

5. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие / Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 415 с.

Наведено аналіз ступеня аварійності гірничої виробки як складної технічної системи, пройдені в тектонічно порушених обводнених гірських породах. При розробці критерію, розвиток аварії в гірничій виробці розглядається як багатовимірний груповий деградаційний процес, на базі якого сформована процедура контролю технічного стану виробки. Запропонований критерій базується на використанні алгоритму екстраполяції.

Ключові слова: *складна технічна система, критерій, порушеність, аварійність, тектонічні порушення*

The analysis of accident rate of the mine working has been resulted as a complex technical system, passed in the tectonic broken watered rock mass. During development of the criterion, failure genesis in the watered rock mass is considered as a multidimensional group degradation process on the basis of which procedure of control of the technical state of rock working has been desined. Offered criterion relies on using of the extrapolation algorithm.

Keywords: *complex technical system, criterion, violation, accident rate, tectonic violations*

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 25. 02. 10

УДК 622.831.322

© Минеев С.П., Витушко О.В., 2010

С.П. Минеев, О.В. Витушко

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ ПО ПРОЧНОСТНЫМ СВОЙСТВАМ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

S.P. Mineyev, O.V. Vitushko

METHODOLOGY OF ESTIMATION OF LIABILITY TO OUTBURST BY DURABLE PROPERTIES OF COAL MASS

Рассмотрены основные методики оценки выбросоопасности горного массива по результатам определения свойств угля и пород. Методики основаны на использовании существующего прочностномера П-1, конструкции ИГД им. А.А. Скочинского и прибора для определения деформационных и прочностных свойств выбросоопасного массива, разработанного в ИГТМ НАН Украины. Приведены принципиальные схемы этих приборов и методики для определения прочностных и деформационных свойств угля и вмещающих пласт пород. Прибор конструкции ИГТМ НАНУ и методика его использования защищены патентом. В целом, сформулирована методология применения шахтных экспресс-методик для прогноза газодинамического состояния углепородного массива при ведении горных работ.

Ключевые слова: *угольный пласт, прогноз выбросоопасности, прочностномер, экспресс-методика, принципиальная схема прибора*

В последнее время одним из общепризнанных подходов в развитии и реализации газодинамических явлений в шахтах является модель академика А.А. Скочинского [1, 2] о главенствующем влиянии на развязывание выброса содержащегося в угле газа, горного давления и физико-механических свойств. Соответственно, все основные обоснования по прогнозу выбросоопасности в исследуемой зоне пласта строились на уточнении характеристик этих параметров поодиночке или в комплексе. Одним из подходов было использование прочностных свойств углепородного массива при оценке выбросоопасности. Вместе с этим, отсутствует единый методологический подход к использованию существующих шахтных экспресс-методик оценки и соответствующих приборов для определения прочностных свойств угля при оценке выбросоопасности.

Поэтому авторы в данной статье рассмотрели методологию оценки выбросоопасности пласта и опасности обрушений угля при ведении горных работ на основе прочностных показателей углепородного массива.

В настоящее время существуют и используются в шахтах ряд нормативных методик определения показателей прочности для прогноза выбросоопасности и опасности внезапных обрушений или высыпаний угля [3, 4]. Ниже рассмотрим эти методики.

Методика оценки выбросоопасности угольных пластов и пород по прочности углепородного массива. Прогноз по прочности пласта на шахтах Украины применяют в подготовительных и очистных выработках на угрожаемых угольных пластах, а по согласованию с МакНИИ – и на отдельных участках выбросоопасных угольных пластов [3]. Периодичность измерений определяется в зависимости от прочности пласта. Так, например, если по результатам разведочных наблюдений выявлена хотя бы одна угольная пачка с прочностью $60 \text{ у.е.} < \bar{q}_{\text{min}} \leq 70 \text{ у.е.}$, то измерения прочности угольного пласта (пачек) осуществляют не более, чем через 5 м подвигания забоя выработки. При $\bar{q}_{\text{min}} > 70 \text{ у.е.}$ периодичность измере-

ний прочности принимают не более 10 м подвигания забоя. Если же при ведении прогноза с периодичностью 10 м в каком-либо цикле измерений будет получено значение прочности $60 \text{ у.е.} < \bar{q}_{i_{\text{max}}} \leq 70 \text{ у.е.}$, то переходят на периодичность измерений не более 5 м подвигания забоя. Измерения прочности угольного пласта при прогнозе выбросоопасности производятся при разведочных наблюдениях с помощью прочностномера типа П-1. Если в каких-либо пунктах измерений будет установлено, что прочность угольного пласта (пачки) снизилась до величины менее 60 у.е., то в этих пунктах измерений и на прилегающих к ним десятиметровых участках лавы дополнительно производят прогноз по начальной скорости газыделения из шпуров в соответствии с требованиями [3]. И уже на основании полученных результатов делают заключение о выбросоопасности.

Методика определения прочности угля в забое прочностномером П-1. Прочностномер П-1 предназначен для определения прочности угля в забое экспресс-методом при прогнозе выбросоопасности и удароопасности угольных пластов. Прочность угля оценивается по величине динамического внедрения в угольный массив стального конуса, получающего определенную (27 Дж) энергию удара от пружинного механизма. Прибор позволяет делать 2–3 замера в минуту. Масса прибора 5 кг, габариты 885Δ200Δ175 мм.

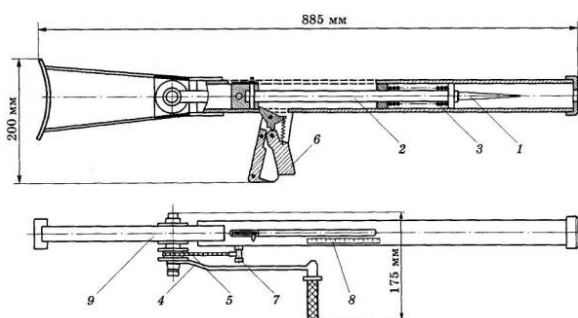


Рис. 1. Общий вид прочностномера П-1

Общая конструктивная схема прочностномера П-1 приведена на рис. 1. Прочностномер П-1 состоит из конуса 1, соединенного со штоком 2, пружины 3, рукоятки рычага взвода пружины 4, натяжного тросика (цепи) 5, спускового механизма 6, пальца 7, шкалы 8 и ствола с прикладом 9. Все металлические детали имеют антикоррозийное покрытие. Прочностномер работает следующим образом. При вращении рукоятки 4 с помощью тросика 5 и пальца 7 шток 2, снабженный стальным конусом 1, отводится в крайнее заднее положение, где защелкивается спусковым механизмом 6. При этом пружина 3 оказывается сжатой с усилием порядка 650 Н. Палец 7 вынимается из отверстия штока 2. Далее прочностномер прижимают к поверхности угольного забоя в месте, где необходимо определить прочность, и нажимают на спусковой крючок 6. Шток 2 отбрасывается разжимающей

ся пружиной 3 и конус 1 внедряется в угольный массив. Глубина внедрения конуса в уголь определяется по шкале 8 [4].

Показатель прочности угля определяется в условных единицах: $q = 100 - h$, где h – глубина внедрения конуса, мм. Для определения прочности угля в месте измерений делается пять замеров на расстоянии 5–10 см один от другого. Среднеарифметическое значение из пяти замеров принимается за прочность угля в месте измерений. Выбросоопасные пласты в большей части случаев имеют сложное строение и состоят из нескольких пачек различной прочности. Поэтому при определении прочности угольного пласта сложного строения учитываются все пачки пласта мощностью не менее 0,05 м, которые могут быть выделены визуально по цвету, блеску, трещиноватости, структуре или степени нарушенности. Данная методика является нормативной также и для шахт России. При этом надо иметь в виду, что средняя приведенная прочность пласта определяется как средневзвешенная величина в зависимости от прочности и мощности составляющих его пачек.

Методика для экспресс-оценки свойств выбросоопасного массива. В последнее время многими исследователями были выполнены разработки по экспресс-определению свойств и оценке состояния углепородного массива, например, выбросоопасных угольных пластов и песчаников Донбасса. Разработаны и используются несколько типов конструкций шахтных прочностномеров [2–7 и др.]. Основной целью уточнения такой методики со стороны ИГТМ НАН Украины являлось повышение надежности и оперативности при оценке свойств и состояния выбросоопасного массива в забое горной выработки. Предлагаемая методика экспресс-определения деформационных и выбросоопасных свойств горных пород заключается в следующем.

В исследуемом забое с его поверхности отбирают несколько проб в виде пластинок-образцов пород толщиной 15 ± 5 мм, которые откалываются от забоя. Затем непосредственно в забое выработки их нагружают и доводят до разрушения. Нагружение отобранного в забое образца до хрупкого разрушения породы (угля) производят путем внедрения в него с двух сторон соосно расположенных конических резцов с непрерывной фиксацией значений деформаций и нагрузок образца. Затем на основании полученных данных оценивают свойства и состояние массива в забое по ниже приведенной методике. Для реализации рассматриваемой методики в ИГТМ НАН Украины был разработан специальный прибор для экспресс-определения деформационных и выбросоопасных свойств горного массива непосредственно в забое исследуемой выработки (рис. 2) [8].

По полученным при разрушении образцов усилиям подачи (P) и значениям предельных величин абсолютной деформации (h) определяют механические характеристики выбросоопасности испытываемых образцов. При этом механические характеристики и параметры, характеризующие выбросоопасность (K_0

и K_n), определяются по зависимостям, представленным в работе [8]. В качестве примера рассмотрим применение методики для оценки выбросоопасности песчаников на шахтах Донбасса (ш. „Красноармейская-Западная“ и „им. А.А. Скочинского“). Перед определением выбросоопасности пород предварительно строят график разделяющей кривой АВ на основании результатов обработки статистики исследований выбросоопасных пород в зонах, где произошли газодинамические явления (ГДЯ) и где они отсутствовали. В результате устанавливают положение кривой АВ на графике, приведенном на рис. 3.

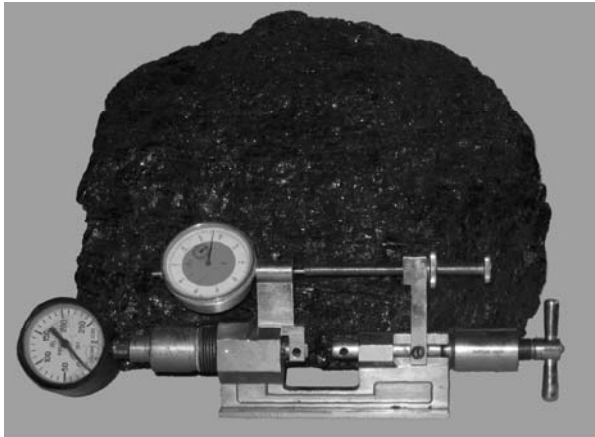


Рис. 2. Прибор для экспресс-определения деформационных и прочностных свойств выбросоопасного массива

В качестве пояснения на этом графике цифрами около затемненных кружков указана сила фактических выбросов в тоннах, используемых при статобработке. После построения графика производим исследования фактических свойств песчаника в двух различных зонах горного массива для определения выбросоопасности этих зон (глубина залегания выработки $H = 600$ м и средний объем веса толщи пород $\nu = 2,5$ г/см³). Результаты эксперимента, проведенного в 1-й зоне: $t_1 = 12$ мм; $h_1 = 1,3$ мм; $P_1 = 28,0$ кг. Соответственно после выполнения расчета по методике [8], значения деформационных и прочностных параметров пород оказались равными $K_{d1} = 11$, $K_{n1} = 0,19$. Результаты эксперимента, проведенного во 2-й зоне: $t_2 = 12$ мм; $h_2 = 2,5$ мм; $P_2 = 32,5$ кг. Соответственно, после выполнения расчета по той же методике, значения деформационных и прочностных параметров составили $K_{d2} = 20,8$ и $K_{n2} = 0,22$.

Для окончательного определения выбросоопасности песчаника в исследуемых зонах массива, по значениям величин деформационных и прочностных параметров состояния массива K_d и K_n , строим точку Б для зоны проведенных исследований №1 и точку С для зоны №2 на рассматриваемом графике. По месту расположения этих точек (Б и С) определяется степень выбросоопасности пород: если точки расположены выше кривой АВ – толща пород в забое проводимой выработки невыбросоопасная, если ниже, то

она выбросоопасная. В нашем случае проведенные исследования показали, что точка Б находится ниже кривой АВ, следовательно исследуемая зона выбросоопасная, а зона массива с исследуемой точкой С выше кривой – невыбросоопасная.

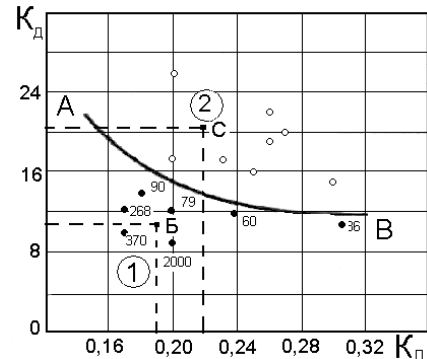


Рис. 3. Зависимость для экспрессной оценки состояния выбросоопасности углеродного массива: 1 – выбросоопасные; 2 – невыбросоопасные; АВ – условно разделяющая линия; точка Б – выбросоопасная зона массива; точка С – невыбросоопасная зона

При использовании прочностных показателей угля для оценки опасности внезапных обрушений или высыпаний, рекомендуется следующая методика. Прогноз опасности внезапных обрушений (высыпаний) по прочности угля может применяться в очистных и подготовительных выработках на крутых и крутонаклонных пластах. Порядок выполнения работ при прогнозе опасности внезапных обрушений по прочности угля должен включать в себя следующие операции: проведение разведочных наблюдений для определения исходных данных и установления порядка проведения контрольных наблюдений или необходимости определения типа тектонической структуры угля; проведение контрольных наблюдений для определения опасных по обрушениям зон; определение типа нарушенности угля в опасных зонах для установления категория опасности пласта по обрушениям в этих зонах.

Первые разведочные наблюдения во вновь вводимых в эксплуатацию выработках проводят в подготовительных забоях после вскрытия пласта, а очистных – начиная от разрезной печи. Разведочные наблюдения при отработке лавами по простиранию проводят в забоях откаточного штрека, нижней печи и трех нижних уступах на расстоянии 0,5–1 м от верхнего угла или в нижней части лавы с прямолинейной формой забоя в четырех пунктах наблюдений не более, чем через 10 м, начиная от откаточного штрека.

По результатам разведочных наблюдений рассчитывают среднее значение мощности m и прочности q пласта (пачки) для каждого пункта наблюдений, а также среднее значение минимальной прочности q_{min} из всех пунктов наблюдений.

Если по данным разведочных наблюдений прочность пласта (отдельных пачек мощностью не менее

0,1 м) $q_{min} > 70$ у.е., то вводят контрольные наблюдения за изменением мощности и прочности пласта (или его пачек) не более, чем через 10 м подвигания забоя. Если прочность хотя бы одной угольной пачки составляет 60 у.е. $< q_{min} < 70$ у.е., то контрольные наблюдения проводят не более, чем через 5 м подвигания забоя. Контрольные наблюдения проводят в тех же зонах, что и разведочные.

Если по данным разведочных или контрольных наблюдений прочность угольного пласта (отдельных пачек мощностью не менее 0,1 м) хотя бы в одном цикле наблюдений будет равняться $q_{min} < 60$ у.е., то участок пласта относят к склонным к внезапным обрушениям угля. В этом случае параллельно с определением прочности угля производят определение типа тектонической структуры угля согласно таблице.

Таблица

Связь тектонической структуры угля с разрушаемостью

Разрушаемость угля R, мм ⁻¹	Тип тектонической структуры угля
R < 5	I-II
5 < R < 7	III
7 < R < 9	IV
R > 9	V

Для определения типа тектонической структуры угля по разрушаемости отбирают пробы угля не более, чем через 10 м подвигания подготовительных или очистных забоев (в каждом уступе и не более, чем через 10 м по падению пласта). Определение разрушаемости угля производится по методике, изложенной в нормативном документе [3]. Пробы угля для определения разрушаемости отбирают в забое выработки с наименее прочной пачки мощностью не менее 0,1 м (или одну пробу по всей мощности пласта при мощности пачек менее 0,1 м). Пробы угля отбирают бороздовым способом массой не менее 0,5 кг и размером не более 1 см. Разрушаемость угля определяют путем рассева бороздовых проб с помощью набора сит с размером отверстий 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5 и 0,25 мм на фракции: более 10; 10-7; 7-5; 5-3; 3-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25 и менее 0,25 мм. Средний диаметр фракций, прошедших через сито с отверстиями 10 мм, соответственно равен 8,5; 6,0; 4,0; 2,5; 1,5; 0,75; 0,375 и 0,125 мм. Масса фракции определяется с точностью до 0,1 г, а объем – до 1 мм³ (в объемном измерении).

Разрушаемость угля R (в мм⁻¹) определяют по результатам выхода фракций менее 10 мм и рассчитывают по формулам:

– при весовом определении выхода фракции R_0

$$R_0 = \frac{6}{\sum_{i=1}^8 P_i} \int_{i=1}^8 \frac{P_i}{d_i} \quad (1)$$

– при объемном определении выхода фракции R_0

$$R_0 = \frac{6}{\sum_{i=1}^8 h_i} \int_{i=1}^8 \frac{h_i}{d_i} \quad (2)$$

где P_i – масса i -й фракции, г; d_i – средний диаметр i -й фракции, мм; h_i – высота i -й фракции в объемном измерении, мм.

Внеочередные разведочные наблюдения рекомендуются проводить при выходе из опасных по обрушениям угля зон при прочности пласта (пачек) $q_{min} > 60$ у.е. и I-II типах тектонической структуры угля. Внеочередные разведочные наблюдения проводят также при изменении системы разработки, технологии выемки угля, способа управления горным давлением, переходе зон ПГД и геологических нарушений, а также при изменении мощности и прочности пласта более, чем на 15% по сравнению с предыдущими разведочными наблюдениями. Изменчивость мощности V_m и прочности V_q пласта определяют по следующим зависимостям

$$V_m = \frac{m_i \cdot 4 \cdot \bar{m}_i}{m_i} \cdot 100\%; \quad V_q = \frac{q_i \cdot 4 \cdot \bar{q}_i}{q_i} \cdot 100\% \quad (3)$$

где m_i и q_i – текущие значения мощности и прочности пласта (пачек) по результатам контрольных наблюдений; \bar{m}_i и \bar{q}_i – средние значения мощности и прочности пласта (пачек) по результатам предыдущих разведочных наблюдений в каждом пункте.

При прочности пласта $q_{min} < 60$ у.е. и III-IV типах тектонической структуры угля считается, что забой выработки вышел из опасной зоны по обрушениям угля.

В целом, авторы попытались сформулировать общую методологию применения шахтных экспресс-методик, основанных на определении прочностных свойств угля и пород для прогноза газодинамического состояния углепородного массива при ведении горных работ. Однако к недостаткам этой методологии можно отнести то, что в рассматриваемых способах прогноза выбросоопасности углепородного массива, к сожалению, не учитывается его напряженное, газо- и термодинамическое состояние.

Список литературы

1. Сковинский А.А. Современные представления о природе внезапных выбросов угля и газа в шахтах и меры борьбы с ними // Уголь. – 1953. – №7. – С. 34–40.
2. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля, породы и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
3. СОУ 10.1.00174088.011-2005 Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям. – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 225 с.
4. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сборник документов) Серия 05. Выпуск 2 /Колл. авт. – 2-е изд., испр. – М.: Государственное предприятие Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2001. – 320 с.
5. Ткач В.Я. Методы прогноза выбросоопасности шахтных пластов. – К.: Техніка, 1980. – 190 с.

6. Ольховиченко А.Е. Прогноз выбросоопасности угольных пластов. – М.: Недра, 1982. – 278 с.
7. Минеев С.П., Рубинский А.А. Проведение работ проходческими комбайнами по выбросоопасным угольным пластам и породам. – Д.: Дніпро, 2007. – 383 с
8. Минеев С.П. Свойства газонасыщенного угля. – Д.: НГУ, 2009. – 220 с.

Розглянуто основні методики оцінки викидонебезпечності гірського масиву за результатами встановлення міцнісних властивостей вугілля та порід. Методики основані на використанні існуючого міцнісноміра типу П-1 конструкції ІГД ім. О.О. Скочинського та приладу для визначення деформаційних та міцнісних властивостей викидонебезпечного масиву, розробленого в ІГТМ НАН України. Наведено принципові схеми цих приладів та методики визначення міцнісних та деформаційних властивостей вугілля та порід, що вміщують пласт вугілля. Прилад конструкції ІГТМ НАНУ та методика його використання захищені патентом. У цілому, сформульована методологія використання шахтних експрес-методик для прогнозу газодинамічного стану вуглепородного масиву під час ведення гірничих робіт.

Ключові слова: *вугільний пласт, прогноз викидонебезпечності, міцнісномір, експрес-методика, принципова схема приладу*

The basic methods of estimation of liability to outburst of mountain massive resulting on strength properties of coal have been considered. Methods are based on the use of existing device P-1 constructed in A.A. Skochinsky IGD and device for determination of deformation and strength properties of outburst-prone massive, developed in IGTM NASU. The principle schemes of these devices and methods of determination of deformation and strength properties of coal and enclosing rock have been described. Device of IGTM NASU construction and the method of its use are protected by the patent. In general it has been formulated the methodology of application of mine express-methods to prognosticate the gas-dynamic state of coal massive during mining.

Keywords: *coal seam, prognosis of outburst hazard, device for measuring of strength properties, express-method, principal scheme of device*

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.М. Роєнком 06.01.10

УДК: 622.02.001.57

© Павлиш В.М., Гребьонкіна О.С., 2010

В.М. Павлиш, О.С. Гребьонкіна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГІДРОПНЕВМОДИНАМІЧНОЇ ДІЇ НА МАСИВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

V.M. Pavlysh, A.S. Grebyonkina

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF HYDROPNEUMODINAMICAL ACTION ON THE ROCK MASSIF

Масиви гірських порід, що вміщують вугільні пласти, є джерелом метановиділення, для боротьби з яким запроваджується дегазація. З метою інтенсифікації процесу дегазації застосовується спосіб гідропневматичної дії. Для теоретичних досліджень процесу дії на масив необхідно розробити математичну модель, що дозволить використовувати комп'ютерні технології моделювання та розрахунку параметрів.

Ключові слова: *дегазація, моделювання, вугільні пласти, метановиділення*

Актуальність роботи. Метановиділення з вугільних пластів та породних масивів є одним з найнебезпечніших явищ при підземному вуглевидобутку. Основним засобом боротьби з цим явищем є дегазація, що здійснюється шляхом відкачки газу з підземних свердловин та з поверхні. Для інтенсифікації дегазації запропоновано впровадження гідропневматичної дії, яка призводить до певного порушення структури масиву, розкриття тріщин, що підвищує потік метану до свердловин і, відповідно, ефективність дегазації. Теоретичні дослідження дії потребують розробки адекватної математичної моделі, на основі якої можна забезпечити використання комп'ютерних технологій для моделювання та розрахунку параметрів технологічних схем. У зв'язку з цим тема роботи є актуальною.

Мета роботи – розробка адекватної математичної моделі процесу гідропневматичної дії на породний масив, що враховує не тільки рух рідини, тазу та газоповітряної суміші, а й зміщення часток твердої фази.

Як відзначається в роботах багатьох учених [1, 2, 3, 4], розробка сучасних методів розрахунку параметрів процесу можлива на основі теоретичних і фізичних положень про фільтрацію рідини й газу у вугільних та породних масивах із застосуванням методів обчислювальної математики та засобів обчислювальної техніки. При цьому основним у дослідженнях стає метод математичного моделювання.

Ефективність застосування методу визначається коректністю та ступенем адекватності математичної моделі.