

**Л.А. Гладкова, Б.Ю. Зуев, Р.С. Истомин,  
М.А. Логинов**

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*По данным отечественных и зарубежных источников проведен анализ современных методов и средств мониторинга при подземной разработке полезных ископаемых и на конкретных примерах рассмотрены преимущества и недостатки составных элементов мониторинга: натуральных датчиков напряжений и деформаций, систем сканирования, компьютерных моделей, используемых для контроля за состоянием массива в режиме реального времени и прогнозирования возникновения опасных динамических явлений.*

*Ключевые слова: методы и средства мониторинга, натурные датчики напряжений и деформаций, компьютерные модели, контроль состояния массива в режиме реального времени.*

---

**О**бычно под геомеханическим мониторингом понимается комплексная система регламентированных наблюдений, оценки и прогноза изменений геомеханического состояния массива горных пород при разработке полезного ископаемого в целях выявления опасных проявлений и выработки рекомендаций по управлению горным давлением.

Еще на 15-ом Международном горном конгрессе (25-29 мая 1992 г. Мадрид, Испания) обсуждались вопросы экологии и выживания горной промышленности в условиях экономической конкуренции. Перспективы развития виделись только в развитии новых идей, концепций и методов и широком использовании средств автоматизации, робототехники, информатики и других самых современных технологий, связанных с современным пониманием термина «мониторинг» [1].

Необходимость создания мониторинговых систем для горной промышленности, проведения монито-

ринга на шахтах и рудниках в связи с проблемами охраны окружающей среды, обеспечения безопасности и эффективности горных работ в настоящее время признается большинством исследователей, рассматривающих эти проблемы.

Современный комплексный мониторинг - надежный инструмент для повышения эффективности и безопасности горных работ. Общая структура мониторинга на различных этапах разработки месторождений полезных ископаемых (МПИ) приведена на рис. 1.

В настоящей работе проведен анализ геомеханического мониторинга на этапе отработки МПИ. Мониторинг включает в себя комплексную систему периодических наблюдений за состоянием природной среды с целью выявления негативных изменений и выработки рекомендаций по их устранению. Диагностика массива горных пород основывается на всестороннем и систематическом изучении

его состояния на всех стадиях ведения горных работ. Она включает анализ изменения геометрических размеров выработанного пространства по мощности и кратности подработки, различные инструментальные методы измерения физических параметров массива горных пород, включая сейсмику.

и сдвигание горных пород. В процессе диагностики выполняется анализ геологических и маркшейдерских документов; осуществляется регулярное обследование выработанного пространства на основе визуальных наблюдений за проявлениями горного давления; ведутся наблюдения за сдвижением земной поверхности и сейсмической активностью массива. По результатам диагностики устанавливаются причины изменения состояния массива.

Основными задачами диагностики являются: получение исходной информации о массиве; оценка текущего состояния массива горных пород; профилактическое обследование массива и прогнозирование геомеханических процессов, происходящих в нем; проведение необходимых наблюдений (измерений) по предупреждению внезапных обрушений. Диагностика позволяет обосновать возможность выемки полезного ископаемого, способы и порядок погашения накопившихся потенциально опасных пустот, необходимость переноса поверхностных сооружений и др. Знание потенциально опасных по обрушениям зон позволяет еще на стадии планирования и проектирования горных работ установить места возможных обрушений и заранее принять меры по их предотвращению.

В общем виде в структуру мониторинга входят датчики напряжений, смещений, геофизические датчики, компьютерные системы для обработ-

ки их показаний, компьютерные модели исследуемой области массива.

Применяемые в отечественной и зарубежной практике методы оценки напряженно-деформационного состояния массива горных пород, подразделяются на две существенно отличающиеся группы. К первой группе относятся методы, основанные на измерениях параметров деформирования горных пород. Ко второй группе относятся геофизические методы, в которых используются вариации естественных или наведенных искусственно геофизических полей.

К недостаткам геофизических методов можно отнести сложность корреляции параметров искусственных геофизических полей с параметрами напряжений и деформации, что затрудняет их использование в решении практических горнотехнических задач, связанных, например, с расчетом параметров крепления выработок или разгрузки массива горных пород от высоких напряжений. Поэтому для решения поставленной цели рекомендуется применять системы мониторинга деформационного состояния массива горных пород, основанные на методе прямых измерений деформаций, которые надежно коррелируются с напряженным состоянием горных пород. Датчики, применяемые в таких системах мониторинга деформационного состояния массива горных пород, должны обеспечивать:

- однозначную зависимость выходной величины от входной величины;
- стабильность характеристик во времени;
- высокую чувствительность, малые размеры и массу;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс или на контролируемый параметр;
- работу при различных условиях эксплуатации и различные варианты монтажа.

Построение системы мониторинга целесообразно рассмотреть на конкретных примерах. В работах [2, 3, 4] применительно к разработке системы мониторинга для глубоких рудников Талнаха, характеризующегося сложными горно-геологическими и горно-техническими условиями, рекомендуется в зависимости от назначения и размещения в горном отводе выработок следующая система деформационного контроля приконтурного массива выработок:

1) деформационный мониторинг на основе прямых измерений деформационного состояния приконтурного массива выработок с записью показаний в полевом журнале рекомендуется применять для выработок, не попадающих в зону влияния очистных работ и для оценки изменения напряженно-деформированного состояния отдельных участков массива горных пород, вмещающих горные объекты, после проведения профилактических мероприятий:

2) деформационный мониторинг на основе косвенных измерений с бинарной оценкой состояния приконтурного массива выработок рекомендуется применять для околовольных и вскрывающих выработок, которые не попадают в зону влияния очистных работ.

3) деформационный мониторинг на основе косвенных измерений деформационного состояния приконтурного массива выработок в режиме накопления информации в стационарных или переносных накопителях рекомендуется применять в подготавливающих и подготовительных выработках, которые попадают в зону влияния очистных работ и пройдены в трещиноватых и слоистых горных породах.

4) деформационный мониторинг на основе косвенных измерений де-

формационного состояния приконтурного массива выработок в режиме непрерывной записи информации и передачи ее от объекта контроля на поверхность рекомендуется применять для выработок, попадающих в зону влияния опорного давления, не исключая динамические формы разрушения горных пород.

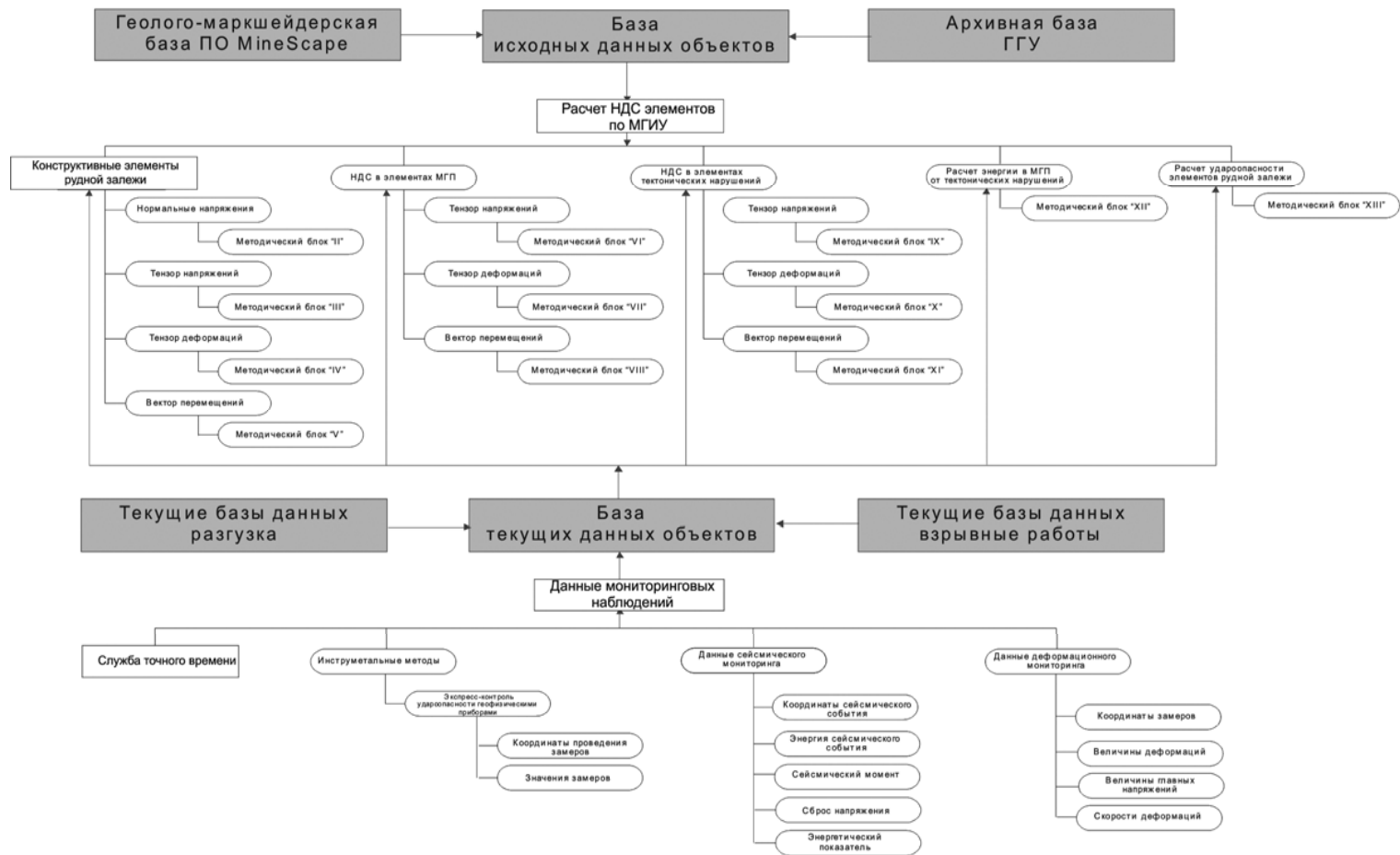
Установленная в настоящее время на руднике «Скалистый» система ISS позволяет использовать новые, более надежные методики обработки получаемых данных. Система включает в себя ряд подсистем:

#### **1. Подсистема контроля напряженно-деформированного состояния с использованием импульсных искусственных сейсмических источников.**

При проведении сейсмических наблюдений на рудниках ГМК для определения скоростной модели массива горных пород проводятся специальные тарировочные взрывы. Альтернативой взрывам могут служить невзрывные сейсмические источники, применяемые при сейсморазведочных работах.

Невзрывные способы возбуждения сейсмических колебаний имеют определенные преимущества по сравнению с взрывами в скважинах. Проведение работ по определению скоростей сейсмических волн в массиве горных пород с использованием невзрывных источников позволяет упростить работы, снизить их стоимость и повысить безопасность за счет отказа от использования взрывчатых веществ, исключить или свести к минимуму ущерб, наносимый горным выработкам.

Кроме использования источника вместо тарировочных взрывов используется источник активного сейсмического мониторинга. Расположив источник в определенной точке,



**Рис. 2. Структура геомеханического модуля**

периодически прозвучивая горный массив, можно контролировать изменение напряженно-деформированного состояния в процессе отработки по параметрам сейсмических волн, определяя скорости продольных и поперечных волн практически по всему шахтному полю. Рассчитав при этом модули упругости можно перейти к напряженно деформированному состоянию массива.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать в качестве импульсного источника для рудников Норильска два типа источников: импульсный электромагнитный источник ударного типа «Геотон» и импульсный скважинный пневмо-источник «Пульс-6».

## **2. Подсистема деформационного контроля.**

Для создания систем мониторинга деформационного состояния приконтурного массива горных выработок рекомендуется использовать индуктивные датчики типа ДИ8, конструкции ВНИМИ, которые прошли опытно-промышленную проверку на рудных месторождения Российской Федерации и рудниках НГМК.

Для деформометра, исполнение которого базируется на применении индуктивного датчика ДИ8, разработан и применяется в промышленных условиях критерий оценки опасного состояния подрабатываемых очистными работами блоковых структур Октябрьского и Талнахского месторождений.

## **3. Подсистема «Геомеханический модуль»**

Геомеханический модуль предназначен для расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород при проектировании и ведении горных работ с визуализацией полученных результатов.

В настоящее время многие фирмы занимаются исключительно разработкой пре- и постпроцессорных блоков, совместимых с программными комплексами ANSYS, COSMOS, NASTRAN и др. [5]. Однако громоздкость и сложность программных комплексов влечет за собой трудности и временные затраты на их освоение и эффективное использование. Но основным отрицательным фактором является невозможность пользователю «достраивать» или «перестраивать» под себя эти программные комплексы. Отмеченные отрицательные моменты находят свое отражение в том, что специалистами института СПГИ разработан специализированный программный комплекс для оценки напряженно-деформированного состояния и удароопасности с учетом горно-геологических и горнотехнических особенностей их разработки.

На рис. 2 представлена схема разработанного геомеханического модуля.

В структуре модуля учтены, как стационарные базы данных, так и текущие данные мониторинговых наблюдений.

Предлагаемый геомеханический модуль позволяет строить прогнозные модели с учетом данных разгрузочно-бурения и взрывных работ. Использование данных сейсмического и деформационного мониторинга, позволяет с заданной периодичностью оценивать текущую обстановку, параллельно корректируя прогнозную модель.

Перспективы развития рассмотренной мониторинговой системы связаны с улучшением ее оперативных параметров и возможностью получения результатов измерений в режиме реального времени.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перспективы* развития горной промышленности. XV Международный горный конгресс. 25-29 мая 1992 г. – Мадрид, Испания. – 561 с. (Доклады на англ.яз.: THE MINING OUTLOOK/ - Volume I, II/ - 1529 p.).
2. *Разработка* рекомендаций по развитию систем непрерывного контроля деформационного состояния массива Отчет о научно-исследовательской работе. С.-Пб, 2009.
3. *Методика* по контролю участков массива микросейсмическим методом на основе системы сейсмического контроля ISS. С.-Пб, 2009
4. *Разработка* методики и научное сопровождение внедрения системы сейсмического контроля фирмы ISS на руднике «Скалистый». Отчет о научно-исследовательской работе. С.-Пб, 2009
5. *Разработка* структуры геомеханического модуля к программному обеспечению Mincom MineScap» Отчет о выполнении научно-технической работы. С.-Пб, 2008. **ГИАБ**

### Коротко об авторах

Гладкова Л.А. – студентка, Санкт-Петербургский Государственный Горный Институт (ГУ), [bpigp@spmi.ru](mailto:bpigp@spmi.ru)  
Зуев Б.Ю. – кандидат технических наук, заведующий лабораторией моделирования, Санкт-Петербургский Государственный Горный Институт (ГУ), [zuev\\_bu@spmi.ru](mailto:zuev_bu@spmi.ru)  
Истомин Р.С. – аспирант, Санкт-Петербургский Государственный Горный Институт (ГУ), [bpigp@spmi.ru](mailto:bpigp@spmi.ru)  
Логинов М.А. – директор шахты им. Кирова, ОАО «СУЭК» - Кузбасс, [LoginovAK@suek.ru](mailto:LoginovAK@suek.ru)



---

## ДИССЕРТАЦИИ

### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Г.И. НОСОВА</b>			
АГЛЮКОВ Харис Исхакович	Управление геомеханическими процессами при разработке рудных месторождений технологией с высокоплотной закладкой	25.00.20 25.00.22	д.т.н.