ґрунтуватися на регулюванні швидкості протікання процесу гідратації. У цьому ключі дослідження кінетики гідратації НРС і її зміна при введенні хімічних добавок є важливою науковою задачею.

Експерименти проводилися на автодинного ЯМР-спектрометрі, використана диференціальна методика реєстрації спектрів. Встановлено закономірності зміни фазового стану води в розчині НРС в процесі його гідратації за формованому спектру ЯМР водню і визначено вплив хімічних добавок на цей процес, що було завданням досліджень. У якості регулюючих добавок застосовували пластифікатор СП-6, етанову кислоту і гумат натрію. Досліджували процес в жорсткій (скляна пробірка) і податливій (пробірка з фторопласту) системах.

Аналіз результатів проведених досліджень і теорій гідратації вапна В.В. Осина і Ребиндера показує, що можна виділити чотири характерні стадії роботи НРС на основі оксиду кальцію. Проведені дослідження дозволили встановити взаємозв'язок стадії гідратації НРС з фазовим станом розчину і, відповідно, з саморозширенням твердіючої системи. Встановлено, що гідратаційне тверднення і саморозширення відбувається по-різному

в зразках НРС у вільному стані і при обмеженні об'ємних змін. Виявлено вплив різних добавок на протікання процесу гідратації.

Ключові слова: невибухові руйнівні суміші, саморозширення, гідратація, ЯМР, фазовий стан.

I.G. Sahnó

Donetsk National Technical University, Donetsk

STUDY HYDRATION KINETICS DESTROYING NON-EXPLOSIVE MIXTURE BY NMR SPECTROSCOPY

When underground mining in some cases, the use of non-explosive methods of destruction allows you to quickly and safely solve acute production problems. One such method is based on the use of non-explosive mixtures of depleting (NEM). Important practical problems of application of NEMs in underground mining is to manage the process of destruction of rocks. In spite of the forty-year history of these songs still had no system research and development focused on the use of NEMs in underground mines. Improving the efficiency of their work should be based on the regulation of the rate of the hydration process. In this vein, a study of the kinetics of hydration of the NEMs and its change with the introduction of chemical additives is a major scientific challenge.

Experiments were conducted on autodyne NMR spectrometer, used differential method of recording spectra. The regularities of phase change of water in the solution of NEMs in the process of hydration that formed by the NMR spectrum of hydrogen and determined the effect of chemical additives on this process, that is the task of research. As adjusting additives used plasticizer SP-6, ethanoic acid and sodium humate. Investigated the process in a rigid (glass tube) and compliance (tube of PTFE) systems.

Analysis of the results of the research, and theories of hydration of lime Osin and Rebinder shows that there are four typical stages of the NEM work on the basis of calcium oxide. Studies have established the relationship hydration step NEMs phase state solution and self-expansion, respectively, with the hardening system. It has been established that the hydration and hardening of self-expansion occurs differently in samples NEMs free state and restricting the volumetric changes. The effect of various additives on the process of hydration.

Keywords: inexplosive destroying matters, self-expansion, hydration, NMR, phase state.

УДК 622.12

А.В. Анциферов (д-р техн. наук, директор), **А.А. Глухов** (д-р техн. наук, зав. отд.), **А.И. Компанец** (канд. техн. наук, с.н.с.)
Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела, г. Донецк

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ШАХТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

В статье изложены результаты анализа волновых полей, используемых для прогноза горно-геологических условий залегания угольных пластов методами шахтной сейсморазведки. Представлены установленные в ходе исследований характерные структуры волновых полей и обобщенные характеристики волновых пакетов различной природы.

Ключевые слова: шахтная геофизика, каналовые волны, геологические нарушения.

Как известно, геологическими факторами, существенно влияющими на выбор и эффективность технологических и горно-технических процессов эксплуатационных работ, являются мощность, сплошность, нарушенность угольных пластов, физико-механические свойства вмещающих пород [1-3]. Эти факторы обуславливают и определяют характеристики волновых полей, возбуждение, регистрация и анализ которых достигается с помощью методов шахтной сейсморазведки при поисках геологических нарушений угольных пластов.

Структуры реальных сейсмограмм, полученных в результате натуральных экспериментов на шахтах Донбасса, несмотря на разнообразие и сложность горно-геологических условий залегания угольных пластов, имеют подобное строение. Наиболее часто в состав сейсмограмм входят пакеты боковых волн сжатия и сдвига (со скоростями, соответствующими пластам пород, граничащих с углем) [3]. Иногда присутствуют волновые пакеты, которые можно идентифицировать как каналовые [3, 4]. Этот факт являет-

ся предпосылкой разработки обобщенных сейсмогеологических, а затем и физико-математических моделей, используемых при проведении как теоретических исследований, так и реальных прогнозных экспериментов по описанию горно-геологических условий описания угольных пластов. На этой основе актуальной научной задачей является установление обобщенных характеристик сейсмических волновых полей, наблюдаемых в условиях Донбасса и других угольных бассейнов Украины.

Предпосылкой возможности решения данной задачи является разработанные ранее различными авторами обобщенные сейсмогеологические модели горно-геологических условий залегания угольных пластов [2-4]. Причем в ряде работ были построены модели, соответствующие различным стадиям эпигенеза пород и метаморфизма углей, установлены обобщенные значения физико-механических характеристик угля и вмещающих пород. Отдельно следует отметить работу [3], в которой для целого ряда симметричных относительно угольного пласта разрезов были установлены обобщенные характеристики волновых полей, и работу [2], в которой представлено 5 основных типов сейсмогеологических разрезов угольных пластов Донбасса. Анализ полученных в [2] сейсмогеологических разрезов угольных пластов Донбасса позволяет разделить их на две группы.

В первой группе (см. рис. 1) представлены симметричный и асимметричный волноводы простого строения, образованные угольным пластом со средней мощностью 1 м и вмещающими породами, представленными преимущественно песчаником либо алевролитом. Во второй группе (см. рис. 2) присутствуют волноводы сложного строения, образованные угольным пластом со средней мощностью 1 м и аргиллитом (2-3 м) и вмещающими породами, также представленными преимущественно песчаником либо алевролитом.

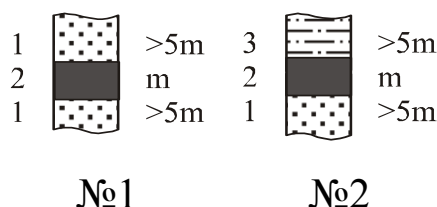


Рис. 1. Основные типы сейсмогеологических разрезов угольных пластов Донбасса [2], описывающие волноводы простого строения (1 – песчаник, 2 – уголь, 3 – алевролит)

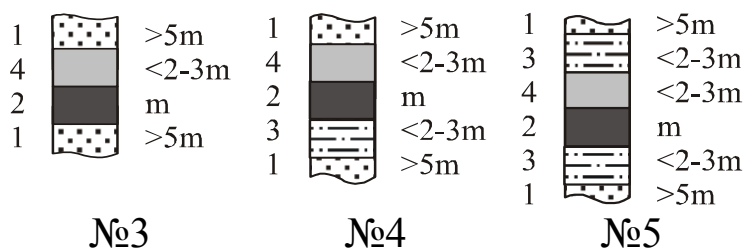


Рис. 2. Основные типы сейсмогеологических разрезов угольных пластов Донбасса [2], описывающие волноводы сложного строения (1 – песчаник, 2 – уголь, 3 – алевролит, 4 – аргиллит)

На основе данных типов сейсмогеологических разрезов были разработаны физико-математические модели, опирающиеся на типичные литотипы боковых пород, преобладающие мощности слагающих слоев пород и угольного пласта, интервальные значения плотности и скорости распространения продольных и поперечных волн по маркам угля для условий Донбасса, полученные в [4] (см. табл. 1 в [4]). Далее было проведено математическое моделирование с помощью разработанного авторами настоящей статьи комплекта программ, предназначенного для описания сейсмических волновых полей. Указанный комплект является усовершенствованной версией пакета программ [5], использованного ранее как в теоретических исследованиях [2, 3, 6, 7], так и при решении конкретных технологических задач [2]. При этом использовалась модель источника (задаваемая последовательным набором значений смещений среды в точке, соответствующей местоположению пункта возбуждения) с частотным диапазоном до 1000 Гц, хорошо зарекомендовавшая себя в ранее проведенных исследованиях [2, 3, 6, 7]. Расстояние от точки возбуждения колебаний до точки приема принималось равным 150 м.

Математическое моделирование сейсмических колебаний в угленосной толще было использовано в качестве инструмента теоретического анализа для всего представленного ряда сейсмогеологических разрезов с углями всех марок. Основанием для общего подхода при моделировании является однообразие литолого-стратиграфического строения всей толщи угленосной формации Донбасса с различиями в разных районах лишь по стадии эпигенеза пород и метаморфизма углей и, соответственно, рас-

пространения углей различного марочного состава и вмещающих пород с различными значениями физических свойств, соответствующими различным стадиям эпигенеза [1, 2]. Полученные в результате моделирования наборы теоретических сейсмограмм анализировались с помощью встроенных в программный комплекс средств обработки.

На рис. 3 представлены примеры теоретических сейсмограмм, полученных для физико-математических моделей приведенных выше обобщенных сейсмогеологических разрезов. В данном случае, при расчетах были использованы значения физико-механических параметров, соответствующих интервалу петрофизического разреза Донбасса, вмещающему угли марки Ж, как наиболее характерному для основных эксплуатируемых в настоящее время шахтных полей (ш. «Красноармейская-Западная №1», ш. «Краснолиманская», ш. им. А.Ф. Засядько и др.) [2]. Представленные примеры отражают типичные для обобщенных сейсмоакустических разрезов структуры волновых полей. Вне зависимости от стадии эпигенеза пород и метаморфизма углей для средней по Донбассу мощности угольного пласта равной 1 м можно различить два характерных вида структур. В горно-геологических условиях, соответствующих разрезам №1 и №2, образуются волновые поля, состоящие из пакетов продольных и поперечных боковых волн. В условиях типов разрезов от №3-№5 наряду с продольными и поперечными боковыми волнами образуются каналовые волны, соответствующие волноводу сложного строения, состоящему из угольного пласта и прилегающего к нему аргиллита.

Рассмотрим этот вопрос подробнее, проанализировав характеристики сейсмограмм, представленных в качестве примера на рис. 3. Структуры теоретических сейсмограмм для X компоненты поля сейсмических колебаний для моделей №1, №2 подобны. Они, как было отмечено выше, состоят из двух волновых пакетов. Первый – боковая волна сжатия (А) с диапазоном частот от 60 до 250 Гц (скорость ее прихода 3900 м/с). Второй – боковая волна сдвига (Б) с диапазоном частот от 90 до 250 Гц (2000-2200 м/с) на ее начальном участке и с частотой до 500 Гц в хвостовой части (Б*). Таковую же

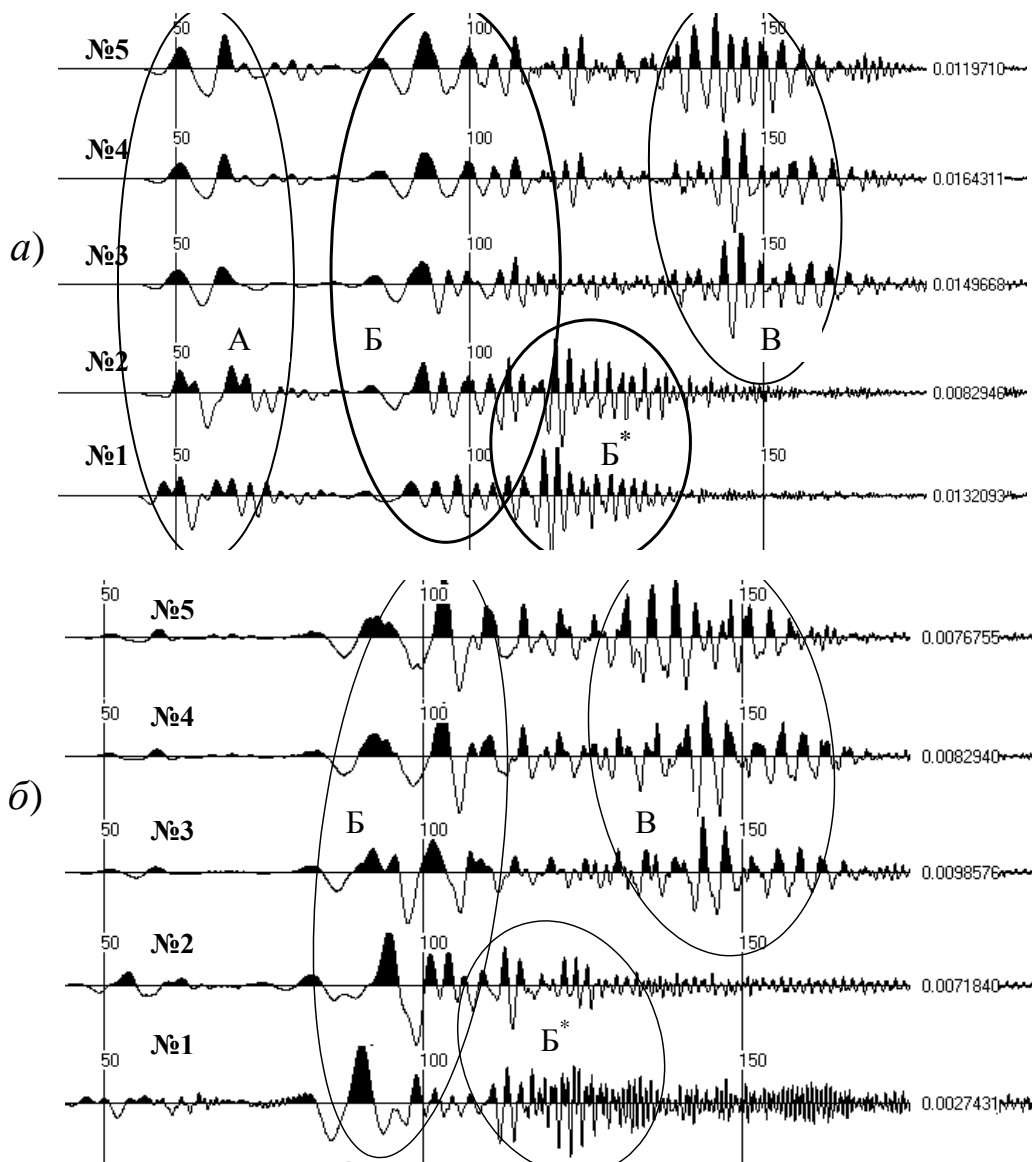


Рис. 3. Типичные теоретические сейсмограммы, полученные для моделей обобщенных сейсмогеологических разрезов: а) X компонента; б) Z компонента.

А – волновые пакеты, образованные продольными боковыми волнами;
 Б, - волновые пакеты, образованные поперечными боковыми волнами;
 Б*, - хвостовая часть пакета боковых волн сдвига для моделей №1 и №2;
 В – волновые пакеты, образованные каналовыми волнами, соответствующими волноводу «угольный пласт + аргиллит»

структуру имеют и сейсмограммы для Z компоненты. Одно отличие – боковая волна сжатия имеет сравнительно слабую амплитуду. Интересен факт, что боковая волна сдвига имеет сложную структуру. Ее можно условно разделить на составные части: низ-

37

кочастотную и высокочастотную, которые обозначены на рис. 2 как (Б) и (Б*) соответственно. Природа низкочастотной составляющей не вызывает сомнения (например, по скоростному признаку: она распространяется со скоростью поперечных волн во вмещающих породах). При определении природы высокочастотной составляющей в первую очередь рассматривался вопрос о том, не является ли этот пакет разновидностью каналовой волны. Однако данные поляризационного анализа это опровергают (см. рис. 4). Как известно из положений теории [8], каналовые волны должны иметь круговую поляризацию.

Результаты моделирования обобщены в табл. 1, в которой приведены усредненные амплитудные и частотные характеристики волновых пакетов, формируемых в горно-геологических условиях залегания угольных пластов, соответствующих сейсмогеологическим разрезам №1 и №2. По каждой из моделей были проведены 3-5 расчетов волновых полей с различными вариациями физико-механических свойств угля и вмещающих пород. Мощность угольного пласта принималась равной 1 м. Анализ приведенных результатов показывает, что сложное строение пакета боковых волн сдвига не характерно для пластов с углями марок Б и Д, где доминирующее значение имеют «классические» боковые волны сжатия и сдвига. Каналовые волны практически не образуются.

Теперь рассмотрим подробнее модели обобщенных сейсмогеологических разрезов №3, №4 и №5. Структуры теоретических сейсмограмм (см. рис. 3) для X компоненты поля сейсмических колебаний практически идентичны. Они состоят из трех волновых пакетов. Первый – боковая волна сжатия с диапазоном частот от 40 до 200 Гц (скорость ее прихода 3700 м/с). Второй – боковая волна сдвига с диапазоном частот от 80 до 250 Гц (2000-2200 м/с). Третий – волна с частотой от 350 до 550 Гц. Сейсмограммы для Z компоненты волнового поля состоят из двух волновых пакетов. Первый – боковая волна сдвига с диапазоном частот от 90 до 250 Гц (2000-2200 м/с). Второй – волна, с частотой от 350 до 550 Гц, аналогичная наблюдаемой на X компоненте. Боковая волна сжатия столь слаба (менее 10 % от амплитуды сигнала),

что едва прослеживается. Для данных моделей третий пакет на сейсмограммах X компонент (второй на сейсмограммах Z компонент) не является каналовой волной, если рассматривать в качестве волновода угольный пласт. В то же время, данная волна отвечает всем характеристикам каналовой, если рассматривать в качестве эффективного волновода угольный пласт в совокупности с вышележащим аргиллитом, являющимся характерной особенностью указанных трех моделей. Во-первых, она располагается в скоростном окне от 1200 м/с до 900 м/с, что соответствует значениям скоростей волн соответствующего типа для эффективного волновода «пласт+аргиллит», рассчитанным по методике, изложенной в [2]. Во-вторых, она имеет ярко выраженную круговую поляризацию (см. рис. 4).

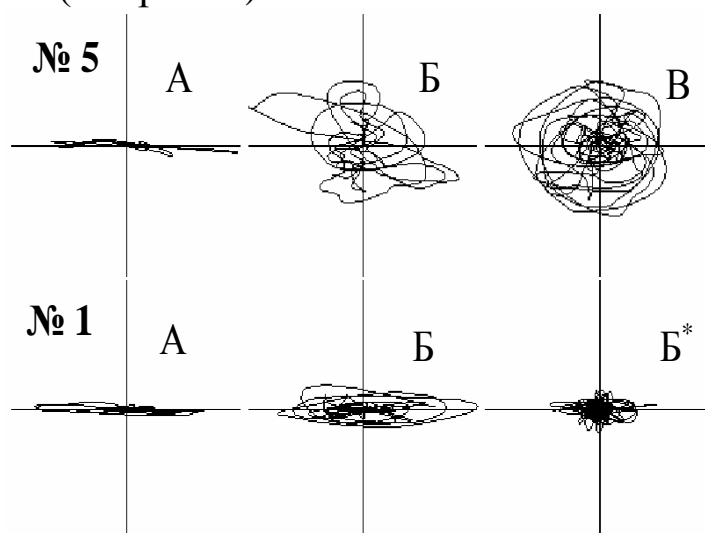


Рис. 4. Типичные поляризационные диаграммы волновых пакетов, полученные для моделей обобщенных сейсмогеологических разрезов (уголь марки «Ж»):

- А – волновые пакеты, образованные продольными боковыми волнами;
- Б – волновые пакеты, образованные поперечными боковыми волнами;
- Б* – хвостовая часть пакета боковых волн сдвига для моделей №1 и №2;
- В – волновые пакеты, образованные каналовыми волнами, соответствующими волноводу «угольный пласт + аргиллит»

Это верно и для всех стадий эпигенеза угля. Такой вывод был сделан в результате анализа расчетов, проведенных для всего набора возможных моделей (для всех марок углей от «Б» до «А»). Результаты моделирования обобщены в табл. 2. Как и в преды-

дущем случае, для каждой модели были проведены 3-5 расчетов волновых полей с различными вариациями физико-механических свойств угля и вмещающих пород. Мощность угольного пласта принималась равной 1 м, а мощность аргиллита 2 м.

Таблица 1

Усредненные амплитудные и частотные характеристики волновых пакетов, формируемых в горно-геологических условиях залегания угольных пластов, соответствующих обобщенным сейсмогеологическим разрезам №1 и №2

Марка угля	Номер модели	Амплитуда пакетов X компоненты (в % от максимальной) Доминирующая частота (Гц)			Амплитуда пакетов Z компоненты (в % от максимальной) Доминирующая частота (Гц)		
		Боковая волна сжатия	боковая волна сдвига		Боковая волна сжатия	боковая волна сдвига	
			Начало	Конец		Начало	Конец
Б	1	100 35-150	15-25 70-200	5-10 -	10-30 60-160-	100 45-225	5-10 -
	2	100 35-150	15-25 65-200	5-10 -	10-25 65-160-	100 55-225	5-10 -
Д	1	100 40-150	30-45 80-220	5-10 -	Менее 5 -	100 75-250	5-10 -
	2	100 40-150	25-50 80-230	5-10 -	Менее 5 -	100 80-250	5-10 -
Г, Ж	1	60-80 60-180	40-60 90-250	100 150-500	Менее 5 -	100 80-250	50-75 150-550
	2	60-80 55-180	60-80 90-250	100 150-500	Менее 5 -	100 90-250	50-75 175-500
К, ОС, Т	1	50-75 60-180	35-60 90-250	100 150-500	5-10 -	100 80-250	50-80 175-525
	2	40-75 60-200	40-60 90-270	100 150-550	5-10 -	100 85-270	50-75 150-550
А	1	40-60 60-210	35-50 100-270	100 200-550	5-15 60-250	100 100-270	40-60 200-525
	2	50-75 55-210	35-50 100-270	100 200-550	5-15 60-250	100 90-270	30-50 225-550

При моделировании не в полной мере учитывался такой важный фактор как затухание колебаний, поскольку на современном уровне это в рамках МКР не представляется возможным [2, 7]. Используемая рядом исследователей [1, 2, 7] частотная

фльтрації итогових сейсмограм дозволяє лише частично урахувати данню особливість. Проведені в рамках нинішнього дослідження численні експерименти показали, що для моделей №3-№5 характерні інтенсивні хвильові пакети каналових хвиль, відповідних хвильоводу «угільний пласт+аргиліт», присутні і на відфільтрованих сейсмограмах. Їх частота коливань в діапазоні від 150 до 300 Гц. Наблюдення інтенсивних хвильових пакетів в частотному діапазоні 150-250 Гц, що мають суттєву дисперсію і іншими характеристиками каналових хвиль, в практиці шахтної сейсморозвідки є типовою картиною [1-3]. Можна вважати установленним фактом, що їх природа пов'язана з наявністю ефективних хвильоводів.

Приведені вище результати аналізу хвильових полів базувалися на розрахунках, в яких потужність пласта приймалася рівною 1 м. На наступному етапі досліджувалася залежність структури і характеристик хвильового поля від зміни даного параметра. При цьому значення потужності варіювалося від 0,6 м до 2,1 м. На рис. 5 представлені теоретичні сейсмограми X і Z компонент поля сейсмічних коливань, отримані для розрізу №1. Якщо потужність пласта мала (до 1 м), то, як було показано вище, домінують бічні хвилі стиснення і зсуву, що поширюються зі швидкостями поширення хвиль відповідних типів в вмещаючих породах. На пластах від 1,2 м і товщі, поступово виділяючись в окремі хвильові пакети, поступово проявляються «класичні» каналові хвилі і структура сейсмограми трансформується в вигляд, характерний для розрізів №3, №4 і №5. Каналові хвилі мають дуже широкий спектр (від 250 до 800 Гц). Діапазон частот бічних хвиль практично не змінюється, хоча на пластах потужністю 1,2 м і більше спостерігається різке змінювання співвідношення амплітуд максимумів частотних спектрів бічних хвиль в сторону відносного ослаблення хвилі стиснення. При цьому частота максимуму хвиль зсуву зсувається на 25-35 Гц в високочастотну область. Розрахунки, проведені на моделях, відповідних розрізу №2 дають ті ж результати.

Таблица 2

Усредненные амплитудные и частотные характеристики волновых пакетов, формируемых в горно-геологических условиях залегания угольных пластов, соответствующих обобщенным сейсмогеологическим разрезам №3, №4 и №5

Марка угля	№ модели	Амплитуда пакетов X компоненты (в % от максимальной) Доминирующая частота (Гц)			Амплитуда пакетов Z компоненты (в % от максимальной) Доминирующая частота (Гц)		
		боковая волна сжатия	боковая волна сдвига	Каналовая волна, образованная волноводом сложного строения	боковая волна сжатия	боковая волна сдвига	Каналовая волна, образованная волноводом сложного строения
Б	3	<u>100</u> 35-165	<u>30-40</u> 75-250	<u>50-65</u> 300-550	<u>5-15</u> 55-165	<u>100</u> 80-275	<u>80-100</u> 300-550
	4	<u>100</u> 35-160	<u>30-40</u> 75-250	<u>40-70</u> 300-550	<u>5-15</u> 40-150	<u>100</u> 80-260	<u>80-100</u> 300-550
	5	<u>100</u> 35-165	<u>30-50</u> 80-250	<u>50-70</u> 325-550	<u>5-15</u> 50-165	<u>100</u> 90-250	<u>80-100</u> 325-550
Д	3	<u>100</u> 35-170	<u>50-60</u> 65-250	<u>80-100</u> 300-550	<u>Менее 5</u> -	<u>100</u> 90-260	<u>80-100</u> 300-550
	4	<u>90-100</u> 35-165	<u>90-100</u> 70-240	<u>65-85</u> 325-550	<u>Менее 5</u> -	<u>100</u> 90-250	<u>80-100</u> 325-550
	5	<u>90-100</u> 40-165	<u>90-100</u> 70-240	<u>65-85</u> 300-550	<u>Менее 5</u> -	<u>100</u> 85-265	<u>80-100</u> 300-550
Г, Ж	3	<u>35-50</u> 35-175	<u>45-60</u> 70-240	<u>100</u> 300-550	<u>5-10</u> 50-175	<u>80-100</u> 90-250	<u>80-100</u> 300-550
	4	<u>45-60</u> 30-180	<u>45-70</u> 70-230	<u>100</u> 300-525	<u>5-10</u> 50-180	<u>80-100</u> 90-250	<u>80-100</u> 300-550
	5	<u>60-80</u> 35-180	<u>60-80</u> 80-230	<u>100</u> 300-525	<u>5-10</u> 50-180	<u>80-100</u> 80-250	<u>80-100</u> 300-525
К, ОС, Т	3	<u>45-60</u> 40-175	<u>50-60</u> 70-260	<u>100</u> 325-525	<u>5-10</u> 55-180	<u>80-100</u> 90-260	<u>80-100</u> 325-525
	4	<u>45-60</u> 40-175	<u>50-70</u> 70-250	<u>100</u> 300-525	<u>5-10</u> 55-175	<u>80-100</u> 85-270	<u>80-100</u> 300-525
	5	<u>50-90</u> 35-180	<u>60-90</u> 80-250	<u>100</u> 300-525	<u>5-10</u> 50-180	<u>80-100</u> 90-270	<u>80-100</u> 300-525
А	3	<u>40-55</u> 35-210	<u>45-65</u> 75-260	<u>100</u> 325-550	<u>Менее 5</u> -	<u>60-90</u> 90-270	<u>100</u> 325-550
	4	<u>45-75</u> 35-220	<u>45-75</u> 80-250	<u>100</u> 350-550	<u>Менее 5</u> -	<u>50-70</u> 100-290	<u>100</u> 350-550
	5	<u>60-80</u> 40-210	<u>60-90</u> 80-250	<u>100</u> 350-550	<u>Менее 5</u> -	<u>50-70</u> 90-270	<u>100</u> 350-550

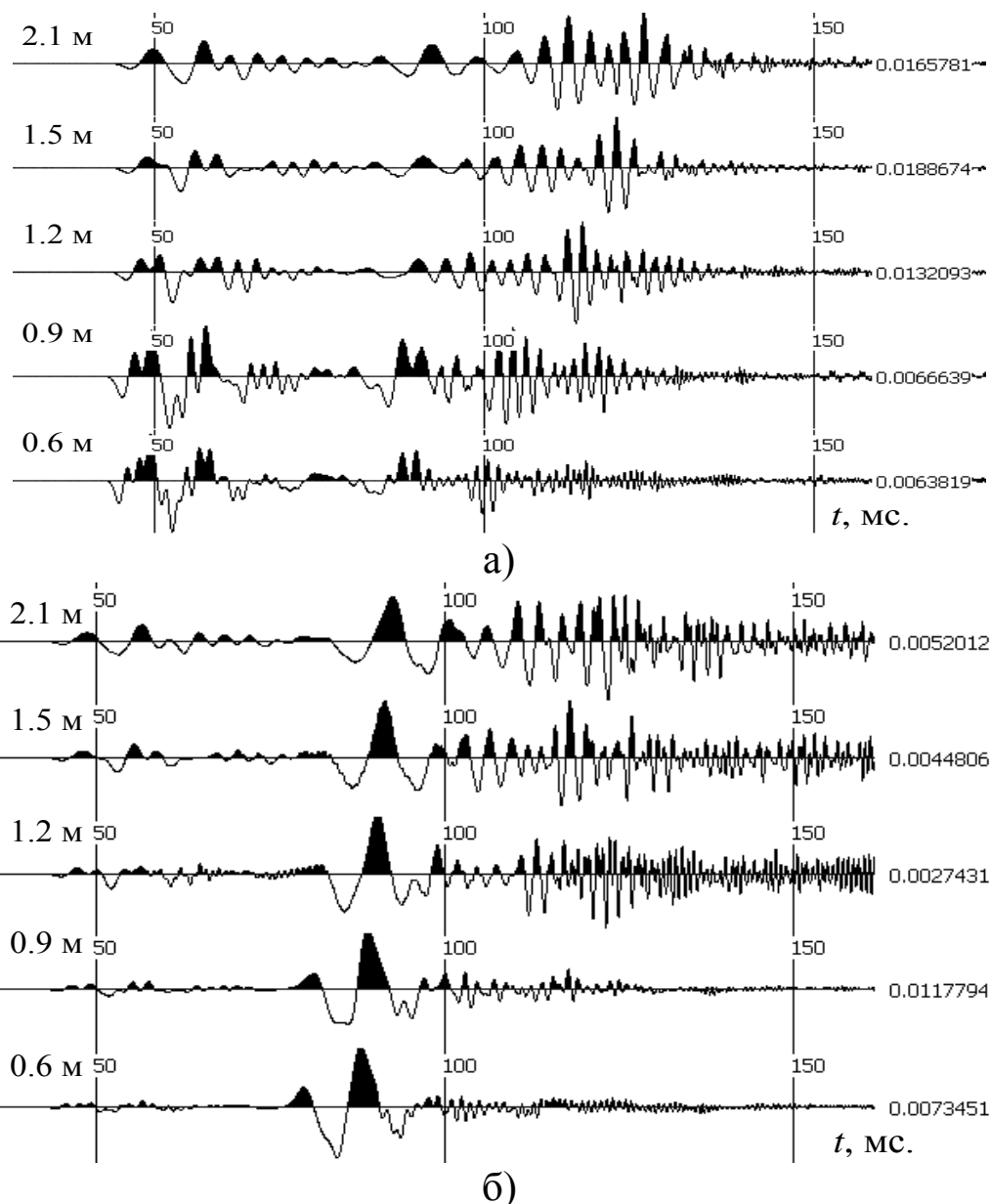


Рис. 5. Зависимость структуры теоретических сейсмограмм от мощности угольного пласта для модели сейсмогеологического разреза №1: а) X компонента, б) Z компонента. Расчеты проведены для условий, характерных для угля марки Ж

В итоге можно говорить о том, что для разрезов №1 и №2 увеличение мощности пласта приводит к трансформации структуры волнового поля к виду, характерному для разрезов №3, №4 и №5.

Расчеты на моделях, соответствующих сейсмогеологическим разрезам №3, №4 и №5, показали, что увеличение мощности угольного пласта также влечет за собой изменение структуры

сигнала. Формируется высокочастотный (500-800 Гц) волновой пакет – каналовая волна, образуемая отдельно угольным пластом.

Поскольку выяснено, что залегающий в кровле угольного пласта аргиллит приводит к формированию эффективного волновода, следует рассмотреть вопрос о том, каким образом его мощность влияет на структуру волнового поля и характеристики волновых пакетов.

На рис. 6. приведены наборы теоретических сейсмограмм для различных мощностей пласта аргиллита для модели сейсмогеологического разреза №5. Они иллюстрируют тот факт, что присутствие в кровле угольного пласта даже сравнительно тонкого пласта аргиллита (около 0,5 м) вызывает появление соответствующей каналовой волны. При этом первой реагирует Z компонента колебаний, для которой характерно перераспределение наиболее интенсивной части колебаний в высокочастотную область от 400 до 600 Гц.

При дальнейшем увеличении мощности пласта аргиллита происходит перераспределение интенсивности колебаний X компоненты колебаний. В итоге формируется интенсивная каналовая волна диапазоном частот от 350 до 600 Гц и максимумом спектра на частоте 500 Гц.

Таким образом, применительно к волнам Релея, можно сделать вывод о возможности разделения типичных горногеологических условий залегания угольных пластов Донбасса на две группы. К первой группе относятся условия, соответствующие сейсмогеологическим разрезам №1 и №2, характеризующимся волноводом простого строения. При проведении сейсмоакустических исследований на угольных пластах мощностью до 1 м, будут наблюдаться только боковые волны сдвига и сжатия. При увеличении мощности можно ожидать наблюдения высокочастотных каналовых волн. Ко второй группе относятся условия, соответствующие сейсмогеологическим разрезам №3, №4 и №5, характеризующимся волноводом сложного строения за счет присутствия аргиллита в кровле угольного пласта. В этом случае независимо от значения мощности пласта при мощности аргиллита более 0,5 м будут наблюдаться боковые волны сжатия и сдвига и каналовые волны,

формируемые волноводом «угольный пласт + аргиллит». Если мощность угольного пласта более 1,5 м, то возможно наблюдение второй каналовой волны, порождаемой волноводом «угольный пласт».

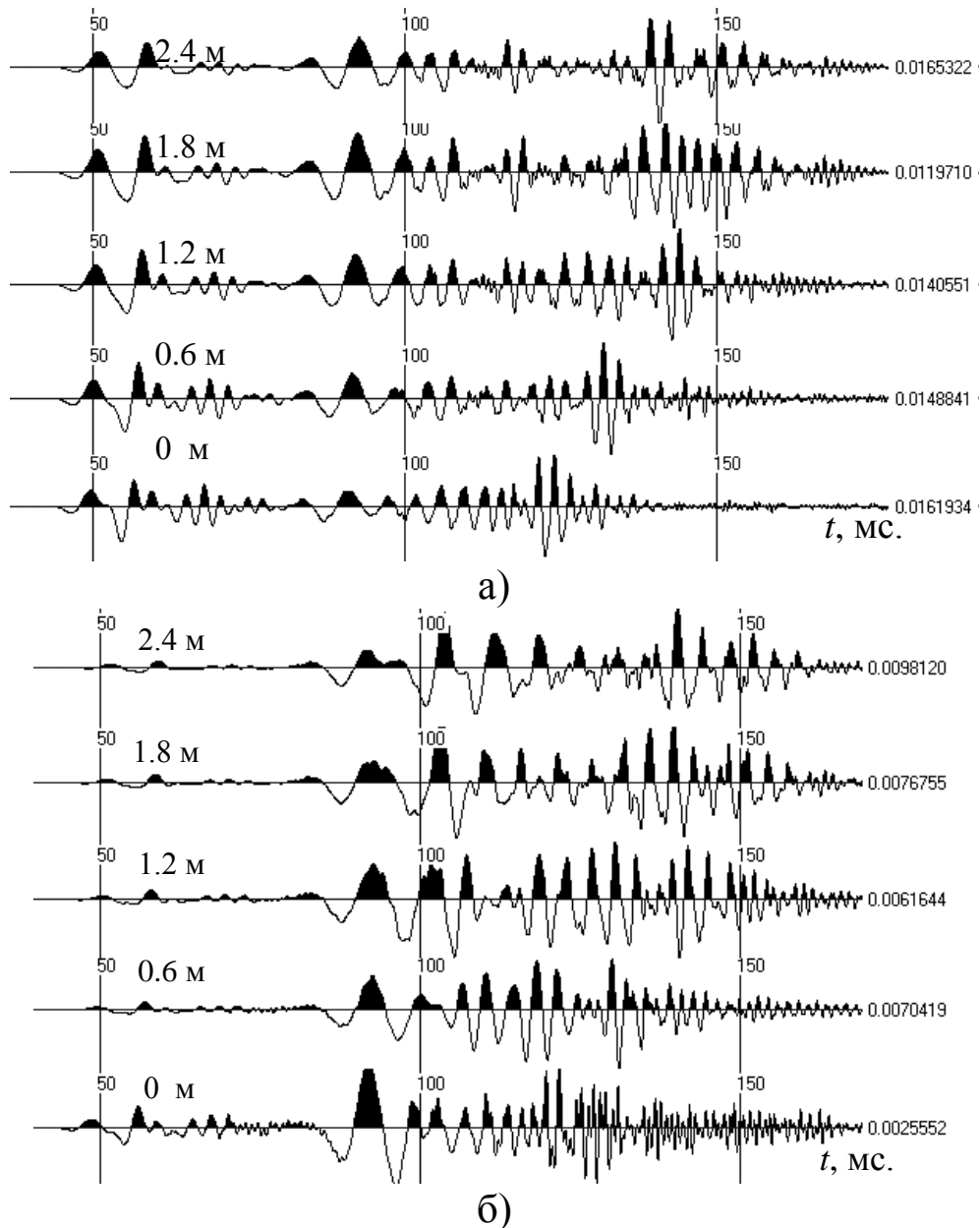


Рис. 6. Зависимость структуры теоретических сейсмограмм от мощности пласта аргиллита для модели сейсмогеологического разреза №5: а) X компонента, б) Z компонента). Расчеты проведены для условий, характерных для угля марки Ж

Полученные результаты удовлетворительно согласуются с практикой. На реальных сейсмограммах, полученных при исследованиях на ряде шахт Донбасса, четко выделяются сравнительно

низкочастотные интерференционные волны, обладающие значительной дисперсией. В качестве примера на рис. 7,а приведена сейсмогеологическая модель условий залегания пласта k_8 (ш. “Горская”). Она близка по строению к обобщенной сейсмогеологической модели №3. На участке, где проводились практические исследования сейсмоакустическими методами горногеологических условий залегания данного пласта, ее характерной особенностью является наличие в непосредственной кровле пласта аргиллита (мощностью 0,5-1,0 м), что обуславливает формирование эффективного волновода. Этому способствует наличие в кровле аргиллита пласта плотного известняка.

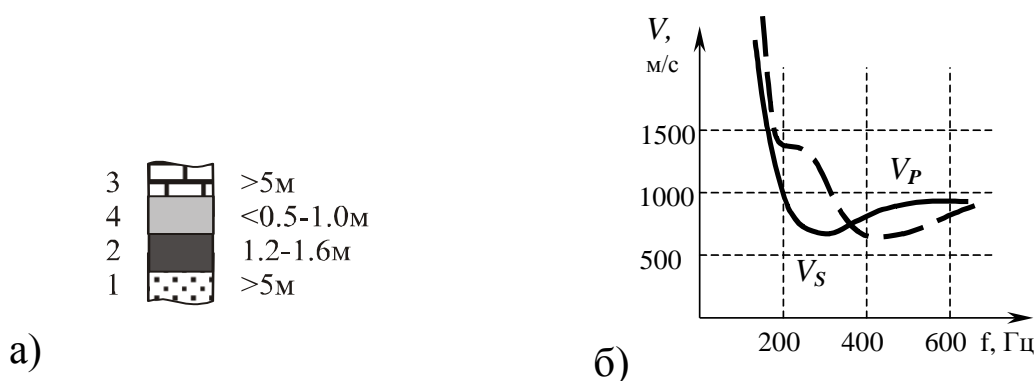


Рис. 7. Сейсмогеологическая модель (а) и дисперсионные кривые (б) для пласта K_8 ш. “Горская”

Дисперсионные кривые волн Релея (см. рис. 7, б) слева от минимума имеют локальные перегибы и экстремумы, которые свидетельствуют о возможности существования интерференционных волновых пакетов. На рис. 8 приведены реальные сейсмограммы, полученные на пласте k_8 шахты “Горская” в разных полосах фильтрации, на которых четко видны два пакета боковых волн (сжатия и сдвига) и каналовая волна, образованная волноводом сложного строения, состоящего из угольного пласта (1,3 м) и аргиллита (0,8 м).

Данный пример иллюстрирует отличную сходимость результатов теоретических расчетов и данных, полученных в реальных условиях Донбасса.

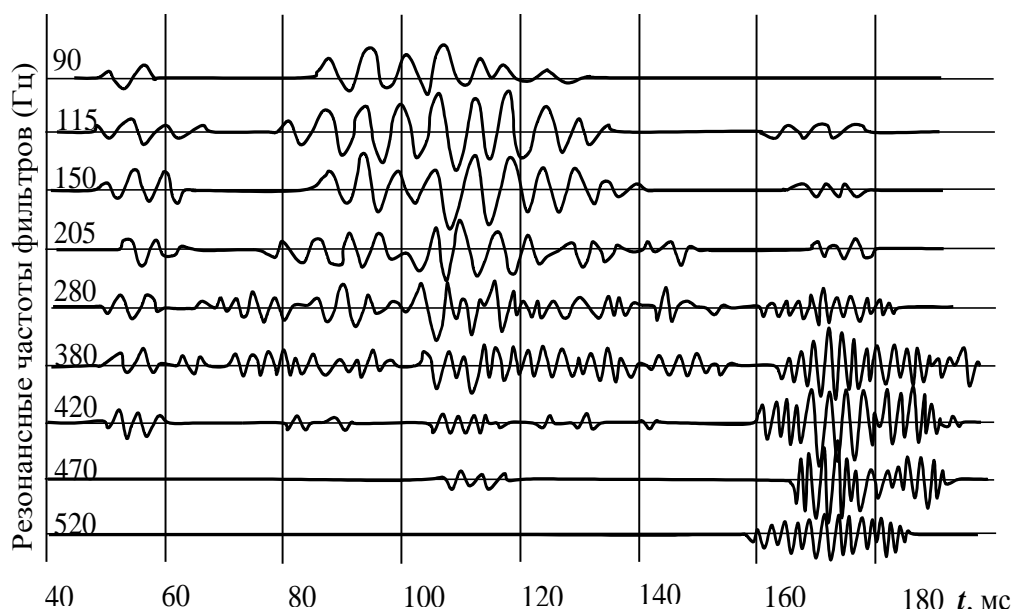


Рис. 8. Реальные сейсмограммы, полученные на пласте k_8 шахты «Горская» в разных полосах фильтрации

Шахта им.60-летия ВОСР отрабатывает угольный пласт m_3 простого строения, мощностью 0,9-1,08 м, марка угля Т. Непосредственная кровля пласта представлена песчаником с прослойками песчаного сланца общей мощностью 2,7-4,3 м, выше залегает песчаный сланец мощностью 2,7-8,0 м. В почве пласта – песчаник мощностью 2,6-12,5 м. Эти горно-геологические условия соответствуют обобщенному сейсмогеологическому разрезу №1.

Реальные сейсмограммы, пример которых приведен на рис. 9 (получено с экрана персонального компьютера при обработке результатов сеймопросвечивания), состоят из двух волновых пакетов. Первый – боковая волна сжатия с диапазоном частот от 40 до 180 Гц и скоростью первого вступления 3950 м/с.

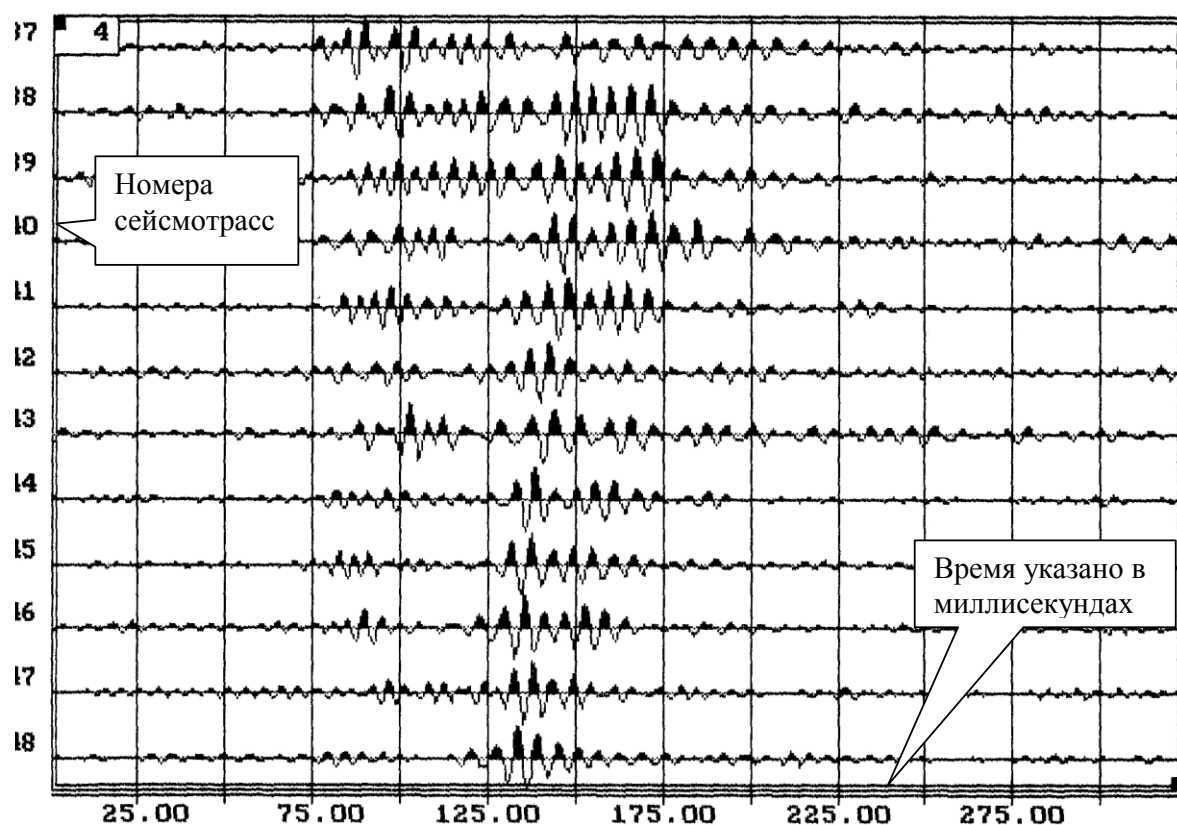


Рис. 9. Реальные сейсмограммы, полученные для шахты им. 60-летия ВОСР на угольном пласте m_3 (получено с экрана персонального компьютера при обработке результатов сеймопросвечивания)

Второй – боковая волна сдвига с диапазоном частот от 90 до 250 Гц. (2000-2250 м/с). Такую же структуру волнового поля прогнозируют проведенные выше расчеты.

Таким образом, в данной статье изложены результаты анализа волновых полей, используемых для прогноза горно-геологических условий залегания угольных пластов методами шахтной сейсморазведки. Представлены установленные в ходе исследований характерные структуры волновых полей и обобщенные характеристики волновых пакетов различной природы. Изложенные выше зависимости и закономерности изменения структуры волнового поля и характеристик отдельных волновых пакетов от горно-геологических условий залегания угольных пластов, мощностей и физико-механических свойств угольного пласта и вмещающих пород следует учитывать при разработке прогнозных критериев и интерпретации материалов шахтной сейсморазведки геологических нарушений угольных пластов. Их

использование уменьшит неоднозначность при интерпретации данных прогноза и повысит эффективность проведения натуральных сейсмических исследований.

Результаты данной статьи могут быть использованы специалистами в области шахтной и наземной сейсморазведки для разработки и усовершенствования методов прогноза горно-геологических условий залегания угольных пластов сейсмическим методом.

Список литературы

1. Азаров Н.Я., Яковлев Д.В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. – М.: «Недра», 1988. – 199 с.
2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: Алан, 2002. – 312 с.
3. Анциферов А.В. Обобщенные характеристики волновых полей, формируемых на угольных пластах Украины при применении сейсмоакустического метода прогноза условий залегания угля // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП. – 2002. – №6. – С. 105-115.
4. Комаров А.И. Влияние геологических факторов на параметры каналовых волн // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1993. – №128. – С. 59-68.
5. Анциферов А.В., Захаров В.Н, Глухов А.А. Комплект программ моделирования процесса распространения сейсмических волн в угленосной толще // Каталог программных средств / ГосФАП, Москва, 1991, №50910000379.
6. Глухов А.А. Математическое моделирование сейсмических полей в задачах шахтной сейсморазведки // Геотехническая механика. – 2004. – №49. – С. 87-92.
7. Анциферов А.В. Влияние резкости акустических границ на формирование акустического сигнала при применении метода сеймопросвечивания // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП. – 2001. – №4. – С. 55-63.
8. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах – М.: «Наука», 1973. – 343 с.

Стаття надійшла до редакції 21.05.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук К.К. Софійським

А.В. Анциферов, О.О. Глухов, О.І. Компанець

Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи, м. Донецьк

ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ПАРАМЕТРИ ХВИЛЬОВИХ ПОЛІВ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ШАХТНОЇ СЕЙСМОРОЗВІДКИ

У статті викладені результати аналізу хвильових полів, використовуваних для прогнозу гірничо-геологічних умов залягання вугільних пластів методами шахтної сейсморозвідки. Представлені встановлені в ході досліджень характерні структури хвильових полів і узагальнені характеристики хвильових пакетів різної природи.

Ключові слова: шахтна геофізика, каналові хвилі, геологічні порушення.

A.V. Antsiferov, A.A. Gluchov, A.I. Kompanets

Ukrainian State Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics and Mine Surveying, Donetsk

INFLUENCE OF GEOLOGICAL FACTORS ON PARAMETERS OF WAVE FIELDS IN SOLVING PROBLEMS MINE SEISMIC

The paper describes results of the analysis of wave fields used to predict mining-geological mode of occurrence of coal seams with the help of underground seismic methods. Typical wave field structures determined in the course of research and generalized responses of different wave trains are given.

Keywords: mine geophysics, channel waves, microfaults.

УДК 622.834

А.Н. Шашенко (д-р техн. наук, проф.), **Е.А. Сдвижкова** (д-р техн. наук, проф.), **Д.В. Бабец** (канд. техн. наук, доц.)
ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК

Разработана методика оценки устойчивости горных выработок, которая позволяет учесть на основе многофакторного анализа неоднородность породного массива, что проявляется в стохастическом разбросе свойств вмещающих пород.

Ключевые слова: стохастическая геомеханика.

Оценка состояния выработок и прогноз поведения вмещающих пород в течение их эксплуатации требуют рассмотрения конкретной геомеханической ситуации, которая очень часто не имеет аналогов в сходных условиях. В этом случае нельзя экстраполировать накопленные данные наблюдений и использовать имеющийся опыт, в большинстве случаев условия проведения и поддержания выработок следует рассматривать как специфические и выполнять прогноз состояния подземного сооружения на основе глубокого детального геомеханического мониторинга. Его составными частями являются контроль состояния породного массива и прогнозирование возможных изменений этого состояния на основе фундаментальных законов физики, а также известных методов механики твердого деформируемого тела. Однако часто за пределами исследований остается стохастический характер функционирования подземного сооружения.

Устойчивость подземной выработки определяется рядом факторов, численные характеристики которых могут меняться случайным образом. К ним относятся, прежде всего, деформационные и прочностные характеристики породной среды, параметры, характеризующие внешние нагрузки, геомеханические параметры подземных конструкций.

Изменчивость физико-механических характеристик породной среды является следствием ее естественной неоднородности и наблюдается даже в пределах одной литологической разности при испытании образцов горных пород.

Целью данной работы является разработка методики оценки устойчивости горных выработок, позволяющей учесть на основе многофакторного анализа неоднородность породного массива, которая проявляется в стохастическом разбросе свойств вмещающих пород.

Постановка задачи.

Авторами собран и обобщён большой объем статистической информации, содержащийся в различных источниках и касающийся количественных оценок физико-механических свойств углевмещающих пород.

Статистический анализ данных об основных деформационных и прочностных характеристиках горных пород позволил установить следующие тенденции:

- показатели свойств исследуемых горных пород обладают значительной (не ниже 45%) вариацией значений относительно среднего;
- соответствующие эмпирические законы распределения имеют, в основном, характер, который по асимметрии и эксцессу отличается от нормального.

Изменчивость свойств горных пород зависит от многих факторов. Одним из основных среди них является наличие трещиноватости, которая по разным причинам, всегда присуща породному массиву. В связи с этим было обращено внимание на следующее обстоятельство. При изготовлении породных образцов те из них, которые пересечены трещиной, разрушаются до начала испытаний и в обычных испытаниях не участвуют. Тем самым нарушается представление о прочности и деформируемости реального породного массива.

Исследование влияния трещин на статистические распределения количественных признаков.

В [1] обоснован способ определения статистических характеристик для так называемого, «исправленного» вариационного

ряда, в который условно добавлены элементы, содержащие макродефекты.

С учетом наличия систем трещин начальные моменты распределения (m_k) принимают вид:

$$m'_k = k_k \cdot \sum_{i=1}^n x_i^k \cdot w_i, \quad (1)$$

где $k_k = \frac{l_m + f^k(\theta)}{l_0} - \frac{l_m + 1}{l_0}$ - коэффициент влияния трещин,

x_i – наблюдаемое значение признака;

w_i – частота;

l_m – среднее расстояние между трещинами;

l_0 – характерный размер образца;

$f(\theta)$ – функция, учитывающая степень нарушенности дефектного образца.

С начальными моментами распределения (m_k) известными соотношениями связаны центральные моменты (μ_k), которые определяют дисперсию (D), относительную вариацию распределения (η), а также нормированные показатели асимметрии (β_1^2) и эксцесса (β_2). С учетом систем трещин, т.е. с учетом условного добавления в выработку нарушенных элементов, показатели разброса приобретают вид:

$$D' = m'_2 - (m'_1)^2,$$

$$\eta' = \frac{\sqrt{D'}}{m'_1} = \sqrt{\frac{K_2 m_2 - K_1^2 m_1^2}{K_1^2 m_1^2}} = \sqrt{\frac{K_2}{K_1^2} A_2 - 1} = \sqrt{\frac{K_2}{K_1^2} (\eta^2 + 1) - 1}. \quad (2)$$

Здесь η - относительная вариация значений деформационной или прочностной характеристики для исходной выборки, полученной непосредственно при испытании образцов.

Показатели асимметрии и эксцесса также изменяются с учетом систем трещин:

$$\beta_1^{2'} = \frac{\left(\frac{1}{K^2}A_3 - 3\frac{1}{K}A_2 + 2\right)^2}{\left(\frac{1}{K}A_2 - 1\right)^3}, \quad \beta_2' = \frac{\frac{1}{K^3}A_4 - 4\frac{1}{K^2}A_3 + 6\frac{1}{K}A_2 - 3}{\left(\frac{1}{K}A_2 - 1\right)^2}, \quad (3)$$

где $A_k = \frac{m_k}{m_1^k}$.

Из графиков на рис. 1 видно, что с уменьшением расстояния между трещинами значения асимметрии и эксцесса увеличиваются. Точки с координатами (β_1^2, β_2) на графике Пирсона (рис. 2) с

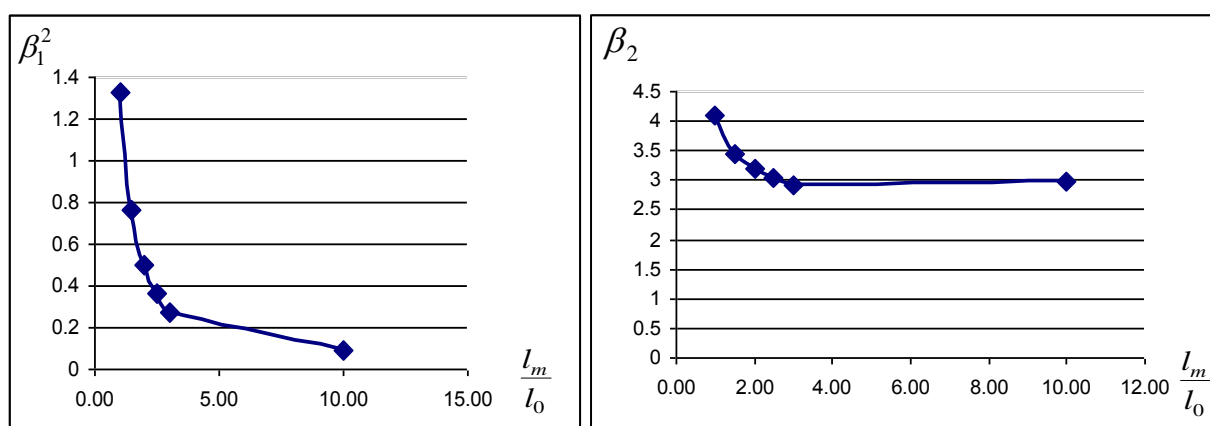


Рис. 1. Зависимость моментов «исправленного ряда» от расстояния между трещинами

увеличением плотности трещин все больше удаляются от точки, соответствующей нормальному закону приближаясь к гамма-распределению, распределению Вейбулла и логарифмически нормальному распределению.

Таким образом, установлено, что наличие трещин в реальном породном массиве не только оказывает влияние на статистические оценки исследуемого признака, но и меняет закон распределения вероятностей всех его механических параметров. Причем степень отклонения эмпирического закона распределения от симметричного определяется расстоянием между трещинами.

Разработка алгоритма моделирования изменчивости свойств горных пород в геомеханических расчетах.

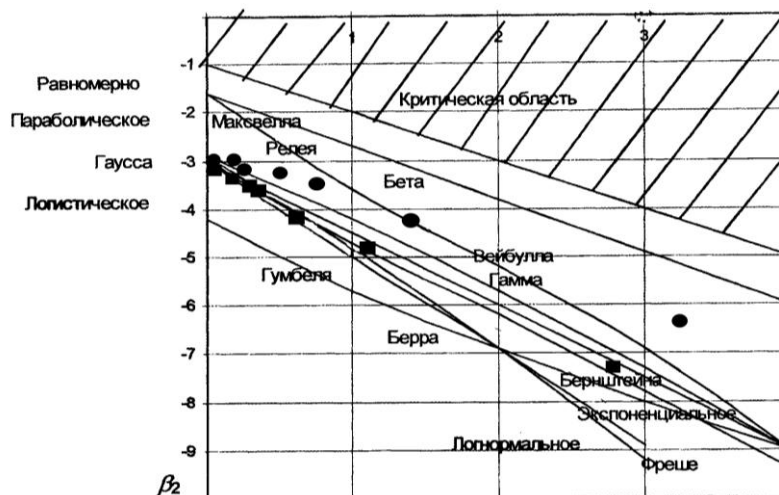


Рис. 2. Диаграмма Пирсона с точками для статистических распределений, в которые условно внесены элементы с макродефектами: ● - точки, соответствующие исходному ряду с соотношением начальных моментов $\frac{m_1}{m_2}=2$;

■ - точки, соответствующие исходному ряду с соотношением начальных

$$\text{моментов } \frac{m_1}{m_2}=3$$

С учетом указанного выше обстоятельства, на основе метода конечных элементов разработан алгоритм учета стохастической изменчивости физико-механических свойств породного массива. Для отражения случайного распределения свойств в каждой точке массива использованы приемы имитационного моделирования, суть которого состоит в проведении на вычислительной машине статистического эксперимента с моделью исследуемой системы.

В алгоритм МКЭ с использованием метода инверсии включен модуль, реализующий в каждом конечном элементе генерацию случайных значений модуля упругости E , коэффициента Пуассона ν и пределов прочности на одноосное сжатие R_c и растяжение R_p в соответствии с определенным законом распределения.

На первом этапе расчетов влияние естественного разброса исходных данных исследовалось на модели упругой среды. Линейное деформирование в соответствии с законом Гука опреде-

ляют такие константы как модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Чтобы проследить влияние вариации этих факторов на перемещения контура выработки была выбрана наиболее простая расчётная схема – плоское сечение одиночной выработки, деформирующейся под действием гравитационных сил (рис. 3).

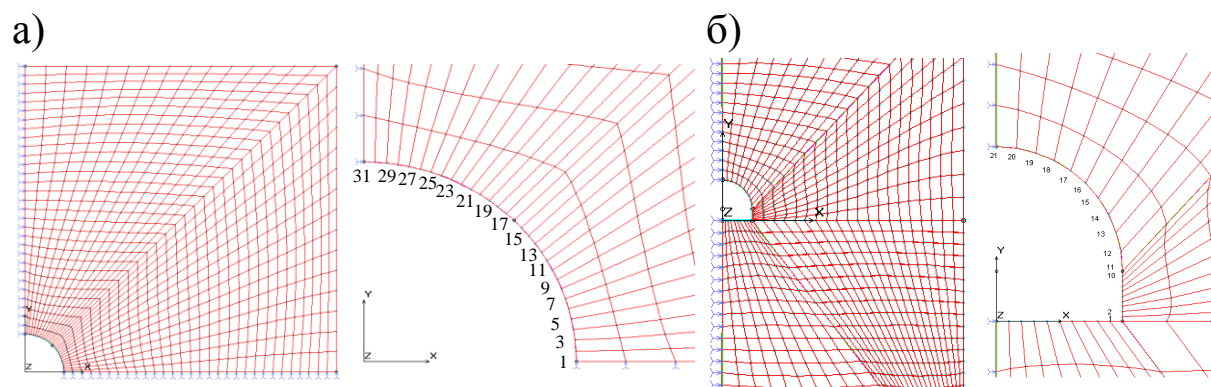


Рис. 3. Конечно-элементная аппроксимация исследуемой области: а) выработка круглой формы; б) арочной

Исследования показали, что перемещения точек контура в линейной среде с усредненными свойствами ($U^{одн}$) на 10-15% меньше чем перемещения этих же точек в среде со стохастическим распределением свойств ($U^{стox}$). Зависимость различия между величинами смещений ΔU , $\left(\Delta U = \frac{U_{max}^{стox} - U_{max}^{одн}}{U_{max}^{одн}} \cdot 100\% \right)$ от вариации модуля упругости η_E и коэффициента Пуассона η_ν имеет вид монотонно возрастающей функции логарифмического вида (рис. 4).

Отметим что, в линейно-деформируемой среде изменчивость деформационных констант не вызывает качественного изменения распределения перемещений точек приконтурного массива, поэтому следующим этапом исследований было решение задачи о напряженно-деформированном состоянии массива вокруг выработки с учетом деформирования пород за пределом прочности.

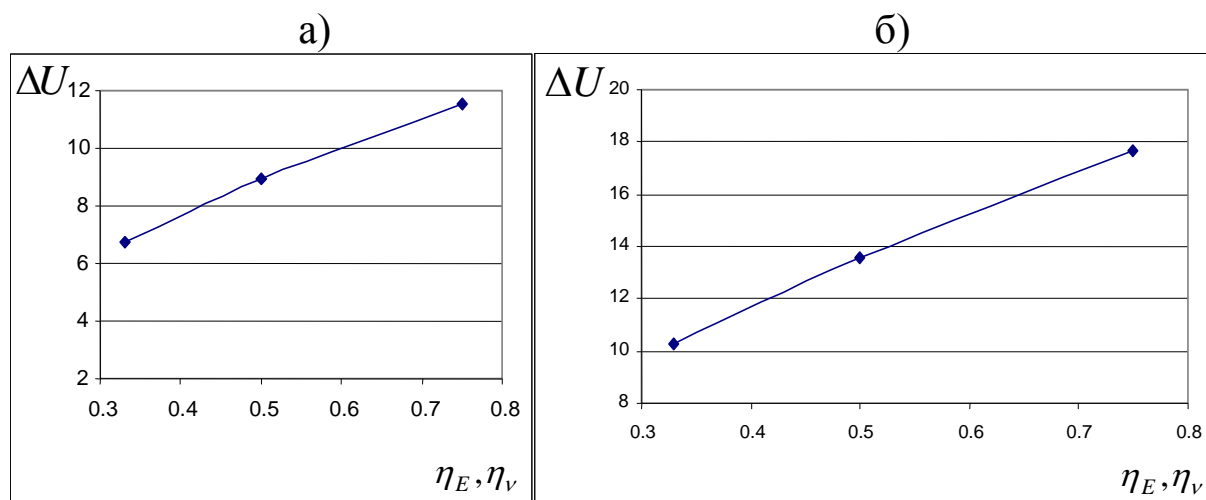


Рис. 4. Влияние вариации модуля упругости и коэффициента Пуассона на приращение перемещений контура выработки в линейной стохастически неоднородной среде: а) выработка круглой формы; б) арочной формы

При этом важнейшим параметром, который определяет развитие деформационного процесса, является предел прочности на сжатие.

Изменчивость предела прочности, а также одновременная изменчивость модуля упругости и коэффициента Пуассона вызывает изменчивость предельной деформации ε_c . При этом образуется стохастическая совокупность кривых « $\sigma - \varepsilon$ », которые отражают деформационный процесс в различных точках неоднородного массива (рис. 5).

Для построения ниспадающих ветвей возможных случайных реализаций диаграммы « $\sigma - \varepsilon$ » используется соотношение: $\sigma_1 = R_c - f(\varepsilon_1 - \varepsilon_c)$; $f(0) = 0$, $\frac{\partial f}{\partial \varepsilon} < 0$, которое представляет собой описание закономерной составляющей общего стохастического процесса деформирования пород за пределом прочности [2].

Для исследования влияния изменчивости свойств горных пород на величину перемещений, все элементы дискретизации области были распределены по 90 группам. Для каждой из групп в расчете генерировались случайные значения основных физико-механических характеристик и строились случайные диаграммы одноосного сжатия « $\sigma \sim \varepsilon$ ». Генерация осуществлялась по равномерному, нормальному и логарифмически нормальному зако-

нам распределения с различными значениями коэффициентов вариации, которые свойственны данному механическому параметру.

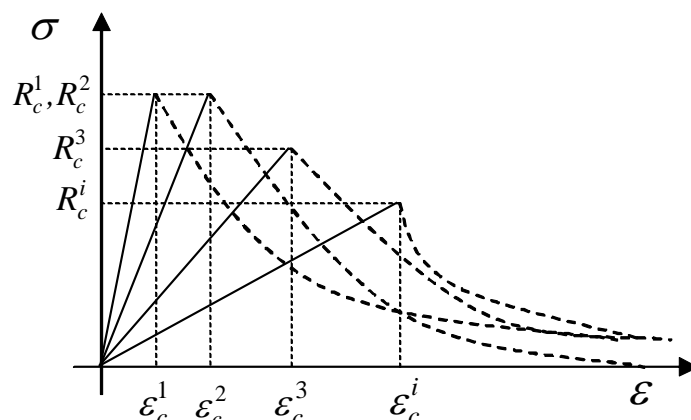


Рис. 5. Стохастическая совокупность реализаций диаграммы “ $\sigma - \varepsilon$ ”

Из рисунков 6 и 7 следует, что стохастический разброс свойств горных пород оказывает существенное влияние на состояние приконтурного массива, в частности увеличивает перемещения породного контура на 40-50%.

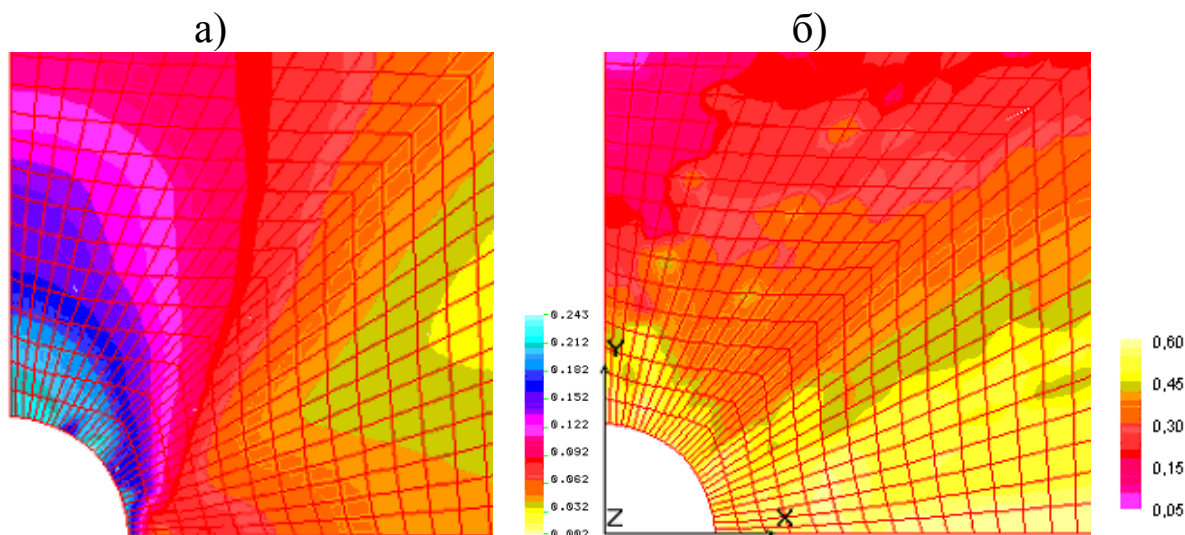


Рис. 6. Распределение перемещений после завершения итерационного процесса, полученные с учетом разупрочнения пород: а) в среде с усредненными значениями свойств горных пород; б) в стохастически неоднородной среде с максимальной вариацией модуля упругости, коэффициента Пуассона, пределов прочности на одноосное сжатие и растяжение

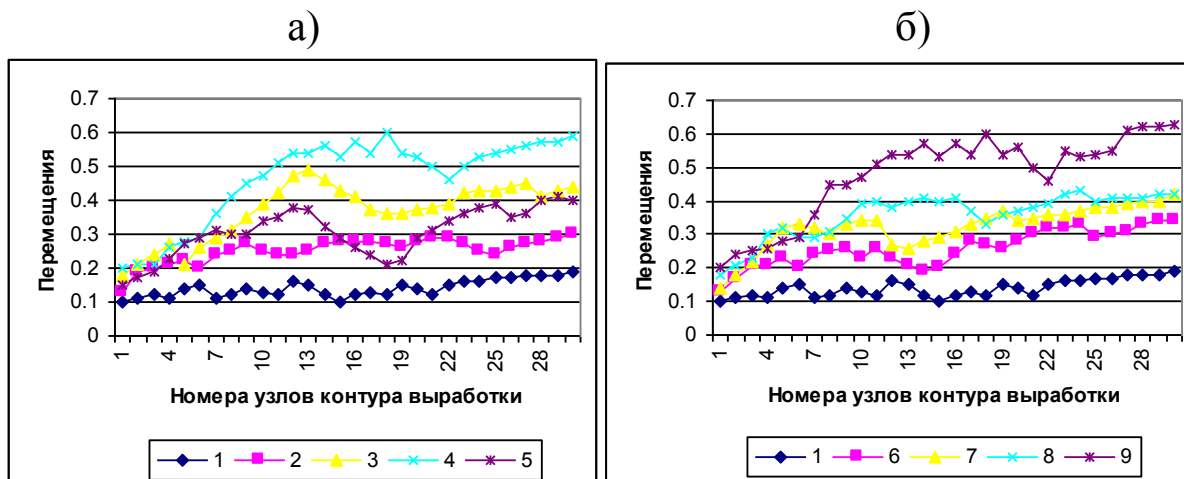


Рис. 7. Перемещения контура выработки с учетом изменчивости а) деформационных, б) прочностных характеристик горных пород; 1 – однородная модель $E=7000$ МПа, $\nu=0,25, R_c=25$ МПа;

2, 3, 4 – стохастические модели (E и ν варьировались по равномерному закону с вариацией 30%, 45%, 60%, $R_c=const=25$ МПа); 5 – стохастическая модель (E и ν варьировались по нормальному закону с вариацией 30%, $R_c=const=25$ МПа);

6 – $E, \nu = const$; предел прочности на одноосное сжатие варьировался по нормальному закону с вариацией 30 %;

7 – E, ν, R_c варьировались по нормальному закону с вариацией 30 %; 8 – E, ν варьировались по равномерному закону с вариацией 60 %, R_c – по нормальному закону с вариацией 30 %;

9 – E, ν варьировались по равномерному закону с вариацией 60 %, R_c – по логарифмически нормальному закону с вариацией 50 %

Естественный разброс основных физико-механических характеристик отражается и на размере зоны неупругих деформаций в окрестности выработки. В качестве критерия прочности использовано условие Парчевского-Шашенко [3]:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 - R_c^2\psi - (1-\psi)R_c(\sigma_x + \sigma_y) \geq 0, \quad (4)$$

Различие между суммарной площадью разрушенных элементов в среде с усредненными свойствами $r_L^{одн}$ и в среде со случайно распределенными свойствами $r_L^{стох}$ составляет 30-35%.

Таким образом, с использованием методов имитационного моделирования разработан алгоритм определения напряженно-деформированного состояния породного массива, деформирующегося за пределом прочности с учетом стохастического разброса физико-механических свойств породной среды. Данный алго-

ритм позволяет с наибольшей адекватностью моделировать различные горнотехнические ситуации, связанные с добычей полезных ископаемых и поддержанием подземных выработок.

Обобщение результатов вычислительного эксперимента.

Для оценки значимости каждого из перечисленных факторов, а также для практического использования установленных закономерностей результаты вычислительного эксперимента были обобщены на основе метода группового учета аргументов и построены прогностические модели для величин ΔU и Δr_L

$$\left(\Delta r_L = \frac{r_L^{стох} - r_L^{одн}}{r_L^{одн}} \cdot 100\% \right):$$

$$\Delta U = 13,03\eta_E + 12,09\eta_V - 1,86\eta_{R_c}, \quad (5)$$

$$\Delta r_L = 5,27\eta_{R_c} - 0,97\eta_V\eta_{R_p} + 1,65\eta_{R_c} \frac{R}{h}, \quad (6)$$

где R - радиус кривизны криволинейной части контура выработки, h - длина прямолинейной части.

Величины ΔU и Δr_L характеризуют отличие смещений и зон разрушений, полученных с учетом изменчивости исходных данных от их аналогов, полученных из детерминированного решения.

Полученные зависимости при подстановке в (7) и (8) позволяют уточнить те геомеханические расчеты, которые выполнены без учета стохастической неоднородности породной среды.

$$u_r^{стох} = u_r^{одн}(1 + 0,01 \cdot \Delta u), \quad (7)$$

$$r_L^{стох} = r_L^{одн}(1 + 0,01 \cdot \Delta r_L). \quad (8)$$

Выводы

1. Естественный стохастический разброс физико-механических характеристик в пределах области массива, в которой реализуется проявление горного давления, оказывает существенное влияние на интенсивность этого проявления, а именно на величину смещений обнаженной поверхности, а также на размеры зоны неупругих деформаций. Причем, существенность этого влияния (до 40-50%) имеет место именно в случае функ-

ционирования подземной выработки в неупругой, разрыхленной, разупрочняющейся среде.

2. Степень влияния стохастического разброса свойств определяется величиной вариации значений каждой из механических характеристик относительно среднего. Это следует из тех расчетов, в которых варьировались в различной степени: модуль упругости, пределы прочности на сжатие и растяжение, коэффициент Пуассона.

3. Исходя из установленных закономерностей вероятностного распределения свойств горных пород, выработаны принципы имитационного моделирования стохастической неоднородности породного массива и разработан алгоритм определения его напряженно-деформированного состояния в окрестности выработок с учетом изменчивости основных деформационных и прочностных характеристик, что повышает достоверность геомеханических расчетов.

4. Расчетами по разработанному алгоритму установлено, что неоднородность породного массива, проявляющаяся в естественном разбросе показателей его физико-механических свойств, обуславливает увеличение (по сравнению с однородной средой) на 30-40% смещений контура выработки и размеров зоны разрушений в зависимости от величин вариации основных деформационных и прочностных характеристик пород (модуля упругости, коэффициента Пуассона, пределов прочности на одноосное сжатие и растяжение).

5. На основе метода группового учета аргументов (МГУА) обобщены результаты вычислительного эксперимента представительного объема и получены обобщающие многофакторные зависимости для учета вариации исходных данных при расчете перемещений контура протяженной выработки и размеров зон разрушения в ее окрестности, что позволяет уточнить геомеханические расчеты, полученные в детерминированной постановке.

Список литературы

1. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 2004.– 129 с.

2. Шашенко А.Н., Янко В.И., Солодянкин А.В. Определение напряженно деформированного состояния массива с учетом эффекта разрушения // Известия Тульского государственного университета. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений». – Тула: Гриф и К. – 2003. – Вып. 1. – С. 327-332.

3. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики.– К.: Пульсари, 2001.– 243 с.

Стаття надійшла до редакції 12.06.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук М.М. Грищенковим

О.М. Шашенко, О.О. Сдвижкова, Д.В. Бабець

ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

ВПЛИВ СТОХАСТИЧНОЇ МІНЛИВОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ГЕОМЕХАНІЧНИЙ СТАН ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК

Розроблена методика оцінки стійкості гірничих виробок, яка дозволяє врахувати на основі багатofакторного аналізу неоднорідність породного масиву, що виявляється у стохастичному розкиді властивостей уміщуючих порід.

Ключові слова:стохастична геомеханіка.

A.N. Shashenko, A.A. Sdvizhkova, D.V. Babets

National Mining University, Dnipropetrovsk

EFFECT OF STOCHASTIC VARIABILITY OF PROPERTIES ROCKS ON GEOMECHANICAL CONDITION EXTENDED ROADWAY

A steadiness estimation methods of openings, which on base of multiple-factor analysis allows to take account a heterogeneity of rock mass, is developed. Herewith a heterogeneity displays in stochastic straggling of rocks properties around opening.

Keywords: stohastic geomechanics.

УДК 622.281

Н.А. Колесник (канд. техн. наук., доц.)Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
bugayovanatasha@mail.ru**А.А. Яйцов** (директор угольной дирекции)ЗАО «Донецкий металлургический завод «Донецксталь»,
г. Донецк

АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Разработана методика количественной оценки условий для поддержания выемочных выработок с учетом естественного разброса механических свойств массива. Методика учитывает все имеющиеся данные об испытаниях пород на прочность, и положение сечения выработок относительно вынимаемого угольного пласта.

Ключевые слова: стохастический разброс, физико-механические свойства горных пород.

Поддержание подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях является одной из наиболее актуальных задач, связанных с обеспечением высоких темпов угледобычи. Наиболее сложно обеспечить удовлетворительное состояние выемочных выработок, находящихся в зоне активного влияния очистных работ. Известно, что величина смещений на контуре выемочной выработки, примыкающей к действующему очистному забою и поддерживаемой позади действующей лавы для обеспечения возможности прямоточного проветривания и повторного использования выработки зависит от следующих основных горно-технических и горно-геологических факторов [1]:

- Вынимаемой мощности угольного пласта;
- Средневзвешенной прочности пород кровли, боков и почвы выработки в пределах зоны влияния этой выработки;
- Способа охраны выработки, и, в частности, жесткости искусственных опор, возводимых позади лавы;

- Несущей способности и податливости основной рамной арочной крепи;
- Плотности и несущей способности усиливающей анкерной крепи;
- Степени заполнения закрепного пространства;
- Размеров поперечного сечения подготовительной выработки;
- Трещиноватости массива горных пород и, в частности, наличия малоамплитудных нарушений;
- Угла падения пород;
- Времени подержания выработки в характерных геомеханических зонах (в нетронутом массиве, в зоне динамического опорного давления, позади первой действующей лавы в зоне активных сдвижений, в зоне установившегося горного давления, в зоне динамического опорного давления второй лавы, использующей выработку повторно и т.д.);
- Скорости подвигания лавы;
- Других второстепенных факторов.

Горнотехническими факторами можно управлять и тем самым влиять на устойчивость подготовительной выработки. Однако основные горно-геологические факторы определены природой и поэтому рассматриваются в данной работе как исходные, определяющие начальное состояние среды, в которой будут сооружаться и эксплуатироваться подготовительные выработки. В связи с этим на первом этапе проектирования технологии отработки нового блока, панели или горизонта целесообразно рассматривать лишь главные горно-геологические факторы, например вынимаемую мощность угольного пласта, а также средне-взвешенную прочность пород кровли, боков и почвы выработки в пределах зоны влияния этой выработки с учетом и без учета размокания. При этом отдельно изучать распределение мощности и прочности отдельных породных слоев не имеет практического смысла. Это связано с тем, что величина смещений кровли, боков или почвы выработки определяется средне-взвешенной прочностью пород кровли, боков и почвы в целом, а не только каким-то отдельным слоем. Важны все породные или угольные слои, которые попадают в зону влияния выработки.

Разрез по скважине №4052 наглядно подтверждает сказанное (рис. 1). На этом разрезе не только почва, но и кровля угольного пласта представлены несколькими породными слоями сланцев, песчаников, углистых сланцев.

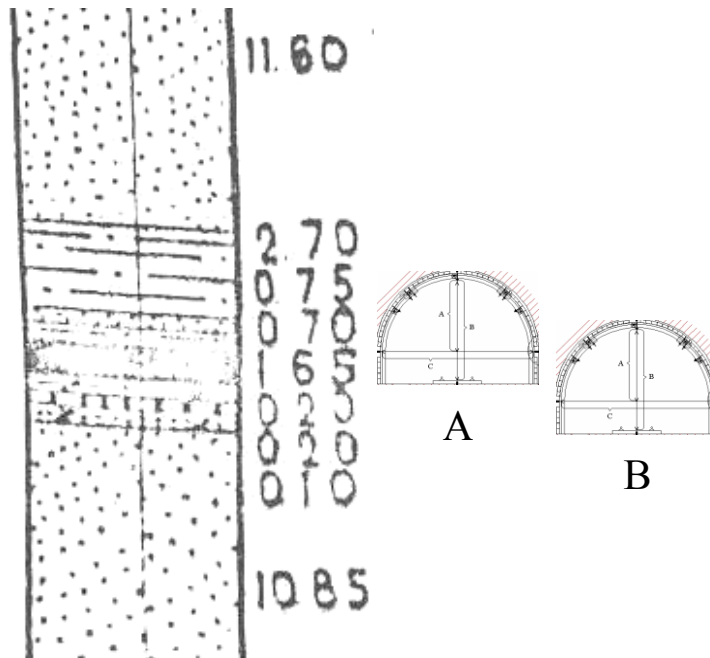


Рис. 1. Типичный стратиграфический разрез толщи в окрестности пласта блока 10 ш/у Покровское

При этом смещения на контуре выработки будут зависеть не только от прочности этих слоев, но и от положения сечения выработки относительно указанных породных слоев. Так при положении «А» смещения кровли будут иметь тенденцию к уменьшению, а почвы наоборот к увеличению, поскольку в кровлю выработки попадает в основном слой прочного песчаника, а в почва будет представлена мелкослоистой толщиной слабых углей, углистых и песчаных сланцев. В положении сечения «В» в почву выработки попадает прочный песчаник, а в кровле возникает слой песчаного сланца. Учитывая то, что слой песчаного сланца размещается непосредственно на контуре выработки, его ослабляющее влияние будет максимально выражено, что приведет к росту смещений в кровле выработки. Наоборот, прочный песчаник в почве создает предпосылки для уменьшения смещений пород

почвы выработки. Из рассмотрения рис. 1 становится также понятно, что с учетом размещения сечения выработки некоторые слои разделяются на две части: одна часть попадает в боковые стенки выработки, а вторая часть размещается в кровле или почве, хотя это физически один и тот же слой. Таким образом, отслеживание отдельного породного слоя без учета его положения относительно сечения выработки не имеет смысла.

На основании этого принято решение учитывать прочность *всех* породных слоев, которые попадают в зону влияния выработки. Известно, что для достоверного расчета смещений достаточно знать мощность, прочность и положение всех слоев в кровле на высоту 1,5 ширины выработки, и 1 ширину выработки в бока и почву [1].

При расчете средневзвешенных прочностей использованы следующие основные геомеханические принципы. Чем выше значение прочности породного слоя и чем больше его мощность в пределах зоны влияния выработки, и чем ближе этот слой к контуру выработки, тем сильнее влияет данный слой на устойчивость выработки, что означает больший вес указанного слоя в общей средневзвешенной прочности кровли, боков или почвы. Этот принцип был выдвинут и достоверно доказан еще в 70-х. Указанный принцип положен в основу формулы для определения средневзвешенной прочности R пород кровли, боков и почвы выработки (рис. 2). Здесь R_i , h_i , u_i означают прочность отдельного слоя, его мощность и расстояние от центра слоя до центра сечения выработки. Средневзвешенная прочность боков выработки определяется в отдельности для верхней половины сечения и для нижней, а затем усредняется [2]. Численный анализ горно-геологических условий отработки шахтного поля показан на примере блока 10 ш/у Покровское.

Главным источником данных о прочности вмещающих пород в странах СНГ являются карты прочности кровли и почвы. В пределах блока 10 имеется 230 разведочных скважин. Из них 51 расположена в северной части блока, 92 в центральной (верхний горизонт которой в настоящее время готовится для отработки) и 117 в южной. Из этих скважин только 51 имеет данные об испы-

таниях механических свойств вмещающих пород. В большинстве случаев проводятся испытания на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии образца. Некоторые породные слои испытаны на предел прочности в водонасыщенном состоянии. Еще меньшее число слоев испытано на предел прочности на растяжение в воздушносухом состоянии.

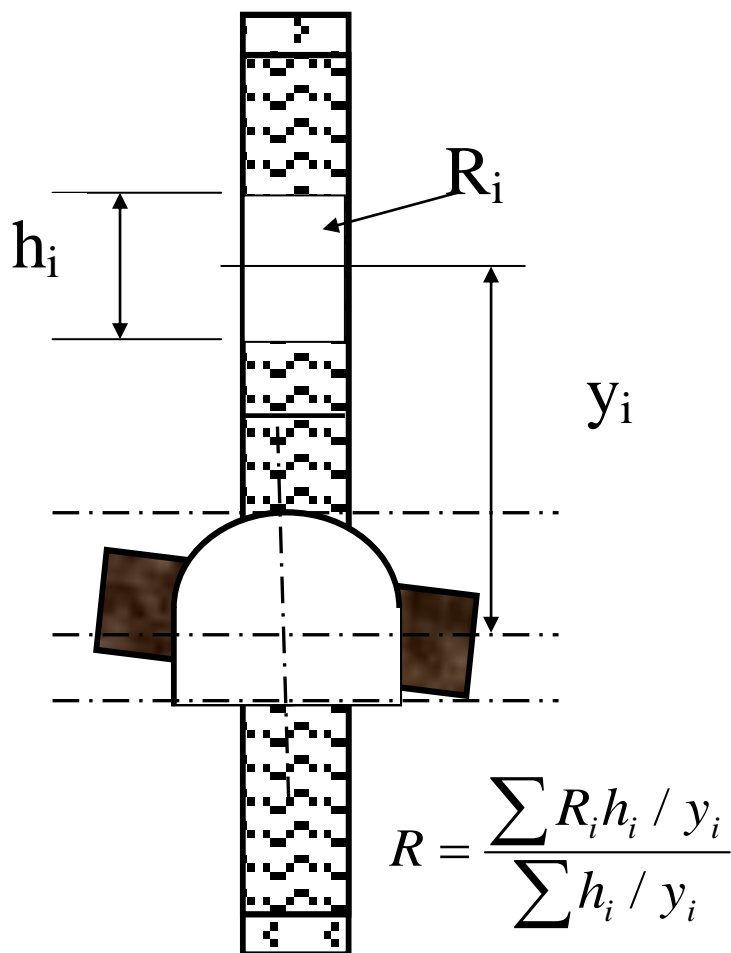


Рис. 2. Схема к расчету средневзвешенной прочности пород

Результаты всех испытаний занесены в базу данных, в которой имеются сведения о структуре вмещающих пород, координатах скважин, а также прочностных характеристиках вмещающих пород. Для определения средневзвешенной прочности пород кровли, почвы и боков выработки было составлено несколько подпрограмм, каждая из которых выполняла свою функцию. Вначале готовится первый рабочий файл с исходными данными.

Этот файл выбирается с базы данных. Файл содержит координаты текущей скважины, индекс породы (песчаник, сланец песчаный, сланец глинистый, уголь), мощность слоя, выход керна при бурении разведочной скважины. Если длина колонки керна меньше, чем длина интервала бурения, это свидетельствует о повышенной трещиноватости пород, что будет учитываться поправочным коэффициентом при определении средневзвешенной прочности.

Даже в тех скважинах, в которых проводились испытания прочностных свойств пород часть слоев породы либо вообще не испытана либо испытана не полностью. В силу ограниченного количества данных было принято решение о восстановлении части данных по названию породы и степени ее метаморфизма. На основании анализа ранее выполненных исследований были выбраны эмпирические зависимости, которые могут восстановить прочность породы в зависимости от глубины ее залегания, типа породы и степени диагенеза [3]. Так для данной шахты, обрабатывающей уголь марки К прогнозная прочность песчаника в пределах блока 10 должна составлять 80 МПа, сланца песчаного 55 МПа, сланца глинистого 45 МПа, угля 7,5 МПа.

Следующая подпрограмма усредняет данные по прочности, если в пределах слоя испытано более одного образца и сводит все данные в общий список. Там где испытания не проводились, прочность указывается прогнозная. Для оценки разброса прогнозных и фактических данных был проведен статистический анализ, краткие результаты которого показаны на рис. 3 и в таблице 1. График зависимости прогнозной прочности и фактической показан на рис. 3,а. Регрессионная зависимость свидетельствует о том, что средние величины фактической прочности практически совпадают с прогнозной, поскольку множитель регрессии равен 1,02. Это дает основание для применения метода восстановления прочностных показателей пород по их названию и степени диагенеза и свидетельствует о надежности используемой зависимости.

Таблица 1

Значение коэффициента размокаемости для отдельных типов породы

Название породы	Значение коэффициента размокания
Песчаник	0,89
Сланец песчаный	0,668
Сланец глинистый	0,586
уголь	0,679

Вместе с тем необходимо отметить существенный разброс данных. На рис. 3,в приведено распределение фактической прочности сланца песчаного, теоретическая прочность которого должна составлять 550 бар. Статистический анализ показал, что фактическая гистограмма не противоречит нормальному закону распределения, а стандартное отклонение составляет ± 155 бар. Это значит, что коэффициент вариации равен 0,26, что вполне достаточно при решении проблем горного давления.

Полученные результаты позволили применить принятый метод обработки данных и для определения коэффициента размокания. Если отдельные образцы показывали существенный разброс соотношения пределов прочности в сухом и водонасыщенном состоянии, то массовая обработка всех данных показала устойчивую закономерность, которая хорошо согласуется с основами физики горных пород (таблица 1). Так наименее склонен к размоканию песчаник, затем сланец песчаный и уголь. Наиболее размокает сланец глинистый, поскольку содержит максимум глинистых минералов.

В результате последующей работы нескольких подпрограмм компьютер выдает четыре файла отдельно для кровли, боков и почвы выработки, а также усредненные данные по прочности вмещающих выработку пород. В этих файлах содержатся пределы прочности в каждой скважине и ее координаты. По этим файлам строятся искомые распределения прочности. При этом отпадает необходимость построения распределения мощности отдельных слоев, поскольку они автоматически учтены при расчете средневзвешенной прочности. Важно отметить, что данные распределения действительны для *конкретного положения сечения*

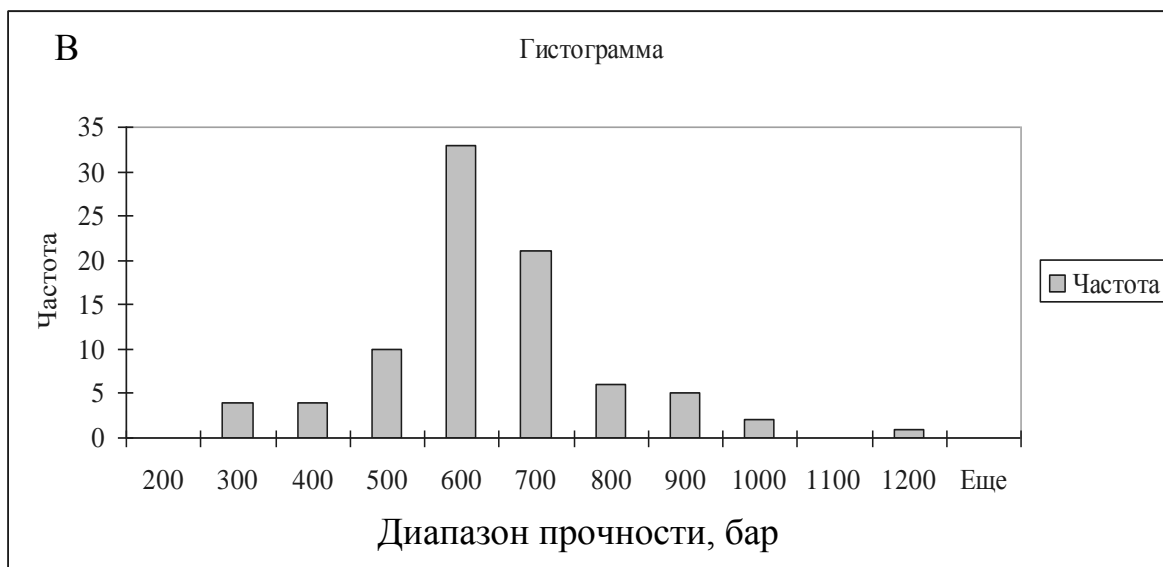
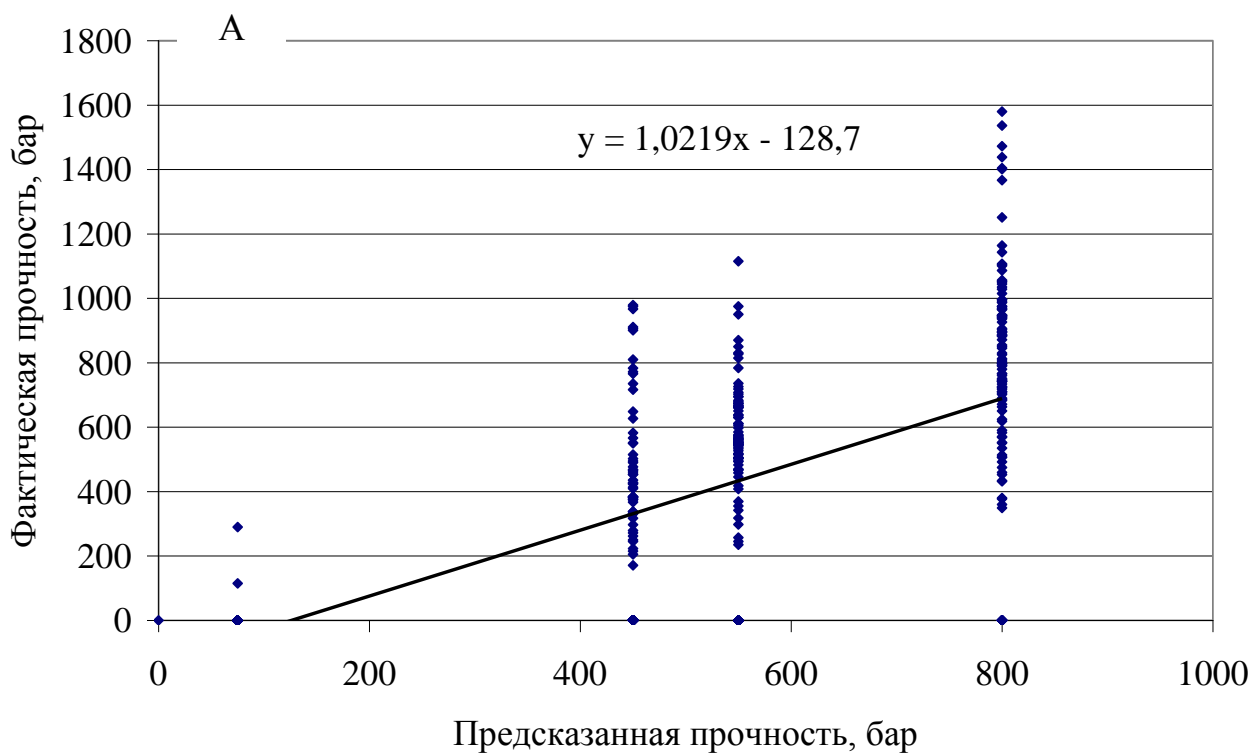


Рис. 3. Зависимость между прогнозной величиной прочности и фактической (А) и распределение фактической прочности для одной и той же породы (В)

выработки относительно угольного пласта. Для этого разработаны специальные подпрограммы, которые по заданному положению подошвы выработки относительно подошвы вынимаемого пласта, а также размерам ее сечения определяют положение системы координат в каждой скважине, относительно которой определяются средневзвешенные прочностные кровли, боков и почвы выработки. Изменяя положение сечения относительно вынимаемого пласта можно быстро получать карты распределения средневзвешенной прочности пород кровли, боков и почвы. Такие возможности имеют большое практическое значение, поскольку уже на предварительном этапе позволяют определить рациональное положение сечения выработки относительно почвы отрабатываемого пласта.

Разработанный пакет программ позволил построить достоверную карту вынимаемой мощности пласта. Отметим, что в каждой стратиграфической колонке величина вынимаемой мощности определяется из экономических соображений и технологических ограничений. Часто в диапазон вынимаемой мощности попадает несколько пачек угля, которые разделены прослойками углистого сланца алевролита или аргиллита. По результатам анализа оказалось, что вынимаемая мощность угольного пласта существенно изменяется в пределах блока 10 от 2 м до 0,3 м. Это позволило разделить блок на участки, которые будут отрабатываться разными технологиями. Кроме того величина вынимаемой мощности определяет величину смещений пород кровли в зоне активных сдвижений при повторном использовании выемочных выработок. Поэтому полученная карта применяется также для прогнозной оценки смещений на контуре выемочных выработок.

Прежде чем строить карты средневзвешенной прочности кровли, боков и почвы выработки были проведены предварительные расчеты приведенной прочности почвы при разных положениях сечения относительно вынимаемого пласта (то есть при разной величине подрывки почвы пласта). Эти предварительные расчеты понадобились потому, что в почве пласта почти повсеместно присутствуют тонкие слои слабых неустойчивых пород типа углистых, глинистых сланцев, кучерявчиков и т.п. В случае

оставления таких тонкослоистых неустойчивых пород создаются условия для интенсивного пучения почвы, что заранее неприемлемо. В связи с этим были выполнены расчеты средневзвешенной прочности пород при разной величине подрывки почвы пласта. Оказалось, что при совмещении подошвы выработок с почвой обрабатываемого пласта большая часть площади шахтного поля в пределах первой очереди блока 10 имеет средневзвешенную прочность почвы выработки 18 – 26 МПа, что неприемлемо с точки зрения применения литой полосы в качестве охранный сооружения конвейерных штреков позади лавы. Полоса, имеющая прочность на сжатие 40 МПа и более будет вдавливаясь в слабые породы почвы и провоцировать их пучение, что снижает эффективность работы охранный сооружения. Последующие пробы показали, что по мере увеличения подрывки прочность почвы постепенно увеличивается и при достижении величины подрывки 1,2 м средняя прочность почвы практически стабилизируется на приемлемом уровне 36-50 МПа. Именно при такой величине подрывки выполняется дальнейший анализ.

На рис. 4 показана карта распределения средневзвешенной (для краткости средней) прочности воздушносухой кровли выработки высотой 3,65 м, шириной 6м и с величиной подрывки почвы 1,2 м. Важно, что пакет Surfer, с помощью которого построена карта, дополнительно усредняет стохастические данные испытаний механических свойств вмещающих пород на основе вычисления показателей вариограмм. Видно, что в пределах первой очереди блока 10 средняя прочность кровли выемочной выработки будет изменяться от 40 до 90 МПа, то есть более чем в два раза. Это свидетельствует об особой актуальности предрасчета величины смещений на контуре выемочных выработок при проектировании технологии отработки указанных запасов. Такие расчеты позволят выявить проблемные участки, на которых сложно обеспечить устойчивость выемочных выработок. Кроме того, разработанная методика позволит выбрать и количественно оценить рациональные способы и параметры охраны выемочных выработок.

Точки на карте с наиболее неблагоприятными условиями поддержания выработки определялись путем дигитализации мест с минимальной средневзвешенной прочностью кровли, почвы и боков выработки в воздушносухом и водонасыщенном состоянии. Затем эти точки наносили на общую карту и определяли места, где наблюдалось максимальное количество наложений. Таким образом, была объективно определена скважина, характеризующая стратиграфический разрез с наименее благоприятными условиями для поддержания подготовительной выработки. Визуально, с помощью экспертов эту скважину обнаружить не удалось.

Несмотря на то, что в районе этой скважины и в кровле и в почве располагаются мощные слои песчаника плитчатого, его прочность на одноосное сжатие в основном ниже средней прочности сланца песчаного. По-видимому, это объясняется особой «плитчатой» структурой данного песчаника. Следует отметить, что в данной точке вынимаемая мощность составляет 1,95 м, поскольку вынимаемый пласт будет состоять из трех пачек: угля мощностью 1,1 м, углистого сланца мощностью 0,5 м и угля мощностью 0,35 м. Прочность отдельных слоев приведена с учетом выхода керна и коэффициентов размокания. Таким образом, все основные геологические факторы (вынимаемая мощность и прочность вмещающих пород) характеризуют условия поддержания выработки как неблагоприятные. Тот факт, что в качестве неблагоприятных условий выявлен песчаник, свидетельствует о правильности выбранного подхода и методики исследований. Если бы представителя неблагоприятных условий искали среди сланцев, истинный минимум не был бы найден.

Анализ разреза, отобранного как типичного представителя средних условий поддержания показывает, что найден действительно типичный представитель такого класса вмещающих пород. Так средняя прочность пород кровли и почвы колеблется в пределах 50-87 МПа, а вынимаемая мощность составляет 1,5 м. Чем меньше вынимаемая мощность пород, тем меньше величины оседаний кровли выработки позади лавы. На первый взгляд, кажется, что пример, в котором одновременно со средней

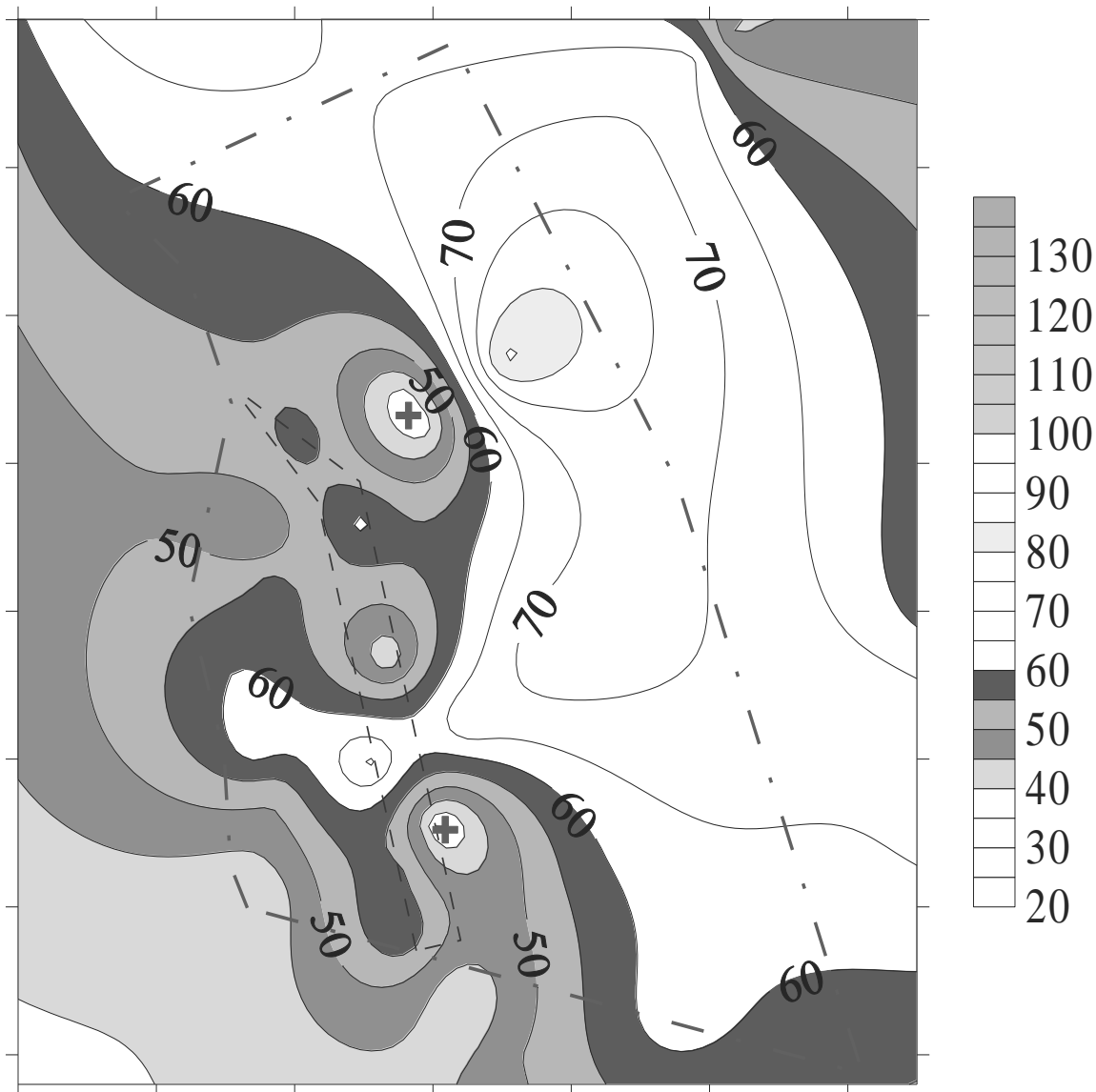


Рис. 4. Пример распределения прочности пород кровли в воздушносухом состоянии

прочностью выловлена средняя вынимаемая мощность, является случайной удачей. Однако анализ показывает, что это закономерность, которая просто объясняется. Чем меньше вынимаемая мощность пласта, тем больше слоев кровли и почвы будет попадать в бока выработки. Это означает, что при средней вынимаемой мощности часть наиболее тонких и слабых породных прослоев неизбежно попадает в бока выработки, которые не так критичны с точки зрения ее устойчивости по сравнению с кровлей и почвой. И наоборот, при большой вынимаемой мощности шанс

тонких прослоев слабых пород попасть в кровлю и почву возрастает, что и произошло в случае выбора неблагоприятных условий. Одновременно с этим, чем больше вынимаемая мощность, тем больше сдвигения пород не только впереди лавы (за счет ослабления кровли и/или почвы), но и позади нее (из-за большой высоты оседания кровли и возможного поднятия почвы в зоне активных сдвижений). Другим словами тот факт, что в неблагоприятные условия автоматически попала большая вынимаемая мощность пласта, а средние условия - средняя мощность закономерен.

Для обеспечения удовлетворительной устойчивости выемочных выработок на участках с неблагоприятными горно-геологическими условиями поддержания планируется применение следующих мероприятий: использование усиленных литых полос, комбинированных рамно-анкерных крепей совместного сопротивления, а также методов локальной разгрузки боков выработки с помощью разгрузочных щелей. Дальнейшим исследованием предусматривается выбор и геомеханическое обоснование рациональных параметров предлагаемых технологий.

ВЫВОДЫ

В условиях существенного разброса механических свойств вмещающих пород сглаживание стохастической неоднородности результатов испытаний достигается несколькими этапами усреднения. Принцип усреднения построен на привязке породных слоев к сечению выработки, которая планируется к проведению. При этом усреднение вначале осуществляется по отдельным стратиграфическим колонкам с учетом расстояния породных слоев относительно центра подготовительной выработки, а затем по площади блока, подготовленного к отработке. Такой подход имеет значительные преимущества по сравнению с усреднением механических свойств по отдельным слоям без привязки их к положению сечения горной выработки.

Список литературы

1. Методические указания. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. КД 12.01.01.201-98. УкрНИМИ. 1998. – 149 с.

2. Hamid Maleki ROCK MECHANICS STUDY OF LATERAL DESTRESSING FOR THE ADVANCE-AND-RELIEVE MINING METHOD// Proc/ 34 Int Conf jn Groyund Control in Mining.-WVU, Morgantown, 2012. Pp.214-219.

3. Имас А.Д., Писарев Н.Ф., Николаев А.Ф. Прогнозирование физико-механических свойств и разрушаемости углей и вмещающих пород Донецкого бассейна//Уголь Украины, №1, 1966.- С. 12-14.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Ю.М.Хадімендиком

Н.А. Колеснік

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк

О.О. Яйцов

ЗАТ «Донецький металургійний завод «Донецьксталь», м. Донецьк

АНАЛІЗ СТОХАСТИЧНИХ УМОВ ПІДТРИМКИ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК У СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Розроблено методику кількісної оцінки умов для підтримання виїмкових виробок з урахуванням природного розкиду механічних властивостей масиву. Методика враховує всі наявні дані про випробування порід на міцність, та положення перерізу виробок відносно вугільного пласта, що виймається.

Ключові слова: стохастичний розкид, фізико-механічні властивості гірських порід.

N.A. Kolesnik

Donetsk National Technical University, Donetsk

A.A. Yaitsov

JSC "Donetsk Metallurgical Plant "Donetsksteel", Donetsk

STOCHASTIC ANALYSIS OF MAINTAINING DEVELOPMENT WORKINGS IN COMPLEX MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

New method for entries stability assessment has been developed and tested. This method uses all experimental data concerning rock strength and position of a roadway relatively coal seam bottom.

Keywords: stochastic variation, physical and mechanical properties of rocks.

УДК 622.831.3:531.36

А.Н. Шашенко (д-р техн. наук, проф.), **А.В. Солодянкин** (д-р техн. наук, проф.)

ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ

На основании базового решения задачи по критическому радиусу зоны неупругих деформаций, как критерия пучения пород почвы горных выработок, предложен более практичный критерий, основанный на критическом значении сдвижений пород почвы. Приведены зависимости критической величины сдвижений почвы показателя условий разработки и коэффициента бокового распора массива. Показаны направления обеспечения устойчивого состояния пород почвы выработок.

Ключевые слова: пучение почвы.

Введение. Увеличение глубины разработки месторождений полезных ископаемых существенно ухудшило геомеханическую ситуацию при ведении горных работ. Проявления горного давления в выработках становятся все более интенсивными и опасными: увеличиваются области разрушенных пород вокруг выработок, возрастают смещения контура выработок, учащаются случаи газодинамических явлений, горных ударов, проявления и последствия пучения часто носят катастрофический характер.

Изучение состояния протяженных выработок шахт Украины, анализ затрат на поддержание и ремонт, показывают, что наиболее трудоемкими процессами при обеспечении их эксплуатационного состояния являются мероприятия по борьбе с пучением пород почвы.

Поиск эффективных средств и методов борьбы с пучением является одной из важнейших технических задач. Разработка технологических параметров таких мероприятий неразрывно связана с исследованием закономерностей этого явления.

Явление пучения пород почвы выработок является до сегодняшнего дня одним из наименее изученных, несмотря на значи-

тельное количество выполненных экспериментальных и аналитических исследований. В настоящее время известен целый ряд гипотез, по разному объясняющих причину и механизм выдавливания пород почвы в выработку. Связывают это явление с набуханием пород под влиянием влаги, выпиранием пород под действием опорного давления в боках выработки, увеличением объема вследствие разрыхления пород в зоне неупругих деформаций (ЗНД) и т.д.

На основе предложенных гипотез разработаны физические и математические модели поведения породного массива, ослабленного горной выработкой. Аналитические зависимости, полученные в результате решения соответствующих задач, используются для прогноза проявления процесса выдавливания пород почвы, оценки его параметров. В техническом же плане добиться ощутимых положительных результатов до сих пор не удалось. Одной из причин такой ситуации является то, что предложенные математические и физические модели явления не полностью отвечают реальному процессу. Особенно очевидным это стало с переходом горных работ на большие глубины.

Постановка задачи. Анализ исследований в области пучения пород почвы [1] показал, что чрезмерная простота, излишняя идеализация исходных предпосылок, заложенных в расчетные физические модели, не позволяют получить аналитические зависимости, адекватно отражающие процессы, происходящие в приконтурном массиве. Учитывая некоторые специфические особенности процесса вспучивания пород почвы в выработках, в [1, 2] это явление рассмотрено с позиций потери упругопластической устойчивости приконтурного массива, в окрестности одиночной горизонтальной выработки. В результате получен критерий вспучивания в виде:

$$\bar{\varepsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 = 0, \quad (1)$$

где $\bar{\varepsilon}_v$ - среднее значение относительного увеличения объема пород в пределах ЗНД, r_L^* - относительный критический радиус области пластических деформаций.

Выражение (1) определяет возможность перехода породного массива вокруг выработки из одного устойчивого равновесного

состояния в другое, сопровождающееся вспучиванием пород почвы. Физическая суть отношения (1) состоит в следующем. В процессе неупругого расширения пород в замкнутом объеме с жесткими внешними размерами ($r = r_L$) происходит перемещение внутреннего контура ($r = 1$). До тех пор, пока эти перемещения не достигнут некоторой критической величины, внутренний контур сохраняет первоначальную форму. При достижении же критических значений перемещений происходит резкое искажение формы внутренней границы, сопровождающееся уменьшением уровня потенциальной энергии в приконтурной зоне и большими перемещениями на контуре выработки. Условие отсутствия пучения пород почвы в выработке имеет вид:

$$\bar{\varepsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 > 0. \quad (2)$$

Функция связи между величинами, входящими в условие (1), в явном виде аппроксимируется степенным выражением:

$$r_L^* = 1 + \bar{\varepsilon}_v^{-0.4}. \quad (3)$$

Являясь хорошо обоснованным с точки зрения физики протекания процесса, предложенный критерий не совсем удобен, поскольку определить величину r_L^* с достаточной точностью в шахтных условиях практически невозможно.

Наиболее удобным показателем с точки зрения оценки состояния выработки и окружающих ее пород является смещение контура выработки, которое легко можно измерить в натуральных условиях. Таким образом, относительное увеличение объема $\bar{\varepsilon}_v$ в области породного массива вокруг выработки ограниченной критическим радиусом области пластических деформаций r_L^* , приводит к критическим смещениям контура выработки u^* , после чего происходит резкое искажение формы внутренней границы, и возникают большие перемещения на контуре выработки – начало неуправляемого процесса пучения.

Задачей настоящих исследований является обоснование критического значения смещений контура выработки u^* и определение зависимости этой величины, являющейся показателем вспучивания пород, от различных горно-геологических условий эксплуатации выработки.

Упругопластическое равновесие породного массива, ослабленного длинной горизонтальной выработкой. Первым этапом достижения поставленной цели является нахождение компонентов перемещений и деформаций, а также конфигурации границы ЗНД вокруг одиночной горизонтальной выработки. Решение этой задачи приведено в [1]. Расчетная схема, исходные предпосылки и граничные условия следующие (рис. 1).

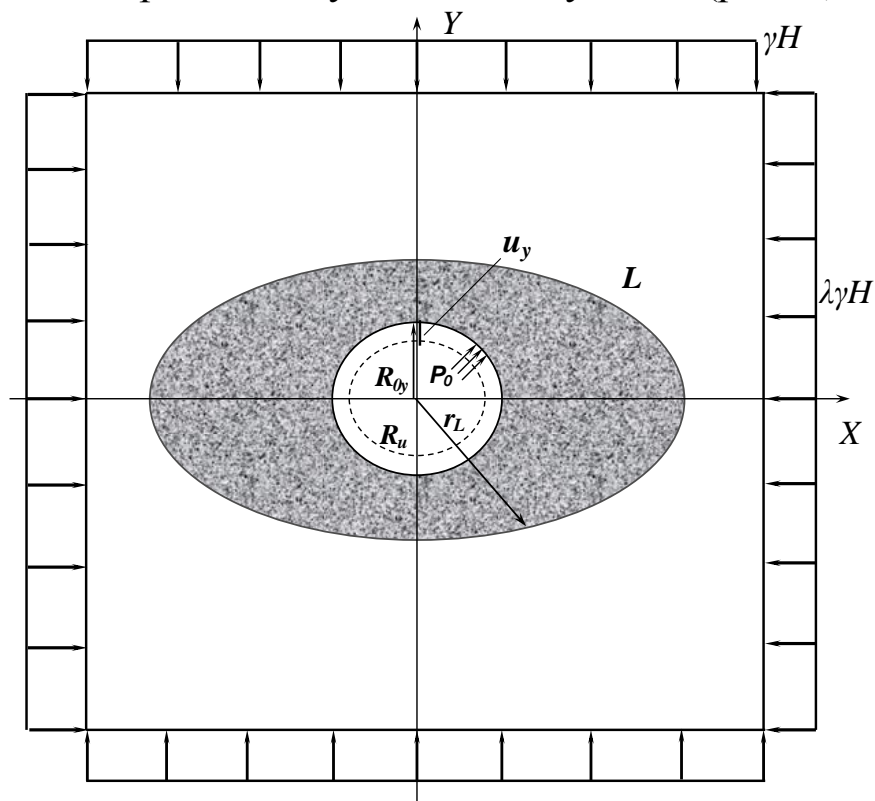


Рис. 1. Расчетная схема к решению задачи об упругопластическом равновесии породного массива

Рассматривается напряженно-деформированное состояние (НДС) однородного изотропного упругого породного массива в окрестности одиночной горизонтальной выработки кругового очертания, расположенной на глубине H от земной поверхности и не испытывающей влияние очистных работ. Радиус выработки – R_0 , к ее контуру приложена равномерно распределенная нагрузка интенсивностью P_0 , равная отпору крепи. Породная среда в пределах зоны влияния выработки полагается невесомой. Ошибка вследствие такой идеализации тем меньше, чем больше глубина расположения выработки и, как показано в работах [3, 4], вели-

чина ее не превышает 1 %. В направлении осей X и Y на бесконечности приложены внешние равномерно распределенные нагрузки, которые могут быть либо не равны друг другу ($\lambda \neq 1$), либо равны ($\lambda = 1$). Величина этих нагрузок такова, что вокруг выработки образуется область пластических деформаций, полностью охватывающая ее контур. Размеры этой области могут достигать 10...12 м и более и определяются, главным образом, структурными и прочностными свойствами вмещающих пород и глубиной расположения выработки. Границами зоны нарушенных пород являются: внутренней – породное обнажение (крепь выработки), внешней – упруго деформированная ненарушенная часть породного массива. Наиболее нарушенными являются породы, находящиеся на контуре выработки.

Деформирование и разрушение породной среды происходит в режиме заданных деформаций со стороны упруго сжатого массива. И для упругой и для пластической области сохраняется гипотеза сплошности среды. Рассматривается случай плоской деформации. В произвольной точке породного массива с координатами x , y компоненты напряжений удовлетворяют уравнениям равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

и условию совместности деформаций

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = 0. \quad (5)$$

В области пластических деформаций, кроме того, имеет место физическое уравнение – критерий прочности для пластически неоднородной породной среды:

$$\sigma_\theta - \sigma_r = 2k \left(\frac{A}{r^2} - B \right), \quad (6)$$

где r - текущий радиус, k - коэффициент критерия прочности, определяемый выражением:

$$k = 0,5 \sqrt{R_c^2 \psi + (1 - \psi) R_c (\sigma_1 + \sigma_3)}, \quad (7)$$

A и B – константы, которые определяются выражениями

$$A = \frac{r_L^2}{1 - r_L^2} (1 - k_{ост}); \quad B = \frac{r_L^2 - k_{ост}}{1 - r_L^2}, \quad (8)$$

$\psi = \frac{R_p}{R_c}$, R_p, R_c - соответственно пределы прочности образцов горных пород на одноосное растяжение и сжатие (для пластичной среды $0 \leq \psi \leq 1$), $k_{ост}$ - коэффициент остаточной прочности $k_{ост} = \frac{R_{ост}}{R_c}$, $R_{ост}$ - остаточная прочность пород на одноосное сжатие на контуре выработки.

При этом полагается, что касательные напряжения в пластической области отсутствуют ($\tau_{r\theta} = 0$). Граничные условия, имеют вид:

- на контуре выработки

$$\tau_{r\theta}^{(1)} \Big|_{R=R_0} = 0, \quad \sigma_r^{(1)} \Big|_{R=R_0} = P_0, \quad (9)$$

- на бесконечности

$$\sigma_x^\infty = \lambda \mathcal{H}, \quad \sigma_y^\infty = \mathcal{H}, \quad \tau_{xy}^\infty = 0. \quad (10)$$

На границе L между пластической и упругой областями напряжения непрерывны:

$$\sigma_x^{(1)} = \sigma_x; \quad \sigma_y^{(1)} = \sigma_y; \quad \tau_{xy}^{(1)} = \tau_{xy}, \quad (11)$$

где компоненты напряжений в пластической области обозначены индексом 1, помещенным сверху, а напряжения в упругой области – без индекса.

В результате решения задачи определены компоненты напряжений, деформаций и перемещения в упругой и неупругой областях, а также форма контура L , разделяющего эти области. Координаты этой области представляют собой эллипс (рис. 2), уравнение которого имеет вид:

$$\frac{X^2}{C_3^2(1+\beta)^2} + \frac{Y^2}{C_3^2(1-\beta)^2} = 1, \quad (12)$$

где C_3 – постоянная интегрирования, определяемая выражением:

$$C_3 = \exp \left[\frac{A}{2B} - \frac{\gamma H}{4Bk} (1 + \lambda) + \frac{P_0}{2Bk} - \frac{1}{2} \right], \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\gamma H (1 - \lambda)}{2Bk}. \quad (14)$$

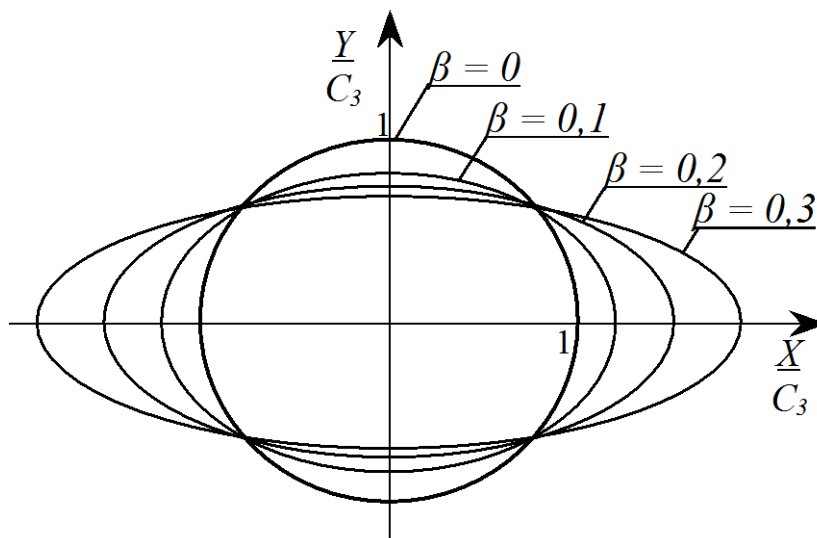


Рис. 2. Конфигурация области неупругих деформаций вокруг выработки в зависимости от параметра β

При $\lambda = 1$, что характерно для больших глубин угольных месторождений Украины, контуром L будет круг с радиусом

$$r_L = \exp \left[\frac{A}{2B} - \frac{\gamma H + P_0}{2Bk} - \frac{1}{2} \right]. \quad (15)$$

Покажем, как связаны перемещения на контуре выработки u с относительным увеличением объема $\bar{\varepsilon}_v$ в зоне пластических деформаций, ограниченной радиусом r_L при различных горно-геологических условиях разработки.

Определение перемещений контура выработки с учетом объемного расширения пород в зоне неупругих деформаций. Линией L на рис. 1 показан внешний контур ЗНД, разделяющих упругую и пластическую зоны деформирования массива вокруг выработки. Линией R_0 обозначен условный контур выработки на момент ее проведения - до деформаций массива и соответствующих смещений. Линией R_u (пунктир) обозначен контур выработки после реализации деформаций приконтурного массива. Поскольку в условиях негидростатического сжатия, внешний контур

ЗНД представляє собою еліпс, переміщення на контурі також будуть нерівномірні. Визначимо величину u_y – відносні вертикальні зміщення контура виробки (вдоль осі Y), де $u_y = U/R_{0y}$, R_{0y} – вертикальний радіус виробки.

Позитивна координата Y зовнішнього контура ЗНД із (12) при $X = 0$ дорівнює

$$Y^2 = C_3^2(1 - \beta)^2 = \pm C_3(1 - \beta). \quad (16)$$

Зміщення контура виробки на величину u виникають в результаті розриву порід. Величиною еластичних деформацій нехтуємо.

Оскільки розрив порід в ЗНД означає їх об'ємне розширення при різних нееластичних деформаціях, то при описі розриву порід будемо використовувати значення об'ємної деформації ε_v :

$$k_p = \frac{V_1}{V} = \frac{V + dV}{V} = (1 + \varepsilon_v), \quad (17)$$

де V_1 – об'єм розривної породи, V – об'єм тієї ж породи в незруйнованій масиві.

В разі відсутності розриву порід $k_p = 1$ ($\varepsilon_v = 0$).

Степень розриву порід в ЗНД залежить від відстані до контура виробки. Оскільки розрив порід приконтурного масиву виникає в природних умовах, коефіцієнт розриву порід виявляється менше коефіцієнта вільного розриву порід. Зміна ε_v для розв'язання поставленої задачі будемо розглядати в межах $0 \leq \varepsilon_v \leq 0,2$. Також допустимо, що породи в об'ємі ЗНД мають однаковий коефіцієнт розриву порід, хоча це і не так.

Візьмемо $Y = r_L$, $R_{0y} = 1$, запишемо:

$$u_y = (r_L - 1)\varepsilon_v, \text{ або } u_y = (C_3(1 - \beta) - 1)\varepsilon_v, \quad (18)$$

де C_3 визначається виразом (13), а коефіцієнти A і B – вираженнями (8).

Величиною $k_{ост}$, що входить в (8), в припущенні гірських порід як матеріалів крихких, без суттєвого ушкодження можна

пренебречь. Тогда выражения (8) для определения коэффициентов A и B приобретут более простой вид:

$$A = B = \frac{r_L^2}{1 - r_L^2}. \quad (19)$$

Отпором крепи P_0 в данном случае также пренебрегаем. Как показано в [2, 5] отпор крепи чрезвычайно мало влияет на размеры ЗНД, так как величина его на глубоких горизонтах шахт несоизмеримо меньше гравитационного давления γH .

Тогда выражение для определения постоянной C_3 запишется в виде:

$$C_3 = \exp\left(-\frac{\gamma H(1 + \lambda)}{4Bk}\right). \quad (20)$$

В выражении (10) для определения k , при условии, что λ не намного отличается от 1, примем условие $(\sigma_1 + \sigma_3) = 2\gamma H$, после чего можно записать:

$$k = 0,5\sqrt{R_c\psi + (1 - \psi)R_c 2\gamma H}. \quad (21)$$

Введем в выражения для определения величин k , β и C_3 показатель условий разработки $\theta = \frac{R_c}{\gamma H}$. С учетом этого смещения пород можно определить:

$$u_y = \left[\exp\left(-\frac{(1 + \lambda)}{2B\theta\sqrt{\psi + \frac{2(1 - \psi)}{\theta}}}\right) \left(1 - \frac{(1 - \lambda)}{B\theta\sqrt{\psi + \frac{2(1 - \psi)}{\theta}}}\right) - 1 \right] \varepsilon_v. \quad (22)$$

Обозначим $N_\theta = \theta\sqrt{\psi + \frac{2(1 - \psi)}{\theta}}$. Тогда (22) запишем в виде

$$u_y = \left[\exp\left(-\frac{(1 + \lambda)}{2NB}\right) \left(1 - \frac{(1 - \lambda)}{NB}\right) - 1 \right] \varepsilon_v. \quad (23)$$

При гидростатическом давлении пород ($\lambda = 1$) получим более простое выражение для смещения пород при круговом очертании ЗНД вокруг выработки:

$$u_y = \left[\exp\left(-\frac{1}{NB}\right) - 1 \right] \varepsilon_v. \quad (24)$$

Таким образом, на данном этапе получена зависимость смещений контура выработки от радиуса ЗНД при соответствующих средних значениях относительного объемного расширения с учетом показателя условий разработки θ и соотношения внешних нагрузок λ .

Конечным решением задачи должна быть зависимость критических смещений – как критерия вспучивания пород почвы от указанных выше параметров, адекватная базовому решению для критического радиуса ЗНД r_L^* (выражение 3).

Обоснование критерия вспучивания пород почвы горных выработок. Многими исследователями, занимавшимися проблемами пучения пород почвы выработок принималась допустимая (критическая) величина смещений пород, не приводящая к тяжелым последствиям (или опасная, вызывающая существенные проблемы и затраты на поддержание).

Ю.З. Заславский [6], в качестве такого критерия вводит понятие "порог пучения" $l_0 = 20$ см – величина вспучивания почвы, при которой процесс пучения начинает заметно сказываться на состоянии выработки. Г.П. Шестаков [7] считает критической величиной смещений пучащих пород, поведением которых еще можно управлять $U < 0,3$ м, относя их согласно принятой им классификации к «умеренно пучащимся» породам. В «Прогнозном каталоге шахтопластов Донецкого бассейна...» [8] для пластовых выработок, проведенных по простиранию, площадью сечения от 8 до 12 м², показателем наличия пучения почвы принимается их поднятие на величину $U = 0,2...0,3$ м. Анализ влияния величин смещений, приводящих к существенным деформациям крепи, нарушающих нормальную эксплуатацию выработок для типовых сечений с радиусом $R_0 = 1,5...3$ м показал, что критическими смещениями контура является относительное смещение u

$= U/R_0 = 0,1 \dots 0,12$ [9]. В [10] вероятность пучения $P = 1,0$ для выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ достигается при относительных смещениях почвы $U/a = 0,1 \dots 0,12$ (a – полупролет выработки).

Таким образом, вполне обоснованно для выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ величину критических смещений можно брать равной $u^* = 0,1$, что для большинства типовых сечений выработок радиусом $1,5 \dots 3$ м составляет абсолютное поднятие $0,2 \dots 0,3$ м.

Подтверждением данной величины является критерий устойчивости [11], в основу которого положены величины смещений породного контура незакрепленных горных выработок. Соответствующие им значения показателя условий разработки

$$\theta = \frac{R_c}{\gamma H} \text{ [12] или } \theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H} \text{ приведены в табл. 1.}$$

Таблица 1

Категории пород по устойчивости

Категории пород по устойчивости	Смещения контура выработки, мм	$\theta = \frac{R_c}{\gamma H}$	$\theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H}$
Устойчивые	До 50	Более 5,0	Более 1,67
Среднеустойчивые	50-200	3,0-5,0	1,0-1,67
Неустойчивые	200-500	2,0-3,0	0,67-1,0
Сильно неустойчивые	Свыше 500	Менее 2,0	Мене 0,67

Согласно данным табл. 1, к породам, поведением которых можно управлять, применяя различные мероприятия, относятся среднеустойчивые, со смещениями до 200 мм ($\theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H} = 1,0$).

С учетом этого примем к дальнейшему рассмотрению решение для $u^* = 0,1$.

Уругопластическая устойчивость породного массива. Зависимость радиуса ЗНД r_L^* от величины объемного расширения

пород ε_v в зоне неупругих деформаций для базового решения, полученного в [1] (выражение 3) показано на рис. 3 (линия 1).

Зависимость $r_L = f(\varepsilon_v)$ для критических смещений, равных $u^* = 0,1$, обоснованная выше в качестве критерия вспучивания, рассчитанная по ф. 23 для гидростатического распределения внешних нагрузок ($\lambda = 1$) и показателе условий разработки $\theta = 1,0$ показана линией 2 (рис. 3).

Аппроксимирующая степенная зависимость, приводящая решение (23) для u^* к базовому решению для критического радиуса ЗНД r_L^* (график 1, рис. 3) имеет вид:

$$f(\varepsilon_v) = 3.2 - 73\varepsilon_v + 414.4\varepsilon_v^2. \quad (25)$$

Тогда искомое решение для u^* будет:

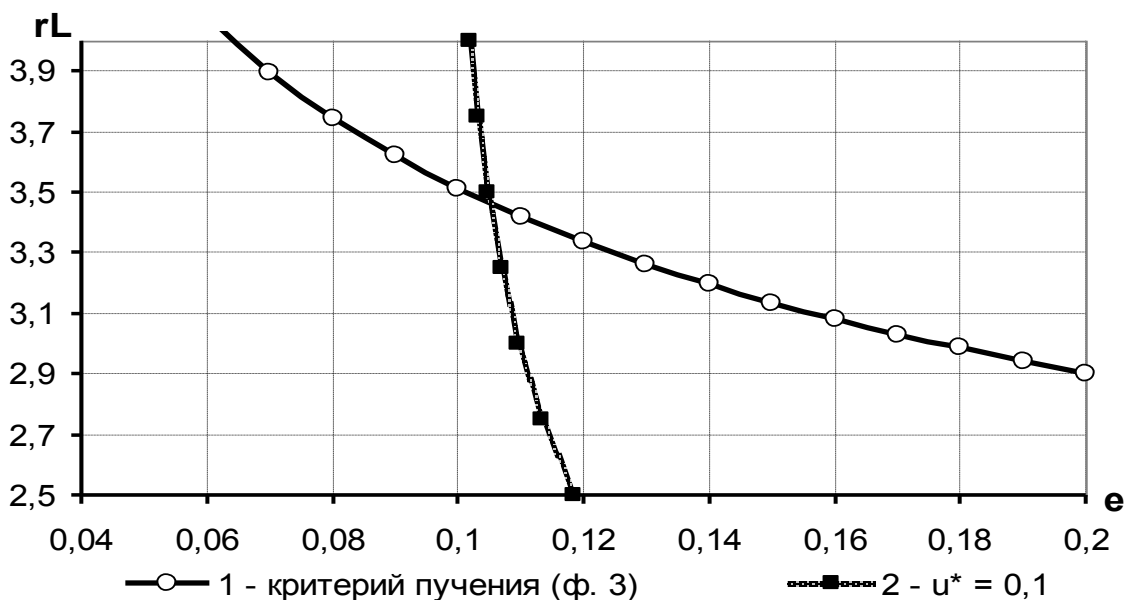


Рис. 3. Зависимость радиуса ЗНД r_L от величины объемного расширения пород ε_v в зоне неупругих деформаций

$$u_y^* = 0.006 \left(14.7 + \sqrt{1 - 67.2\varepsilon_v} \right) \left[\exp\left(-\frac{1}{NB} \right) - 1 \right] \quad (26)$$

Выражение (26) для условий негидростатического распределения внешних нагрузок будет иметь вид

$$u_y^* = 0.006 \left(14.7 + \sqrt{1 + 67.2\varepsilon_v} \right) \left[\exp\left(-\frac{(1+\lambda)}{2NB} \right) \left(1 - \frac{(1-\lambda)}{NB} \right) - 1 \right] \varepsilon_v. \quad (27)$$

Анализ результатов аналитических исследований. Для прогноза возможности вспучивания важным является установление величины критических смещений контура выработки для различных горно-геологических условий.

Диапазон величин, входящих в формулу принят следующий.

Согласно [2], предельная глубина, с которой начинается разрушение приконтурного породного массива, определяется так:

$$H_{np} = \frac{R_c k_c}{2\gamma}, \quad (28)$$

что дает предельное значение показателя условий разработки

$\theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H} = 2$. Поэтому для анализа рассматриваем диапазон изменения $\theta = 0 \dots 2,0$.

Величину коэффициента бокового распора принимаем исходя из следующих рассуждений.

Согласно гипотезе о гидростатическом распределении напряжений А. Гейма величина $\lambda = 1$. Инструментальные измерения, выполненные ВНИМИ применительно к условиям пологозалегающих месторождений осадочного происхождения, подтвердили эту гипотезу.

Гипотеза А.Н. Динника о негидростатическом распределении напряжений предполагает значения $\lambda = 0,2 \dots 0,3$ – для упругих горных пород, $\lambda = 0,5 \dots 0,6$ – для пластичных.

Огромный объем экспериментальных исследований по измерению напряженного состояния земной коры, выполненных с 60-х гг. прошлого столетия во многих районах б. СССР (Кольский полуостров, Кривой Рог, Донбасс, Урал, Норильск, Кузбасс, Алтай, Средняя Азия и др.), а также за рубежом (Австрии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Канаде, США, ЮАР и в других странах) показали, что каждой из упомянутых выше гипотез соответствует менее 25 % всех измерений. Подавляющий же объем измерений показывает, что принятые напряжения больше вертикальных в 1,5-6 раз.

Кроме того, при оценке напряженного состояния породной толщи нельзя не учитывать горнотехнические факторы в

конкретных условиях. При этом важна оценка двух факторов: вертикальной составляющей напряжений и коэффициента их передачи на горизонтальные, вызывающие поперечное расширение массива пород вблизи выработки (породного обнажения). Величина поперечных компонент зависит как от характеристики «напряжения-деформация» породы, так и от жесткости охранной конструкции выработки, запрещающей поперечное деформирование приконтурного массива, либо наоборот, активизирующая эти деформации (например, очистные работы в пределах горизонта, под- или надработка породной толщи).

С учетом вышеизложенного, уместно рассмотреть зависимость смещений контура выработки в почве от коэффициента бокового распора в более широком диапазоне значений, для чего рассмотрены $\lambda = 0 \dots 1,5$.

В отношении коэффициента $\psi = \frac{R_p}{R_c}$ принято условие, что его величина для большинства горных пород редко превышает $0,1 \dots 0,2$. Согласно теории Гриффитса, для хрупких материалов можно принять $\psi = \frac{1}{8}$. В данных расчетах принято $\psi = 0,12$.

Расчетные величины смещений контура выработки, являющиеся критерием вспучивания (устойчивости контура выработки) в зависимости от показателя условий разработки при гидростатическом влиянии внешней нагрузки представлены на рис. 4. Такие условия характерны, как было показано выше, для глубоких горизонтов пологозалегающих месторождений осадочного происхождения и для вертикальных выработок.

Зависимости критических смещений контура выработки от показателя условий разработки при негидростатическом влиянии внешних нагрузок показаны на рис. 5.

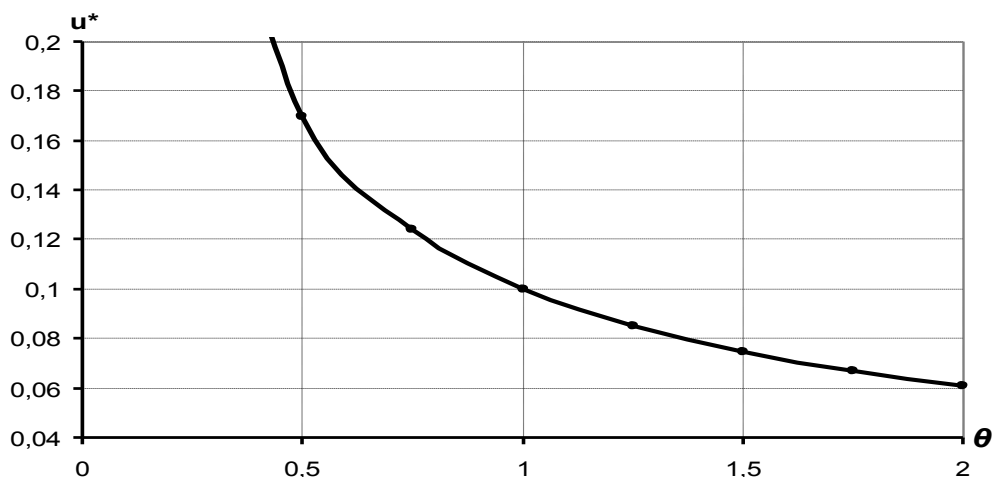


Рис. 4. Зависимость критической величины смещений контура выработки, от показателя условий разработки θ в условиях гидростатического распределения напряжений

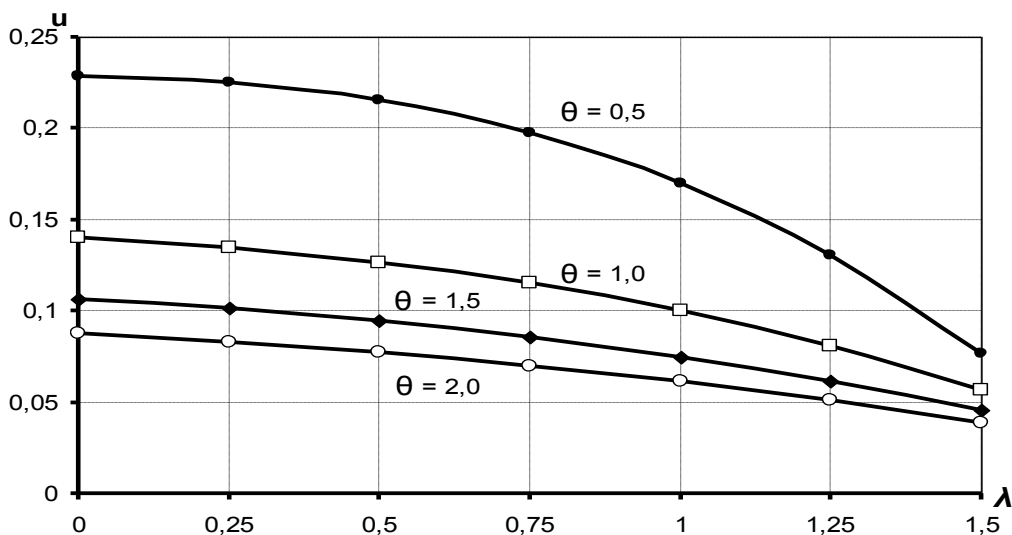


Рис. 5. Зависимость критической величины смещений контура выработки, от показателя условий разработки θ и коэффициента бокового распора λ

Полученные результаты, свидетельствуют о том, что при увеличении коэффициента бокового распора, что может быть результатом влияния очистных работ, близко расположенных выработок, а также влиянием тектонических напряжений, критические смещения, приводящие к потере устойчивости приконтурного массива снижаются, т.е. неуправляемое развитие пучения в выработке может начинаться при меньших значениях смещений контура выработки, что необходимо учитывать при планирова-

нии мероприятий, направленных на обеспечение длительной устойчивости выработки.

Данные расчеты также свидетельствуют, что критическая величина смещений контура при увеличении показателя условий разработки θ снижается, т.е. при более прочных породах, а также с увеличением глубины разработки, потеря упругопластической устойчивости может происходить при меньших значениях u^* и, предположительно, более интенсивно - подобно хрупкому разрушению.

Обеспечить устойчивое состояние пород почвы, как следует из полученного соотношения (27), можно путем проведения различных мероприятий, направленных на:

- уменьшение величины r_L ;
- уменьшение величины ε_v .

Уменьшить величину радиуса области неупругих деформаций можно путем увеличения прочности приконтурного массива. Для этого можно, во-первых, провести его упрочнение минеральными или синтетическими вяжущими веществами. Это мероприятие должно быть проведено в призабойном пространстве до образования области неупругих деформаций, что не всегда возможно по технологическим и горно-геологическим причинам. Упрочнение приконтурного массива в забое выработки может быть осуществлено также путем установки анкеров с закреплением их по всей длине.

Во-вторых, весьма эффективной мерой при существующих глубинах разработки может стать изоляция боковых пород, препятствующая возможности контакта с рудничной атмосферой, предупреждая их размокание и потерю прочности.

Известные исследования поведения пород в условиях «жесткого» деформирования [12, 13 и др.] показали, что максимальная величина объемного разрыхления (приконтурная область массива) очень чувствительна к наличию бокового давления. Причем чем ниже прочность пород, тем сильнее сказывается эффект подпора. В выработках роль бокового давления для приконтурного массива играет отпор крепи P_0 . Поэтому уменьшение величины объемного расширения приконтурного массива возмож-

но путем применения конструкций крепи, имеющих высокую несущую способность, в первую очередь, имеющих замкнутый контур – кольцевые и крепи с обратным сводом. Значительный эффект дает способ предварительного уплотнения приконтурных пород гидростойками перед укреплением их анкерами.

Выводы. На основе решения задачи о критическом радиусе ЗНД - критерия вспучивания при представлении явления пучения пород почвы, как факта потери упругопластической устойчивости породного массива, предложен более удобный с практической точки зрения критерий вспучивания – критические смещения пород почвы, находящиеся в нелинейной зависимости от критического радиуса зоны неупругих деформаций и среднего объемного расширения пород.

Величина критических смещений контура выработки, как критерий упругопластической устойчивости массива, нелинейно зависит от показателя условий разработки и коэффициента бокового давления и обратно пропорционален их величинам, что необходимо учитывать при планировании мероприятий, направленных на обеспечение длительной устойчивости выработки.

Обеспечить устойчивое состояние пород почвы выработки можно путем проведения мероприятий, направленных на уменьшение размеров зоны неупругих деформаций и снижение расслоений пород в ее пределах, главным образом – зоны приконтурного массива.

Список литературы

1. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. – Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
2. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: “Пульсари”, 2002. – 304 с.
3. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород. – М.: Углетехиздат, 1954. – 383 с.
4. Михлин С.Г. Распределение напряжений в полуплоскости с эллиптическим вырезом. – Тр. Сейсмического института АН СССР. – 1934. - № 29. – С. 212-220.

5. Терещук Р.Н. Обоснование параметров анкерной крепи капитальных наклонных выработок в условиях шахт ГХК “Добропольеуголь”. Дисс... канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2002. – 162 с.
6. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. - М.: Недра, 1966. -180 с.
7. Шестаков Г.П. Влияние структурно-геологических особенностей на определение напряжений и устойчивость почвы горных выработок шахт Донбасса Приложение результатов исследований полей напряжений к решению задач горного дела и инженерной геологии: Сб. науч. тр. - Апатиты, 1985. - С. 100 - 104.
8. Прогнозный каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. - М.: ИГД им. Скочинского, 1982. – 267 с.
9. Солодянкин А.В. Обоснование параметров способа усиления крепи подготовительных выработок при несимметричной нагрузке. Дисс...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1996. – 243 с.
10. Фесенко Э.В. Прогноз и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок. Дисс...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2005. – 187 с.
11. СНИП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.
12. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. - Киев: Наукова думка, 1989. -192 с.
13. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. – М.: Недра, 1979. – 301 с.

Стаття надійшла до редакції 18.08.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.С. Маєвським

О.М. Шашенко, О.В. Солодянкин

ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ
ВДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЮ ДЛЯ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ПОРІД ПІДОШВИ ВИРОБКИ

На підставі базового рішення задачі щодо критичного радіусу зони непружних деформацій, як критерію здимання порід підоскви гірничих виробок, запропонований більш практичний критерій, заснований на критичному значенні зміщень порід підоскви. Наведені залежності критичної величини зміщень підоскви від показника умов розробки та коефіцієнту бічного розпору масиву. Показані напрямки забезпечення стійкого стану порід підоскви виробок.

Ключові слова: здимання підоскви виробки.

A.N. Shashenko, A.V. Solodyankin

National Mining University, Dnipropetrovsk

IMPROVEMENT OF CRITERIA FOR ASSESSING FLOOR HEAVE

On the basis of a basic solution of a problem on critical radius of a zone of inelastic deformations as test of a floor heave in mine workings, test more convenient from the practical point of view is offered, founded on critical magnitude of displacement of soils of ground. Associations of critical magnitude of displacement of ground on a parameter of conditions of mining and coefficient of a side thrust presented. Directions of provision of a stable state of soils of ground of developments are shown.

Keywords: floor heave, underground roadway.

УДК 622.281

Е.В. Бабенко (канд. техн. наук, научн. сотр.)

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела, г. Донецк

ЭВОЛЮЦИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ СВИТЫ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Согласно результатам компьютерного моделирования перераспределения горного давления в процессе развития очистных работ в свите сближенных угольных пластов установлен эффект подражания, который заключается в сохранении формы зоны ПГД после ее непосредственной под- или надработки и увеличении коэффициента концентрации напряжений при побочной под- или надработке.

Ключевые слова: горное давление, свита сближенных пластов.

Развитие очистных работ в свите сближенных пластов сопровождается эволюцией зон повышенного горного давления (зон ПГД). Области повышенного горного давления представляют серьезную опасность с точки зрения газодинамических явлений, а также устойчивости горных выработок. При переходе таких зон в подготовительных и очистных выработках повышается вероятность внезапных выбросов угля и газа, а в очистных забоях происходят обрушения непосредственной кровли в рабочее пространство. Такие явления повышают опасность горных работ, себестоимость поддержания подготовительных выработок, снижают надежность работы и темпы продвижения очистных забоев. Прогноз зон ПГД остается актуальной и не до конца решенной задачей. Это связано с большим числом факторов, определяющих параметры зон ПГД.

Нормативные отраслевые методики позволяют определять ширину зоны ПГД, базируясь на эмпирическом подходе через расчет длины зоны опорного давления от одиночной лавы. Такой упрощенный подход приводит к тому, что прогнозные размеры

зон ПГД отличаются от фактических в несколько раз. Большую практическую пользу имеет информация о величине концентрации горного давления в зонах ПГД. Этот параметр используется при оценке устойчивости подготовительных и очистных выработок, прогнозе газодинамических явлениях. Однако такой параметр можно определить только с помощью численных методов. Кроме того, только трехмерные численные модели способны учесть пространственный эффект при распределении горного давления в окрестности выработанного пространства сложной формы. Особенно это актуально при одновременной разработке свиты сближенных пластов. В данной статье излагается один из возможных подходов при расчете размеров и величины концентрации напряжений в зонах ПГД с учетом пространственного характера перераспределения напряжений в процессе развития очистных работ в свите сближенных угольных пластов.

Геомеханическая модель для расчета трехмерного распределения напряжений в массиве построена следующим образом. Закономерности перераспределения напряженно-деформированного состояния исследовалось с помощью компьютерного моделирования.

Представим толщу горных пород, как толстую плиту, опирающуюся на неоднородное основание 3 и прогибающуюся под собственным весом q (рис. 1).

Плита опирается на массив, жесткость которого 3 зависит от наличия выработанных пространств и вынимаемой мощности m пластов. Позициями 1 и 2 указаны ранее выработанное пространство и то, которое формируется примыкающей действующей лавой.

На земной поверхности в процессе отработки лав 4 формируется мульда сдвижений 5. Распределение напряжений и деформаций в толстой плите определяется при помощи трехмерных моделей. Заменив толстую плиту тонкой, можно подобрать такие эквивалентные величины жесткости основания и деформационных параметров плиты, при которых некоторые параметры напряженно-деформированного состояния будут соответствовать фактическим.

С помощью такой модели можно с высокой достоверностью прогнозировать прогибы, напряжения и пространственное распределение горного давления в породных слоях в пределах высоты подрабатываемой толщи, равной 150 м.

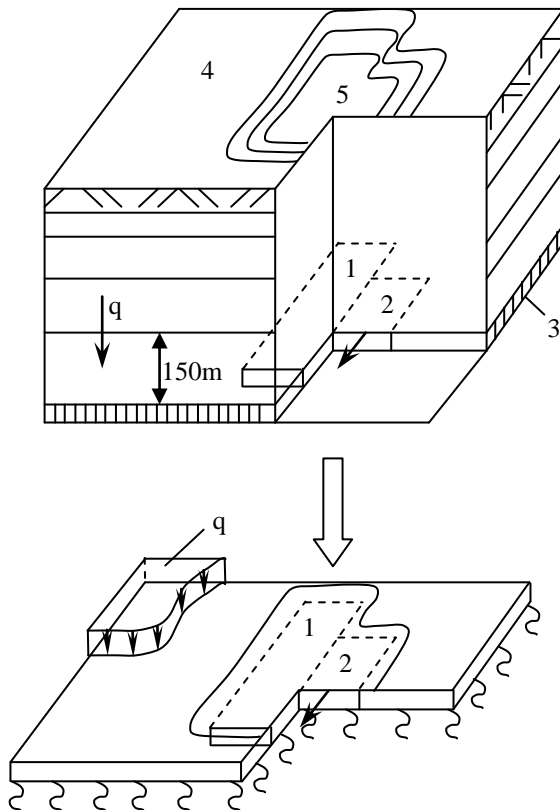


Рис. 1. Расчетная схема для определения напряженно-деформированного состояния подрабатываемой толщи горных пород

- 1 – ранее выработанное пространство
- 2 – действующая лава
- 3 – основание
- 4 – земная поверхность
- 5 – мульда

Задача о прогибе плиты-слоя над выработанными пространствами решается путем численного дифференцирования уравнения в частных производных методом конечных разностей.

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \frac{q}{D} - \frac{K\omega}{D}, \quad (1)$$

где ω – прогибы точек плиты;
 q – нормальная к срединной плоскости и распределенная по поверхности плиты пригрузка;

K – коэффициент жесткости основания, изменяющийся в зависимости от наличия или отсутствия выработанного пространства;

D – цилиндрическая жесткость плиты;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (2)$$

где h – мощность плиты;

E – приведенный модуль деформации слоистого массива;

μ – коэффициент Пуассона вмещающих пород.

В итоге получают опускания подработанной толщи на уровне верхней границы основной кровли пласта.

Для учета механических свойств всех слоев, составляющих толщу, их величины приводились к срединной плоскости плиты-слоя по следующей зависимости:

$$E = \frac{\sum p_i E_i}{\sum p_i}, \quad (3)$$

где E_i – модуль деформации i -го слоя;

p_i – вес влияния i -го слоя, который находится по формуле

$$p_i = \frac{h_i}{y_i}, \quad (4)$$

где h_i – мощность i -го слоя; y_i – расстояние от центра тяжести i -го слоя до срединной плоскости.

Зависимость, упомянутая выше, позволила учесть свойства всех слоев подработанной толщи. Данная модель учитывает также релаксацию напряжений и ползучесть пород, слагающих подработываемый массив. Это является существенным преимуществом выбранной модели, поскольку динамические процессы проявлений сдвижения горных пород являются выраженными неравновесными физическими процессами и существенно зависят от времени.

Пример расчета параметров зон ПГД приводится для случая одновременной разработки четырех сближенных пластов двумя соседними шахтами. Шахта им. Засядько разрабатывает у восточной границы своего поля три угольных пласта: k_8 , m_3 и l_1 . Существует значительная вероятность того, что поле напряжений вокруг выработанных пространств, сформированных шахтой им. Засядько возмущается очистными работами соседней погашенной шахтой «Красногвардейская».

На рисунке 2 показан совмещенный план горных выработок по двум соседним шахтам.

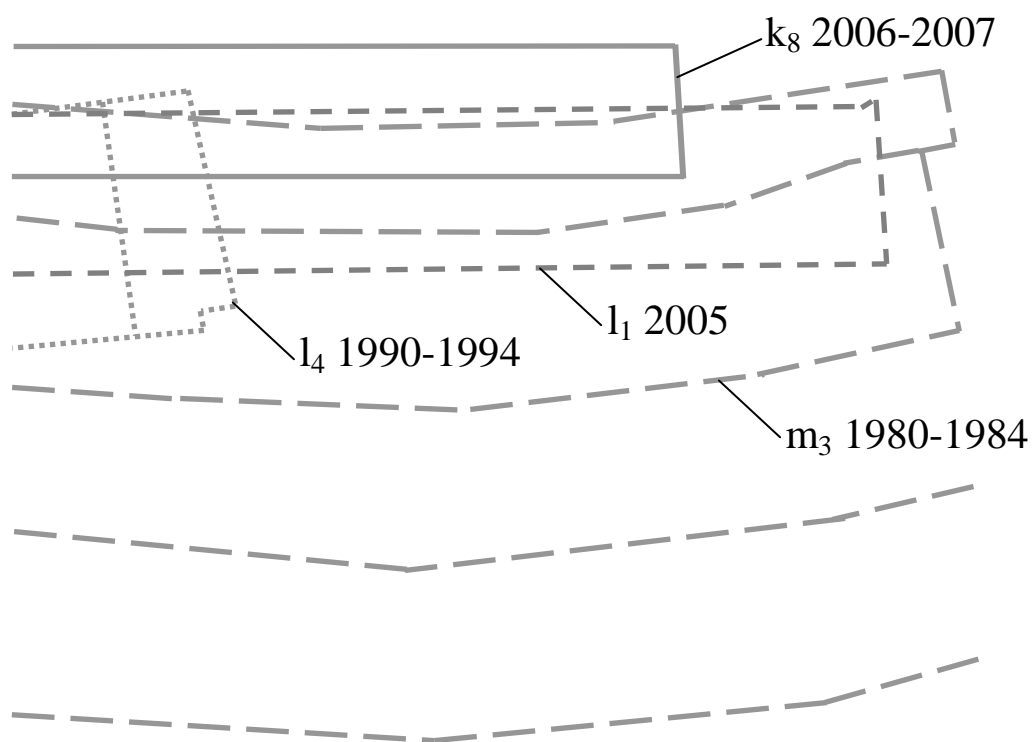


Рис. 2. Схема совмещенного плана горных выработок

Все выработанные пространства, сформированные по всем четырем угольным пластам, были сгруппированы так, чтобы собрать их по периодам отработки. Так, первая группа выработанных пространств собрана из тех, которые отработаны в 70-х годах, вторая в первой половине 80-х и так далее, вплоть до настоящего момента. Чем ближе к текущей дате, тем точнее группируются выработанные пространства. Это значит, что последние выработанные пространства введены от каждой лавы, отра-

ботанной в течение 2005-2007 года. Все выработанные пространства собраны в 11 групп, включающих 23 лавы. Эти группы вводились в расчетную схему в ретроспективном порядке, то есть в том порядке, в котором они отрабатывались в реальности. Таким образом, моделировалась реальная очередность отработки всех лав, что дало возможность адекватно описать сложную конфигурацию выработанного пространства, формируемого по всем сближенным пластам.

На рисунке 3 показана эволюция напряженного состояния массива в плоскости угольного пласта l_1 . При этом из 11 распределений выбраны только характерные этапы, на которых картина распределения горного давления менялась весьма существенно.

Характерными признаками распределения являются пиковые значения концентрации вертикальной компоненты напряжений с величиной концентрации более 3. Анализ показывает, что эти пики приурочены к областям наложения зон опорного давления на сближенных угольных пластах.

Вторая характерная черта распределений относится к зонам разгрузки, которые связаны с отдельными выработанными пространствами, или с комбинациями выработанных пространств на соседних пластах, при которых эти выработанные пространства совмещены в горизонтальной проекции.

Третья особенность связана с релаксационными процессами, которые приводят к сглаживанию градиентов горного давления во времени. В результате этого пики концентрации напряжений сглаживаются с течением времени, а степень разгрузки уменьшается.

На рисунке 4 показаны характерные этапы, на которых выделены только зоны ПГД. Сопоставление распределений зон ПГД показывает, что конфигурация зон ПГД, их размеры и величина концентрации напряжений меняется по мере развития очистных работ во времени и пространстве.

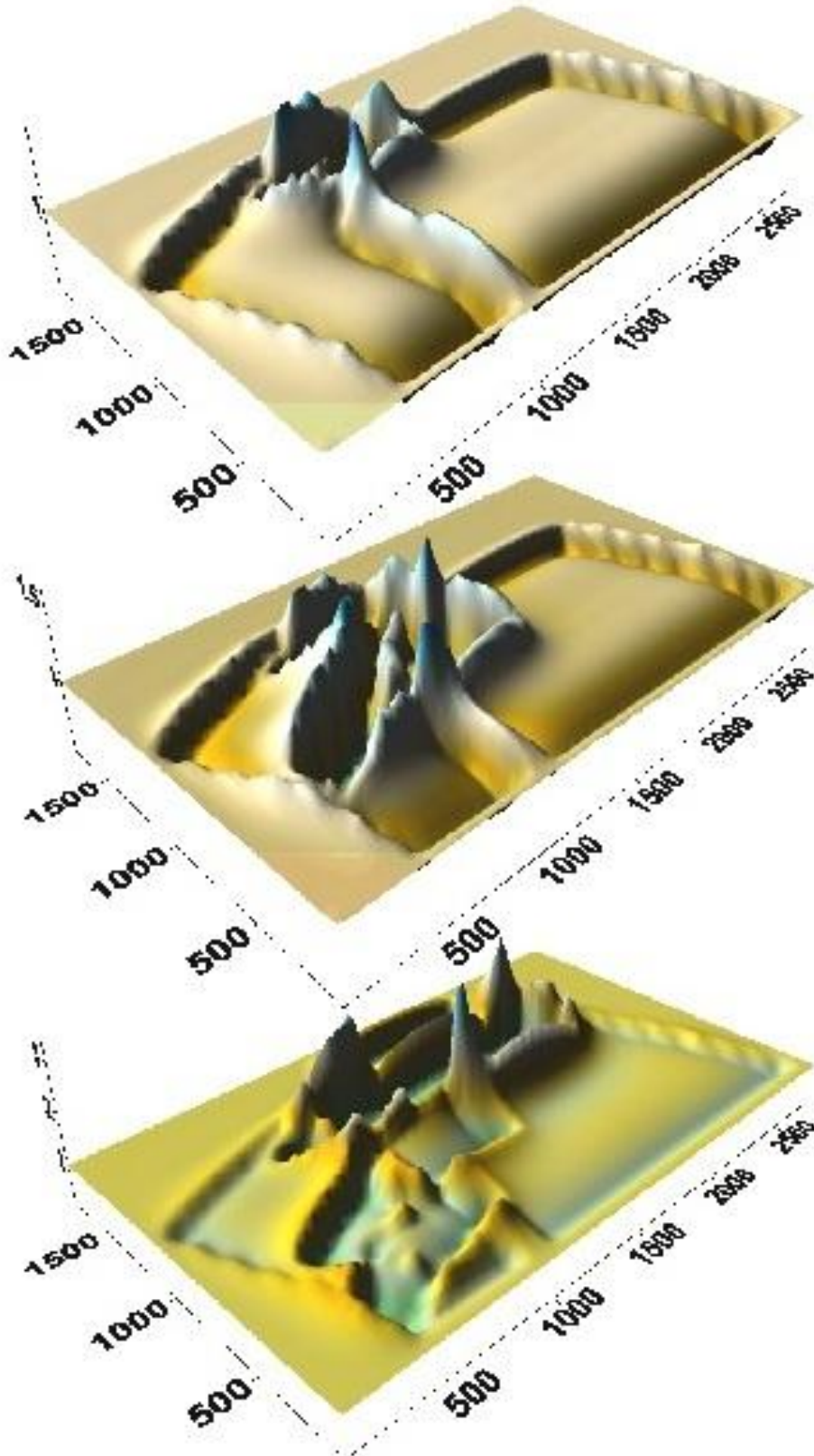


Рис. 3. Эволюция распределения горного давления в плоскости пласта I_1

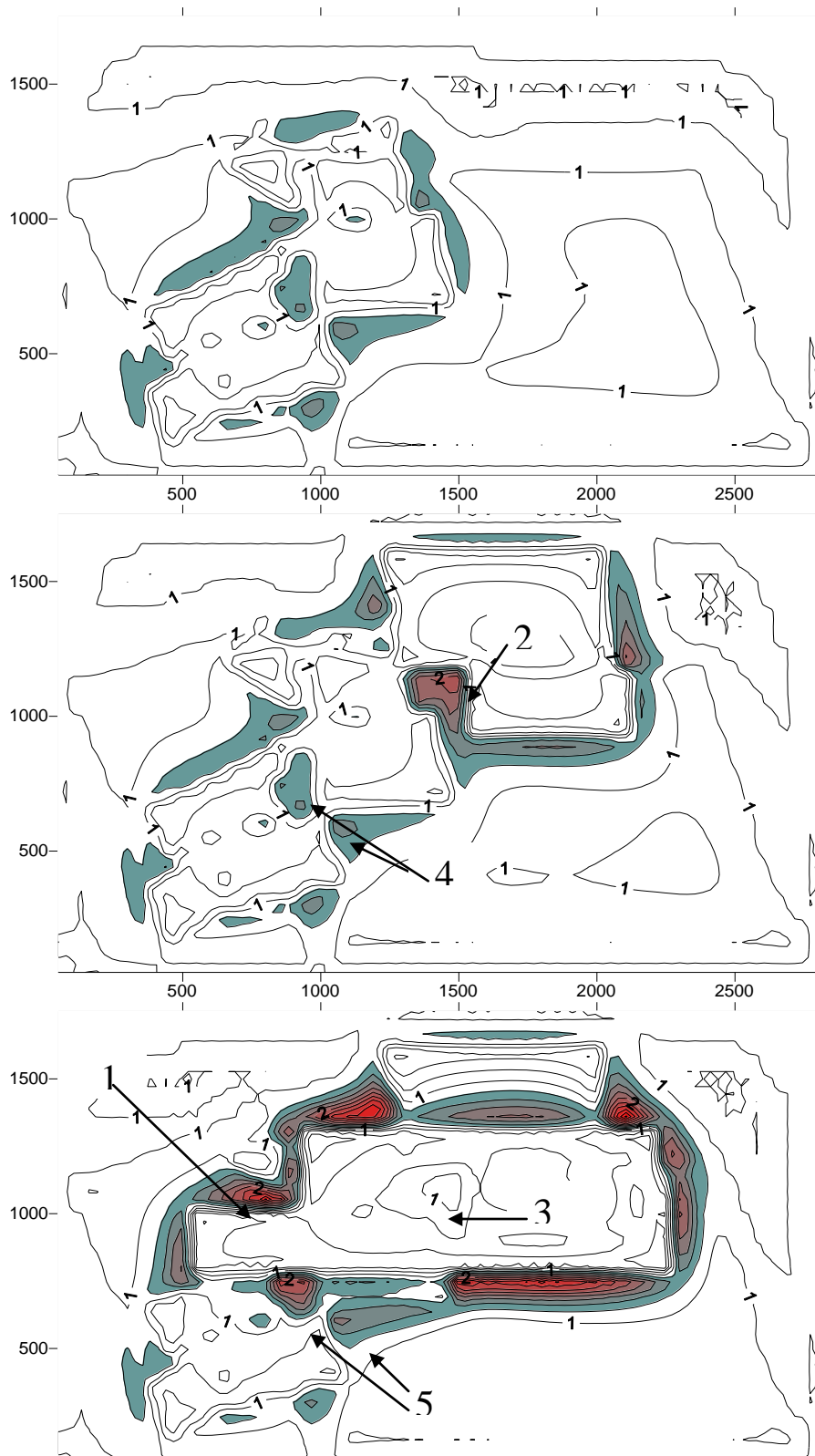


Рис. 4. Характер видоизменения зон ПГД в процессе развития очистных работ в сближенных пластах

При этом в зависимости от соотношения выработанных пространств во времени и пространстве на одном и том же участке анализируемой плоскости (в данном случае пласта l_1) могут возникать зоны ПГД, зоны разгрузки или ничего не изменяться. На текущий момент наиболее высокая концентрация напряжения обусловлена, как правило, выработанным пространством, которое отработано последним на пласте, в плоскости которого производится расчет. Так на данный момент максимальная концентрация напряжений, равная 3,17, приурочена к угловому участку краевой части пласта l_4 в точке 1. Анализ совмещенного плана горных выработок свидетельствует, что указанный максимум обусловлен не только концентрацией напряжений от выработанного пространства в собственном пласте, но и наложением зон опорного давления в смежном угольном пласте.

Характерна также тенденция к некоторому запоминанию зон повышенной концентрации напряжений. Так на предыдущем этапе в центре анализируемого участка действовало повышенное горное давление. В точке 2 концентрация горного давления составляла 2,19. Данная область ПГД обусловлена наложением зон опорного давления от выработанных пространств, оставленных на пласте k_8 и пласте l_4 . После надработки этого участка 12-й восточной лавой пласта l_1 зона ПГД исчезла, однако на этом месте напряжения близки к геостатическому уровню (см. точку 3 на нижнем фрагменте рис. 4). Форма изолиний горного давления явно совпадает с формой зоны ПГД на среднем фрагменте в окрестности точки 2. Это свидетельствует о некоторой наследственности процесса перераспределения напряжений при развитии очистных работ в свите сближенных угольных пластов. Такая наследственность экспериментально доказана в работах [3, 4, 5]. В цитируемых источниках показано, что на тех участках угольного пласта, где ранее в течение двух лет и дольше действовала зона ПГД, после надработки сохраняется вероятность газодинамических явлений. Таким образом, полученные результаты численного моделирования согласуются с выводами, сделанными ранее.

Характерна также еще одна закономерность, которая имеет место при развитии очистных работ в свите сближенных пластов.

В процессе формирования новых выработанных пространств, ранее существовавшие зоны ПГД на собственном и сближенных пластах имеют тенденцию увеличивать концентрацию напряжений. Об этом можно судить по сравнению зон ПГД (точки 4 и 5) на среднем и нижнем фрагменте распределений рисунка 4. Главное условие этого эффекта состоит в том, чтобы новое выработанное пространство не перекрывало ранее действующие зоны ПГД. Другими словами эти зоны не должны над- или подрабатываться новой лавой. Данный эффект также отражает процесс наследования при перераспределении горного давления при развитии очистных работ.

Для проверки достоверности полученных результатов применялся известный подход, при котором величина концентрации напряжений в зонах ПГД сравнивалась со скоростью конвергенции на контуре подготовительных выработок. Для этого использовались результаты мониторинга конвергенции на контуре подготовительных выработок, пройденных по пласту I_1 в окрестности 12-й восточной лавы. Это были конвейерные штреки, уклоны и заезды на указанные выработки. Для сопоставимости результатов инструментальных наблюдений все замерные станции приводились к одинаковым условиям по прочности вмещающих пород. За эталон принимались станции, заложенные в пластовых выработках. Результаты наблюдений, выполненные в полевых выработках, корректировались путем умножения коэффициента подобия, равного соотношению средневзвешенной прочности вмещающих пород. Так, например, при увеличении прочности боковых пород в полевом заезде в 2,5 раза по сравнению с прочностью боковых пород пластового конвейерного штрека, скорость конвергенции боковых стенок выработки увеличивалась в соответствующее количество раз. Это дало возможность сопоставить результаты компьютерного моделирования с данными шахтных инструментальных наблюдений.

В таблице 1 приведены результаты сопоставления величины концентрации горного давления и скорости конвергенции боковых стенок выработок в соответствующих точках. Все выработки находились примерно на одной глубине в районе 12-й восточной

лавы, что дало возможность сопоставлять данные измерений и моделирования.

Таблица 1

Результаты сопоставления расчетной концентрации горного давления и измеренной скорости конвергенции на контуре подготовительных выработок

Этап развития очистных работ	Концентрация горного давления в зоне ПГД	Приведенная скорость конвергенции, мм/сут	Соотношение концентрация/скорость
9	0,27	0,2	1,35
10	1,84	1,1	1,67
11	1,59	0,7	2,27
11	2,33	1,9	1,23

Средняя величина соотношения величины концентрации к скорости конвергенции составила $1,63 \pm 0,47$. Это значит, что коэффициент вариации результатов сопоставления равен 28 %, что можно считать вполне приемлемым. Это свидетельствует о достоверности результатов моделирования и надежности сделанных выводов.

ВЫВОДЫ

Развитие очистных работ в свите сближенных пластов сопровождается определенными закономерностями наследования в эволюции зон ПГД при развитии очистных работ в свите сближенных пластов. Это наследование проявляется в том, что при над- и подработке мест высокой концентрации напряжений (более 2,5) в выработанном пространстве под- или надрабатывающей лавы остается зона, которая сохраняет конфигурацию бывшей зоны ПГД и в которой горное давление близко к геостатическому уровню. Если ранее существовавшие зоны ПГД на собственном или смежном сближенном пласте не попадают под плоскость или над плоскостью проекции нового выработанного пространства, в указанных зонах концентрация возрастает в 1,1-2,1 раза после формирования нового выработанного пространства. Полученные закономерности позволяют более обоснованно пла-

ниривать горные работы для обеспечения безопасных условий подземной разработки месторождений.

Список литературы

1. КД 12.01.01.201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. 1998.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
3. Gilbride L.J., Hardy M.P. Interpanel barriers for deep western u.s. longwall mining/ 33rd International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia, USA, August 3–5, 2012. Pp. 67-72.
4. Ильяшов М.А. Безопасная разработка свит угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям, в зонах повышенного горного давления. – Донецк: Донбасс, 2008. – 175 с.
5. Chen J. Mishra M. Longwall mining-induced abutment loads and their impacts on pillar and entry stability. Proceedings of the 34 International Conference on Ground Control in Mining, August 6-8, 2013, Morgantown, West Virginia:11-17

Стаття надійшла до редакції 05.09.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.В. Борщевським

К.В. Бабенко

Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи, м. Донецьк

ЕВОЛЮЦІЯ ЗОН ПІДВИЩЕНОГО ГІРСЬКОГО ТИСКУ В ПРОЦЕСІ ВІДПРАЦЮВАННЯ СВІТИ ЗБЛИЖЕНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Згідно результатів комп'ютерного моделювання перерозподілу гірського тиску в процесі розвитку очисних робіт в свиті зближених вугільних пластів встановлено ефект наслідування, який полягає у збереженні форми зони ПГТ після її безпосередньому під- або надпрацюванні та збільшенні коефіцієнту концентрації напружень при побічному під- або надпрацюванні.

Ключові слова: гірський тиск, світа пластів.

K.V. Babenko

Ukrainian State Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics and Mine Surveying, Donetsk

ABUTMENT ZONES EVOLUTION DUE TO MULTIPLE SEAMS EXTRACTION

Computer simulation was used to find new post effect due to gob expand-

ing at contiguous coal seams. Direct over- and under mining of abutment zones save the shape of these zones but reduce stress concentration down to 1. Indirect under and over mining activate stress concentration.

Keywords: abutment zone, mutuple seam eaxtraction.

ЗМІСТ

Назимко В.В.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ КАЛЕНДАРНОГО
ПЛАНУ ПРОЕКТУ ПРОГНОЗУ І РОЗВІДКИ
МАЛОАМПЛІТУДНИХ ПОРУШЕНЬ.....3

Сахно И.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГИДРАТАЦИИ РАСТВОРА НРС
МЕТОДОМ ЯМР СПЕКТРОСКОПИИ.....16

Анциферов А.В., Глухов А.А., Компанец А.И.

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ
ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ШАХТНОЙ
СЕЙСМОРАЗВЕДКИ.....33

Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Бабец Д.В.

ВЛИЯНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК.....51

Колесник Н.А., Яйцов А.А.

АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОДДЕРЖАНИЯ
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....63

Шашенко А.Н., Солодянкин А.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ
УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ.....77

Бабенко Е.В.

ЭВОЛЮЦИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В
ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ СВИТЫ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ
ПЛАСТОВ.....96

Інформація для авторів

До збірника приймаються оригінальні неопубліковані раніше статті з проблем, пов'язаних з проявом гірського тиску при розробці родовищ корисних копалин.

Рішення про публікацію рукопису приймається після отримання трьох позитивних анонімних рецензій відомих фахівців з даного питання. Головними критеріями є новизна і значущість результатів, їх достовірність і надійність. Число сторінок та малюнків не обмежена, тому пропонуємо: не економити на розмірах графіків, вказувати всі експериментальні точки, вихідні умови, статистичні характеристики, довірчі інтервали, збіжність теоретичних результатів з експериментальними, отриманими в результаті обробки даних і т.д. Рукописи, в яких матеріал викладено поверхнево, тезово, без достатнього наукового обґрунтування та пояснюючого графічного матеріалу, таблиць та формул, не приймаються. Статті можна розбивати на пункти, якщо автори вважають це за потрібне. Головне - ясність і логічна послідовність викладу, а також переконливість і вагомість висновків.

Вимоги до форматування рукописи наступні. Поля: верх, ліво, право - 2,5 см, низ - 3,2 см. Шрифт: Times New Roman, 16 пунктів. Текст повинен бути підготовлений в редакторі MS Word (6.0/7.0, 97/2000/XP) і відформатовано для друку на лазерному принтері (HP 6P, роздільна здатність не менше 300 пікселів/дюйм). **Рекомендується вводити текст в готовий електронний формат-шаблон, який редакція може вислати по електронній пошті victor_nazimko@mail.ru або bugayovanatasha@mail.ru.**

Не слід готувати графіки та креслення в кольорі, так як на етапі підготовки колір створює оманливе враження чіткості, зникаюче в підсумковому чорно-білому рисунку. **Усі підписи повинні бути досить великими**, в розрахунку на дворазове зменшення при друку збірника. **Мінімальний розмір знаків у графіках, поясненнях і т.п. - 3 мм.**

Посилання на джерела літератури повинні бути оформлені за ДСТУ ГОСТ 7.1.:2006.

До редакції надсилаються три екземпляри рукопису на папері формату А4 хорошої якості і електронна версія поштою. **Необхідно вказати адресу електронної пошти**, за якою можна вести переписку для уточнень і виправлень.

У супровідному листі слід обов'язково вказати, що рукопис **раніше не публікувалася**. Рукописи підписуються всіма співавторами.

Докладаємо пам'ятку для авторів, яку корисно переглянути перед відсиланням рукопису до редакції.

Текст перевірений на орфографічні і граматичні помилки	<input type="checkbox"/>
Англійський варіант анотації перевірений спеціалістом-мовознавцем. Спеціальні терміни перевірені на правильність перекладу.	<input type="checkbox"/>
Надрукована рукопис вчитана та оглядена, а також підписана всіма співавторами.	<input type="checkbox"/>
Рисунки виконані досить товстими лініями, підписи на рисунках досить великі (в розрахунку на зменшення в два рази).	<input type="checkbox"/>
Всі осі на малюнках підписані. Всі розмірні величини представлені в одиницях системи СІ.	<input type="checkbox"/>
Список літератури відповідає вимогам ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.....	<input type="checkbox"/>
У супровідному листі підтверджується, що рукопис раніше не публікувалася. ...	<input type="checkbox"/>

Информация для авторов

В сборник принимаются оригинальные неопубликованные ранее статьи по проблемам, связанным с проявлением горного давления при разработке месторождений полезных ископаемых.

Решение о публикации рукописи принимается после получения трех положительных анонимных рецензий известных специалистов по данному вопросу. Главными критериями являются новизна и значимость результатов, их достоверность и надежность. Число страниц и рисунков не ограничено, поэтому предлагаем: не экономить на размерах графиков, указывать все экспериментальные точки, исходные условия, статистические характеристики, доверительные интервалы, сходимость теоретических результатов с экспериментальными, полученными в результате обработки данных и т.д. Рукописи, в которых материал изложен поверхностно, тезисно, без достаточного научного обоснования и поясняющего графического материала, таблиц и формул, не принимаются. Статьи можно разбивать на пункты, если авторы считают нужным. Главное – ясность и логическая последовательность изложения, а также убедительность и весомость выводов.

Требования к форматированию рукописи следующие. Поля: верх, лево, право – 2,5 см, низ – 3,2 см. Шрифт: Times New Roman, 16 пунктов. Текст должен быть подготовлен в редакторе MS Word (6.0/7.0, 97/2000/XP) и отформатирован для печати на лазерном принтере (HP 6P, разрешающая способность не менее 300 точек/дюйм). **Рекомендуется вводить текст в готовый электронный формат-шаблон, который редакция может выслать по электронной почте victor_nazimko@mail.ru или bugayovanatasha@mail.ru.** Не следует готовить графики и чертежи в цвете, так как на этапе подготовки цвет создает обманчивое впечатление четкости, исчезающее в итоговом черно-белом рисунке. **Все подписи должны быть достаточно крупными**, в расчете на двукратное уменьшение при печати сборника. **Минимальный размер знаков в графиках, пояснениях и т.п. - 3 мм.**

Ссылки на источники литературы должны быть оформлены по ДСТУ ГОСТ 7.1.:2006.

В редакцию присылаются три экземпляра рукописи на бумаге формата А4 хорошего качества и электронная версия по почте. **Необходимо указать адрес электронной почты**, по которому можно вести переписку для уточнений и исправлений.

В сопроводительном письме следует обязательно указать, что рукопись **ранее не публиковалась**. Рукописи подписываются всеми соавторами.

Прилагаем памятку для авторов, которую полезно просмотреть перед отсылкой рукописи в редакцию.

Текст проверен на орфографические и грамматические ошибки	<input type="checkbox"/>
Английский вариант аннотации проверен специалистом-языковедом. Специальные термины проверены на правильность перевода.	<input type="checkbox"/>
Рукопись вычитана и подписана всеми соавторами.	<input type="checkbox"/>
Рисунки выполнены в расчете на уменьшение в два раза.....	<input type="checkbox"/>
Все оси на рисунках подписаны. Все размерные величины представлены в единицах системы СИ.	<input type="checkbox"/>
Список литературы соответствует требованиям ДСТУ ГОСТ 7.1.:2006	<input type="checkbox"/>
В сопроводительном письме подтверждается, что рукопись ранее не публиковалась.	<input type="checkbox"/>

Notes for Contributors

The Journal accepts for consideration papers discussing original research, new developments, site measurements, and case studies in areas of geomechanics and ground control. The emphasis is made on irreversible (post-elastic) processes of ground movement, caused by mining or construction activity, such as subsidence, underground opening closure, roof fall, support deterioration, landslide, and so forth. The most attractive features of a manuscript submitted are novelty and scientific importance of proposed materials, reliability of results and conclusions.

Detailed description of experiment initial conditions should be presented.

Statistics, confidence intervals, discrepancies between experimental and theoretical data should be deliberated.

None restrictions are imposed on the paper volume. Division into paragraphs and items is up to Author's volition.

A manuscript should be typed in Times New Roman.

Text of a manuscript should be prepared using MS Word 6.0/7.0/97/2000/XP, and formatted for printing at HP 5P, 300 dpi. Editorial Board recommends to insert prepared materials into a special template that is available on request at e-mail address victor_nazimko@mail.ru or bugayovanatasha@mail.ru.

Charts and figures must be legible and clear enough, regarding to double shrinking while printing.

Formatting, spelling and grammar checking as well as figures, tables, and formulas layout are of Author(s) responsibility because of limited Editorial Board staff.

A short abstract written in Ukrainian/Russian, and English should precede the paper text.

To facilitate the publishing process, Authors should send original paper along with two hard copies; its electronic version recorded on diskette should be submitted. Also, the Author(s) return e.mail address is appreciated.

Journal is supposed to be distributed among the leading libraries in Ukraine and some overseas institutions.

Authors will receive a copy of the Journal where their paper was published.

In covering letter Authors should indicate that manuscript submitted has not been published elsewhere earlier.

Before sending the manuscript to Journal, making the final check is much helpful, according the check list below:

Text has been checked on spelling and grammar	<input type="checkbox"/>
Printed hard copy has been carefully went through and finally examined	<input type="checkbox"/>
Axes captions, legends, lines and details of figures description are large and legible enough	<input type="checkbox"/>
International metric units (SI) are used	<input type="checkbox"/>
References are printed according to the International Standard.....	<input type="checkbox"/>
Cover letter confirms that the manuscript submitted has not been published before....	<input type="checkbox"/>

Наукове видання

ПРОБЛЕМИ ГІРСЬКОГО ТИСКУ

Збірник наукових праць

№1 (24) – 2 (25) ' 2014

(російською, українською, англійською мовами)

Всі надруковані в цьому збірнику статті прорецензовані

Формат 60×84¹/₁₆ Ум. друк. арк. 10.
Тираж 100 прим. Замовлення №

Адреса редакції: 83001, Україна, м. Донецьк, вул. Артема, 58, к. 11.319; Тел.: (062) 337-20-24; e-mail: *victor_nazimko@mail.ru, bugayovanatasha@mail.ru*

Видавець та виготовлювач: Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет».

Україна, 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58. Тел.: (062) 301-08-67

Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи:
серія ДК № 2982 від 21.09.2007.