

Д-р техн. наук С.П. Минеев,
(ИГТМ НАН Украины),
канд. техн. наук А.А. Рубинский,
канд. техн. наук Г.И. Колчин (МакНИИ)

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

На основі аналізу акустичного сигналу, що штучно порушуваний в масиві, на персональному комп'ютері здійснюється контроль напружено-деформованого стану, прогноуються зони, небезпечні за газодинамічними і динамічними явищами, оцінюється стійкість гірничих виробок.

THE MASSIVE CONDITION CONTROL OF OF A FILE AT TUNNEL REALIZATION IN DIFFICULT MINE-GEOLOGICAL CONDITIONS

In the basis of the analysis of acoustic signal induced in rock strata the following parameters are monitored with PC: rock stress, forecast of zones dangerous, in terms of gas-dynamics and dynamics, estimation of underground workings stability.

Причиной подавляющего большинства негативных явлений при проведении выработок в угольных шахтах являются высокие напряжения на отдельных участках, неравномерные распределения их значений, а также газодинамическое состояние массива. В настоящее время, нет достаточно универсального метода прогноза или оценки состояния массива, в частности его выбросоопасности. Применяемые при ведении горных работ способы текущего прогноза являются фактически способами установления выбросоопасных зон на основе анализа различий физико-механических и газодинамических параметров углепородной среды в опасных и неопасных зонах. Характеристики массива, применяемые в текущем прогнозе уже не могут использоваться для прогноза выбросоопасности на стадии выполнения геологоразведочных работ или в процессе подготовки новых очистных полей шахты. Вместе с этим, к настоящему времени, разработан целый ряд работоспособных методик, которые используются при прогнозе газодинамического состояния углепородного массива и контроле эффективности выполнения противывбросных мероприятий [1-6]. Для оценки состояния массива, опасного по газодинамическим проявлениям горного давления, используются ряд критериев и признаков, в частности: деформационные характеристики угольных пластов, закономерности газоотдачи углепородного массива в скважины и контрольные шпур, сорбционные и газодинамические параметры системы «углепородный массив – газ – горное давление» и другие. На их базе разработаны методы прогноза выбросоопасных зон на угольных пластах по начальной скорости газовыделения из шпуров, прогноза выбросоопасности угольных пластов в месте их вскрытия, контроля эффективности способов предотвращения выбросов угля и газа по динамике начальной скорости газовыделения в шпур, прогноз по начальной скорости газовыделения и выходу бурового штыба, текущий прогноз выбросоопасности по акустической эмиссии горного массива, прогноз выбросоопасности по сейсмоакустической шумности и активности пластов, физические и физико-химические методы прогноза выбросоопасности, автоматизированный метод про-

гноза выбросоопасности, методы акустического прогноза и другие. Однако анализ проявления выбросоопасности при ведении горных работ показывает, что не все предложенные методики надежны и технологичны. Причем, как показывает опыт, одни довольно трудоемки в использовании, применение других может существенно разбалансировать работу на угледобычном участке, третьи – неэффективны, а кроме того не для всех предложенных научными подразделениями методик есть современная, надежная и работоспособная аппаратная база. Поэтому решение вопросов направленных на повышение эффективности контроля состояния углепородного массива, в забое выработок при ведении горных работ, является актуальной задачей.

Учитывая изложенное, авторы статьи предприняли попытку изложить исследования, выполненные в МакНИИ и сделать обобщения, с учетом высказанного мнения других организаций, по применению метода безопасного контроля состояния массива при ведении горных работ. Такое обобщение по оценке состояния углепородного массива выполнено авторами на основе исследований по анализу акустических сигналов, используемых для оценки напряженно-деформированного состояния, прогнозирования зон, опасных по газодинамическим и динамическим явлениям, а также устойчивости горных выработок. В качестве инструмента для осуществления такого контроля обычно используется акустический сигнал, возбуждаемый в массиве при воздействии на него проходческих комбайнов, бурении шпуров (скважин) или при нанесении ударов по породам кровли. Следует отметить, что данный подход ранее довольно успешно использовался ИГД им. А.А.Скочинского, НГУ, ДонНИИ, ИГТМ НАН Украины, ИПКОН РАН, «ЗУА» и рядом других организаций при разработке своих методов прогноза выбросоопасности. Физической основой акустического метода контроля служит такая особенность формирования в слоистом массиве при его возбуждении упругих колебаний, которая заключается в возникновении собственных (резонансных) колебаний в каждом слое, ограниченном ослабленными контактами. Причем, частота таких колебаний зависит только от мощности слоя и обратно пропорциональна ей. Амплитуда резонансных колебаний зависит, главным образом, от степени ослабления межслоевых контактов и свойств массива. Учитывая, что одним из последствий ведения горных работ в шахтах является развитие деформаций, которые в последствии в значительной степени обуславливают ослабление межслоевых контактов. И если использовать спектральное представление акустического сигнала, то можно определять как резонансные частоты, так и их амплитуды, тем самым определять мощности слоев пород и степень их ослабления. Для получения спектра акустического сигнала (амплитудно-частотной характеристики) используется быстрое преобразование Фурье.

Как правило, для возбуждения и регистрации акустического сигнала существует два методических приема. Один заключается в непрерывной регистрации акустического сигнала – отклика массива на работу проходческих механизмов на забой (комбайнов, бурильных установок, отбойных молотков). Регистрация осуществляется в каждом цикле подвигания забоя, тем самым обеспечивается регулярный контроль состояния призабойной части массива и динамики его напряженно-деформированного состояния. Второй методический прием основан на им-

пульсном (ударном) возбуждении массива в заданном пункте горной выработки – импульсное зондирование. Техническое обеспечение этих подходов в принципе решено рядом организаций и состоит из аппаратуры передачи акустического сигнала на поверхность (например, типа АПСС) или шахтного регистратора сигналов, персонального компьютера и обрабатывающих программ [1-6].

При регистрации и обработке акустических сигналов, возбуждаемых в забое проходческой техникой, достаточно корректно и надежно решаются следующие практические задачи:

- прогноз зон, опасных по выбросам угля и газа;
- прогноз зон, опасных по внезапным выдавливаниям угольного пласта;
- контроль выбросоопасности песчаников;
- контроль выбросоопасности в месте вскрытия комбайном угольного пласта пологого залегания;
- выявление впереди забоя геологических нарушений;
- дифференциация зон ПГД по степени опасности динамических явлений;
- проведение выработок вблизи ранее пройденных выработок;
- выявление зон аномальных напряжений и необходимости усиления крепления выработок.

При использовании подхода акустического зондирования могут решаться следующие задачи, которые также будут весьма для интересны практического использования, в частности такие:

- выявление зон, опасных по газодинамическим явлениям, в проводимых и ранее пройденных выработках;
- прогноз прорывов метана из почвы выработок;
- определение расстояния до выбросоопасного пласта;
- оценка устойчивости горных выработок;
- локализация участков аномального напряженно-деформированного состояния массива.

Прогноз выбросоопасных зон в углепородном массиве при ведении горных работ, основан на широко известном факте задержки деформаций. При этом, что достаточно известно изменяется спектральная характеристика акустического сигнала: уменьшаются амплитуды низкочастотной составляющей и увеличиваются – высокочастотной. Методикой предусмотрено использовать до 4 характеристик спектра и осуществление контроль за его смещением в высокочастотную область, что является надежным признаком входа забоя в выбросоопасную зону [4].

Ранее было известно целому ряду исследователей, что одной из главнейших причиной внезапного выдавливания угольного пласта может служить расслоение пород кровли на расстоянии от него 20-30м при отсутствии деформаций в средней части этой толщи. При этом, в спектре акустического сигнала, этот факт отражается резким увеличением амплитуды на 80-120 Гц. Такой признак методикой, изложенной в [4], используется для выявления опасных по внезапному выдавливанию зон массива при проведении подготовительных выработок.

Общепризнанным и нормативным признаком для оценки выбросоопасности песчаников является деление керна на диски при бурении скважин. Как установлено процесс деления керна на диски при бурении скважин происходит в зонах

повышенных напряжений и, как считается, соответствует самопроизвольному разрушению породы на забое скважины, которая пересекает зону высоких давлений. Так, в зонах повышенных напряжений, на забое скважины в значительной мере уменьшается остаточная прочность песчаника и, соответственно, сокращается затрачиваемая на его разрушение энергия. А следствием этого является уменьшение энергии акустического сигнала, возникающего при перебурировании скважиной таких интервалов. И уже, как предусмотрено методикой, по степени уменьшения энергии акустического сигнала осуществляется контроль выбросоопасности песчаника, который может быть осуществлен как при бурении скважин, шпуров, так и при комбайновом проведении выработок. Причем, результаты исследований, проведенные в ИГТМ НАН Украины [5], позволили ранее предложить нормативный акустический способ контроля состояния выбросоопасного породного массива применительно к проходке выработок комбайнами роторного типа, однако, учитывая, что, в последнее время, появились проходческие комбайны избирательного действия способные выполнять разрушение достаточно прочных пород, а также появления новых современных аппаратных решений НГУ, МакНИИ и других организаций, данный метод требует переработки и усовершенствования с учетом новых реалий.

Как уже установлено многими исследователями, контроль изменения напряженно-деформированного состояния массива по параметрам акустического сигнала не зависит от места возбуждения колебаний – толи это будет угольный пласт или вмещающие породы. Этот факт позволил применить акустический метод для осуществления контроля выбросоопасности полого залегающих угольных пластов при их вскрытии комбайном. На полого залегающих угольных пластах, как правило, на расстоянии от 1 до 3 м от пласта выработка проводится на участке значительного протяжения. Это, соответственно, позволяет, пользуясь акустическим способом, предварительно оценить характер напряженно-деформированного состояния массива в месте вскрытия пласта и при отсутствии значительных аномалий рекомендовать комбайновое проведение выработки, без введения режима сотрясательного взрывания, что является технологически очень полезно.

Геологические нарушения и зоны повышенного горного давления довольно часто встречаются при ведении горных работ забоями выработок и, как правило, сопровождаются очевидными аномалиями напряженно-деформированного состояния. Теория и практический подход при выявлении таких аномалий акустическими методами аналогичны прогнозу выбросоопасности. Отличительными признаками, пожалуй, могут быть только распределения прогностических параметров. Установлено [2,5], что зоны ПГД в значительной степени дифференцированы по напряженному состоянию, а наиболее интенсивные аномалии, как правило, приурочены к краевым частям таких зон. Даже при равных условиях залегания этих зон напряженно-деформированное состояние пород в них не редко существенно отличается. Используя методологию акустического способа имеется вполне обоснованная возможность дифференцировать такие зоны, а также и отдельные их части по степени опасности проявления в них газодинамических и динамических явлений. Следует отметить, что практика применения акустического контроля для оценки напряженно-деформированного состояния забоя в процессе прове-

дения выработки свидетельствует также и о довольно частой повышенной аварийности крепи в аномальных зонах по истечении некоторого времени.

Определение расстояния до выбросоопасного пласта или ослабленных участков углепородного массива (зон расслоений) может быть основано на существенном различии контактов пласта с вмещающими породами. Такая оценка, предложенная МакННН, основана на возможности использования контроля динамики развития деформаций в районе расслоений акустическим методом и ранее предложенном механизме, модель которого описывалась рядом авторов, например, сотрудниками ИГТМ НАН Украины и МакННН [5,7,8]. Результаты обработки акустического зондирования, проведенные МакННН, позволяют построить разрез пород кровли, на котором отразить расположение ослабленных контактов и обозначить оценку степени интенсивности развития деформаций вдоль них. Например, если расстояния до ослабленных контактов определяется однозначно, поскольку их связь с резонансными частотами функциональная, то степень оценки интенсивности развития межслоевых деформаций, которая выполняется по величине амплитуд, носит относительный характер. При этом как установлено, проведенными исследованиями МакННН точность определения достаточная (находится в пределах 10%) при небольших (до 30°) углах между выработкой и пластом и при расстоянии до него в пределах от 2 до 15 м. Поскольку обычно у практики стоит задача определения расстояния до пласта по мере подвигания забоя выработки, то и в программу обработки акустического зондирования вводится ориентировочное расстояние до пласта в начальной точке, а затем уже программа решает задачу для всех последующих пунктов наблюдений.

Акустический способ текущего прогноза прорывов метана из почвы горной выработки возможен благодаря интенсивному расслоению вблизи пласта-спутника вплоть до образования пустот, заполненных газом [4]. Наиболее опасное расположение пласта-спутника (основного источника прорывов метана) от 5 м до 15 м при залегании упругого песчаника между рабочим угольным пластом и пластом-спутником. Программа обработки акустического зондирования для этого подхода мало отличается от программы, решающей предыдущую задачу.

Помимо оценки состояния ослабленных контактов в углевмещающих породах по полученному спектру акустического сигнала могут быть вычислены прогностические параметры для определения степени выбросоопасности. Выполненные исследования показали, что значения коэффициентов выбросоопасности, полученные при обработке акустического сигнала, возбуждаемого комбайном и методом зондирования, близки между собой, а их динамика идентична. Это позволяет осуществлять оценку выбросоопасности в уже пройденной горной выработке или, например, вдоль линии очистного забоя. Поскольку аномалии напряженно-деформированного состояния, зафиксированные в движущемся забое, сохраняются даже при значительном отстое горной выработки, то при использовании акустического зондирования могут быть выявлены и участки с повышенными напряжениями, которые необходимо учитывать на практике, с одной стороны, при обеспечении сохранности выработок, а с другой стороны, при ведении очистных работ.

Представляют на наш взгляд интерес результаты проведенных периодических

наблюдений в подготовительных выработках, в том числе на сопряжении с очистным забоем и вблизи него. Так, считается, что по мере подвигания очистного забоя межслоевые деформации впереди него развиваются на расстоянии до 200 м, причем чаще всего характер их динамики различен. При этом, безусловно, существенную роль играет неоднородность геологического строения углевмещающих пород и их состояние. Поэтому, в той или иной мере в подготовительной выработке деформации развиваются на протяжении всего срока ее службы. Активизация контактов начинается от ближних к угольному пласту слоев, постепенно достигает расстояний 20-30 м, на отдельных участках до 60 м. Затем, под действием горного давления, в обратном направлении контакты уплотняются с тем, чтобы начать новый цикл. При длительном отстое выработки наиболее интенсивные ослабленные контакты расположены чаще всего на расстоянии от 4 м до 10 м. Это удалось зафиксировать сотрудникам МакНИИ при выполнении исследований по импульсному зондированию вблизи движущегося забоя, на различном удалении от него путем длительных периодических наблюдений.

Таким образом, в качестве наиболее рациональной технологией проведения выработок на в сложных условиях на угольных пластах можно предложить следующую схему: прогноз выбросоопасности углепородного массива осуществляется контролем состояния по акустическому сигналу, в опасных зонах, выявленных этим прогнозом выполняется один из рекомендованных способов снижения выбросоопасности и после его выполнения уже осуществляется контроль эффективности с использованием одного из нормативных акустических способов с использованием того же аппаратного обеспечения. Для обеспечения безопасного проведения подготовительных выработок, в частности, предлагается выполнить, например бурение опережающих скважин впереди очистного и подготовительного забоев длиной до 50-70 м диаметром до 80 мм, что вполне можно реализовать современной буровой техникой без особого ущерба основным горным технологиям. За счет сооружения опережающих скважин обеспечится предварительная разгрузка массива и частичная его дегазация. При бурении скважин также будет осуществлена дополнительная разведка горно-геологических условий, в том числе будут выявлены непрогнозируемые геологические нарушения, представляющие опасность для развития газодинамических явлений. Опережающие скважины в свою очередь будут играть роль мероприятий по предотвращению газодинамических явлений взамен, например, широко используемого способа гидрорыхления угольного пласта. Безопасность процесса самого бурения опережающих скважин, в случае размещения их в угольном пласте, будет обеспечиваться акустическим контролем в процессе бурения. Преимущества же описанных акустических способов в принципе известны и состоят в простоте их выполнения, надежности, мобильности и получении объективных оценок за счет автоматизированной обработки информации при помощи компьютеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. М.: Минуглепром СССР, 1989. – 191 с.
2. Малышев Ю.Н., Айруни А.Т., Худин Ю.Л., Большинский М.И. Методы прогноза и способы предотвращения выбросов угля, породы и газа. М.: Недра, 1995. - 351с.
3. Шашенко А.Н., Масленников Е.В., Солодянкин А.В. Оперативный контроль высоконапряженного массива в подземных выработках // Уголь Украины, 2004. - №1, С. 35-37.

4. Руководства по применению на шахтах Донбасса акустических способов контроля состояния призабойной части выбросоопасного пласта (согласованы с Госнадзорохрантруда и утверждены Мингулепромом Украины). – Макеевка: МакНИИ, 1996. - 58 с.

5. Зорин А.Н., Колесников В.Г., Минеев С.П., Прусова А.А., Ковтун Е.Д. Управление состоянием горного массива. К.: Наукова думка, 1986. – 211 с.

6. Лунев С.Г., Бунчиков В.Н. К обоснованию параметров аппаратуры для передачи акустического сигнала на поверхность // Вісник НГУ, 1999. - №6. - С. 44-46.

7. А.с. № 1714160, СССР Способ волнового воздействия на горный массив / В.Н. Потураев, А.Г. Червоненко, С.П. Минеев, В.С. Бабенко, А.А. Прусова. - 1992. - Бюл. 7. - 11 с.

8. А.с. № 1652562, СССР Способ управления кровлей на выбросоопасных пластах / В.Н. Потураев, С.П. Минеев, Л.А. Вайнштейн, А.А. Рубинский, В.С. Бабенко, А.А. Прусова. -1991. - Бюл. 20. – 9 с.

УДК [622.648:621.867.7/.8]:532.5

Канд. техн. наук, с.н.с. Е.В. Семененко,
инж. II кат. О.В. Сидорина,
(ИГТМ НАН Украины)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАПОРНЫХ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

Отримана система рівнянь, що описують роботу напірної гідротранспортної установки в несталому режимі. Система враховує характеристики трубопроводу, насосів, зумпфа, гідросуміші та матеріалу, що транспортується. На основі розв'язання запропонованої системи отримані умови стійкості стаціонарних режимів роботи напірної гідротранспортної установки.

THE STEADINESS ESTIMATION OF WORKING CONDITIONS OF FORCING HYDROTRANSPORT PLANTS

The set of equations is received, which circumscribes the work of forcing hydrotransport plant in unsteady conditions. The set of equations takes into account the behaviour of the pipeline, of the pumps, of the sump, of the hydraulic liquid and of the transporting material. On the basis of solution of the offered set of equations stability conditions of the forcing hydrotransport plants time-independent operating mode are obtained.

Опыт работы горных предприятий Украины за последние десять лет свидетельствует о том, что модернизация технологий добычи и переработки минерального сырья в направлении экологической безопасности, а также энерго- и ресурсосбережения невозможна без внедрения систем напорного гидротранспортирования [1-5]. Однако постоянно возрастающая потребность в минерально-сырьевых ресурсах, ограниченность разведанных запасов и ухудшение качества сырья приводят к колебаниям параметров режимов работы гидротранспортных установок, что снижает эффективность и надежность их функционирования. Результаты исследований показывают, что современные гидротранспортные установки горных предприятий до 30-40% времени эксплуатации работают в нестационарных и неустановившихся режимах, а большая часть отказов напорных гидротранспортных установок является следствием таких режимов [1-3].

Ведущие отечественные предприятия и организации, проектирующие горные предприятия, такие, как Кривбасспроект, Укрگیпромез, Укрگیпроруда, а также зарубежные компании, обеспечивающие подбор и поставку оборудования для гидротранспортных комплексов, такие, как GJW, Warman, Sheekar Corporation,