

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОРУДНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО МАТЕРІАЛУ НАБІЙКИ У ЗАРЯДАХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

Ищенко О.К.<sup>1</sup>, Кратковський І.Л.<sup>2</sup>, Ищенко К.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ДВНЗ «Національний гірничий університет»  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро  
Kam1c@ua.fm  
ishenko\_k@i.ua

<sup>2</sup>Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова  
Національної академії наук України  
вул. Сімферопольська, 2а, 49005, м. Дніпро  
kratkovsky@i.ua

Для підвищення якості матеріалу набійки шляхом поліпшення його фізико-механічних характеристик виконані дослідження з розробки нових складів пружно-пластичної твердіючої суміші, що розширюється, для набійки шпурових і свердловинних зарядів, основним компонентом яких був обраний природний ангідрит (сульфат кальцію –  $\text{CaSO}_4$ ) і доменний шлак. Основна особливість цих складів полягає у тому, що у розробці їх використані інгредієнти, які є відходами переробки гірничодобувного комплексу, деревопереробної та металургійної промисловості. *Ключові слова:* гірничовидобувна промисловість, відходи, заряди вибухової речовини, набійка, ефективність.

**Использование отходов горнорудного производства для эффективного материала забойки в зарядах взрывчатых веществ.** Ищенко А.К., Кратковский И.Л., Ищенко К.С. Для повышения качества забоечного материала за счет улучшения его физико-механических характеристик выполнены исследования по разработке новых составов упругопластической расширяющейся смеси для забойки шпуровых и скважинных зарядов, основными компонентами которых был выбран природный ангидрит (сульфат кальция –  $\text{CaSO}_4$ ) и доменный шлак. Основная особенность этих составов состоит в том, что в разработке их использованы ингредиенты, являющиеся отходами переработки горнодобывающего комплекса, деревоперерабатывающей и металлургической промышленности. *Ключевые слова:* горнодобывающая промышленность, отходы, заряды взрывчатого вещества, забойка, эффективность.

**Using mining waste for effective stemming material into the explosive charge.** Ishchenko A., Kratkovsky I., Ishchenko K. To improve the quality of the stemming material due to the improvement of its physical and mechanical characteristics, studies have been carried out on the development of new compositions of an elastoplastic expanding mixture for the drilling of borehole and borehole charges, the main components of which were selected from natural anhydrite (calcium sulfate –  $\text{CaSO}_4$ ) and blast-furnace slag. *Key words:* mining industry, waste, charges of explosive, stemming, efficiency.

**Постановка проблеми.** Відходи переробки корисних копалин стають техногенним компонентом довкілля у гірничодобувних регіонах, а негативні наслідки їх розміщення на земній поверхні очевидні. Породні відвали є одним з джерел привнесення у довкілля значної кількості забруднюючих речовин, які прямо або опосередковано впливають на стан здоров'я населення.

**Актуальність дослідження.** Загрозлива ситуація спостерігається у разі розміщення породних відвалів вугільних шахт на територіях сільськогосподарських угідь. Окрім прямого відчуження земель та вилучення їх із сільськогосподарського використання, вплив відвалів на екологічний стан ґрунтових систем пов'язаний з цілим комплексом техногенних процесів, у тому числі з кислотним стіканням з поверхні, а також вилуговуванням мінералів. Винесення компонентів з поверхні породних відвалів сприяє переходу у розчин солей лужних та лужноземельних елементів, сульфідів, важких металів та ін. [1].

Накопичення зазначеної кількості промислових відходів являє собою одну з причин негативних

наслідків на екологічний, медичний, соціальний і демографічний стан територій з розвинутою видобувною і переробною промисловістю. Тому питання зниження обсягів накопичених твердих відходів промисловості, у тому числі шляхом їх більш широкого застосування при видобутку корисних копалин за допомогою енергії вибуху, залишаються актуальними і вимагають практичного вирішення.

Новизна. Для підвищення якості матеріалу набійки шляхом поліпшення його фізико-механічних властивостей ДВНЗ «Національний гірничий університет» спільно з Інститутом геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України виконані дослідження з розробки нових складів пружно-пластичної твердіючої суміші, що розширюється, для набійки шпурових і свердловинних зарядів, основним компонентом яких був обраний природний ангідрит (сульфат кальцію –  $\text{CaSO}_4$ ) і доменний шлак.

Основна особливість цих складів полягає у тому, що в їх розробці використані інгредієнти, які є відхо-

дами переробки гірничодобувного комплексу, деревопереробної та металургійної промисловості.

Обґрунтування раціонального співвідношення компонентів у складі суміші проводилося з використанням лінійної моделі планування експериментів при пошуку оптимальних умов [2], і оцінювалося воно по водотвердому відношенню (відношення маси твердих компонентів до маси води) і коефіцієнту спучування поверхні, що характеризує збільшення обсягу при затвердінні по відношенню до вихідного обсягу.

Попередні випробування показали, що внаслідок взаємодії відходів – доменного шлаку, доломітового пилу і лігносульфонатів – у першому варіанті, лігносульфонатів і відходів збагачення вугілля (хвости) – у другому, доломітового пилу, лігносульфонатів і відходів збагачення вугілля (хвости) – у третьому, суміші, що твердіють, за своїм структурним складом перетворюються у комірковий матеріал [3]. Отримані композиції при з'єднанні між собою утворюють безліч комірок, які, зливаючись, перекривають і заповнюють міжфракційний простір природного ангідриту у суміші.

Структура коміркового матеріалу формується під час спучування його від взаємодії доломітового пилу і хвостів з солями сірчаної кислоти, які є основою лігносульфонатів. Сольові розчини лігносульфонатів, огортаючи частки в'язучого – доломітовий пил і хвости, заповнюють міжфракційний поровий простір, утворюючи комірки, в яких протікає екзотермічна реакція, що супроводжується виділенням тепла і утворенням вуглеводневих сполук і поризацією суміші, що твердіє. У процесі взаємодії компонентів суміші всередині неї утворюються газові бульбашки. Зі збільшенням їх кількості та розмірів міжфракційні відстані зменшуються, а отже, стають тоншими міжпорові розчинні стінки-перегородки, властивості яких значною мірою впливають на якість формованої структури.

При недостатній кількості води у суміші і переважання дрібних фракцій природного ангідриту під час формування структури коміркового матеріалу міжпорові стінки недостатньо еластичні і міцні. Під тиском газу, котрий утворюється, пори руйнуються, відбувається їх злиття, і формуються газопровідні капіляри, по яких газ спрямовується вгору і виділяється через поверхню матеріалу, що спучується.

Для обґрунтування і вибору оптимальної кількості фракцій природного ангідриту, їх кількості в суміші і виду добавок, що вводяться, а також процентного співвідношення їх у загальній масі суміші необхідно було встановити вплив розміру цих фракцій на якість набієчного матеріалу. З цією метою у лабораторних умовах природний ангідрит руйнували у кульовому млині. Зруйнований ангідрит продовжували подрібнювати в агатовій ступці сухим помелом до певних розмірів різних фракцій. Після цього подрібнену масу ангідриту методом сито-

вого аналізу поділяли на такі фракції: (+ 0-0,2) мм; (+ 0,2-0,315) мм; (+ 0,315-0,4) мм; (+ 0,4-1,0) мм; (+ 1,0-2,5) мм. Потім, в отриману подрібнену масу (88,7%), розділену по фракціям, додавали: хвости – відходи збагачення вугілля, доломітовий пил, лігносульфонати, алюмокалієвий галун  $KAl(SO_4)_2 \cdot 10H_2O$ . В отриману композицію додавали воду. Після затвердіння суміші визначалася її щільність відповідно до ГОСТ 10181.2-81 [4].

**Виклад основного матеріалу.** Раніше виконаними дослідженнями [5] встановлено, що швидкість твердіння ангідритного в'язучого залежить від розміру фракцій природного ангідриту і виду введеної добавки. Причому, чим тонше помел продукту, тим більше сумарна поверхня частинок. Тому потрібна більша кількість води для його консолідації. Однак введення води більшої кількості, ніж необхідно для повної гідратації частинок ангідриту, призводить до зниження міцності суміші, що не бажано. Для забезпечення гарної схоплюючої здатності ангідриту у суміші необхідно включати до її складу не менше 35% другої фракції діаметром 0-0,2 мм і більше [5]. Ця фракція була взята за основу суміші, а проведені дослідження підтвердили вплив обраної фракції подрібненого ангідриту і інших добавок, що мають такі ж розміри фракцій і масу на заповнення міжзернового простору, що забезпечує високу міцність отриманого набієчного матеріалу (табл. 1).

Таблиця 1

**Значення щільності суміші при різних співвідношеннях других фракцій ангідриту**

|   |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Розміри другої фракції у суміші, мм                       | 0,2-0,315 | 0,40-1,0  | 1,00-1,60 |
| Щільність суміші, $\rho \cdot 10^3$ , кг / м <sup>3</sup> | 2,13-1,92 | 1,90-1,87 | 1,43-1,12 |

Як видно з табл.1, зі збільшенням другої фракції ангідриту або інших добавок, що входять до складу суміші, щільність маси, яка твердіє, зменшується, причому істотно, коли розмір частинок перевищує 1 мм. З нашої точки зору це пояснюється тим, що при розмірі частинок понад 1 мм збільшується пористість суміші через нещільну упаковку зерен, а це призводить до погіршення властивостей набієчного матеріалу, оскільки збільшуються фільтраційні властивості суміші. Дослідженнями також встановлено, що використання 2-х фракцій ангідриту і однієї фракції добавок у суміші не робить істотного впливу на її фізико-механічні характеристики, але ускладнює технологію її приготування. Тому надалі нами використовувалися 2-х фракційні склади: природний ангідрит і зв'язуючі добавки.

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень була розроблена технологія виготовлення твердіючої суміші, в якій як основний

компонент використовувався подрібнений природний ангідрит розміром фракції (2,0-4,0 мм) – 60% і 40% – добавки, тобто відходи збагачення вугілля  $d_{\text{фр}} = 0,25-0,3$  мм, доменний шлак фракції  $d_{\text{фр}} = 0,4-1,0$  мм і доломітовий пил  $d_{\text{фр}} = 0-0,25$  мм.

Оскільки поставлена задача вимагала створення набічного матеріалу, здатного розширюватися у процесі затвердіння, нами були випробувані лігносульфонати [6] – солі лігносульфонових кислот, які володіють такими властивостями. Вони досить дешеві і є відходами сульфитного способу отримання целюлози. Товарна назва цього продукту – «концентрати сульфитів – дріжджової бражки – КБТ, КБЖ».

Після підбору всіх компонентів, що входять до складу розробленої нами суміші, необхідно було встановити раціональне їх співвідношення, для чого використовувалася лінійна модель планування експериментів, заснована на варіюванні чинників за трьома рівнями [2]. Необхідна кількість дослідів  $N$  для реалізації всіх можливих поєднань рівнів чинників визначається за формулою

$$N = n^k \quad (1)$$

де  $n$  – число рівнів;  $k$  – число факторів.

Факторами, що враховували у дослідженнях при визначенні оптимальних співвідношень компонен-

тів, котрі входять до складу суміші, приймалися зміст 2-ї фракції, води і лігносульфонатів, які змінюються за трьома рівнями -1; 0; +1, тобто при мінімальних, оптимальних і максимальних значеннях.

Результати розрахунків співвідношення основних компонентів у матеріалі набійки наведені у табл. 2 і 3.

На підставі даних табл. 2 і 3, було підготовлено 9 складів суміші для набійки свердловинного заряду і проведено порівняльний аналіз за критерієм «максимальне розширення при твердінні-мінімальний час початку схоплювання суміші» і встановлені раціональні співвідношення компонентів, що входять у складі твердіючих сумішей. Розроблені складі сумішей захищені патентами України [7-9].

Характеристики розроблених складів набійки сумішей наведені у таблиці 4.

Для підтвердження обґрунтованого нами раціонального співвідношення компонентів у сумішах проведені експериментальні дослідження по визначенню їх основних фізико-механічних характеристик відповідно до діючих стандартів і розроблених методик [10-13]. Основні значення фізико-механічних характеристик складів твердіючих сумішей та інших матеріалів набійки наведені у табл. 5.

З метою вивчення впливу газовиділень на міцність структури коміркової суміші у залежності від різних технологічних факторів нами була розроблена спеціальна методика [3].

Відмітна особливість розробленої методики полягає у тому, що для оцінки впливу водотвердого співвідношення «вода-тверді компоненти» (В/Т) на коефіцієнт спучування поверхні коміркових сумішей при оптимізації складів сумішей для набійки під час їх спучування до повного схоплювання розроблений спеціальний стенд, загальний вигляд якого наведено на рис. 1. Стенд складається з поршневого пристрою з циліндричною порожниною для розміщення суміші, що твердіє, індикатору годинникового типу ІЧ-10, комбінованого цифрового приладу ЦЗ-400,

Таблиця 2

## Рівні факторів та інтервали варіювання

| Фактор                                     | Кодове позначення | Рівні |      |      |
|--|-------------------|-------|------|------|
|  |                   | -1    | 0    | +1   |
| Вміст добавок у 2-ї фракції суміші, мас. % | X1                | 33    | 40   | 47   |
| Вміст рідини в суміші, мас. %              | X2                | 16,4  | 19,2 | 23,0 |
| Вміст лігносульфатів у рідині, мас. %      | X3                | 7,0   | 6,5  | 10,3 |

Таблиця 3

## Значення співвідношень компонентів у суміші (мас. %) при повному факторному експерименті

| Номер експерименту | Код | Рівні | Вміст фракцій 0-0,2 мм у суміші, мас. % | Код | Рівні | Вміст фракцій 0-0,2 мм у суміші, мас. % | Код | Рівні | Вміст фракцій 0-0,2 мм у суміші, мас. % |
|--------------------|-----|-------|---|-----|-------|---|-----|-------|---|
| 1                  | X1  | -1    | 33                                      | X2  | -1    | 16,4                                    | X3  | +1    | 10,3                                    |
| 2                  |     | +1    | 47                                      |     | -1    | 16,4                                    |     | -1    | 7,0                                     |
| 3                  |     | -1    | 33                                      |     | +1    | 23,0                                    |     | -1    | 7,0                                     |
| 4                  |     | +1    | 47                                      |     | +1    | 23,0                                    |     | +1    | 10,3                                    |
| 5                  |     | -1    | 33                                      |     | -1    | 16,4                                    |     | -1    | 7,0                                     |
| 6                  |     | +1    | 47                                      |     | -1    | 16,4                                    |     | +1    | 10,3                                    |
| 7                  |     | -1    | 33                                      |     | +1    | 23,0                                    |     | +1    | 10,3                                    |
| 8                  |     | +1    | 47                                      |     | +1    | 23,0                                    |     | -1    | 7,0                                     |
| 9                  |     | -     | 40                                      |     | -     | 19,2                                    |     | -     | 6,5                                     |

**Фізико-механічні характеристики нових складів твердіючих сумішей  
для набійки свердловинних зарядів**

| Склади сумішей в масових частках, %  | Фізико-механічні характеристики сумішей |                               |                              |  |  |                              |                        |                      |
|--|---|-------------------------------|------------------------------|--|--|------------------------------|------------------------|----------------------|
|  | Щільність, $\rho$ , кг/см <sup>3</sup>  | Коеф. внутрішнього тертя, $k$ | Коеф. пластично-ст., $\beta$ | Час початку твердіння суміші, $t$ , год. | Міцність суміші на одноосовий стиск, $\sigma_{ст}$ , МПа | Модуль деформації, $E$ , МПа | Розширення суміші, в % | Зчеплення, $C$ , МПа |
| 1) Патент України № 81698:<br>Доломітовий пил – 30,2-32,6;<br>Алюмокалієвий галун – 10,1-13,4;<br>Вода – 15,4-23,0;<br>Доменний шлак фракції $d_{фр} = 0,4-1,0$ мм – решта   | 2,01-2,02                               | 0,26-0,3                      | 1,1-1,2                      | 0,2-0,3                                  | 30-35  | 1,0-2,0                      | –                      | 0,1-0,15             |
| 2) Патент України № 86150:<br>Алюмокалієвий галун – 13,1-15,4; Вода – 18,4-23,0;<br>Лігносульфонати – 6,5-9,3;<br>Природний ангідрит, що містить<br>60 % фракції $d_{фр} = 2-4$ мм,<br>20 % хвосту (мул) фракції $d_{фр} = 0,25-0,3$ мм, вологістю 10-12 %<br>і 20 % доломітовий пил – решта | 2,06-2,10                               | 0,20-0,3                      | 1,20-1,3                     | 0,3-0,4                                  | 20-25  | 1,35-2,5                     | 10-15                  | 0,5-0,7              |
| 3) Патент України № 86149:<br>Алюмокалієвий галун – 10,1-13,4; Вода – 15,4 – 23,0;<br>Лігносульфонати – 7,5-10,3;<br>Природний ангідрит, що містить<br>60 % фракції $d_{фр} = 3-5$ мм і<br>40 % хвосту (мул) фракції $d_{фр} = 0,25-0,5$ мм, вологістю 13-15% – решта                        | 2,01-2,02                               | 0,26-0,3                      | 1,25-1,3                     | 0,2-0,5                                  | 25-30  | 1,5-2,5                      | 15-20                  | 0,3-0,5              |

Таблиця 5

**Фізико-механічні властивості матеріалів набійки**

| Матеріал набійки              | Властивості матеріалу набійки              |                                      |   |                                      |   |                       |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|-----------------------|
|                               | Коефіцієнт внутрішнього тертя, $tg \alpha$ | Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Коефіцієнт тертя по поверхні шпурі при русі $K_m$ | Коефіцієнт бічного розпору, $K_\phi$ | Параметр $\beta$ ,<br>$\beta = \frac{4K_1 K_\phi}{d}$ | Модуль Юнга $E$ , ГПа |
| Пісок                         | 0,55                                       | 1550                                 | 0,06  | 0,33                                 | 1,72  | 0,20                  |
| Глина                         | 0,37                                       | 1900                                 | 0,04  | 0,46                                 | 1,62  | 0,17                  |
| Суміш пісок-глина 1:3         | 0,50                                       | 1710                                 | 0,05  | 0,43                                 | 2,05  | 0,40                  |
| Суміш для набійки, що твердіє | 0,73                                       | 2110                                 | 0,07  | 0,39                                 | 2,45  | 10,6                  |

джерела стабілізованої напруги, перетворювача напруги ПА-1, штативу, гвинту для кріплення штатива у корпусі моделі, термопари і екрануючого кабелю. Пріоритет стенду захищений патентом України [14].

Суть методики полягала у наступному. При вивченні ступеня спучування коміркових твердіючих сумішей підготовлений для досліджень склад поміщали у модель циліндричної або кубічної форми з пробуреною по її осі порожниною діаметром, рівним діаметру шпуну або свердловини, в яку встановлювали поршневий пристрій, торцева частина якого знаходилася у контакті з ніжкою індикатора годинникового типу ІЧ-10, закріпленого на штанзі, зафіксованим гвинтом у корпусі моделі. У процесі формування коміркової суміші, що твердіє, кінетику процесу оцінювали за свідченням індикатора з інтервалом у 15 хв, а замер температури суміші здійснювався термопарою.

Наведена ЕРС на голівці термопари передавалася по екранованому кабелю у перетворювач напруги. Перетворений сигнал у вигляді різниці потенціалів надходив на комбінований цифровий прилад. За результатами попередніх вимірів і тарування вимірювальної апаратури складалися тарувальні таблиці.

Показання цифрового приладу зіставлялися з даними тарувальних таблиць, а результати вносилися у журнал експериментальних даних досліджуваного процесу. Зняття показань змін обсягу при спученні суміші здійснювалося з кроком  $0,020^{\circ}\text{C}$  при зміні температури всередині суміші. У момент початку експерименту температура сумішей становила  $26\text{--}28^{\circ}\text{C}$ .

Запропонована методика дала можливість отримати дані про швидкість і характер спучування коміркової суміші у процесі газовиділення через поверхню, а також тривалість всього процесу формування макроструктури коміркового матеріалу. Згідно з цією методикою можна контролювати процес структуроутворення коміркового матеріалу на стадії його спучування і визначати оптимальні умови протікання даного процесу. Оптимальні умови спучування потім визначаються максимальним коефіцієнтом спучування при мінімальному газовиділенні з поверхні суміші та відсутності осаду.

З використанням даної методики були проведені дослідження і за результатами експериментальних вимірів побудовані залежності коефіцієнта спучування поверхні у часі для трьох складів, що розрізняються водо-твердим співвідношенням (рис. 2).

Дослідженнями встановлено, що надмірна кіль-

кість води у суміші, що перевищує кількість, необхідну для повної гідратації частинок ангідриду, і добавок, що вводяться, знижує його в'язкість, що небажано, оскільки погіршує структуру суміші і веде до її осадження і погіршення фізико-механічних характеристик.

Аналіз наведених кривих дозволив зробити висновок, що для конкретного складу суміші і умов її формування встановлено певне оптимальне значення  $V/T$ , при якому спостерігаються максимальний приріст обсягу маси, що спучується, мінімальне газовиділення через поверхню і відсутність опаду.



Рис. 1. Стенд для проведення досліджень щодо оптимізації складу коміркової суміші, що твердіє

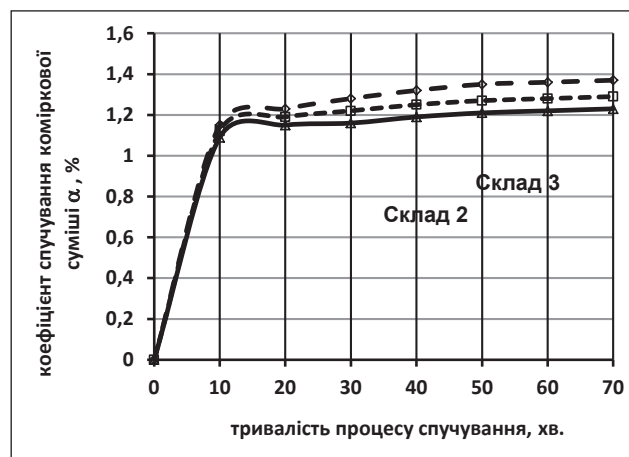
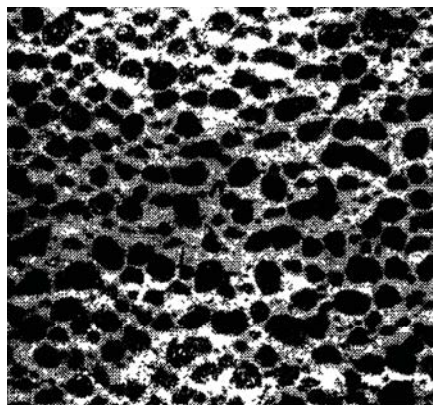
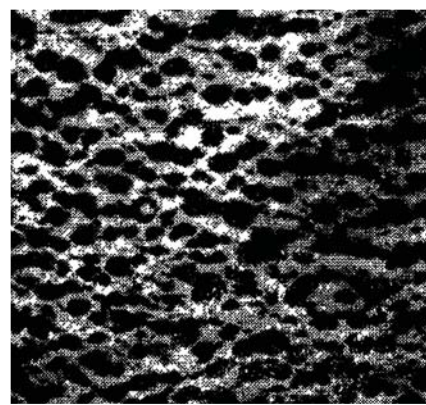


Рис. 2. Залежність коефіцієнта спучування ( $\alpha$ ) коміркової суміші у часі для твердіючих складів 1, 2 і 3 при  $V/T$  0,12



а



б

Рис. 3. Структура коміркової суміші, що твердіє, при  $V/T = 0,15$  (а) і  $V/T = 0,12$  (б)

За величиною інтервалу оптимального значення В/Т можна судити про технологічність використовуваної суміші. Досліджувані склади сумішей характеризуються дуже вузьким інтервалом оптимального В/Т (0,12-0,17). Отже, можна сказати, що воно не забезпечує формування високоякісної коміркової суміші, оскільки збільшення або зменшення В/Т призводить до швидкої стабілізації процесу спучування, що і викликає руйнування структури матеріалу для твердіючої набійки і зниження його міцності. Однак, при низькому вмісті води у сумішах (В/Т = 0,12) під час спучування не спостерігається інтенсивне газовиділення через поверхню, що сприяє її осіданню, і процес спучування припиняється.

Істотне газовиділення на першому етапі процесу формування коміркової структури можна пояснити тим, що з-за зниженої кількості води у міжпорових стінках, вони недостатньо еластичні і руйнуються від газового тиску у порах, а по капілярах, що утворилися, газ інтенсивно виходить через відкриту поверхню. При цьому швидкість газоутворення всередині суміші значно перевищує швидкість газовиділення через поверхню, що і обумовлює приріст суміші, яка спучується. На другому етапі відбувається різке збільшення швидкості газовиділення, яке призупиняє процес спучування і сприяє його стабілізації. Аналіз цього процесу показав, що на даному етапі швидкість газовиділення через відкриту поверхню значно перевищує швидкість газоутворення. Активізація процесу газовиділення на другому етапі викликає значні руйнування структури коміркового матеріалу, що веде до стабілізації процесу спучування і початку його консолідації.

Аналіз процесу при верхній межі вмісту води у суміші (при В/Т = 0,17) показав, що різке газовиділення через поверхню спостерігається на початку процесу спучування. Незначне газовиділення на першому етапі вказує на те, що дана кількість води у порівнянні з В/Т = 0,12 покращує процес формування коміркової структури суміші.

Це можна пояснити тим, що при великій кількості води суміш має незначну в'язкість і створюються сприятливі умови для спливання газових бульбашок, які, досягнувши поверхні, лопаються. При подальшому протіканні процесу спучування в'язкість підвищується і газовиділення через поверхню знижується.

Нашими дослідженнями встановлено, що оптимальне водо-тверде співвідношення (В/Т), яке забезпечує найкращу якість набійки, що розширюється, дорівнює 0,15. Обсяг газу, що утворився, і виділення

його через поверхню при даному В/Т співвідношенні збільшується на 10-15%. Це дозволяє інтенсифікувати у початковий період процес спучування суміші.

Дана кількість води забезпечує поєднання процесів спучування та структуроутворення, що впливають на якість пір у матеріалі набійки, у той час як при В/Т = 0,12 матеріал набійки для свердловинних зарядів ВР виходить зі сплюсненими порами і у результаті відбувається осад сирцю дуже низької міцності (рис. 3).

Аналіз кривих кінетики спучування сумішей (рис. 2) внаслідок газовиділення через відкриту поверхню дозволяє по динаміці газовиділення і обсягу газу, що виділився через відкриту поверхню сумішей, що спучуються, обґрунтувати оптимальну кількість води для їх консолідації.

Обґрунтовані співвідношення компонентів розроблених складів сумішей дають можливість отримати набійку, котра твердіє, для свердловинних і шпурових зарядів ВР з фізико-механічними властивостями, що забезпечують ефективне управління вибуховим руйнуванням міцних гірських порід як при проведенні виробок у глибоких шахтах, так і при відбійки порід на кар'єрах.

#### Висновки:

- Для підвищення якості набійного матеріалу шляхом поліпшення його фізико-механічних характеристик виконані дослідження з розробки нових складів пружно-пластичної твердіючої суміші, що розширюється, для набійки шпурових і свердловинних зарядів, основним компонентом яких був обраний природний ангідрит (сульфат кальцію –  $\text{CaSO}_4$ ) і доменний шлак.

- Основна особливість цих складів полягає у тому, що у розробці їх використані інгредієнти, які є відходами переробки гірничодобувного комплексу, деревопереробної та металургійної промисловості.

- Обґрунтовано раціональні співвідношення компонентів розробленого нового складу сумішей, що розширюються і твердіють, та встановлені закономірності зміни фізико-механічних характеристик цих співвідношень.

- Використання нових типів набійок, що розширюються, дозволяє не тільки зменшити обсяги накопичених відходів гірничорудного виробництва, що використовуються як інгредієнти для набійок даного типу, але також істотно знизити забруднення атмосфери рудників і кар'єрів шкідливими газами вибуху, що утворюються при детонації ВВ, шляхом більш щільного їх замикання вибуху у зарядній порожнині – вибуховій свердловині або шпурі.

#### Література

1. Коваленко А.А. Екологічна небезпека породних відвалів ліквідованих вугільних шахт. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпропетровськ: ІТМ. М.С. Полякова, 2013. Вип. 110. С. 116-123.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский В.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
3. Ищенко А.К. Выбор и оптимизация состава ячеистой твердеющей смеси для забойки шпуровых и скважинных зарядов. Научный вестник НГУ. Дніпропетровськ, 2009. № 6. С. 12-16.

4. ГОСТ 10181.2–81. Смеси бетонные. Методы определения плотности. Введен с 01.01.81. М.: Изд-во стандартов, 1981. 25 с.
5. Пиньковский Г.С. Резервы повышения эффективности шахтного строительства. М.: Недра, 1981. 256 с.
6. Сапотницкий С.А. Использование сульфатных щелоков. М.: Лесная промышленность, 1965. 123 с.
7. Пат. № 81698 Україна МКВ 7 С04В 28/02, Е 21 F 15/00 Суміш для закладки виробленого простору / Булат А.Ф., Перепелиця В. Г., Іщенко К.С. та ін.; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. № а 2006 03724; замовл. 05.04.2006; надр. 25.01.2008. Промислова власність. 2008. Бюл. № 2. С. 15.
8. Пат. № 86149 Україна МКВ 7 С04В 28/02, Е 21 F 15/00 Сполука твердіючої суміші для забівки шпурових і свердловинних зарядів / Булат А.Ф., Перепелиця В. Г., Іщенко К.С. та ін.; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. № а 2007 09707; замовл. 28.08.2007; надр. 25.03.2009. Промислова власність. 2009. Бюл. № 6. С. 15.
9. Пат. № 86150 Україна МКВ 7 Е 21 F 15/00, Е 21 D 21/00 Сполука твердіючої суміші для закладки виробленого простору / Булат А.Ф., Перепелиця В. Г., Іщенко К.С. та ін.; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. № а 2007 09708; замовл. 28.08.2007; надр. 25.03.2009. Промислова власність. 2009. Бюл. № 6. С. 15.
10. ГОСТ 21153.0–75. Породы горные. Отбор проб и общие методы физических испытаний. Введен с 01.07.75. М.: Изд-во стандартов, 1976. 20 с.
11. ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Метод определения предела прочности при одноосном сжатии. Введен с 01.07.86. М.: Изд-во стандартов, 1986. 10 с.
12. ГОСТ 21153.7–75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн. Введен с 01.01.75. М.: Изд-во стандартов, 1976. 35 с.
13. Іщенко К.С. Исследование особенностей физико-механических свойств расширяющейся твердеющей смеси (РТС-1) для забойки шпуровых и скважинных зарядов. Днепропетровск, 1992. 44 с. Деп. в ВИНТИ 29.12.92, № 3695–В92.
14. Пат. № 61094, Україна МКВ 7 G 01 N 33/88. Стенд для дослідження видимання і температури коміркової твердіючої суміші / Іщенко К.С., Іщенко О.К.; заявник і власник патенту ДВНЗ «НГУ». № u2010 14561; замовл. 06.12.2010; надр. 11.07.2011. Промислова власність. 2011. Бюл. № 13. С. 26.