

# **Том 7**

## **Будівництво, геотехніка і геомеханіка**

УДК 621.72+539.65

**Баскевич О.С., с.н.с., к.ф.-м.н.**

*(Державний вищий навчальний заклад “Український державний хіміко-технологічний університет”, Дніпро, Україна)*

**Соболев В.В., д-р техн. наук, професор, Кулівар В.В., аспірант**

*(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)*

## **МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ МІКРОЧАСТИНОК З МЕТАЛЕВИМИ МІШЕННЯМИ ПРИ НАДГЛИБОКОМУ ПРОНИКАННІ**

Однією з найактуальніших задач сучасного матеріалознавства є цілеспрямоване створення матеріалів з підвищеними властивостями з метою збільшення їх рівня експлуатаційних, технологічних властивостей та для здешевлення їх виробництва. Розв'язок даної проблеми є перспективним напрямком науки у зв'язку з можливістю цілеспрямованого створення нових структур металів і сплавів і, як наслідок, одержання нового комплексу фізико-хімічних і механічних властивостей. Високий ступінь фізико-хімічної активності твердих тіл та збільшення масштабів перетворень в їхній мікроструктурі відбуваються навіть при слабких енергетичних впливах, але тільки в тому випадку, якщо вихідний стан твердого тіла характеризується більшим запасом надлишкової внутрішньої енергії. Із даного погляду особливо показовими є ефекти, виявлені в металах в результаті надглибокого проникання (НГП) мікрочастинок.

Дослідження зіткнення потоку мікрочастинок з металевими перешкодами та процесів проникання їх на аномально великі глибини спрямовані на розв'язок фундаментальних завдань в області стійкості речовини та фазових перетворень. У процесі проникання мікрочастинок формується наномодифікований композиційний металевий матеріал, що представляє собою масивну металеву матрицю, насичену паралельно орієнтованими включеннями нової фази щільністю близько  $(300 \dots 1500) \times 10^6 \text{ м}^{-2}$ . Такий композит з унікальною комбінацією фізичних, хімічних і механічних характеристик, використовувався для виготовлення та випробування дослідної партії різців у процесах руйнування кам'яного вугілля, калійної солі, різання металів. Наявність фактів аномально надглибокого проникання (наведені глибини понад 10) свідчать про існування раніше невідомого механізму. Останні дослідження показали, що одним із механізмів НГП є стрибкоподібне зменшення опору і в'язкості мішені протягом мікросекунд і утворення плазми на межі зіткнення мікрочастинки з перешкодою. Утворення плазми і відновлення її під час проникання мікрочастинки знижує в'язкість на межі зіткнення до в'язкості, величина якої не перевищує в'язкість води. При такому припущенні рух мікрочастинки в об'ємі металу може бути описаний у гідродинамічному наближенні. При цьому в каналі руху мікрочастинки утворюється квазірідина. На основі даного припущення було запропонована гідродинамічна теорія руху мікрочастинки в вздовж траєкторії мікрочастинки. В силу цього можливий розвиток модельних припущень, заснований на розгляді комплексу структурних змін як "фазового" переходу. Запропоновані найбільш важливі припущення:

- метал поводиться так, ніби має місце тимчасова затримка деформаційного зміцнення в наслідок зменшення енергії зв'язку, яку спричиняє ударна хвиля;
- рух мікрочастинки відбувається без зміцнення і, якщо вона вже почалася, то буде тривати доти, поки енергія в металі не опуститься нижче деякого рівня;
- час процесу визначається "критичною швидкістю" течії металу мішені. Як тільки швидкість руху матеріалу перевищить критичну, деформація матеріалу вже не вимагатиме більших витрат енергії;
- фазовий перехід не супроводжується будь-якою помітною зміною об'єму. Такий перехід не може бути виявлений безпосередньо в ударно-хвильових експериментах.

Проведене моделювання допомогло вивести аналітичний вираз і встановити критичні значення параметрів надглибокого проникання (рис.1) і (таблиця)

$$\frac{d}{l} \leq 4 \left( \frac{\rho^*}{\rho} \right) \operatorname{arctg} \left[ \left( 1 + \left( \frac{\rho U_0^2}{2p} \right) \right)^{\gamma-1} \right]^{\frac{1}{2}},$$

де  $d$  – діаметр мікрочастинки,  $l$  – глибина проникання мікрочастинки,  $\rho$ ,  $\rho^*$  – густини мікрочастинки і мішені,  $U_0$  – швидкість мікрочастинки,  $p$  – тиск, який спричиняє мікрочастинка.

Таблиця

Значення критичних параметрів надглибокого проникання при обробці сталевій перешкоди потоком порошку вольфраму

$\rho^*$ , кг/м <sup>2</sup>	$p$ , ГПа	$d$ , 10 <sup>-6</sup> м	$U$ , м/с
1,95	0,711	129,5	461,8

В результаті проведеного моделювання встановлено, що надглибоке проникання мікроударників у перешкоду може відбуватися при виконанні основних умов:

- в результаті взаємодії, що супроводжується енерговиділенням на поверхні розділу ударник-перешкода, що відбувається на фоні постійного впливу на матеріал перешкоди імпульсам стиску, сформованих на її поверхні потоком мікрочастинок, матеріал перешкоди в безпосередньо прилягаючої до частинки зони втрачає свою стійкість – розупорядковується;

- тиск, що генерується потоком у матеріалі перешкоди, повинен бути таким, щоб у сліді, що згортається, за часткою каверни виникла НС, яка, гальмуючись на поверхні частинки, здійснює підштовхування (10). У даному випадку, енергія, що запасена потоком у матеріалі перешкоди у вигляді поля тиску, може поступово передаватися частинці, компенсуючи в такий спосіб її енерговитрати на подолання сил опору.

Також встановлено, що:

- на підставі експериментальних результатів взаємодії мікрочастинок з перешкодою, виконана оцінка процесу проникання та устанавленню, що енергія зіткнення в основному витрачається на подолання динамічної міцності матеріалу перешкоди, а опір прониканню становить 2 – 46% від динамічної границі текучості сталі;

- величина динамічної границі текучості для дослідженого випадку становить, залежно від розміру вихідного мікроударника, 10<sup>-1</sup>–10<sup>-4</sup> від спостережуваного при "статичних" навантаженнях;

- в процесі надглибокого проникання мікрочастинок відбувається додаткове підведення енергії до ударника (54 – 98%) за рахунок структурних змін металу перешкоди та величини "статичної" міцності набувають негативного значення;

- запропонована модель "надглибокого" проникання діє у вузьких граничних умовах, обумовлених, в основному, розмірними та швидкісними параметрами процесу зіткнення;

- модель, що використовуються в даній роботі, дозволяє прогнозувати процеси керування структурними змінами і відповідно фізико-механічними властивостями оброблюваних матеріалів і є прийнятними для розробки технологічних процесів легування та зміцнення.

УДК 541.8.002

**Куливар В.В.** аспирант кафедры строительства, геотехники и геомеханики  
(Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр,  
Украина)

### **ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ**

Взрывчатые вещества и светочувствительные взрывчатые композиты представляют собой рассеивающую среду, которая для лазерного излучения с длиной волны, лежащей в области прозрачности вещества, является диффузно рассеивающей с плотной упаковкой рассеивателей [1-8]. Источником рассеяния, в основном, являются поверхности граней монокристаллов ВВ, которые и определяют режим освещенности в объеме взрывчатого вещества. Такие среды резко отличаются от прозрачных для лазерного излучения диэлектриков [9-11], пробой которых в поле лазерного излучения определяется процессами поглощения излучения микронеоднородностями вещества.

В результате многократного рассеяния фотонов в приповерхностном слое объема ВВ формируется "ореол" освещенности (зона плавного изменения освещенности), уровень которой может быть немного выше поверхностной. Снижение освещенности в направлении распространения излучения более плавное, чем то, что дает закон Бугера. Только в глубинном режиме распределение освещенности близко к бугеровскому. Глубина зоны плавного изменения освещенности уменьшается при увеличении показателя поглощения ВВ и уменьшении показателя рассеяния. Другими словами, увеличение прозрачности образцов ВВ способствует формированию протяженной зоны высокой освещенности. При уменьшении диаметра лазерного пучка начиная с некоторого предельного значения, глубина этой зоны уменьшается, однако, остается конечной даже для очень узких пучков.

Таким образом, режим освещенности, который устанавливается в приповерхностном слое взрывчатого вещества, определяет особенности лазерного инициирования (размерный эффект, повышение чувствительности и уменьшение задержек подрыва с ростом прозрачности образцов ВВ и т.д.), суть которого сводится к следующему.

В результате лазерного воздействия происходит быстрый нагрев ( $\sim 10^{-8}$ с) оптических микронеоднородностей (инородные включения, химические примеси, скопления дислокаций, точечные дефекты структуры и т.д.), содержащихся в объеме монокристаллов ВВ, что ведет к деформационным нарушениям (заведомо несовершенной) структуры ВВ, сопряженной со структурой неоднородностей. Эти процессы формируют очаг зажигания, если волны разгрузки не успеют вернуть кристаллическую структуру в исходное состояние [12-16]. Поэтому, чем более обширная зона высокой освещенности, тем более благоприятнее условия для инициирования ВВ.

К сожалению, в настоящее время не представляется возможным создать строгую математическую модель процесса лазерного инициирования ВВ, так как остаются не выясненными закономерности химических преобразований в микроструктуре конденсированной фазы. Эта проблема остается определяющей как в химической физике вообще, так и в частных ее приложениях.

#### **Перечень ссылок**

1. Александров Е.И., Ципилев В.П. Исследование размерного эффекта при лазерном инициировании прессованного азида свинца. Влияние распределения световой

энергии на поверхности ВВ на критические световые потоки // Физика горения и взрыва –1983. –Т.19, №1 – С.78–80.

2 Карабанов Ю.Ф., Боболев В.К. Зажигание инициирующих взрывчатых веществ импульсным лазерным излучением // Докл. АН СССР – 1981 – Т.256, №5. – С.1152–1155.

3. Илюшин М.А., Целинский И.В., Котомин А.А. и др. Энергонасыщенные вещества для средств инициирования. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013. – 176 с.

4. Chernaj, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., Zhitnik, N.E. The method of obtaining mechanical loading pulses based on a laser initiation of explosion of explosive coatings // Fizika Goreniya i Vzryva Volume 30, Issue 2, March 1994, Pages 106-111

5. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., Zhitnik, N.E. Generating mechanical pulses by the laser blasting of explosive coating // Combustion, Explosion, and Shock Waves Volume 30, Issue 2, March 1994, Pages 239-242

6. Chernaj, A.V., Sobolev, V.V. Laser method of profiled detonation wave generation for explosion treatment of materials // Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov Issue 5, September 1995, Pages 120-123

7. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., Zhitnev, N.E., Petrova, N.A. On the mechanism of ignition of energetic materials by a laser pulse // Chemical Physics Reports Volume 15, Issue 3, 1996, Pages 457-462

8. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Ilyushin, M.A., Dlugashek, A. Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate // Fizika Goreniya i Vzryva. Volume 39, Issue 3, 2003, Pages 105-110

9. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Ilyushin, M.A., Dlugashek, A. Laser ignition of explosive compositions based on di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazole)-copper (II) perchlorate // Combustion, Explosion and Shock Waves Volume 39, Issue 3, May 2003, Pages 335-339

10. Sobolev V.V., Shiman L.N., Nalisko N.N., Kirichenko A.L. Computational modeling in research of ignition mechanism of explosives by laser radiation // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. – № 6.

11. Sobolev V., Bilan N., Kirichenko O. Mechanism of additional noxious fumes formation when conducting blasting operations in rock mass // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. Published by CRC Press/Balkema, The Netherlands, 2014. - 521 p. - P. 471-477. ISBN: 978-1-138-02699-5 (Hbk), ISBN: 978-1-315-74031-7

12. Илюшин М.А., Соболев В.В., Чернай В.А. Иницирующие взрывчатые вещества и составы в оптических системах инициирования пиросредств // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 2001. – №1. – С.73–76.

13. Соболев В.В., Чернай А.В. Фізико-хімічні особливості взаємодії лазерного випромінювання з вибуховими сполуками // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 1998. – №2. – С.66–69.

14. Соболев В.В. Способ формирования сходящихся цилиндрических ударных волн / В.В. Соболев, В.В. Куливар, А.Л. Кириченко, В.И. Зазимко // 12-та міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів та студентів: Перспективи розвитку будівельних технологій. – Дніпро, НГУ, 2018. – С. 136-14

15. Кириченко А.Л. Взрывчатые композиты, высокочувствительные к импульсному лазерному излучению / А.Л. Кириченко, В.В. Куливар, В.В. Соболев // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2017. – №2. – С. 138-146.

16. Зазимко В.И. Про деякі особливості течії хімічних реакцій в зарядах вибухових речовин, збуджених світловим імпульсним випромінюванням / В.И. Зазимко, В.В. Куливар // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2019. – №1. – С. 143-153.

УДК622.2

**Курляк А.В.** руководитель группы по технологии изготовления высокоэнергетических компонентов,  
(Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химзавод», г. Павлоград, Украина)

### ИСПЫТАНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ IV КЛАССА

Развитие и совершенствование предохранительных ВВ в Украине имеет надежную перспективу, связанную с производственной базой ГП «НПО «ПХЗ» и богатым опытом создания патронированных эмульсионных ВВ марки «ЕРА» [1-3].

Разработанная рецептура первого отечественного эмульсионного предохранительного ВВ (ЭПВВ) в условиях ГП «НПО «ПХЗ» приведена в табл.1.

Таблица 1

Состав разработанного предохранительного эмульсионного ВВ

Компоненты	Содержание, %
Эмульсионная основа ЭВВ	83
NaNO <sub>3</sub>	4
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	9
NH <sub>4</sub> Cl	8
Микросферы (сферх 100 %)	3

Плотность образцов патронированных ПЭВВ составляла 1,05-1,12 г/см<sup>3</sup>. Полученные образцы ПЭВВ испытывались с целью определения взрывчатых характеристик и предохранительных свойств. Испытания лабораторных образцов ПЭВВ, проводились в условиях полигона ГП «НПО «ПХЗ».

Для инициирования детонации в зарядах ПЭВВ использовали электродетонаторы ЭД № 8.

После проведения испытаний получены характеристики ПЭВВ, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований патронированных ЭВВ

Наименование образцов	Характеристики экспериментальные			
	Плотность г/см <sup>3</sup>	Скорость детонации, м/с	Полнота детонации от ЭД №8	Передача детонации между патронами, см
Образец №1	1,05	3861	полная	1
Образец №2	1,08	3676	полная	1
Образец №3	1,07	3558	полная	1
Образец №4	1,09	3968	полная	1

Из табл. 2 видно, что скорость детонации экспериментальных зарядов ПЭВВ не превышает 4000 м/с; передача детонации составляет 1 см. Исходя из информации об иностранных ПЭВВ (скорость детонации 4000 м/с, теплота взрыва 2290 кДж/кг) можно

сделать вывод о соответствии взрывчатых характеристик наших экспериментальных образцов ПЭВВ зарубежным аналогам.

Испытания ПЭВВ на определение предохранительных свойств проводилось в опытном штреке, расположенном на территории ГП «НПО «ПХЗ» (рис.1).

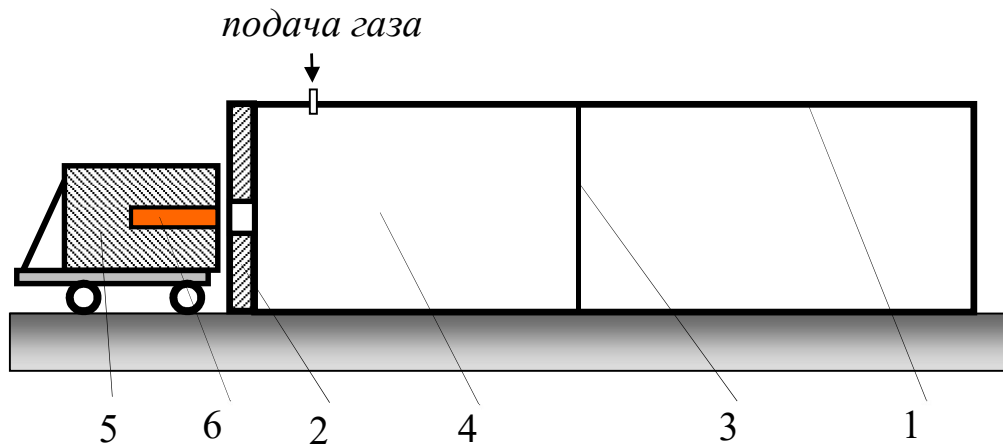


Рис. 1 – Схема опытного штрека; испытание ВВ в канальной мортире» [4]:  
1 – стальная труба (опытный штрек); 2 – дно штрека с отверстием;  
3 – диафрагма; 4 – взрывная камера (10 м<sup>3</sup>); 5 – канальная мортира; 6 – заряд ВВ

Испытано 20 патронов в метановоздушной смеси согласно ГОСТ 7140, массой каждого заряда 0,3 кг. Зафиксировано 2 воспламенения из 20 опытов, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 7140. Как известно, допускается получение до 50 % воспламенений (9 воспламенений из 20 опытов).

При проведении испытаний 5 патронов ПЭВВ в пылевоздушной смеси (согласно ГОСТ 7140) воспламенения смеси не зафиксировано.

Таким образом, по результатам проведенных испытаний опытные образцы патронированных ПЭВВ относятся к предохранительным взрывчатым веществам IV класса [5].

### Перечень ссылок

1. Шиман Л.Н. (2013). Безопасность процессов производства и применения эмульсионных взрывчатых веществ с компонентами утилизируемых вооружений / Л.Н. Шиман, Е.Б. Устименко, В.И. Голинько, В.В. Соболев. – Днепропетровск, «Лира», 2013. – 526 с.
2. Соболев В.В. Физика горных пород / В.В. Соболев, А.В. Скобенко, С.Я. Иванчишин. – Днепропетровск: Полиграфист, 2003. – 255 с.
3. Soboliev V., Bilan N., Filippov A., Baskevich A. (2011) Electric stimulation of chemical reactions in coal // Technical and Geoinformational systems in Mining 2011, 125-130
4. Соболев В.В. Технологія та безпека виконання підричних робіт / В.В. Соболев, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв. – Дніпро: НГУ, 2017. – 314 с.
5. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. Луганськ: ДП «Луганський ЕТЦ», 2013. – 185 с.

УДК 622.831.322

Соболев В.В. д.т.н., профессор кафедры строительства, геотехники и геомеханики  
Куливар В.В. аспирант, Дараган Т.В. студентка гр. 184м-18-1

(Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина)

### ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ НА МИКРОЧАСТИЦЫ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО УГЛЯ

Исследования изменения фракционного состава микрочастиц после обработки электрическими и магнитными полями слабых напряженностей являются частью работ, предусмотренных планом выполнения в 2018 г. фундаментальных исследований, финансируемых Министерством образования и науки Украины.

Во всех опытах значение напряженности электрического поля не превышало 300 В/см. Напряженность магнитного поля составляла около 4000 А/м. Частота соответствовала 50 Гц. Температура, при которой производилась обработка не выходила за диапазон 315-325 К. Время каждой обработки составляла 4 часа. Использовался уголь двух марок: газовый и жирный. Образцы готовились из угля, измельченного до фракций 200/100 мкм (по данным лазерного дифракционного анализа размеры исходных частиц угля 214,5 - 111,7 мкм). Среднее значение массы каждого образца ~ 1,28 г. Перед проведением исследований уголь высушивался при температуре 35 °С в течение 48 час. Использовалась методика исследований, изложенная в [1-3].

На рис. показаны зависимости изменения размеров микрочастиц угля от вида физической обработки в сравнении с распределением микрочастиц по размерам исходной пробы.

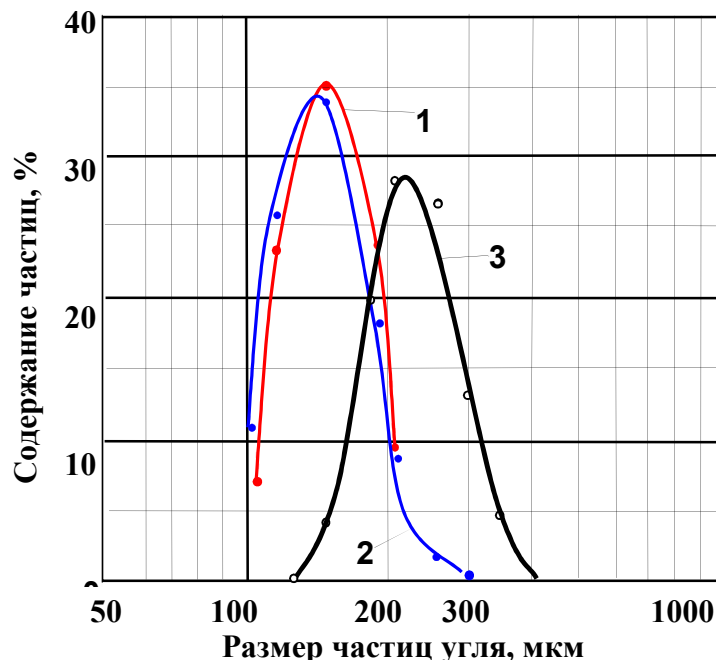


Рис. 1. Изменение характера распределения частиц угля по размерам от вида физической обработки: 1 – исходный образец; 2 – уголь после обработки в магнитном поле; 3 – уголь после обработки в электрическом поле

Образование подвижных компонентов в углях обусловлено деструктивными процессами, стимулированными, например, действием электрических, магнитных, и



других физических полей. Дифрактограммы измельченного угля, обработанного электрическим полем, свидетельствуют об увеличении степени «аморфности» структуры в целом, т.е. об уменьшении фракционного состава (рис.). Результаты исследования электронного парамагнитного резонанса, свидетельствующие об увеличении плотности парамагнитных центров, о резком увеличении химической активности. В [4] показано, что величина сорбционной поверхности угля после выброса значительно больше, чем угля до выброса.

Анализ результатов инфракрасной спектроскопии жирных и газовых углей, приведенный в [5,6], подтверждает деструктивный характер процессов в исследуемых углях, стимулированных обработкой слабым электрическим полем. О развитии деструктивных процессов свидетельствуют данные электронного парамагнитного резонанса. Результатом деструктуризации является переход части органической массы угля в газовую фазу. Так, например, деструкции мостиковых алифатических цепочек подтверждаются уменьшением оптической плотности полос 2920 и 2860 см<sup>-1</sup>, соответствующих валентным и деформационным колебаниям связей С–Н. Эти связи относятся к структурам, которые содержат СН<sub>2</sub> и СН<sub>3</sub>-группы, при этом может уменьшаться полосы 3000...3100 см<sup>-1</sup> в ароматических углеводородах. ИК-спектры угля, обработанного в электрическом поле, близки по характеру установленным закономерностям при исследовании углей, отобранных из различных участков выбросоопасных и не опасных угольных пластов [7].

Для сравнения: зернистость исходного образца угля составляет 214,5 ... 111,6 мкм, размеры фракций после обработки электрическим полем – 297,3 ... 111,6 мкм.

Характер распределения зернистостей в углях, обработанных магнитным полем показан на рисунке (кривая 3). Особенностью результата магнитной обработки является увеличение диапазона зернистости и сдвиг в сторону больших размеров (390 ... 131,5 мкм). Этот экспериментальный результат является важным, поскольку является свидетельством спин-селективных реакций, протекающих между неподвижными атомами поверхности с подвижными радикалами. Кроме этого результат действия магнитного поля может быть интерпретирован как наиболее вероятный процесс образования и роста твердых фаз в общем сценарии углефикации.

### **Перечень ссылок**

1. Орлинская О.В. Соболев В.В., Чернай А.В. Термоэлектрическая обработка минералов и горных пород. – Д.: РИО НГА Украины, 1999. – 93 с.
2. Соболев В.В. К вопросу о природе образования выбросоопасных углей // Сборник научных трудов НГУ. – 2003. – Т.1, №17. – С. 505-511
3. Sobolev V.V., Bilan N.V. Khalimendik A.V. On formation of electrically conductive phases under electrothermal activation of ferruginous carbonate // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2017. №4 (160) – С. 27-35.
4. Захаров В.Н., Малинникова О.Н. Исследование структурных особенностей углей выбросоопасных пластов / Записки Горного института. – 2014. – Т. 210, – С.43-52.
5. Pivnyak, G.G., Sobolev, V.V., Filippov, A.O. (2012) Fazovyve prevrashcheniya v kamennykh uglyakh pri vozdeystvii slabykh elektricheskikh i magnitnykh poley Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. (5), 43-49.
6. Soboliev, V., Bilan, N., Samovik, D. (2013) Magnetic stimulation of transformations in coal. Mining of Mineral Deposits. Leiden: CRC Press/Balkema, 221-225.
7. Алексеев А.Д., Молчанов А.Н., Ульянова Е.В., Зимина С.В., Пичка Т.В. Преобразование локальной структуры ископаемых углей в результате выброса и под действием высоких давлений // Физика и техника высоких давлений. – 2012. – Т. 22, №1. – С. 122– 129.

УДК 622.831.2

Хаджинов Д.Ю., студент гр. ГР6С-15-1

Научный руководитель: Солодянкин А.В., д.т.н., профессор кафедры СГГМ  
(Национальный технический университет "Днепровская политехника", г. Днепр, Украина)

### ЭФФЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ С ЦЕЛЬЮ ЕЕ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Постоянное увеличение глубины разработки на шахтах требуют обоснованных решений по повышению эффективности производства, снижению себестоимости угля, повышению безопасности труда рабочих. С этих позиций повторное использование выработок при отработке запасов позволит существенно снизить затраты и время на пуск новых лав, снизит себестоимость угля и повысит рентабельность предприятий.

Общие рекомендации по поддержанию выработки с целью ее повторного использования можно сформулировать в виде следующих позиций.

1. Сечение выработки следует вписывать в слоистый массив так, чтобы максимально использовать природную прочность пород. Особое внимание следует уделять породам почвы, которая не закреплена, а пучения негативно сказывается на ведении работ.

2. Для поддержания выработки необходимо применять комбинированную крепь – сочетание податливых рам ограниченной податливости и анкеров, установленных сразу в забое для упрочнения окружающих пород. Исследования показывают, что породная оболочка, сформированная путем анкерования плотностью 1,25 анкера на 1 м<sup>2</sup>, способна выдерживать нагрузки до 500 кПа [1], что почти на порядок выше отпора арочной крепи.

Важным элементом комбинированной крепи может быть тампонаж закрепного пространства, который обеспечивает хороший контакт профиля крепи с породами контура. Сформированная таким образом высоконагружаемая армированная система «крепь-массив» эффективно противодействует смещениям контура выработки и развитию зоны разрушенных пород, особенно при влиянии очистных работ. Более того, такая крепь снижает пучение почвы, обеспечивая сохранность выработки на сопряжении с лавой.

3. В зоне влияния лавы дополнительный отпор повышенному горному давлению, снижение смещений кровли и почвы можно обеспечить временной усиливающей крепью, состоящей из одной-двух гидростоек, установленных между рамами на почву. Включение в работу этой крепи необходимо до начала влияния зоны временного опорного давления, т.е. до активизации сдвижений разрушенных пород.

4. Сохранению устойчивости штрека способствует высокая скорость подвигания лавы (80...100 м/мес). При этом сокращается период поддержания каждого участка штрека в зоне временного опорного давления и уменьшается удельное максимальное опорное давление на приконтурные окружающие породы и систему комбинированной крепи.

5. Наиболее проблемной является зона активных сдвижений пород подработанной толщи позади первой лавы. Длина этой зоны примерно равна длине зоны проявлений опорного давления впереди движущейся лавы.

При бесцеликовой технологии со стороны выработанного пространства лавы у штрека необходимо сооружать жесткую охранную полосу для создания отпора оседающим породам кровли. При этом осадка охранной полосы должна быть примерно равна величине осадки кровли со стороны лавы, для обеспечения симметричности нагружения.

По данным [2], совместно с анкерной крепью, литая охранная полоса уменьшает коэффициент асимметрии нагрузок на рамную крепь с 2...3 до 1,2...1,25.

Вторая функция охранной полосы – «режущий» элемент, способствующий обрушению кровли пласта со стороны выработанного пространства.

Опыт показывает, что использовать штрек повторно можно, когда после отработки первой лавы сохранено 60...70 % площади его сечения. Совместное действие арочной и анкерной крепи и литой охранной полосы на 40-60 % снижает конвергенцию вмещающих

пород в сравнении с раздельным применением этих технологий. Это дает возможность сохранить сечение выработки за лавой на уровне 9-11 м<sup>2</sup> при исходном значении 15 м<sup>2</sup>.

6. Дополнительными мерами, направленными на повышение устойчивости выработки, являются установка подхватывающих и усиливающих анкеров под верхняк арочной крепи со стороны очистного забоя до демонтажа стоек и дополнительное анкерование подсеченных пород кровли по кромке выработки на сопряжении ее с лавой.

7. В зоне временного опорного давления второй лавы устойчивость повторно используемого штрека сохраняют путем применения временной усиливающей крепи из гидравлических стоек (устанавливают аналогично установке при отработке первой лавы)

8. Для предупреждения увлажнения пород почвы и снижения их прочности и интенсификации пучения, нельзя допускать утечек воды из трубопроводов.

9. Повышению отпора крепи в зоне влияния лавы способствуют канатные анкера, устанавливаемые за зоной временного опорного давления действующей лавы, до активизации сдвижений разрушенных пород. Обычно для повышения устойчивости выработки на сопряжении с лавой устанавливают 1 или 2 канатных анкера длиной 6...8 м.

10. Чрезвычайно важными являются вопросы дисциплины, организации и качества выполнения работ. Как отмечается в [3], понимание важности проблемы удержания выработок должно быть на всех уровнях - от руководства до бригадира и рабочего.

Оценка общего экономического эффекта от реализации новых способов крепления, колеблется в пределах 2-3 млн. грн. в год по лаве. При этом 50...90 % экономического эффекта достигается благодаря непрямо́й экономии за счет реализации дополнительного количества угля. С ростом сохраненной площади среднесуточная добыча повышается и, при увеличении  $\Delta S$  от 0,27 до 4 м<sup>2</sup>, возрастает в среднем в 2 раза.

Прямая экономия средств от повторного использования конвейерных штреков в качестве вентиляционных составляет до 3,5 млн. грн. в год на 1 км выемочного столба.

В [4, 5] было показано, что конвергенция вблизи второй лавы или за ней зависит только от конвергенции после прохода первой лавы. Исходя из этого следует, что на величину конвергенции можно воздействовать мероприятиями по креплению только непосредственно в забое при проходке выработки и во время прохода первой лавы.

Эффективность повторного использования штрека в качестве вентиляционного при подрывке в нем почвы на 0,8-1 м подтверждена опытом на шахте «Красноармейская-Западная» № 1. Затраты на восстановление 1 м повторно используемого штрека на 1000 грн. меньше, чем проведение нового вентиляционного штрека вприсечку.

Одной из мер сохранения устойчивости штреков за лавой является проведение выработки увеличенной площадью сечения с учетом возможных смещений пород.

На сопряжении лавы со штреком важно обеспечить минимально возможное оседание пород кровли со стороны выработанного пространства. Кроме того, охранный полосу должна возводиться с технологически минимальным отставанием от очистного забоя и практически сразу оказывать нарастающий отпор оседающим породам кровли.

#### **Перечень ссылок**

1. Якоби О. Практика управления горным давлением. – М.: Недра, 1987. – 566 с.
2. Ильяшов М.А. Эффективный резерв повышения конкурентоспособности шахтного фонда – повторное использование выработок // Уголь Украины. – 2011. – №1. – С. 22-26.
3. Демченко А.И., Куласек М. Инженерное обеспечение устойчивого проветривания высоконагруженных лав в горно-геологических условиях пласта d<sub>4</sub> шахты «Красноармейская-Западная № 1» // Глюкауф. – 2003. – № 4. – С. 45-50.
4. Шашенко О.М., Солодянкин О.В., Мартовицкий А.В. Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2015. – 256 с.
5. Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических условиях // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2015 – № 2. – С. 99-109.