

## КОНТРОЛЬ ВЫБРОСООПАСНОСТИ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Контроль викидонебезпечності включає визначення відстані від польової виробки до викидонебезпечного пласта, визначення величини зони розвантаження в привибійній частині пласту, автоматизований контроль викидонебезпеки, оперативне керування процесом гідророзпушування й оцінку його ефективності. Способи засновано на реєстрації та аналізі за допомогою персонального комп'ютера акустичних сигналів, що виникають у процесі впливу на вибій. Переваги способів полягають в одержанні об'єктивної оцінки стану масиву, мобільності й оперативності, низьких трудовитратах на їхнє виконання.

### CONTROL OF EMISSION DANGER BY ACOUSTIC METHODS

The control of emission danger includes definition of distance from field development up to emission dangerous layer, definition of size of a zone of unloading in near face part of the layer, the automated control of emission danger, operative management of process of hydroloosening and an estimation of its efficiency. Ways are based on registration and the analysis with the help of the personal computer of acoustic signals, which arise during influence on face. Advantages of ways consist in reception of an objective estimation of a condition of a massif, mobility and efficiency, low expenditures of labour on their performance.

Для контроля выбросоопасности в очистном или подготовительном забое используются искусственно возбуждаемые упругие колебания в массиве горных пород, которые при помощи сейсмоприемника преобразуются в электрический (акустический) сигнал и анализируются на персональном компьютере.

Упругие колебания в слоистом массиве представляют собой суперпозицию собственных (резонансных) колебаний с частотой, обратно пропорциональной мощности слоя, и с амплитудой, зависящей от состояния межслоевых контактов и физико-механических свойств пород, слагающих слои. Амплитуда собственных колебаний в слое увеличивается по мере ослабления его контактов. В естественном залегании степень ослабления обусловлена литологическим составом пород и свойством контактов, а при ведении горных работ – интенсивностью развития межслоевых деформаций.

Акустические способы, разработанные в МакНИИ, направлены на решение следующих задач:

- определение положения полевой выработки относительно выбросоопасного пласта;
- определение параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) призабойной части пласта;
- контроль выбросоопасности при проведении выработок и при выемке угля в очистных забоях;
- контроль процесса гидрорыхления угольного пласта и оценка его эффективности.

Необходимость определения положения выработки относительно выбросоопасного пласта (в дальнейшем – расстояния до пласта) возникает при

движении выработки на вскрытие угольного пласта пологого залегания либо при контроле расположения выбросоопасного песчаника. В шахтах крутого падения – при проведении полевых выработок на расстоянии более 2 м от выбросоопасного угольного пласта. Ранее контроль расстояния до выбросоопасного пласта выполнялся путем бурения шпуров или разведочных скважин, что требовало больших материальных затрат и времени.

Возможность решения этой задачи акустическим способом обусловлена наличием резкой смены физических свойств на границе слоя, отделяющего горную выработку от выбросоопасного пласта. При импульсном возбуждении упругих колебаний в таком слое возникают собственные (резонансные) колебания, которые могут быть выделены в спектре акустического сигнала. По резонансной частоте вычисляется расстояние до выбросоопасного пласта ( $h$ ) по формуле:

$$h = \frac{V_{\phi}}{f_p},$$

где  $V_{\phi}$  - фазовая скорость поперечных волн;  $f_p$  - резонансная частота.

Фазовая скорость поперечных волн определена экспериментальным путем и для большинства пород составляет около 2500 м/сек.

Методика выполнения способа заключается в следующем. На пункте наблюдений в кровле или почве выработки со стороны расположения выбросоопасного пласта закрепляется сейсмоприемник. На расстоянии 1-3 метра от него в 2-3 точках наносятся удары по породам в направлении на пласт. Отклик массива на импульсное возбуждение при помощи сейсмоприемника записывается на магнитную ленту или по линии связи через аппаратуру АПСС-1 передается на поверхность. Обработка импульсных акустических сигналов осуществляется на персональном компьютере по специальной программе. В результате расстояние до выбросоопасного пласта определяется с точностью 10%.

Преимущества способа заключаются в сокращении материальных и трудозатрат при определении расстояния до выбросоопасного пласта.

Для определения особенностей распределения напряжений в призабойной части пласта по ходу движения забоя бурится скважина диаметром 42-46 мм на глубину не менее удвоенной мощности пласта, но не менее 3 м, регистрируется и обрабатывается акустический сигнал, возникающий при воздействии буровой коронки на пласт.

Параметры акустического сигнала зависят от остаточной прочности угля на забое скважины, которая изменяется по мере углубления скважины в соответствии с изменением напряженно-деформированного состояния. На остаточную прочность влияет также степень дегазации угля, которая при общей тенденции уменьшения вглубь массива вблизи забоя распределена неравномерно и чем более дегазирован уголь, тем выше его остаточная прочность. Так как скважина, в силу своего малого диаметра, не вносит существенного перерасп-

ределения напряжений в массив в целом, то можно рассматривать ее бурение как прямое опробование прочности угля на различных глубинах. Нагруженность элемента массива на забое скважины будет характеризоваться изменением до нуля компоненты главных напряжений, действующих вдоль оси скважины, и деформациями в других направлениях.

Для нескольких сечений по длине скважины выполнены расчеты изменения прочности угля, объемной деформируемости и модуля Юнга с использованием полных диаграмм деформирования и параметров реального объекта. В результате установлено, что непосредственно на забое выработки прочность угля низкая (руинное состояние угля), затем она увеличивается до границы зоны отжима, где развиты трещины отрыва и уголь в значительной степени дегазирован, далее падает и достигает минимума в зоне максимума напряжений (опорное давление). Соответствующим образом изменяются параметры акустического сигнала, возникающего при разрушении буровой коронкой угля на забое скважины.

Для подтверждения связи акустического сигнала с напряженно-деформированным состоянием призабойной части массива выполнено моделирование на эквивалентных материалах и многочисленные шахтные эксперименты. Последние выполнялись при бурении скважин путем измерения комплекса физических параметров: начальной скорости газовыделения, температуры и электросопротивления угольного пласта, давления в гидродатчиках, установленных впереди движущегося забоя, объема выбуриваемого штыба, изменения скорости продольных и поперечных волн. В результате установлено, что для определения положения границ зоны отжима, зоны разгрузки, максимума опорного давления необходимо вычислять и анализировать энергию акустического сигнала, низкочастотную и высокочастотную составляющие спектра. По отношению энергии акустического сигнала в зоне отжима и в максимуме опорного давления оценивается степень нагруженности призабойной части.

Акустический способ определения параметров напряженно-деформированного состояния призабойной части опробован на различных шахтопластах в очистных и подготовительных выработках. Наибольшее применение способ нашел при оценке состояния угольного пласта при применении гидрорыхления с целью уточнения параметров последнего и оценки его эффективности. Преимущества способа заключаются в оперативности и объективности оценки напряженно-деформированного состояния, в незначительных трудозатратах на его реализацию.

Автоматизированный контроль выбросоопасности по параметрам акустического сигнала в очистном или подготовительном забое осуществляется следующим образом.

Вблизи забоя, на расстоянии 20-40 м устанавливается сейсмоприемник, который преобразует упругие колебания массива в электрический (акустический) сигнал и при помощи аппаратуры АПСС-1 по линии связи он передается на поверхность. Сигнал обрабатывается на персональном компьютере по специальной программе. Источником акустического сигнала служит

воздействие рабочего органа комбайна на массив во время выемки угля в очистном забое, породы и угля – в подготовительном.

Аналізу подвергается спектр акустического сигнала, который отражает строение и состояние пород кровли угольного пласта. На участках выдержанного геологического строения выемка угля сопровождается регулярным развитием межслоевых деформаций, прогибанием и обрушением пород кровли в очистном забое и их оседанием в подготовительном забое. Межслоевые деформации способствуют ослаблению контактов пород и увеличению амплитуд собственных колебаний в слоях, ограниченных такими контактами и угольным пластом. Анализ фактического материала свидетельствует о том, что после выемки угля в очистном забое, например, вначале активизируются деформации на контакте, удаленном от угольного пласта на расстояние 20-30 м. Затем этот слой пород начинает прогибаться и межслоевые деформации активизируются в осевой его части, на удалении 10-15 м от пласта. Дальнейшее прогибание толщи приводит к активизации деформаций в середине этих и последующих слоев. В ближних к угольному пласту слоях мощностью менее 2-3 метра помимо межслоевых деформаций интенсивно развиваются нормальные к напластованию трещины, которые разбивают слои на блоки и препятствуют деформированию собственных колебаний достаточной интенсивности.

В условиях регулярного развития деформаций выбросоопасные зоны формируются, ситуация в забое неопасная. Средние спектры акустических сигналов, полученных в процессе работы комбайна по забою, мало изменяются по мере его продвижения.

Задержка межслоевых деформаций приводит к тому, что наиболее активная толща пород в кровле угольного пласта мощностью до 60 м не расслаивается по своим осевым (в разрезе) линиям, не прогибается и "зависают". При этом ближние к угольному пласту слои (на расстояние до 5 м) активно деформируются и обрушаются. Задержка деформаций приводит к накоплению энергии в толще пород кровли. Задержка деформаций продолжается до преодоления предела в межслоевых связях пород, после чего резко происходит прогибание толщи с высвобождением большого количества энергии, которая способна в угольном пласте на некотором удалении от забоя создавать зоны выбросоопасности в виде измельченного вплоть до изменения структуры угля. Во время задержки деформаций и резких ее развитиях наибольшая роль принадлежит сдвиговым составляющим. При такой схеме динамики напряженно-деформированного состояния призабойной части ситуация в забое опасная, возможны внезапные выдавливания угольного пласта, выбросы угля и газа.

При задержке деформаций максимум спектра акустического сигнала смещается в высокочастотную область, т.к. не активизируются и не ослабевают контакты слоев в толще большой мощности. Так, например, в 11-м восточном конвейерном штреке пласта  $\ell_1$  на шахте им. А.Ф. Засядько резонансная частота спектра в выбросоопасной зоне составила 500 Гц против 100 Гц в неопасной зоне. Поскольку на изменение спектра акустического

сигнала накладываются некоторые случайные факторы, для фиксации смещения спектра в высокочастотную область и определения момента задержки деформаций используются не одна резонансная частота, а четыре параметра: низкочастотная и высокочастотная составляющие, нижние границы средних уровней амплитуд.

Для многообразия пластов и горно-геологических условий их залегания невозможно определить тот уровень смещения спектра акустического сигнала, который связан с задержкой деформаций, обуславливающей опасность газодинамического явления. Поэтому в акустическом контроле выбросоопасности применен принцип сопоставления с эталонными критическими значениями параметров. Последние определяются путем разведочных наблюдений на заведомо неопасном участке шахтопласта.

Таким образом, акустический контроль выбросоопасности с высокой надежностью обеспечивает выделение неопасных зон, а превышение текущих значений прогностических параметров спектра сигнала над критическим уровнем свидетельствует о входе забоя в потенциально выбросоопасную зону.

Преимущества способа заключаются в исключении субъективного фактора, низком уровне трудозатрат на его реализацию, невмешательстве в технологические процессы и обеспечении высоких темпов продвижения забоя.

Контроль процесса гидрорыхления угольного пласта и оценка его эффективности осуществляется по следующей методике. При бурении скважин для гидрорыхления регистрируется акустический сигнал, обрабатывается на персональном компьютере и определяется величина зоны разгрузки и положение максимума опорного давления. Эти параметры призабойной части пласта используются при определении глубины герметизации скважин гидрорыхления и оценке его эффективности.

Для регистрации акустического сигнала от воздействия на массив высоконапорного нагнетания на расстоянии 3-5 м от скважины устанавливается сейсмоприемник, по линии связи при помощи аппаратуры АПСС-1 сигнал передается на поверхность, где обрабатывается на персональном компьютере в реальном времени. На дисплее компьютера регулярно выдается сообщение о степени активности процесса гидрорыхления. После сообщения "Активный процесс завершен" и падения давления в гидросистеме на 30% от максимального гидрорыхление пласта может быть прекращено. При завершении гидрорыхления программа анализирует параметры и выдает сообщение о его эффективности. Если гидрорыхление выполнено эффективно, то отпадает необходимость контроля состояния массива путем бурения скважин и измерения величины зоны разгрузки. Оценка процесса гидрорыхления по параметрам акустического сигнала основана на факте развития межслоевых деформаций, ослаблении контактных связей и изменений амплитуд собственных колебаний, обусловленных слоями горных пород. В первый момент нагнетания воды за счет высоконапорного воздействия на угольный пласт повышается его трещиноватость и снижается несущая способность. Последнее приводит к развитию деформаций в породах кровли. Исследованиями установлено, что межслоевые деформации в первоначальный момент преимущественно охватывают

прилегающие к угольному пласту слои, а по мере воздействия и уменьшения несущей способности охватывают толщу пород мощностью до 30-40 м. В спектре акустического сигнала этот процесс отражается в виде увеличения амплитуды низкочастотной составляющей до некоторых максимальных значений. Расслоение толщи пород большой мощности приводит к уплотнению контактов вблизи угольного пласта, более активному его разрушению и уменьшению несущей способности в очередном цикле, который включает интенсификацию межслоевых деформаций последовательно от контактов вблизи пласта к более удаленным. АПСС-1 фиксирует сигнал о деформации массива, передает его в персональный компьютер, который по специальной программе анализирует эти изменения состояния массива и при уменьшении амплитуды низкочастотной составляющей после достижения максимальных значений (глобального максимума) выдает сообщение "Активный процесс завершен". При этом межслоевые контакты ослаблены достаточно для того, чтобы толща пород кровли за счет своего прогибания, воздействуя на пласт, продолжала развиваться в нем трещиноватость, дегазируя и приводя его в неопасное по выбросам состояние. Этот процесс с затуханием интенсивности после прекращения нагнетания продолжается еще значительное время.

Оценка эффективности гидрорыхления осуществляется как по характеру изменения низкочастотной составляющей, так и по величинам резонансной частоты и по относительным ее изменениям.

Преимущества способа заключаются в объективной оценке гидрорыхления в процессе его выполнения, отпадает необходимость закачивать расчетное количество воды, бурения контрольных скважин после нагнетания и по мере подвигания забоя. Применение акустического контроля гидрорыхления исключает субъективизм в оценке состояния массива, значительно сокращает длительность процесса при высокой его эффективности.

Таким образом, разработка акустических способов оценки состояния массива горных пород позволила без изготовления специальных приборов решить ряд актуальных задач. Автоматизированная обработка, создание базы данных и хранение ее в персональном компьютере значительно снизило субъективизм при выполнении прогноза и проведении противовыбросных мероприятий. Использование обработки сигналов на персональном компьютере открывает пути для совершенствования методов и расширения круга решаемых ими задач. В частности, изменение алгоритма анализа результатов обработки акустического сигнала при прогнозе выбросоопасности позволит прогнозировать внезапные выдавливания, загазирования горных выработок, другие динамические явления с отрицательными последствиями. Применение современных персональных компьютеров позволяет одновременно с обработкой сигнала и независимо от нее вести круглосуточную регистрацию акустического сигнала, необходимую для контроля за технологическими процессами в забое.

Перечисленные способы прошли все стадии разработки, приемочные испытания и утверждены в установленном порядке в качестве нормативных для обеспечения безопасности работ на опасных по выбросам угля и газа пластах.