

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗА  
ВЫБРОСОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК КОМБАЙНАМИ**

Розглянуто основні принципи методології прогнозу викиднебезпечності, застосовувані при проведенні підготовчих виробок прохідницькими комбайнами по викиднебезпечним вугільних шарах і породам

**BASIC PRINCIPLES OF PROGNOSIS OF DANGER OF TROOP  
LANDING DURING CONDUCTING OF PREPARATORY MAKING  
WITH HELP BY COMBINES**

Basic principles of methodology of prognosis of danger of troop are considered applied during conducting of the preparatory making combines on danger of troop coal layers and breeds

Эффективное прогнозирование газодинамических явлений может базироваться только на знании принципов и механизма развязывания и развития этих явлений. В последнее время общепризнанной является точка зрения академика А.А. Скочинского [1-4, 9, 10] о главенствующем влиянии на развязывание газодинамического явления в массиве содержащегося в пластах газа, горного давления и физико-механических свойств угля. Совокупность этих трех факторов с учетом технологического воздействия на уголь в конечном счете и определяют реализацию газодинамических явлений.

Физически данная идеология может быть представлена в виде следующих зависимостей:

$$W_r(X) + \sum W_m(\gamma H) \geq W_p(\sigma_{сж} / E) + W_k(m\mathcal{G}^2) + W_o, \quad (1)$$

где  $W_r(X)$  - энергия содержащегося в пласте газа, как функция газоносности  $X$ ;  $\sum W_m(\gamma H)$  - суммарная энергия упругих деформаций массива (угольного пласта и вмещающих пород) под действием сил горного давления в функции глубины разработки  $H$ ;  $W_p(\sigma_{сж} / E)$  - энергия разрушения угля, зависящая от прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  и модуля упругости  $E$ ;  $W_k(m\mathcal{G}^2)$  - кинетическая энергия отброса разрушенного угля, зависящая от массы его  $m$  и скорости перемещения  $\mathcal{G}$ ;  $W_o$  - энергия, поглощаемая и рассеиваемая в массиве.

Анализ выражения (1) показывает, что чем выше газоносность и напряженность пласта и меньше прочность угля, тем больше опасность возникновения внезапного выброса. Причем, если правая часть выражения (1) характеризует энергию, необходимую для разрушения и отброса угля при внезапном выбросе с учетом поглощения и рассеивания ее в виде ударных и сейсмических волн, нагрева угля, переизмельчение и пр., то левая часть выражения характеризует накапливаемую в массиве энергию под влиянием содержащегося газа и горного давления с учетом технологического воздействия. Такая закономерность в

принципе позволила объяснить многообразие не только многих видов газодинамических явлений и их особенностей. Однако, несмотря на общепризнанное мнение о совместном влиянии указанных факторов на возникновение выбросов данная теория не могла объяснить всю совокупность и различие имеющих место в шахтах газодинамических явлений. Кроме того, существовал целый ряд авторитетных гипотез о природе и влиянии указанных факторов на иницирование и развитие внезапного выброса [6, 8, 11].

При ведении горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа в обязательном порядке предварительно выполняется прогноз выбросоопасности. В зависимости от назначения, методы прогноза выбросоопасности подразделяются на три вида: региональный, локальный и текущий.

Региональный прогноз осуществляется по комплексу показателей, определяемых на стадии ведения геолого-разведочных работ и предназначен для предварительной оценки потенциальной выбросоопасности угольных пластов или их участков в пределах месторождения, геолого-промышленных районов, шахтных полей и новых горизонтов с целью предусмотрения в проектах вскрытия и подготовки их к отработке оптимальных решений по обеспечению безопасности ведения горных работ.

Локальный прогноз по прочности пласта [4, 13] применяется в процессе ведения горных работ для оценки степени выбросоопасности ограничения локальных участков угольных пластов по показателям прочности угля на основании периодических обследований забоев с целью определения необходимости ведения методов непрерывного прогноза или способов предотвращения внезапных выбросов [4].

Текущий прогноз выбросоопасности осуществляется непрерывно по мере подвигания забоя с целью выявления выбросоопасных зон и своевременного применения способов предотвращения внезапных выбросов.

При комбайновом проведении подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам широкое применение получили два способа текущего прогноза: по начальной скорости газовыделения из шпуров и по акустической эмиссии массива. Кроме того, на шахтах, начиная с 1996 года применяется контроль выбросоопасности призабойной части массива по параметрам акустического сигнала [4, 12].

Локальный прогноз (по прочности пласта) применяют в подготовительных и очистных выработках на угрожаемых пластах, а по согласованию с МакНИИ и на отдельных участках выбросоопасных шахтопластов. После проведения разведочных наблюдений и установления на участке подвигания выработки невыбросоопасной зоны прогноз в дальнейшем осуществляют по периодическим измерениям прочности угольного пласта.

Периодичность измерений определяют в зависимости от прочности пласта. Если по результатам разведочных наблюдений выявлена хотя бы одна угольная пачка с прочностью  $60 \text{ у.е.} < \overline{q_{i \min}} \leq 70 \text{ у.е.}$ , то измерения прочности угольных пачке (пласта) осуществляют не более, чем через 5,0 м подвигания забоя выработки. При  $\overline{q_{i \min}} \geq 70 \text{ у.е.}$  периодичность измерений прочности при-

нимают не более 10,0 м подвигания забоя. Если же при ведении прогноза с периодичностью 10,0 м в каком-либо цикле измерения будет получено значение прочности 60 у.е. и  $\overline{q_{i \min}} \leq 70$  у.е., то переходят на периодичность измерения не более 5,0 м подвигания забоя.

Измерения прочности угольных пачек пласта при прогнозе выбросоопасности производят с помощью прочностномера П-1 по известной методике [4]. Пункты измерения прочности на пологих и наклонных пластах подготовительных забоях располагают на расстоянии от 0,5 м до 1,0 м от кутков. Если в каких-либо пунктах измерения будет установлено, что прочность угольной пачки снизилась до величины менее 60 у.е., то в этих пунктах измерения и на прилегающих к ним десятиметровых участках лавы дополнительно производят измерения начальной скорости газовыделения.

Научные основы и технология прогноза по начальной скорости газовыделения изложены достаточно полно в работах [4, 14]. Сущность этого способа состоит в измерении скорости газовыделения из загерметизированных участков шпура длиной 0,5 м на интервалах глубины 1,5 м, 2,5 м и 3,5 м в начальный период после окончания бурения, что и предопределило название способа. Сравнивая измеренные величины с критической установленной для данного шахтопласта в зависимости от выхода летучих веществ  $V^{daf}$ , призабойная часть пласта относится к выбросоопасной зоне, если хотя бы в одном интервале шпура измеренная начальная скорость газовыделения равна или больше критической. Последующие циклы бурения и измерения производят через каждые 2 м подвигания подготовительных выработок и 2,5 м очистных. При этом уместно заметить, что исходя из вышеприведенного толкования понятий "прогноз" и "контроль", методология слежения за выбросоопасностью призабойной части пласта по величине начальной скорости газовыделения, не учитывающая тенденцию изменения ее по мере подвигания забоя, не содержит каких-либо приемов прогнозирования этой опасности и сводится в сущности к контролю наличия или отсутствия ее на момент производства измерений. Зону относят к выбросоопасной, если хотя бы в одном из интервалов шпура измеренная начальная скорость газовыделения  $g_n$ .

Прогноз по начальной скорости газовыделения прерывают и зону пласта также относят к опасной при уменьшении мощности пласта (пачки) до величины менее 0,2 м; невозможности пробурить или загерметизировать шпур на требуемую глубину; появлении в процессе бурения ударов и тресков различной силы и частоты; выносе из шпура газа с буровой мелочью; зажатии или выталкивании бурового инструмента.

Недостатком этого способа прогноза, помимо возможного влияния субъективных факторов на его достоверность, является указанная периодичность определения выбросоопасности в остановленном забое при квазистатическом напряженно-деформированном и газодинамическом состоянии призабойной части пласта, которое может существенно измениться в процессе последующих циклов выемки угля до очередного выполнения прогноза. Действительно, практика располагает сведениями о внезапных выбросах угля и газа, проис-

шедших при отсутствии опасности возникновения их по данным измерений начальной скорости газовыделения, что может быть обусловлено не ошибкой определения по этому показателю выбросоопасных ситуаций, а динамичным формированием их в движущемся забое. В этой связи представляется более надежным непрерывное наблюдение за выбросоопасностью непосредственно в процессе технологического воздействия на пласт, что невозможно осуществить по показаниям начальной скорости газовыделения.

Наиболее близким по назначению и функциональным возможностям непрерывного контроля за реакцией угольного пласта непосредственно в процессе технологического воздействия на него является способ текущего прогноза выбросоопасности по акустической эмиссии массива, основанный на регистрации с помощью звукоулавливающей аппаратуры естественных акустических импульсов трещинообразования, усиление которого может быть обусловлено повышением горного давления или снижением прочности угля, что в том и другом случае считается признаком нарастания выбросоопасности [2]. Однако весьма примитивный прогностический показатель этой опасности, определяемый простым суммированием количества импульсов в единицу времени, не дает необходимой надежности.

Ежегодный объем применения прогноза выбросоопасности при проведении подготовительных выработок составляет около половины забоев от их общего количества. Так, 2005 г. в подавляющем большинстве подготовительных забоев, работающих с прогнозом выбросоопасности, применяется текущий прогноз по начальной скорости газовыделения (69%) и по акустической эмиссии массива (19%), а локальный прогноз лишь в 12% забоев, причем, главным образом, на угрожаемых угольных пластах.

При проведении подготовительных выработок с прогнозом выбросоопасности по акустической эмиссии массива может применяться оперативное управление интенсивностью технологических процессов, базирующиеся на использовании естественных акустических импульсов, возникающих вследствие образования в пласте трещин под действием сил горного давления, относятся к так называемому "пассивному" направлению применения сейсмоакустики в горном деле. В середине 50-х годов начали разрабатываться "активные" методы сейсмоакустики для изучения горного давления путем возбуждения в массиве искусственных акустических импульсов специальными излучателями, с помощью которых производилось прозвучивание горных пород между источником и приемником этих импульсов и определение скоростных характеристик распространения упругих колебаний в зависимости от напряженного состояния и степени нарушенности массива. Установлено, что чем больше трещиноватость (нарушенность) пород и выше частота возбуждаемых акустических импульсов, тем интенсивнее происходит затухание их и, следовательно, меньше дальность распространения от источника возбуждения.

Принципиально иным подходом к развитию "активного" направления сейсмоакустики для выявления и предупреждения опасности возникновения внезапных выбросов угля и газа явился разработанный МакНИИ метод контроля напряженного состояния призабойной части угольного пласта, основан-

ный на использовании известного физического явления – рефракции (искривления) лучей звуковых волн в неоднородной по скорости их распространения среде, отклоняющихся всегда в область с меньшей скоростью звука [10, 12]. Такой областью в окрестности горных выработок является разгруженная призабойная часть пласта. Методика его заключается в том, что излучатель и приемник упругих колебаний устанавливаются на выемочной машине (комбайне), создают акустический контакт их с забоем и в процессе выемки угля непрерывно регистрируют поступление рефрагированных волн к приемнику. При подходе комбайна к зоне повышенных напряжений, опасной по внезапным выбросам угля и газа, рефракция волн увеличивается и прекращается поступление их к приемнику, что является сигналом на остановку комбайна. Однако технические решения для осуществления метода, в частности, обеспечения надежного "скользящего" акустического контакта излучателя и приемника волн с угольным забоем до последнего времени не разработаны.

Кроме того, МакНИИ разработан и применяется способ контроля выбросоопасности призабойной части массива в подготовительных выработках по параметрам акустического сигнала [12]. Способ контроля выбросоопасности основан на зависимости параметров акустического сигнала, возбуждаемого в массиве горных пород при воздействии на него проходческих машин и механизмов от напряженно-деформированного состояния призабойной части.

Способ предназначен для выявления опасных по выбросам угля и газа зон и предусматривает регистрацию, передачу на поверхность акустического сигнала и его обработку в реальном времени на персональном компьютере.

В качестве специальных средств для реализации способа используются система регистрации и передачи на поверхность акустического сигнала (типа АПСС); персональный компьютер, совместимый с IBM; программа обработки и анализа акустической информации. Регистрация и обработка акустического сигнала осуществляется непрерывно в пределах одного цикла подвигания забоя (цикл наблюдений). При проведении выработок проходческим комбайном величина цикла определяется шагом установки крепи, но не должна превышать 1,3 м для опасных и 1,8 м для угрожаемых пластов.

Обработка начинается после сообщения оператору сейсмопрогноза о расстоянии от маркшейдерского пункта до забоя и времени начала работы механизмов по забою. Завершается обработка после сообщения вышеуказанными лицами об окончании работ по забою или в конце смены. Сообщение об этом и сообщение оператора о результатах прогноза должны фиксироваться на контрольной записи.

Для контроля за технологическими процессами запись акустического сигнала ведется непрерывно в течение суток.

При контроле выбросоопасности прогностическими параметрами акустического сигнала являются: частота максимальной амплитуды, нижняя и верхняя границы частоты при среднем уровне амплитуд и при повторном осреднении, амплитуды высокочастотной и низкочастотной составляющих и коэффициент выбросоопасности, который равен их отношению и используется для качественной оценки выбросоопасности в забое. Для вычисления низкочас-

тотной и высокочастотной составляющих устанавливается нижняя и верхняя рабочие частоты, которые принимаются равными значениям нижней и верхней границ повторного осреднения амплитудного спектра.

Для определения критических значений прогностических параметров предварительно проводят разведочные наблюдения в 30 циклах в неопасной по выбросам зоне, установленной нормативным способом прогноза, или в зоне, эффективно обработанной противовыбросными мероприятиями.

Контроль выбросоопасности осуществляется автоматически путем сопоставления текущих значений прогностических параметров с их критическими значениями. В качестве текущих значений используются средние по всему циклу наблюдений.

При прогнозе "неопасно" безопасная глубина выемки равна величине подвигания забоя в цикле. Результаты прогноза распространяются на следующий цикл подвигания забоя, равный предыдущему выемочному циклу.

При получении прогноза "опасно" работы по забою необходимо запретить. Дальнейшее проведение выработки осуществляется после выполнения противовыбросных мероприятий и контроля их эффективности или буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания. Выход из опасной зоны осуществляется после получения прогноза "неопасно" и подвигания забоя в неопасной зоне на 6 м (зона запаса). Забой горной выработки должен быть оборудован телефонной связью. При появлении в забое предупредительных признаков выбросоопасности работы по забою необходимо остановить.

Дальнейшее ведение очистных работ осуществляется с контролем выбросоопасности по параметрам техногенного акустического сигнала. Кроме того, в последнее время выполнено обоснование ряда других методов оценки выбросоопасности углепородного массива. Суть их в оценке состояния массива с помощью компьютерных технологий осуществление обработки данных по изменению концентрации метана в воздушной струе воздуха с помощью аппаратуры типа АКМ. Хотя данное техническое решение априори несет в себе большой процент ошибок второго рода.

Ранее ИГТФ НАН Украины совместно с МакНИИ предложил способ оценки выбросоопасности угольного пласта по результатам измерения температуры в шпуре на различных глубинах [6, 10]. Однако надежной и корректной аппаратуры для его реализации не имеется и, следовательно, однозначных выводов о корректности способа сделать нельзя.

Выполнены большие постановочные и экспериментальные работы по разработке методов контроля состояния выбросоопасного угольного массива на базе использования различных физических полей, в частности основанные на измерении искусственного и естественного электрических полей, интенсивно разрабатываются методы радиолокации, выполнены исследования для обоснования использования электромагнитной эмиссии, пьезоэлектрического эффекта, естественного электромагнитного поля, электромагнитного резонанса и ряд других подходов [1, 6, 8, 14].

МакНИИ и ИГД им. А.А. Скочинского совместно с ОАО "Автоматгор-маш" и ИГТМ НАН Украины выполнено обоснование по разработке метода

прогноза основанного на многофакторном анализе состояния углепородного массива в процессе ведения горных работ [15]. Суть его состоит в том, что устанавливаются на проходческом или выемочном комбайне комплекс датчиков. Эти датчики регистрируют концентрацию метана, скорость струи воздуха, положение комбайна в пространстве, нагрузку на комбайн, мощность угольного пласта и другие параметры, значения которых передаются в поверхностный или подземный вычислительный комплекс, который, в конечном счете, обрабатывая полученную информацию и выдает в комбайновый забой необходимое решение с учетом состояния выбросоопасности массива.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минеев С.П., Рубинский А.А. Проведение выработок проходческими комбайнами по выбросоопасным угольным пластам и породам.- Днепропетровск: Дніпро, 2007.- 384 с.
2. Управление состоянием горного массива/ А.Н.Зорин, В.Г.Колесников, С.П.Минеев, А.А.Прусова, Е.Д.Ковтун. –Киев: Наукова думка, 1986.-216 с.
3. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления.- М.: Недра, 1978.- 174 с.
4. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: Стандарт Мінвуглепрому України: СОУ 10.1.00174088. 011- 2005: Видання офіційне.- Київ: Мінвуглепром України, 2005.- 221 с.
5. Минеев С.П., Рубинский А.А., Борщевский С.В. О методологии пересечения стволами выбросоопасных пластов// Науковий вісник НГА України.- Вип.1 - 2004-С. 15 -19.
6. Методы прогноза и способы предотвращения выбросов угля, породы и газа/ Ю.Н. Малышев, А.Т. Айруни, Ю.Л. Худин, М.И. Большинский.- М.: Недра, 1995.- 352 с.
7. Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. –М.: Недра. 2001.- 413 с.
11. Потураев В.Н., Минеев С.П. Использование вибрационных и волновых эффектов при отработке выбросоопасных пластов.- Киев: Наукова думка, 1992.-200 с.
8. Исследование процессов возникновения выбросов угля и газа. – М.: Наука, 1978. – 112 с.
9. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. - М.: Госгортехиздат, 1961. –234 с.
10. Большинский М.И., Лысыков Б.А., Каплюхин А.А. Газодинамические явления в шахтах. - Севастополь: Вебер, 2003. – 214с.
12. Руководства по применению на шахтах Донбасса акустических способов контроля состояния призабойной части выбросоопасного пласта. – Макеевка: МакНИИ, 1996.-58 с.
13. Руководство по локальному прогнозу выбросоопасности угольных пластов на шахтах Украины. - Макеевка-Горловка, 1993. –56 с
14. Ольховиченко А.Е. Прогноз выбросоопасности угольных пластов. – М.: Недра, 1982.- 278 с.
15. Автоматизированные средства и системы управления технологическими процессами для повышения безопасности// Я.Л. Красик, В.В. Синенко, Г.В. Курносов и др. - Уголь Украины, 2006.- № 10. – С. 32-34.