УДК 622.831.24:550.832

В.Н.ЗАХАРОВ, *д-р техн. наук, заведующий лабораторией, val_zakharov@mail.ru*
В.В.АРШАВСКИЙ, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, avv53@mail.ru*
А.В. ХАРЧЕНКО, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник, av-kharchenko@yandex.ru*
Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва

V.N.ZAKHAROV, *Dr. in eng.sc, laboratory head, val_zakharov@mail.ru*
V.V.ARSHAVSKIY, *PhD in eng.sc., leading research assistant, avv53@mail.ru*
A.V.KHARCHENKO, *PhD in eng.sc, senior research assistant, av-kharchenko@yandex.ru*
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the RAS, Moscow

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДРАБАТЫВАЕМОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разработаны основы комплексного мониторинга техногенных геомеханических процессов действующего горного предприятия на базе геоинформационных технологий, позволяющие оперативно и эффективно формировать и эксплуатировать цифровую геопространственную модель отработки месторождений, в режиме реального времени выполнять геофизический и геомеханический мониторинг подрабатываемого массива горных пород и тем самым оперативно планировать и управлять технологическими процессами, повышать безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: массив горных пород, геофизический мониторинг, геомеханический мониторинг, геопространственная модель, техногенные процессы, томография, линеаменты.

MONITORING AND PROGNOSIS OF ANTHROPOGENIC AND GEOMECHANICAL PROCESSES IN UNDERMINED ROCK MASS IN THE PROCESS OF MINE DEVELOPMENT

Principles of complex monitoring of anthropogenic geomechanical processes of the operating mining enterprise on the basis of geo-information technology are developed. They allow to form and maintain digital geospatial model of mine development timely and effectively. In a mode of real time it allows to carry out geophysical and geomechanical monitoring of an undermine rocks and to plan and operate technological processes timely, to raise mining operation safety.

Key words: rock mass, geophysical monitoring, geomechanical monitoring, geospatial model, anthropogenic processes, tomography, lineament.

Применение геоинформационных технологий при геолого-разведочных работах, строительстве и эксплуатации угледобывающих предприятий получает все более мощное развитие. Этот процесс вполне закономерен в связи с интенсивным развитием за последнее десятилетие горно-проходческого и горно-добывающего оборудования в направлении увеличения мощности и производительности, что повлекло за собой увеличение в несколько раз скоростей проходки горных выработок и отработки при подземных работах, а также рост производительности горного оборудования на открытых работах.

Современным горным предприятиям, работающим с применением высокопроизводительного горного оборудования, необ-

ходима точная и достоверная информация о геологическом строении, пространственном залегании, нарушенности, напряженно-деформированном состоянии и физико-механических свойствах вмещающих пород и полезного ископаемого, планируемого к отработке. Известно, что непредвиденное изменение геологического строения, пространственного залегания, напряженно-деформированного состояния вмещающих пород и полезного ископаемого приводит к резкому снижению производительности горного оборудования и качества добываемого минерала, а иногда к техногенным авариям с человеческими жертвами.

В разрабатываемых проектах по строительству, расширению и реконструкции горных предприятий не учитываются в полном объеме результаты не только глубинного сейсмического зондирования, ГИС, НВСП (непродольное вертикальное сейсмическое профилирование), но и геодинамического районирования, которое проводится, как правило, на уже действующих предприятиях. В геологической части пояснительных записок в разделе «Тектоника» указываются только обнаруженные геологическими исследованиями до глубины 3-4 км нарушения сплошности (разломы, взбросы, надвиги) и мелкие тектонические нарушения, встреченные ранее проводимыми горными выработками. Достоверно не определяются зоны геодинамической активности, повышенного содержания метана, узлы пересечения разломов, границы блоков, являющиеся естественными каналами движения метаносодержащих глубинных флюидных потоков.

В процессе теоретических и экспериментальных работ сформирована обобщенная структура системы мониторинга и прогноза техногенных геомеханических процессов в подрабатываемом массиве горных пород при отработке месторождений, которая содержит следующие стадии:

1) создание геопространственной модели с учетом геологического строения, нарушенности и физико-механических свойств массива горных пород по геологоразведочным данным;

2) анализ и формирование блочно-трещиноватой структуры полезного ископаемого и вмещающих пород на основе исследования линеаментной тектоники по данным дистанционного зондирования;

3) поверхностные геофизические исследования строения, нарушенности, физико-механических свойств в объеме массива горных пород с учетом выявленной линеаментной тектоники;

4) математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород в объеме и оценка главных компонент тензора напряжений;

5) подземные геофизические исследования строения, нарушенности, физико-механических свойств в объеме массива горных пород с учетом выявленной нарушенности на предыдущих этапах; прогноз гео- и газодинамически опасных зон;

6) сейсмический мониторинг геомеханических процессов разрушения в подрабатываемом массиве горных пород и прогноз риска развития гео- и газодинамических явлений;

7) инструментальные исследования геомеханических и газодинамических свойств горных пород в призабойных зонах;

8) сейсмоакустический мониторинг геомеханических процессов разрушения в призабойном массиве горных пород и прогноз риска развития гео- и газодинамических явлений;

9) виброакустический мониторинг колебательных процессов в призабойном массиве горных пород и прогноз риска развития гео- и газодинамических явлений;

10) мониторинг процессов сдвижения и деформирования массива горных пород на дневной поверхности и в горных выработках.

При формировании геопространственной модели горного предприятия использовано программное обеспечение ARC GIS, которое обладает большим набором пакетов с обрабатывающими процедурами, отдельных программных модулей, которые позволяют настраивать интерфейс под решаемые задачи. В целом же на геопространственной модели может быть отображена практически вся геотехнологическая информация о состоянии горных работ.

При решении задач второй стадии применяется программное обеспечение WinLessa для анализа аэрофотоснимков и космоним-

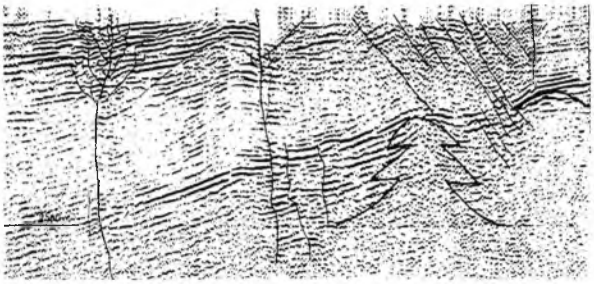


Рис.1. Тектоническая нарушенность угольного месторождения (по результатам наземных сейсморазведочных работ «ЗапСибГеология»)

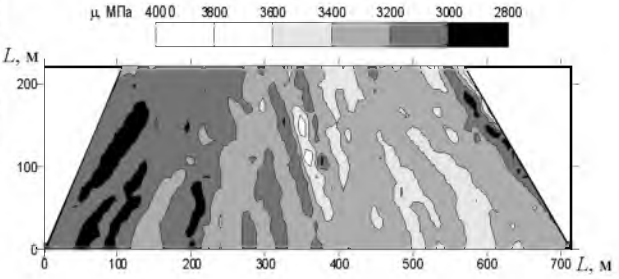


Рис.2. Результаты томографического восстановления упругой постоянной Ламе по пласту l_6, лава 411, на шахте им.50-летия Октября, ОАО «Гуковуголь»

ков различного разрешения. Алгоритмы анализа тоновых характеристик растровых изображений дневной поверхности отрабатываемых месторождений, основанные на преобразованиях радона, позволяют выявлять выход тектонических нарушений под наносы в виде линеаментной тектоники с достаточно высоким разрешением. Точность привязки к топооснове для снимков высокого разрешения составляет порядка 0,6-1 м.

Поверхностные сейсморазведочные работы проводятся для уточнения полученных на этапе линеаментного анализа тектонических нарушений и трассирования их в глубь массива горных пород. На рис.1 показан сейсмопрофиль 06 ЮЗ-СВ, глубина 0-3 км.

Так же проводятся подземные сейсморазведочные работы для уточнения распределения физико-механических свойств пород (рис.2).

На последующих стадиях мониторинга ведется текущий контроль и прогноз геодинамической активности массива горных пород в режиме реального времени.

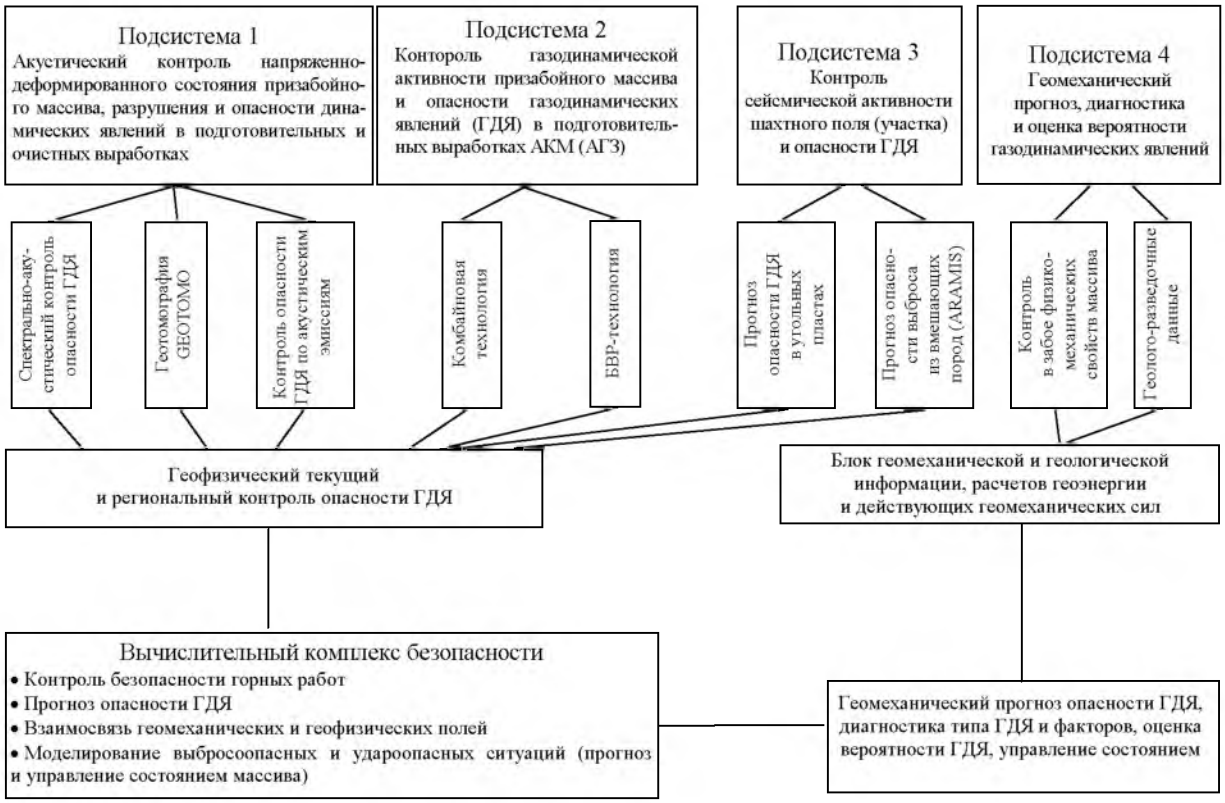


Рис.3. Структурная схема автоматизированной системы геофизического и геомеханического мониторинга опасности гео- и газодинамических явлений при проходческих и очистных работах

Стадии (уровни) мониторинга гео- и газодинамических явлений в массиве горных пород могут иметь иерархическую структуру. Как правило, применяется двух(трех)-уровневый мониторинг гео- и газодинамических явлений в массиве горных пород:

- мониторинг сейсмических событий в массиве горных пород месторождения (поверхностные сейсмопавильоны);
- мониторинг сейсмических событий в массиве горных пород горно-добывающего предприятия (подземные сейсмопавильоны);
- мониторинг сейсмоакустических событий в зоне ведения горных работ горно-добывающего предприятия (подземные сейсмопавильоны);
- мониторинг акустовибрационных процессов в зонах ведения горных работ горно-добывающего предприятия (подземные сейсмопавильоны);
- мониторинг процессов сдвижения и деформаций на подрабатываемых территориях и в горных выработках.

Структура текущего мониторинга приведена на рис.3.

В результате проделанной работы решены два важных этапа создания системы мониторинга за динамическими процессами на горном предприятии в реальном времени с возможностью визуального отображения.

Разработаны основы методологии комплексного мониторинга технологических процессов действующего горного предприятия на базе геоинформационных технологий, позволяющие оперативно и эффективно формировать и эксплуатировать цифровую геопространственную модель горного предприятия. Представленная геопространственная модель включает геолого-разведочную информацию, геолого-маркшейдерскую информацию по горным выработкам, технико-технологическую информацию ведения горных работ, гидрогеологическую информацию и др.

Совместное внедрение геопространственной модели с системой геофизического и геомеханического контроля на горном предприятии, за счет комплексного мониторинга производственных процессов, позволяет добиться снижения себестоимости продукции, увеличения количества добычи полезного ископаемого и повышения безопасности ведения горных работ благодаря внедрению научно обоснованных методов и параметров мониторинга, планированию и управлению технологическими процессами предприятия.