

С.И. Скипочка, А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, В.Н. Сергиенко

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДЗЕМНОГО ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Представлены научно-методические основы подземного геомеханического мониторинга, включая его общую концепцию, теоретическую, аппаратурно-методическую и нормативно-техническую базы.

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПІДЗЕМНОГО ГЕОМЕХАНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Представлено науково-методичні засади підземного геомеханічного моніторингу, у тому числі його загальну концепцію, теоретичну, апаратурно-методичну і нормативно-технічну бази.

METHODOLOGICAL BASICS OF UNDERGROUND GEOMECHANICS MONITORING

Presented scientific and methodological fundamentals of the underground geomechanical monitoring, including its overall concept, theoretical, methodological and normative-technical bases.

В основе повышения уровня безаварийности работы подземных предприятий лежит объединение задач промышленной и геомеханической безопасности (с акцентом в сторону последней). Это подразумевает системный контроль и диагностику состояния массива горных пород, крепей и других охранных конструкций, т. е. мониторинг геомеханического состояния продуктивных толщ и подземных сооружений, базирующийся на методах оперативного контроля и технической диагностики при обязательной разработке и внедрении комплекса мероприятий, упреждающих возникновение негативных ситуаций. Основная концепция мониторинга – членение геотехнической системы, контроль ее отдельных объектов и процессов с последующим синтезом и анализом функционирования производственного цикла всей подземной системы, а также разработкой мероприятий относительно предупрежде-

ния негативных ситуаций. Алгоритм мониторинга приведен на рис. 1.

Геомеханический мониторинг предусматривает создание на основе раскрытия причин и особенностей аномальных проявлений горного давления, а также происшедших аварий условий для предотвращения последних, их научно-обоснованное расследование с обратной связью для корректирования аппаратурно-методической и нормативно-технической баз.

Основу геомеханического мониторинга составляют методы горной геофизики, базирующиеся на изучении взаимодействия массива с физическими полями различного происхождения. В ориентации мониторинга на геофизические методы, кроме их оперативности и низкой стоимости, не последнюю роль играет основная тенденция современного развития технологий – автоматизация получения, передачи, сбора и обработки информации. Именно в геофи-

зике имеются приборы активного дискретного либо пассивного непрерывного контроля, средства измерений, работающие с устройствами высокого уровня обработки информации, периодической самопроверкой и корректировкой точности. Кроме того, разработки в области горной геофизики отличаются высоким уровнем эксперимен-

тальных и теоретических исследований, всесторонним осмыслением существа шахтного контроля, определением рациональных параметров контроля и области их действия, созданием критериальной базы контроля, высоким уровнем аппаратурных разработок.

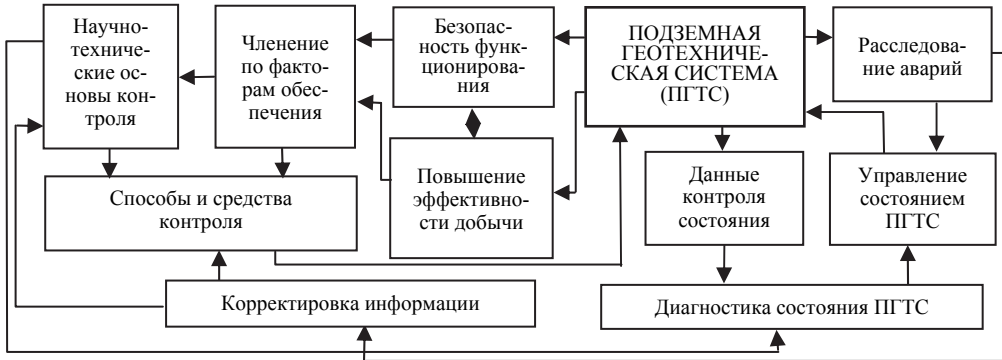


Рис. 1. Схема алгоритма мониторинга подземной геотехнической системы

Мониторинг позволяет системно и оперативно решать следующие задачи:

- определять физико-механические и другие свойства горных пород и массивов;
- оценивать напряженно-деформированное состояние массива горных пород с выявлением параметров аномальных зон;
- определять векторно-силовые характеристики системы «крепь-массив», состояние крепи и охранных конструкций;
- прогнозировать аномальные проявления горного давления, в том числе обрушений пород, динамические и газодинамические явления;
- своевременно выявлять тектонические нарушения, карсты, водонапорные горизонты и другие структурные неоднородности массива;
- контролировать наличие заколов в кровле и ее расслоения;
- научно-обоснованно расследовать аварии с обратной связью для корректировки аппаратурно-методической и нормативно-технической баз.

Во всех случаях инструментальным методам должны предшествовать визуальные исследования, по результатам которых принимается решение о привлечении одного или комплекса методов горной геофизики. При выборе методов контроля учитывают: задачи, которые можно решить путем выполнения контроля; априорные результаты по степени информативности метода; условия выполнения измерений; наличие технических средств, стоимость и продолжительность работ.

При диагностике состояния закрепленных и незакрепленных участков горных выработок рекомендуется применять: ударно-волновой (вибраакустический), электрометрический, электромагнитный и, в отдельных случаях, ультразвуковой методы.

Вибраакустический метод используется для оценки состояния бетонной, железобетонной (в том числе тубинговой), анкерной, набрызгбетонной и многослойной крепей, а также определения степени влияния массива на крепь и контроля скрытых зако-

лов и расслоений в кровле выработок.

Электромагнитный метод, базирующийся на регистрации интенсивности естественного импульсного электромагнитного излучения пород (ИЭМИП), используется для оперативного выявления крупномасштабных участков повышенного трещинообразования в массиве и оценки развития деформационных процессов в системе «крепь-массив», возникающих под воздействием горного давления, а также различных технологических и горно-геологических факторов, сопровождающихся трибоэлектрическими эффектами.

Электрометрический метод (ЭМ) применяется для оценки напряженно-деформированного состояния, трещиноватости и увлажненности породного массива.

Для экспресс-определения физико-механических свойств горных пород в лабораторных условиях, в том числе передвижных, а также для оценки напряженно-деформированного состояния породного массива и степени его трещиноватости применяют ультразвуковой метод контроля (УЗК).

Применению каждого из указанных методов предшествует определение его информативности применительно к конкретным условиям и задачам диагностики. Этот процесс включает статистическую обработку массива данных, полученных на заведомо аномальных и заведомо ненарушенных участках.

Основные критерии выбора аппаратуры сводятся к следующим: соответствие требуемым техническим характеристикам, портативность, наличие автономного источника питания, рудничное исполнение, брызгозащищенность, помехоустойчивость. При выборе современных технических средств, предпочтение необходимо отдавать приборам со встроенным программным обеспечением.

Рассмотрим поэлементно порядок выполнения мониторинга.

Контроль физико-механических характеристик пород. Периодичность контроля комплекса физико-механических характе-

ристик горных пород независимо от наличия данных геологических отчетов должна быть:

- в подготовительных выработках интервал опробования не должен превышать 50 п. м, со сгущением в зонах тектонических нарушений до 10 м;

- в очистных камерах – в каждом блоке с обязательным отбором проб рудного тела, а также пород висячего и лежащего боков;

- количество проб в каждой точке отбора должно быть не менее 5.

Комплекс включает следующие физические показатели, определяемые методами механических испытаний в соответствии с действующими стандартами: удельный вес, плотность, пористость, влажность, предел прочности при одноосном сжатии в сухом и влагонасыщенном состояниях, временное сопротивление растяжению параллельно и ортогонально слоям. Определение динамических модуля упругости и коэффициента Пуассона производят по скоростям прохождения продольных и поперечных упругих волн в соответствии с методическими указаниями, например [1]. Угол внутреннего трения и коэффициент сцепления определяют путем построения паспортов прочности горных пород (кривых огибающих максимальных кругов напряжений) либо испытанием образцов породы на срез в наклонных матрицах, либо экспресс-методом [2].

Порядок визуального контроля. К основным задачам визуального обследования относятся:

- оценка возможностей геофизических методов на обследуемом участке;

- получение исходных данных к рабочему плану контроля участка;

- планирование проведения дополнительных технических мероприятий для обеспечения возможности контроля и требований техники безопасности;

- определение границ контролируемой зоны, уточнение параметров и технических средств геофизического контроля.

Наиболее простой формой визуального обследования является осмотр с ведением

записей наличия нарушений, который применяется, в основном, для объектов большой длины с периодической структурой. Более детальный визуальный осмотр предполагает фотографирование аномалий, а также определение линейных размеров аномалий и их положения с использованием технических средств.

Для фотографирования аномалий в подземных условиях рекомендуется использование цифровой фотокамеры, снабженной специальным защитным боксом.

Для определения линейных размеров и положения нарушений используются мерные ленты, а раскрытие трещин измеряется штангенциркулем. В отдельных случаях необходимо выполнение сопутствующей геодезической съемки.

Более детальную информацию дает визуальный внутрискважинный контроль (ВВК), позволяющий определить тип и структуру пород, окружающих горную выработку; выявить наличие, определить положение и размеры расслоений и пустот в массиве, а также дефектов в бетонной и железобетонной крепях, литых полосах.

Исследование проводят в специально пробуренных скважинах либо используют

существующие дегазационные, разгрузочные и др. скважины. В комплект оборудования для ВВК входят: базовый блок, включающий компьютер, монитор, систему управления и источники электрической энергии; видеокамера; насадка бокового наблюдения для видеокамеры с источниками света; досылник с силовыми, информационными и управляющими кабелями. Комплекс ВВК содержит сменные оптические адаптеры, предназначенные для изменения направления обзора, угла поля зрения и глубина резкости. Для увеличения информативности исследований, в процессе работы комплекса ВВК, возможно переключение типа подсветки (видимая и инфракрасная). Для обработки первичных данных используются специальные программы (*HP Image Zone, UltraG v 2.54 ARM*), с помощью которых определяют направления развития повреждений и наклон пласта, оценивают площадь повреждений и размеры трещин (рис. 2). Обработку информации, расчеты и прогнозы выполняют с использованием, например, программы *Tiny Sheet 3*.



Рис. 2. Примеры обработки фотофайлов

Порядок контроля заколов и расслоений в породном массиве, а также взаимодействия в системе «крепь-массив». По данным статистики до 70% несчастных случаев со смертельным исходом связано с обрушениями пород. В большинстве случаев обрушаются заколы, а также слабые (с коэффициентом крепости до 4) породы. В ряде случаев причинами травматизма

являются разрушения крепи либо охраняемых конструкций.

Данный вид контроля осуществляется виброакустическим методом. При этом после буровзрывных работ, как правило, основной акцент делается на контроль заколов, с параллельной их оборкой, а порядок и периодичность диагностика расслоений в массиве и состояния системы «крепь-

массив» определяются горно-геологическими условиями месторождения.

Виброакустический метод основан на ударном возбуждении, регистрации и анализе собственных колебаний исследуемого участка крепи или породного массива. Для возбуждения колебаний используются специальные ударники, а их приема – контактные датчики типа пьезоакселерометров или сейсмоприемников. Характер отклика контролируемого участка крепи или массива на ударное возбуждение определяется резонансными явлениями и затуханием упругих колебаний в конструкциях и среде. База контроля должна быть не меньше размеров искомого объекта или требуемой глубины контролируемого приконтурного слоя породного массива.

Основные информативные параметры метода: максимальная амплитуда колебаний, длительность и спектральный состав колебаний, реально определяемый дискретным набором амплитуд на фиксированных средних частотах. Глубина действия метода определяется чувствительностью приемника, амплитудой ударного воздействия и расстоянием между точками

приема и возбуждения. Неоднородности типа полостей внутри слоя или на границе слоев с различными физическими свойствами, трещин, расслоений, заколов и т. п., приводят к увеличению амплитуды и продолжительности колебаний, а также появлению в спектре выраженных резонансов. Дефекты в материале крепи, снижающие его прочностные и упругие характеристики, проявляются в снижении амплитуды и длительности колебаний, а также смещении максимума спектральной плотности в сторону низких частот. Увеличение давления массива горных пород на крепь пропорционально уменьшает амплитуду собственных колебаний крепи в диапазоне частот 0,06-0,6 кГц.

Для контроля в шахтных условиях используют как специализированные средства, разрабатываемые и выпускаемые малыми партиями, так и серийные средства контроля, применяющиеся в других областях техники.

Алгоритм выбора информативных параметров контроля и их функциональная связь с типичными аномалиями в системе «крепь-массив» представлены в табл. 1, 2.

*АЛГОРИТМ ВЫБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА
ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ*

Таблица 1

Геомеханический процесс	Физические эффекты	Изменение информативного параметра
Образование макронеоднородностей в материале (трещины, каверны, расслоения)	повышение добротности элемента, как механической колебательной системы	повышение амплитуды на резонансных частотах, возрастание продолжительности колебаний
Значительные деформации конструкции	изменение параметров собственных колебаний	изменение спектрального состава
Снижение сцепления конструкции с массивом	повышение добротности элемента, как механической колебательной системы	повышение амплитуды на резонансных частотах, возрастание продолжительности колебаний
Образование пустот в податливом массиве за оболочкой	повышение добротности элемента, как механической колебательной системы	повышение амплитуды на резонансных частотах, возрастание продолжительности колебаний, снижение частоты основного резонанса
Разрушение шва между отдельными конструкциями	затухание упругих колебаний на границе конструкций	снижение амплитуды спектральных составляющих

Вид аномалии (дефекта)	Характер изменений информативного параметра		
	Амплитуда колебаний	Длительность колебаний	частота максимума спектральной плотности
Скрытые полости и трещины в бетоне	возрастает	возрастает	снижается
Участки заколообразования	возрастает	возрастает	может быть несколько максимумов
Неплотный контакт крепи с массивом (наличие пустот)	возрастает	возрастает	снижается
Низкое качество бетона	снижается	снижается	снижается
Высокий уровень напряжений в конструкции без ее разрушения	снижается	снижается	возрастает
Увеличение (уменьшение) давления массива на крепь	уменьшается (увеличивается)	уменьшается (возрастает)	в диапазоне частот (0,06 – 0,6) кГц

Информативным параметром оценки качества закрепления анкерной крепи является наибольшая из амплитуд в спектре колебаний, при этом, чем она меньше, тем лучше закреплен анкер в породном массиве.

При обследовании участков с регулярной пространственной структурой крепи, например, тубингов, измерения выполняются на каждом из элементов. Шаг контроля в этом случае определяется периодом структуры.

При оценке качества бетона виброакустическим методом круговые профили выбирают таким образом, чтобы они пересекали визуально наблюдаемые участки коррозии, шелушения и другие аномалии. Для построения детальной картины нарушения приповерхностных слоев бетона база контроля и шаг могут быть уменьшены в 2,0-2,5 раза.

При оценке давления околоствольного массива на крепь информативным параметром служит амплитуда собственных колебаний крепи на частотах в диапазоне 0,06-0,6 кГц, которая однозначно связана с давлением массива на крепь и обратно пропорциональна ее величине.

Контроль изменения напряженно-деформированного состояния околоствольного массива ведут в динамике. Вначале по выбранной схеме профилиро-

вания определяют значения амплитуд колебаний крепи. Полученная картина служит условно-исходной точкой наблюдения. В дальнейшем, по мере эксплуатации ствола, измерения повторяют с периодичностью 2-3 раза в год, как правило, в межсезонье, в зависимости от горно-геологических условий и интенсивности подвижек на контролируемом участке ствола. По полученным данным строят круговые диаграммы изменения давления на крепь в выбранных сечениях ствола.

Оценку качества заделки расстрелов армировки в стволе осуществляют по схеме: нанесение удара и прием колебаний на расстреле; нанесение удара по ближайшему расстрелу, а прием колебаний на крепи ствола; нанесение удара по крепи ствола и прием колебаний на ближайшем расстреле.

Качество набрызгбетонной крепи оценивают методом продольного профилирования на взаимно перпендикулярных профилях, проложенных с шагом 1 м вдоль и ортогонально оси выработки. (Эффективность набрызгбетонирования значительно улучшается, если перед нанесением бетона осуществить оборку массива с контролем качества оборки виброакустическим методом).

Электрометрический метод контроля позволяет произвести доразведку тектони-

ческой нарушенности массива, выявить области его повышенной трещиноватости и увлажненности, оконтурить пустоты и рудные тела. Метод базируется на измерении электросопротивления участка массива, которое, кроме всего прочего, зависит от степени трещиноватости пород и характеристик трещин, что, в свою очередь, определяется напряженно-деформированным состоянием массива.

Так как в природных условиях литологические разности пород представляют собой многокомпонентные среды, связь удельных электрических сопротивлений с пористостью выражается эмпирическим соотношением:

$$\rho_{ВП} = P_{II} \frac{A_{II}}{K_{II}^m} \rho_B,$$

где $\rho_{ВП}$ – удельное электрическое сопротивление влагонасыщенной породы;

P_{II} – параметр пористости (относительное сопротивление влагонасыщенной породы);

A_{II} – постоянный коэффициент, зависящий от состава породы и текстурных особенностей (изменяется в пределах 0,4-1,6);

K_{II} – общая пористость породы в долях единицы;

m – структурный показатель смачиваемости, зависящий от литологического состава и степени цементации пород (изменяется от 1,3 до 3,2).

Коэффициент пористости K_{II} обводненных пород определяют из выражения:

$$K_{II} = \frac{\rho_3 \rho_4 (\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1 \rho_2 (2\rho_3 - \rho_3)},$$

а открытой трещиноватости

$$K_{TII} - K_{TII} = A_a \frac{\rho_B (\rho_{II} - \rho_{TII})}{\rho_{TII} (\rho_{II} - \rho_B)},$$

где ρ_1 и ρ_2 – удельные электрические сопротивления контролируемой среды до и

после нагнетания раствора электролита;

ρ_3 – удельное электрическое сопротивление электролита;

ρ_4 – удельное электрическое сопротивление заполнителя трещин;

ρ_{II} – сопротивление пород без трещин;

ρ_{TII} – сопротивление трещиноватой породы;

ρ_B – сопротивление воды;

A_a – коэффициент, учитывающий анизотропию (для изотропных пород $A_a = 1,5$).

На практике, как правило, метод реализуется при помощи четырехэлектродной симметричной схемы установки, состоящей из питающей линии АВ, по которой пропускается постоянный или низкочастотный переменный ток, и приемной линии MN ($AB \geq 3 MN$). Величину кажущегося удельного электросопротивления определяют из выражения:

$$\rho_k = \frac{\kappa \cdot \pi \cdot AM(AM + MN)}{MN} \cdot \frac{\Delta U}{I}.$$

где κ – коэффициент, определяемый геометрией участка массива;

ΔU – падение напряжения на приемной линии;

I – ток в питающей линии.

Наиболее информативный вариант ЭМ – шпуровое зондирование, позволяющее оценить напряженно-деформированное состояние в массиве. Диаметр шпура для зондирования выбирают в пределах 42-56 мм, при этом его длина должна быть не менее 3 м, а разнос питающих электродов на зонде 0,5 м.

На участках обнажения породного массива ЭМ реализуют без проведения буровых работ для оценки асимметрии свойств породного массива, зоны взаимовлияния примыкающих выработок, напряженно-деформированного состояния околорудного массива. Длина питающей линии в этом случае составляет 6-12 м.

Для повышения достоверности рекомендуется на одном и том же профиле

провести измерения с использованием линий различных геометрических размеров. В пределах исследуемого профиля геометрические характеристики (кривизна поверхности, поперечное сечение примыкающей выработки и т. п.) должны быть примерно одинаковыми. С целью максимального уменьшения влияния заземленных металлоконструкций профиль закладывают на наибольшем от них удалении. Находящиеся поблизости электроустановки должны быть на период измерений обесточены.

Касаюсь особенностей прогноза тектонической нарушенности, отметим, что в зонах «сухой» трещиноватости, сопровождающей тектонические нарушения массива, значения удельного электросопротивления возрастают в 3-5 раз. На обводненных участках эти величины уменьшаются, по сравнению с фоновыми, в 1,5-3,0 раза. В обоих случаях аномалии физического поля имеют резкие градиенты электрического сопротивления. Следует подчеркнуть, что в зонах тектонических нарушений значения электрических параметров существенно зависят от минерализации шахтных вод. В целом можно констатировать, что необводненные и обводненные зоны тектонических нарушений существенно отличаются по электрическим свойствам. Изменения структуры геоэлектрического разреза изучают при помощи метода подземного электрического зондирования, который при одностороннем доступе из горных выработок осуществляется с использованием четырехэлектродной (симметричной и несимметричной) и дипольной (осевой, экваториальной, равносторонней и перпендикулярной) установок. При возможности двухстороннего доступа к массиву, например из параллельных выработок, используется метод электропрофилеирования.

Электромагнитный метод контроля массива и элементов конструкции системы разработки предполагает регистрацию ИЭМИП, возникающего в результате образования новых поверхностей при микроразрушениях в массиве. Излучение имеет

механоэлектрическую, в основном, трибоэлектрическую природу и вызывается процессами деформирования в среде. Частотный диапазон для регистрации ИЭМИП определяется объемом контролируемой части массива, уровнем и спектральным составом техногенных помех и составляет от единиц до десятков кГц.

Информативными параметрами при контроле являются частота импульсов электромагнитного излучения при заданном пороге чувствительности; средняя амплитуда интенсивности излучения, регистрируемая совместно с фоном; спектральный состав излучения.

Технически метод реализуется путем регистрации электрической и (или) магнитной компонент поля. Более высокие технические показатели достигаются регистрацией магнитной компоненты путем использования антенн с ферромагнитными сердечниками. Правомерность применения антенн такого типа обоснована их небольшими размерами и достаточно выраженной диаграммой направленности. Это позволяет, в случае необходимости, выделить составляющие излучения по трем, взаимно перпендикулярным направлениям или определить его преимущественное направление. Направленный характер приема является также одним из способов борьбы с помехами, вызванными работой шахтных электрических установок.

Для выявления участков повышенных напряжений в массиве, а также оценки их асимметрии работают по схеме продольного профилирования выработок с шагом 5-20 м или кратным расстоянию между ярусами для случая вертикальных стволов. При наличии направленной антенны регистрацию излучения выполняют в трех взаимно перпендикулярных направлениях: по осям «север – юг», «восток – запад» и «верх – низ». При этом показания в направлении «верх – низ» служат для оценки фоновых помех, не связанных с процессами деформирования в массиве.

Ультразвуковой метод, как элемент мониторинга, применяют для контроля трещиноватости и оценки напряженно-деформированного состояния массива.

Установлено, что для определения трещиноватости пород методом УЗК, наряду со скоростями продольных и поперечных волн, целесообразен анализ их спектра, поскольку в спектре преломленной волны наименьшим изменениям подвергаются низкие частоты, в то время как в спектре отраженной волны преобладают высокие частоты. Поэтому основные особенности формы поверхности переносятся преломленными волнами, а отраженные создают в среде лишь высокочастотный, быстро затухающий, шум. Для интерпретации результатов шахтных измерений предварительно выполняются лабораторные исследования на моделях. При наличии скважин эффективен УЗ-каротаж. В этом случае определение пространственного положения трещин наиболее перспективно с помощью отраженных волн. Трещиноватые зоны четко выделяются на диаграмме по нарушению корреляции фазовых линий. Скорости продольных волн в интервале трещиноватости практически не изменяются.

В основе УЗК напряженного состояния массива лежит измерение скоростей распространения и коэффициентов затухания упругих волн в массиве и сравнении полученных характеристик с тарировочными зависимостями для тех же пород. Рекомендуемая частота упругих колебаний при применении данного метода на практике ограничена диапазоном от 25 до 200 кГц. К физическим ограничениям метода относятся возможная трещиноватость и естественная изменчивость свойств массива (его статистическая неоднородность). С учетом этого метод эффективно применять при выполнении неравенства

$$\frac{\Delta P_{\partial}}{P_{\partial}} \geq \frac{\Delta P_0}{P_0},$$

где $\Delta P_{\partial} / P_{\partial}$ – величина относительного

изменения акустического параметра при изменении давления;

$\Delta P_0 / P_0$ – величина относительного отклонения акустического параметра (естественная изменчивость) от среднего значения при отсутствии сжимающего напряжения для конкретного литотипа пород.

При изучении напряженного состояния пород в массиве по акустическим характеристикам коэффициент перехода от образца к массиву для тарировочных зависимостей можно не учитывать. Зависимость сжимающего напряжения от относительного изменения акустической характеристики (скорости, коэффициента затухания) принимается линейной и определяется выражением:

$$\sigma = K_m \frac{\Delta P_{\partial}}{P_{\partial}},$$

где K_m – коэффициент тарировки.

При выполнении измерений в массиве с учетом его анизотропии и различной величины компонент напряжений необходимо прозвучивание во взаимно перпендикулярных направлениях.

Для количественной оценки компонент главных напряжений в массиве используют выражения:

$$\sigma_{xx} = 3K \left(\frac{V_{P_x}^2}{AV_{P_x}^0} - 1 \right);$$

$$\sigma_{yy} = 3K \left(\frac{V_{S_{xy}}^2}{AV_{S_{xy}}^0} - 1 \right);$$

$$\sigma_{zz} = 3K \left(\frac{V_{S_{xz}}^2}{AV_{S_{xz}}^0} - 1 \right),$$

где σ_{ii} – компоненты главных напряжений;

K – динамический модуль всестороннего сжатия;

$V_{P_x}, V_{P_x}^0$ – скорости продольных волн в напряженном массиве и на образцах горных пород;

$V_{S_{xy}}, V_{S_{xy}}^0, V_{S_{xz}}, V_{S_{xz}}^0$ – скорости поперечных волн в слоистом массиве и образцах, поляризованные во взаимно-перпен-

дикулярных направлениях;

A – акустический коэффициент трещиноватости.

Изложенные выкладки нашли отражение в нормативно-технических документах [1, 3-6].



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яланский, А.А. Временные методические указания по определению упругих свойств горных пород ультразвуковым методом на необработанных образцах керна геологоразведочных скважин. РД [Текст] / А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, С.И. Скипочка и др. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 40 с.

2. Ляшенко, В.И. Геомеханический мониторинг горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры [Текст] / В.И. Ляшенко, С.И. Скипочка, А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук // Цветная металлургия, 2011. – № 9. – С. 3-15.

3. Руководство по геофизической диагностике состояния системы «крепь – породный массив» вертикальных стволов. Дополнение к РД 12.18.073-88 [Текст] / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, А.А. Яланский и др. – Донецк: Лебідь, 1999. – 44 с.

4. Діагностика стану систем "кріплення – масив" та "підйомна посудина – жорстке армування" шахтних стовбурів. Порядок та методика виконання. ГР 3-032-2004 / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, С.І. Скіпочка та ін. – К.: Мінпромполітики України, 2004. – 40 с.

5. Методические рекомендации по геофизическому контролю и диагностике геомеханического состояния подземных геотехнических систем угольных шахт / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, С.И. Скипочка и др. – Днепропетровск-Донецк: ВИК, 2009. – 80 с.

6. Методические рекомендации по экспресс-определению упругих и прочностных свойств необработанных образцов горных пород и элементов геоконструктивных конструкций методами неразрушающего контроля [Текст]: науч.-практ. пособие / А.Ф. Булат, М.А. Ильяшов, В.В. Левит и др. – Днепропетровск: Монолит, 2011. – 48 с.

ОБ АВТОРАХ

Скипочка Сергей Иванович – д.т.н., профессор, заведующий отделом механики горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Яланский Анатолий Александрович – д.т.н., ведущий научный сотрудник отдела механики горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Паламарчук Татьяна Андреевна – д.т.н., ведущий научный сотрудник отдела механики горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Сергиенко Виктор Николаевич – к.т.н., старший научный сотрудник отдела механики горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.