

202. On the Way to Creating a System of Distant Power Supply for Space Vehicles//Solar Energy. -1996. –Vol. 56. No. 1. (Dranovsky et al.)
203. Retrospective and Future of Soviet Rocket Industry. – Lecture in Kakuda Space Center of Branch of National Aeron. Lab. March. 1999. Preprint of KB NAL. Japan. 1999.
204. Generalized estimation of the mass and cost characteristics of photoconverters. – Acta Astronautica. V. 50, Issue 5. Paris.–2002.
205. Sur une theorie approchee d'un ecoulement d'un fluide dipasique dans un canal//Paris. C. R. Acad. Sc. S. A. 1970. V. 270.
206. Calcul explicite de L'ecoulement d'un fluide dipasique dans un canal// Paris. C. R. Acad. Sc. S. A. 1970. V. 270.
207. Condensation of Vapour Bubbles in Liquid//Int. J. Heat&Mass Transfer/London. Pergamon Press. 1971. V. 14.

**УДК 622:831**

А.М. Брюханов

## **НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В КОНТРОЛЕ СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА**

Наведено результати розробки способу контролю викиднебезпеки й оцінки напружено-деформованого стану масиву за спектральними характеристиками акустичного сигналу, що виникає при технологічному впливі здобувних чи прохідницьких комбайнів; способу визначення величини зони розвантаження і відстані до максимуму опорного тиску під час буріння контрольних шпурів, способу оцінки характеру розшарування порід покрівлі або підшви вугільного пласту шляхом імпульсного зондування масиву. Усі способи реалізуються за єдиною схемою: реєстрація акустичного сигналу і його наступна обробка за програмами МакНДІ на персональних комп'ютерах. Показано переваги акустичних способів контролю стану масиву.

## **NEW APPROACH TO MONITOR ROCK STRATA CONDITIONS**

The results of the following developments are presented: outburst monitoring and evaluation of stressed rock strata by spectral characteristics of acoustic signal appearing with roadheader/shearer operations; evaluation of relief zone and distance to maximum bearing pressure with drilling test holes; assessment of coal seam roof and floor layering with pulse probing into the strata. All the methods incorporate the same pattern: acoustic signal recording and PC processing with the MakNII-developed software. Advantages of the acoustic methods to be used for monitoring rock strata are demonstrated.

Актуальность разработки новых способов контроля состояния массива обусловлена с одной стороны, увеличением глубины ведения горных работ и усложнением горно-геологических условий угледобычи, а с другой - снижением точности традиционных методов, которые были разработаны несколько десятилетий тому назад, когда горные работы велись, в основном, на глубинах до 600 м. Кроме того, новые экономические условия требуют повышения темпов проведения подготовительных выработок, увеличения нагрузок на очистные забои, снижения непроизводительных расходов. Этим требованиям не удовлетворяют устаревшие методы прогноза и контроля состояния массива.

К числу наиболее распространенных в шахтах Донбасса и опасных по тяжести последствий газодинамических явлений относятся внезапные выбросы угля, породы и газа, внезапные выдавливания угольного пласта, горные удары, внезапные

обрушения угля и прорывы метана из почвы горных выработок. С увеличением глубины разработки возрастают трудности обеспечения охраны выработок и контроля за состоянием пород кровли.

Как показала практика, надежное прогнозирование газодинамических явлений при высоких темпах ведения горных работ возможно лишь при условии непрерывного контроля за состоянием углепородного массива. В связи с этим активизируются разработки способов, основанных на применении геофизических методов.

В последние годы МакНИИ разработаны способы оценки массива горных пород, основанные на установленных закономерностях взаимосвязи параметров искусственных акустических сигналов с напряженно-деформированным состоянием угольного пласта и вмещающих пород. Наибольшие успехи научного и практического значения достигнуты в разработке автоматизированных способов контроля выбросоопасности по параметрам акустического сигнала, генерируемого добычными и проходческими комбайнами в призабойной части горного массива.

При возбуждении слоистого массива в каждом его слое, разделенном ослабленными контактами, возникают собственные резонансные колебания, частота которых обратно пропорциональна мощности слоя, а амплитуда зависит от степени ослабления контактов. В призабойной части массива ослабление контактов является следствием развития деформаций в процессе выемки угля.

Исследованиями установлено, что при выемке угля активные межслоевые деформации пород кровли происходят на расстоянии до 20-40 м от пласта. Причем, на неопасных участках деформации развиваются регулярно после каждого цикла выемки угля, как правило, на расстоянии 20; 10; 5; 2,5 м от пласта, а спектр акустического сигнала содержит серию резонансных частот, соответствующих указанным мощностям слоев.

На опасных же по выбросам участках происходит задержка деформаций, которая охватывает прежде всего контакты слоев большой мощности и служит источником потенциальной энергии для развития выброса угля и газа. На спектрах акустического сигнала это проявляется в уменьшении амплитуд низких частот и увеличение высокочастотной составляющей.

Чтобы надежно зафиксировать процесс задержки деформаций, в способе анализируется четыре параметра спектра – два частотных и два амплитудных. Такой подход позволяет снизить вероятность ошибок второго рода до 0,1 %.

Для каждого параметра на неопасном участке пласта определяется критическая величина, превышение которой означает вход забоя в зону задержки деформаций и повышение вероятности формирования выбросоопасной ситуации.

Преимущество акустического способа контроля выбросоопасности состоит в низких затратах на его выполнение, в объективности получаемой информации и снижении затрат на противовыбросные мероприятия. Применение этого способа позволило, например, на шахтах им. А.Ф. Засядько, "Комсомолец Донбасса", "Краснолиманская" обеспечить темпы подвигания подготовительного забоя до 10-

12 м в сутки.

Схема реализации способа следующая. В забое устанавливается сейсмоприемник, который преобразует упругие колебания в электрический сигнал. При помощи аппаратуры сигнал по линии связи передается на поверхность, где он обрабатывается непрерывно на персональном компьютере в реальном времени по специальной программе, обеспечивающей полную автоматизацию процесса обработки информации и выдачи заключения, что исключает влияние субъективного фактора на результаты прогноза выбросоопасности. Последняя версия программного обеспечения позволяет одновременно и независимо обрабатывать информацию по четырем каналам. Результаты обработки на протяжении всего периода проведения выработки или работы очистного забоя хранятся в базе данных. Анализ базы данных позволяет распечатать в виде таблицы всю информацию о параметрах акустического сигнала и условиях его обработки, а также представить их в виде графиков. Это дает возможность по характеру изменения прогностических параметров в ретроспективе осуществлять прогноз выбросоопасности вперед на несколько циклов подвигания забоя.

Установлено, что параметры спектра акустического сигнала весьма чувствительны к изменению напряженно-деформированного состояния призабойной части массива. Поскольку различного рода геологические нарушения, зоны повышенного горного давления (ПГД) от целиков, краевых частей ранее отработанных лав и пройденных подготовительных выработок приводят к изменению напряженно-деформированного состояния массива, то такие объекты возможно прогнозировать, оценивать их опасность по динамическим и газодинамическим явлениям. Например, при подходе к разрывному геологическому нарушению, как правило, увеличивается напряженное состояние массива, а повышение параметров спектра акустического сигнала начинается с расстояния до 20 м от нарушения. В ряде случаев, например, на шахте "Краснолиманская" по угольному пласту  $k_5$  в непосредственной близости от нарушения и в его пределах зафиксирована зона растяжения, которая вдоль плоскости сместителя сопровождается интенсивно перемятыми неустойчивыми породами, склонными к обрушению в горную выработку.

Причиной аномального поведения акустических параметров служат не только разрывные нарушения, но и локальные изменения изогипсы угольного пласта, пликативные нарушения, изменения в строении кровли. Например, на шахте "Комсомолец Донбасса" все отклонения параметров акустического сигнала от фоновых значений находят свое объяснение при тщательном геологическом обследовании забоя.

Весьма перспективна оценка зон ПГД путем применения контроля состояния массива по параметрам акустического сигнала. Исследованиями установлено, что напряжения в пределах таких зон имеют сложное распределение, зависящее от ряда факторов. По параметрам акустического сигнала имеется возможность корректировать границы таких зон и выделять наиболее опасные по газодинамическим

явлениям участка. Особенно сложное распределение горного давления имеет место при наложении зон ПГД от целиков на нескольких угольных пластах. Имеются примеры отсутствия существенных повышений напряженного состояния. Как правило, такие зоны обусловлены небольшими в поперечном сечении целиками угля. Применение акустического контроля состояния массива позволяет также оценить эффективность защитного действия опережающей отработки угольных пластов.

При ведении очистных работ весьма актуально определение момента посадки основной кровли. Особенно важен момент посадки кровли при отходе забоя от монтажного ходка на величину, близкую к длине очистного забоя. По мере отхода забоя от монтажного ходка зависающие слои породы на расстоянии более 10 м от пласта накапливают потенциальную энергию, которая может служить причиной различного рода динамических явлений. Опыт ведения акустического контроля состояния массива в очистных забоях показал, что возможно не только прогнозировать разрушения удаленных от пласта слоев горных пород, но и по величине аномалий параметров акустического сигнала давать оценку степени опасности проявлений горного давления.

В очистном забое задержка деформаций в углевмещающих породах приводит к ухудшению условий дегазации угольного пласта, а выход забоя из таких зон сопровождается обильным газовыделением, затрудняющим поддерживать высокие темпы угледобычи. Так, при выходе из зоны задержки деформаций в 1-й восточной лаве пласта  $\ell_1$  на шахте им. А.Ф. Засядько из-за высоких притоков метана скорость подвигания забоя уменьшилась в 1,5 раза. В этом случае применение способа, с одной стороны, позволяет правильно планировать темпы угледобычи, оптимизировать вентиляцию забоя, а с другой стороны, повысить безопасность ведения горных работ.

Для оценки количественных параметров напряженно-деформированного состояния забоя разработан и применяется в шахтных условиях акустический способ определения величины зоны разгрузки. Способ основан на установленных закономерностях изменения параметров акустического сигнала, возникающего при бурении контрольного шпура, пересекающего зоны различного напряженного состояния: зону отжима, зону разгрузки и максимум опорного давления. Для каждой из них установлены характерные признаки параметров акустического сигнала. Реализация способа осуществляется следующим образом. Вблизи от устья бурящегося шпура устанавливается сейсмоприемник, который подключается к системе передачи сигнала на поверхность, где выполняется его обработка с помощью компьютера по специальной программе. Акустический сигнал обрабатывается непрерывно и в реальном времени. После завершения бурения программа выдает сообщение о величине зоны отжима, разгрузки, расстояния до максимума опорного давления, если шпур перебурил его, и коэффициент пригрузки в максимуме опорного давления по сравнению с зоной отжима. Эти параметры дают достаточно

полную и объективную оценку состояния призабойной части угольного пласта.

Поскольку в каждом слое массива горных пород, ограниченном ослабленным контактом, возникают собственные колебания, акустический сигнал - отклик на импульсное возбуждение содержит информацию о его строении. Это является физической основой импульсного зондирования кровли или почвы угольного пласта. В спектре импульсного сигнала по резонансной частоте вычисляется мощность слоя, в котором возникли эти колебания, а величина амплитуды характеризует степень ослабления контакта. Помимо этого, по спектру акустического сигнала рассчитываются прогностические параметры, применяемые при контроле выбросоопасности и напряженно-деформированного состояния массива в процессе ведения горных работ.

Акустическое зондирование выполняется путем нанесения ударов по кровле или почве пласта и записи акустического сигнала на шахтный регистратор, что дает возможность выполнять наблюдения оперативно в любых точках горной выработки с любым заданным расстоянием между ними. Обработка и анализ акустических сигналов производится на поверхности с помощью компьютера. Импульсное зондирование используется для изучения характера развития межслоевых деформаций, расслоения массива, оценки напряженно-деформированного состояния и выбросоопасности в подготовительных и очистных выработках. Данные о характере расслоений горного массива вдоль выработки, о наличии зон повышенных напряжений могут быть использованы для принятия решений об усилении крепления отдельных участков, оценки эффективности крепления, в том числе анкерного. Эта задача решается путем проведения систематических (режимных) наблюдений за состоянием пород кровли вдоль выработки.

Импульсное зондирование применяется также при определении расстояния от полевой выработки до выбросоопасного пласта и при текущем прогнозе прорывов метана из почвы выработок.

Контроль расстояния до выбросоопасного пласта необходим при приближении выработки на расстояние 5 м и менее, с тем чтобы избежать внезапного его вскрытия, которое часто сопровождается газодинамическими явлениями. Акустический контроль расстояния до выбросоопасного пласта заменяет трудоемкое бурение скважин и шпуров.

Текущий прогноз прорывов метана осуществляется путем импульсного зондирования почвы угольного пласта. Признаком опасной ситуации служит спектр акустического сигнала, на котором лишь одна резонансная частота, соответствующая расстоянию до угольного пласта-спутника. Такая ситуация свидетельствует об интенсивном расслоении вдоль пласта-спутника с образованием источника прорыва метана. Применение текущего прогноза прорывов метана позволяет рационально использовать бурение дегазационных скважин в качестве профилактических мероприятий.

Разработано также программное обеспечение для круглосуточного контроля за

технологическими процессами в забое. При воспроизведении записи за прошедшие сутки имеется возможность с точностью до секунды восстановить включение и выключение того или иного механизма в забое и на прилегающей к нему части выработки. Можно установить, например, нарушение режима крепления подготовительного забоя, когда без возведения крепи осуществляется выемка угля и породы в двух и более циклах, определить время и длительность проведения профилактических мероприятий, совмещение запрещенных операций в забое и другие нарушения технологии ведения горных работ. Акустический контроль за технологическими процессами позволяет не только выявить определенные нарушения, но и предотвратить их повторение. Работающие в забое при таком контроле вынуждены четко соблюдать технологию горных работ. Запись указанных процессов служит ценной информацией в случае расследования различных аварий.

Преимущества нового направления исследований состояния массива при ведении горных работ состоят в следующем.

Акустический сигнал, возникающий в массиве при воздействии на него, несет информацию о строении горных пород и их напряженно-деформированном состоянии.

Решение практических задач на персональном компьютере по специальным программам исключает влияние субъективного фактора на результаты контроля.

Принятая методология решения различных задач контроля состояния массива базируется на унифицированном техническом обеспечении: аппаратура передачи акустического сигнала из забоя на поверхность, персональный компьютер, программы обработки информации.

Применение новых разработок МакНИИ позволяет получить не только социальный эффект в виде снижения уровня травматизма, но и экономический, достигаемый за счет ускорения процесса контроля состояния массива, сокращения трудозатрат на его выполнение, повышения темпов проведения подготовительных выработок и нагрузки на очистные забои.

В настоящее время разрабатывается новый программный комплекс, обеспечивающий не только многоканальность приема и обработки информации, но и возможность решать одновременно различные задачи. Ядром обработки будет сервер, к которому подключаются компьютеры малой мощности. Упрощается включение сервера в АСУ шахты, обеспечивается выход в Интернет, что позволит усилить контроль со стороны МакНИИ за внедрением новых разработок.