

УДК 622.831.537.86

А.В. Кравченко

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ПРОГНОЗА ВНЕЗАПНЫХ ВЫДАВЛИВАНИЙ УГЛЯ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Институт физики горных процессов НАН Украины

В статье приведены результаты исследования влияния содержания соединений железа на количество водородсодержащих компонент в песчанике основной кровле угольного пласта l_1 при ведении горных работ на шахте им. А.Ф. Засядько. Обоснован и предложен критерий для прогноза внезапных выдавливаний угля с учетом физических особенностей углевмещающего песчаника.

При ведении горных работ на больших глубинах наблюдается рост частоты и интенсивности внезапных разрушений призабойной части угольного массива (внезапные выдавливания угля) при проведении подготовительных и выемочных выработок, обусловленных неравномерным распределением напряженно-деформированного состояния системы «угольный пласт - вмещающие породы» [1].

Одним из факторов, влияющих на проявление внезапных выдавливаний (отжимов) угля в призабойное пространство лав, является состав и структура вмещающих горных пород. Высокая изменчивость их свойств является причиной неравномерного деформирования призабойной области угольного пласта и скачкообразного характера перераспределения напряжений впереди забоя выработки.

Это большей частью относится к мощным пластам песчаника, которые залегают в основной кровле угольных пластов, являются наиболее крепкими слоями в разрезе угленосной толщи и оказывают на угольный пласт дополнительные, неравномерно-распределенные нагрузки и пластические деформации в процессе ведения горных работ [2].

В связи с этим оценка степени влияния углевмещающих песчаников на призабойную часть угольного пласта и разработка на ее основе критериев прогноза внезапных выдавливаний угля является актуальной задачей, решение которой существенно повысит не только эффективность, но и безопасность ведения горных работ.

Работы по изучению особенностей влияния свойств песчаника на проявления внезапных выдавливаний угля проводились при отработке 13-й во-

сточной лавы по пласту l_1 на шахте им. А.Ф. Засядько. Пласт l_1 является опасным по внезапным выбросам угля и газа и суфлярным выделениям газа, глубина залегания пласта составляет 1170 м. Основная кровля угольного пласта представлена выбросоопасным, газонасыщенным и обводненным песчаником $l_1Sl_2^1$ мощностью до 30 м. Песчаник серого цвета, в основном полевошпатово-кварцевый на глинистом цементе, с горизонтальной и косой слоистостью, трещиноватый. На участке проведения экспериментальных работ наблюдались внезапные отжимы угля по всей мощности пласта на величину 0,3–0,5 м.

Пробы песчаника $l_1Sl_2^1$ отбирались через каждые 10 м по длине l_1 технологических скважин, пробуренных по песчанику $l_1Sl_2^1$ с 13-го восточного вентиляционного и 13-го восточного конвейерного штреков.

По полученным пробам песчаника $l_1Sl_2^1$ исследовались структурное состояние породообразующего кварца и количество водородсодержащих компонент в нем [3].

В результате экспериментальных исследований физических свойств песчаника было установлено, что в зонах внезапных выдавливания угля наблюдается уменьшение количества водородсодержащих компонент ($\Delta W < 4\%$) в песчанике. Анализ спектрометрических данных свидетельствует, что водородсодержащая компонента (ΔW) идентифицируется как твердая фаза, с увеличением концентрации которой в структуре песчаника его модуль упругости возрастает.

При этом изменчивость ΔW , согласно проведенным исследованиям, напрямую связана с содержанием в образцах песчаника соединений железа, определенных методом Мессбауэровской спектроскопии. Для данного цикла исследований изготавливались образцы песчаника в виде порошка с размером частиц менее 0,1 мм и снимались Мессбауэровские спектры песчаника на спектрометре фирмы WISSEL. В качестве радиоактивного источника использовался $Co-57$ в матрице хрома активностью 50 милликюри. Спектры измерялись в режиме постоянных ускорений. Для обработки спектров использовался метод наименьших квадратов с помощью программы UNIVEM.

Мессбауэровские спектры песчаника состоят из суперпозиций двух или трех компонент-дублетов с различными квадрупольными расщеплениями и химическими сдвигами. Квадрупольное расщепление определяется как расстояние между лоренцевскими линиями дублетов, химический сдвиг взят относительно альфа-железа. Дублет с малым квадрупольным расщеплением и сдвигом относится к трехвалентному железу, а дублет с большим значением квадрупольного расщепления и сдвига относится к двухвалентному железу. Различие в спектрах состоит в относительной интенсивности этих компонент.

Анализ Мессбауэровских спектров песчаника показал, что железо в нем может присутствовать в виде трехвалентного железа FeS_2 (пирита) и двух-

валентного железа в виде сидерита FeCO_3 и сульфатов железа, значительную долю которых составляют кристаллогидраты $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Кристаллогидраты могут находиться в виде тетрагидрата $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и в виде моногидрата $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

На рис. 1 приведен Мессбауэровский спектр песчаника основной кровли пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько с 60-го метра скважины, пробуренной с 13-го восточного вентиляционного штрека (пикет № 55). По оси ординат спектра показано поглощение в процентах, по оси абсцисс – скорость радиоактивного источника относительно поглотителя из песчаника (мм/с). В спектре хорошо видны компоненты от двухвалентного железа в двух формах - FeCO_3 (40,83% от площади всего спектра железа) и кристаллогидрата $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (48,61% от общей площади спектра), остальное железо находится в виде трехвалентного пирита FeS_2 . Такая комбинация железа и общее количество железа позволяют на основе Мессбауэровских спектров сделать вывод, что повышение количества водородсодержащей компоненты в песчанике основной кровли пласта l_1 коррелирует с появлением интенсивной компоненты в Мессбауэровском спектре от двухвалентного железа.

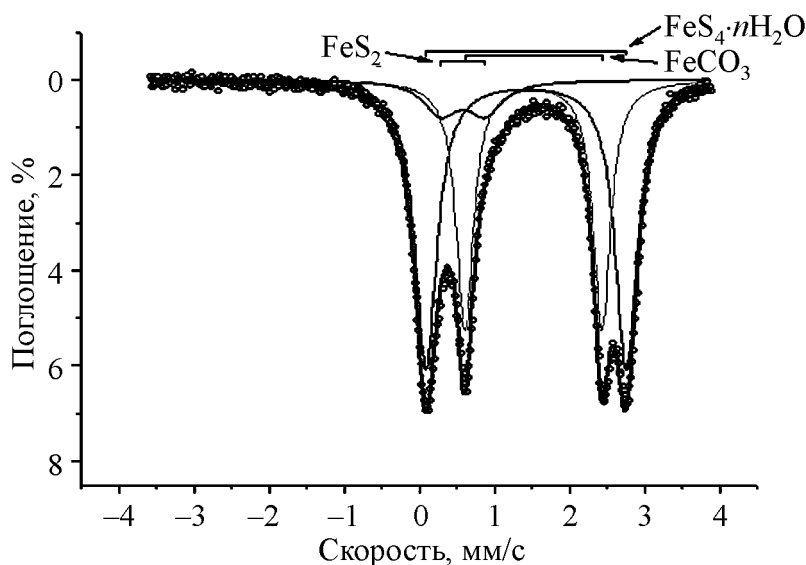


Рис. 1. Мессбауэровский спектр песчаника основной кровли пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько с 60-го метра скважины, пробуренной с 13-го восточного вентиляционного штрека (пикет №55)

Полученные экспериментальные данные сравнивались с результатами геологической и маркшейдерской съемок, фиксирующих фактическое состояние кровли и угольного массива пласта l_1 . Анализ результатов исследований показал, что изменение количества водородсодержащих компонент ΔW в песчанике обусловлено как относительным изменением общего содержания железа в нем (рис. 2), так и отдельных его соединений.

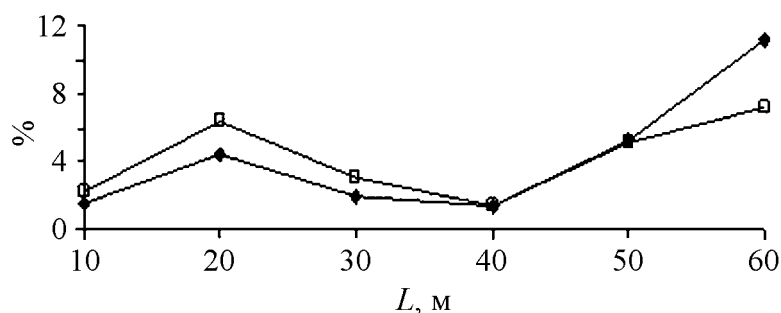


Рис. 2. Изменение содержания железа и водородсодержащей компоненты в песчанике основной кровли пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько по длине скважины, пробуренной с 13-го восточного вентиляционного штрека (пикет №55): ◆ – количество водородсодержащих компонент ΔW , %; □ – содержание Fe в песчанике S , относ. ед.

Для учета влияния нескольких факторов на изменение количества водородсодержащей компоненты в песчанике полученные результаты анализировались с помощью метода группового учета аргументов (МГУА) [5]. Этот метод позволяет получать модель оптимальной сложности и максимальной точности с учетом нескольких факторов. В результате проведенных аналитических исследований была получена эмпирическая зависимость количества водородсодержащих компонент от содержания различных соединений железа в песчанике по некоторым из технологических скважин:

$$\Delta W = 1,37 \cdot 10^{-8} x_2^2 x_4 x_5 x_6^2 - 0,136 x_3 + 2,47, \quad (1)$$

где x_2 – общее содержание соединений железа в песчанике, отн. ед.; x_3 – содержание FeS_2 , %; x_4 – содержание двухвалентного Fe^{2+} , %; x_5 – содержание FeCO_3 , %; x_6 – содержание кристаллогидратов $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, %.

Полученные в результате проведенных аналитических исследований эмпирические зависимости количества водородсодержащих компонент от количества различных соединений железа в песчанике по скважинам, пробуренным с пикетов № 44, № 55, № 48, № 46, позволили установить, что количество водородсодержащих компонент находится в линейной зависимости от относительного содержания железа и содержания кристаллогидратов в песчанике (рис. 3). При этом коэффициент корреляции $r > 0,8$.

Дальнейший анализ Мессбауэровских спектров песчаника также показал, что в зонах внезапных выдавливания угля происходит уменьшение количества двухвалентного железа $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Так, по скважине, пробуренной с 13-го восточного вентиляционного штрека (пикет №44) в зоне отжима (35–45 м по длине скважины) наблюдается уменьшение содержания $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ на 20%, а содержание сидерита FeCO_3 увеличивается на 40% (рис. 4). Аналогичная картина изменения количества водородсодержащих компонент и соединений железа в зонах внезапных выдавливания угля была получена при исследовании песчаника

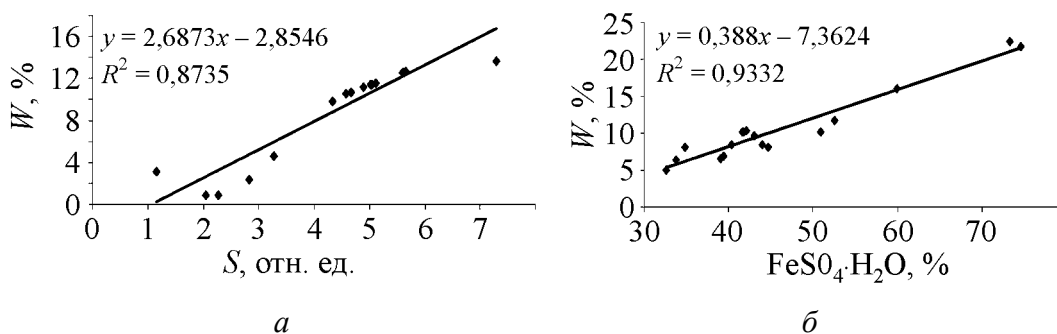


Рис. 3. Зависимость количества водородсодержащих компонент ΔW от общего содержания соединений железа S (а) и содержания кристаллогидратов (б) в песчанике основной кровли пласта l_1 на шахте им. А.Ф. Засядько

основной кровли угольного пласта из скважин, пробуренных с 13-го восточного конвейерного штрека. По длине каждой из этих скважин содержание трехвалентного железа FeS_2 (пирита) практически не изменялось и составляло 15–20%.

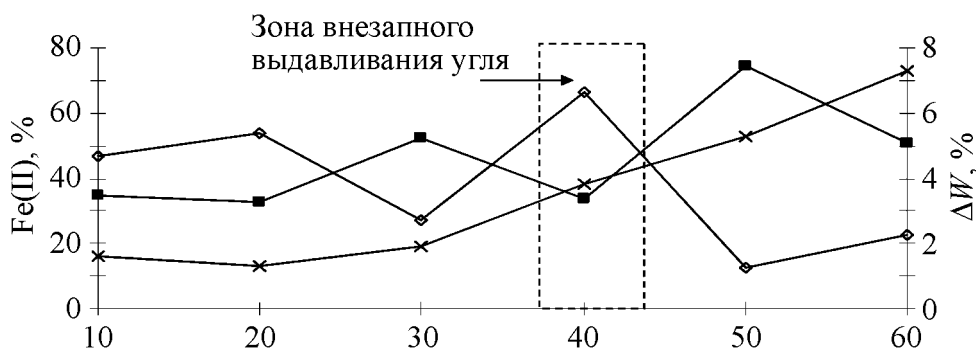


Рис. 4. Изменение содержания двухвалентного железа и водородсодержащей компоненты в песчанике основной кровли пласта l_1 шахта им. А.Ф. Засядько по длине скважины, пробуренной с 13-го восточного вентиляционного штрека пикет № 44: ■ – $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, ○ – FeCO_3 , × – ΔW , %

Таким образом, проведенные исследования показали, что изменение количества водородсодержащих компонент в песчанике осуществляется за счет разложения $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и FeCO_3 при нагревании исследуемых образцов. При увеличении температуры нагрева до 750°C происходит отрыв кристаллогидратной воды за счет ступенчатой дегидратации [4] и разложения термически неустойчивого соединения FeCO_3 .

Для определения склонности угольных пластов к внезапным выдавливаниям угля на основе экспериментальных данных был разработан критерий B_0 , физическая сущность которого базируется на экспериментально установленных закономерностях изменения физических свойств песчаника и его вещественного состава:

$$B_0 = \frac{\Delta W}{\Delta Fe} \text{ при } S \geq 4, \quad (2)$$

где ΔW – относительные изменения количества водородсодержащих компонент в песчанике; ΔFe – относительные изменения содержания кристаллогидратов $FeSO_4 \cdot nH_2O$; S – общее содержание железа, отн. ед. (по данным Мессбауэровских спектров).

Анализ изменений показателя B_0 показал, что увеличение значений B_0 в 2 раза и более при повышенном содержании соединений железа и особенностей микроструктуры (изменение фазового состава) согласуется с проявлениями внезапных выдавливания угля по результатам геологической и маркшейдерской съемок (рис. 5).

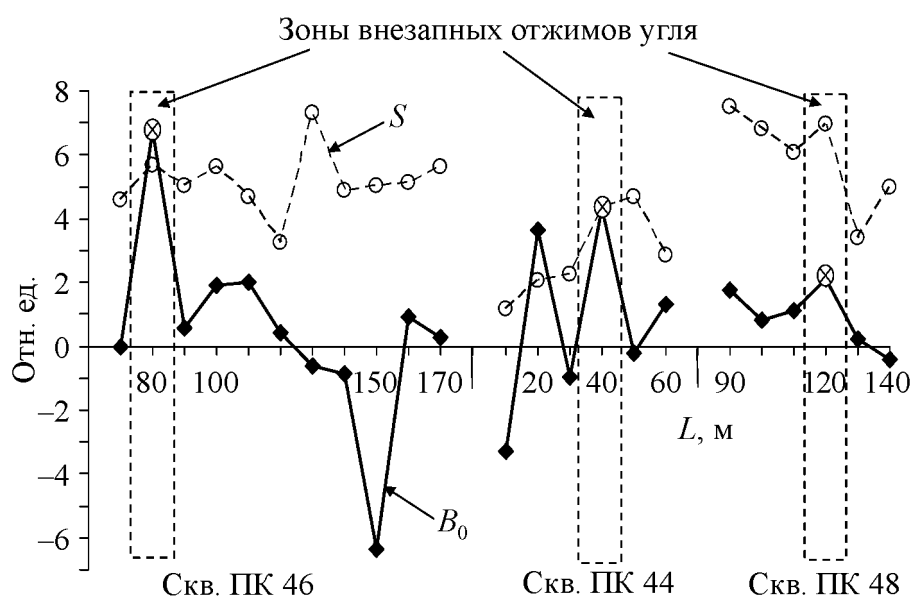


Рис. 5. Изменение показателя B_0 в песчанике основной кровли пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько по длине технологических скважин: S – общее содержание железа, отн. ед. (по данным Мессбауэровских спектров); L – интервал отбора проб, м; \otimes – внезапные выдавливания угля

На основе полученных результатов были определены следующие критериальные значения параметра B_0 :

$B_0 \geq 2$ – внезапное выдавливание угля (при повышенном содержании соединений железа в песчанике основной кровли);

$B_0 < 2$ — отсутствие внезапных выдавливания угля.

Таким образом, выявленные в ходе проведенных исследований закономерности влияния соединений железа в песчанике основной кровли угольного пласта на изменение водородсодержащих компонент в нем могут служить основой для обоснования и разработки критериев прогноза внезапных выдавливания угля по физическим свойствам песчаника.

1. *Коптиков В.П.* Внезапные выдавливания угля [Текст]: монография / В.П. Коптиков, И.А. Южанин, В.П. Евдокимова, В.М. Муравьева, М.Ф. Рыжков. – Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2010. – 240 с.
2. *Забигайло В.Е.* Геологические условия выбросоопасности угольных пластов Донбасса [Текст] / В.Е. Забигайло, А.З. Широков, Л.Я. Кратенко, В.В. Лукинов, Г.М. Стовас. – М. – Киев: Наук. думка. – 1980. – 192 с.
3. *Стариков Г.П.* Механизм разрушения песчаника с учетом фазового состояния кварца и водородсодержащих компонент [Текст] / Г.П. Стариков, Е.В. Гладкая, В.В. Завражин, А.В. Кравченко // Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. тр. НАН Украины, Институт физики горных процессов. – 2007. – Вып. 10. – С. 13–18.
4. Справочник химика [Текст] / Под редакцией Б.П. Никольского / Изд. «Химия». – Ленинградское отд. – 1971. – Т.1. – 1168 с.
5. *Ивахненко А.Г.* Метод группового учета аргументов в задачах прогнозирования [Текст] / А.Г. Ивахненко // Автоматика. – 1976. – № 6. – С. 24.

О.В. Кравченко

ГЕОМЕХАНИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЮ ПРОГНОЗУ РАПТОВИХ ВИДАВЛЮВАНЬ ВУГІЛЛЯ З УРАХУВАННЯМ ФІЗИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД

У статті наведені результати дослідження впливу вмісту з'єднань заліза на кількість компонент, що містять водень, в пісковіку основної покрівлі вугільного пласта l₁ при веденні гірничих робіт на шахті ім. А.Ф. Засядька. Запропоновано критерій для прогнозу раптових видавлювань вугілля з урахуванням фізичних і структурних властивостей пісковіку.

A.V. Kravchenko

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF THE SUDDEN COAL EXTRUSION PROGNOSTIC CRITERION SUBJECT TO PHYSICAL FEATURES OF COUNTRY ROCKS

Results of studying the ferric or ferrous compounds concentration effect on the hydrogenous constituents' content in sandstone of basic roof during coal mining in the A.F. Zasyadko Mine's coal seam l₁ are outlined. A criterion is offered for the prognosis of the sudden coal extrusions based on physical and structural properties of the sandstone.