



УДК 622.831.3



**И. Н. СЛАЩЕВ,**  
канд. техн. наук

## **Применение информационных технологий для повышения эффективности и безопасности горных работ**

*Приведены результаты исследований по решению методических, технических и технологических задач прогнозирования геомеханического состояния флюидонасыщенного тектонически нарушенного породного массива, обеспечения устойчивости горных выработок с применением анкерных и комбинированных систем крепления, выявления коллекторов скопления метана, повышения эффективности дегазации и безопасности ведения горных работ.*

Проблема эффективной и безопасной отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях для угольной промышленности Украины приобретает все большую остроту. Постоянное увеличение глубины разработки, повышение горного давления и температуры, влажности воздуха, газоносности, выбросоопасности и ряда других негативных факторов привели к формированию качественно новой подземной среды, для работы в которой необходимы новые знания, базирующиеся на фундаментальных теоретических и экспериментальных исследованиях и позволяющие переосмыслить, а при необходимости скорректировать существующую научно-методическую базу.

Одним из приоритетных направлений исследований ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины является разработка научно-технических принципов эффективных

и безопасных технологий подготовки и отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях больших глубин и газонасыщенности массива горных пород. По этому направлению выполняется научно-техническая поддержка предприятий угольной промышленности путем технического и технологического сопровождения на производстве ряда фундаментальных и прикладных научных программ.

Как известно, на шахтах Украины поддерживается более 700 км горных выработок, из которых 70 % проведены в неустойчивых породах. Вместе с тем, именно устойчивость подземных геотехнических систем определяет рентабельность угольных шахт и в значительной мере – безопасность горных работ. В свою очередь параметры устойчивого состояния подземных сооружений можно установить путем моделирования геомеханических и газодинамических процессов с применением современных информационных технологий.

Новое и перспективное направление оценки состояния сложноструктурного трещиноватого массива – методология выявления систем водо- и газопроводящих трещин, которая базируется на комплексе проведенных аналитических и инструментальных исследова-

ний закономерностей разрушения тектонически нарушенных пород в неравнокомпонентном поле напряжений. Под действием изменяющихся во времени и пространстве нагрузок, обусловленных перераспределением полей напряжений и зон неупругих деформаций, в породном массиве зафиксирована активизация процесса распространения магистральных трещин, рост которых происходит преимущественно по направлениям структурных дефектов, слоистости пород, пограничных зон и сопровождается формированием блочных структур. Для структурно нарушенного породного массива разработана и многократно верифицирована математическая модель, позволяющая определять зоны зарождения и направления распространения магистральных трещин под влиянием очистных работ.

Расчеты многокомпонентных моделей геосреды выполняются адаптивными информационными технологиями, с помощью которых определяются оптимальные параметры систем охраны и поддержания горных выработок, элементы технологии очистных работ и дегазации породного массива. В частности, на базе концепции объектно-ориентированного программирования разработан специализиро-

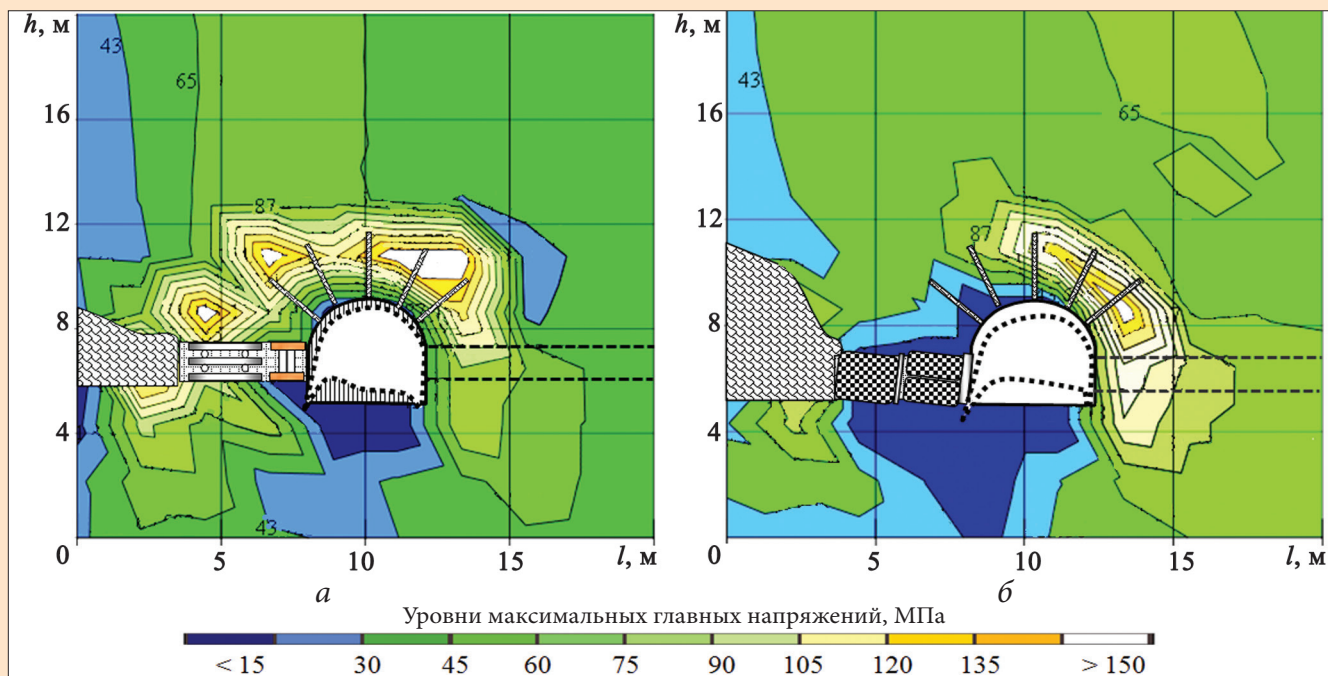


Рис. 1. Оценка состояния штрека, закрепленного рамно-анкерной крепью: а – с жесткими охранными конструкциями; б – с литой полосой из быстротвердеющих материалов.

ванный вычислительный комплекс «GEO-RS». Комплекс отличается от известных обширной актуальной базой данных физико-механических свойств горных пород, возможностями расчетов упругого, упругопластического и различных видов закритических напряженно-деформированных состояний породного массива, учетом разупрочнения и скольжения слоев пород, особенностей протекания деформационных процессов в трещиноватом обводненном и газонасыщенном породном массиве.

Анализ выполняется по широко апробированным критериям механики разрушения, инвариантам составляющих тензора напряжений, кинетике развития трещиноватых зон, энергии деформирования и другим интегральным характеристикам поля напряжений, что существенно расширяет инструментарий исследований и предоставляет новые возможности для достоверного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния породного массива под влиянием горных работ. В результате синтеза комплекса информативных параметров вырабатываются управляющие воздействия на геомеханические и технологические процессы.

Полученные научные результаты реализованы в концепции эффективного поддержания подготовительных выработок, которая заключается в снижении разрушающего действия сил горного давления на систему крепления путем использования эффекта по-

этапного вовлечения элементов крепления и участков породного массива в охранный конструкцию, несущая способность и режим работы которой соответствуют ожидаемым смещениям и нагрузкам на различных временных этапах деформационного процесса.

Как один из примеров решения практических задач устойчивости можно привести обоснование каждого из элементов и всей системы комбинированного поддержания подготовительных выработок, включающей средства анкерного и рамно-анкерного крепления, литые полосы из быстротвердеющих материалов, крепи усиления, охранные бутовые полосы с различными параметрами нагружения и деформирования. Так, на рис. 1 показаны изменения зон концентрации напряжений в кровле выработки, опорных нагрузок в боках и зон разгрузки в почве при применении жестких и более податливых охранных конструкций для условий подготовительных выработок 17-й западной лавы пласта  $m_3$  ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько». Анализ интенсивности и распространения трещиноватых зон в пространстве над выработкой с течением времени показал, что ее устойчивость зависит от способности литой полосы воспринимать нагрузку зависающей консоли основной кровли в активной стадии деформационного процесса (рис. 2).

В процессе исследований методами аналитической механики и моделирования динамических процессов в детерминировано-хаотических системах раскрыт ме-

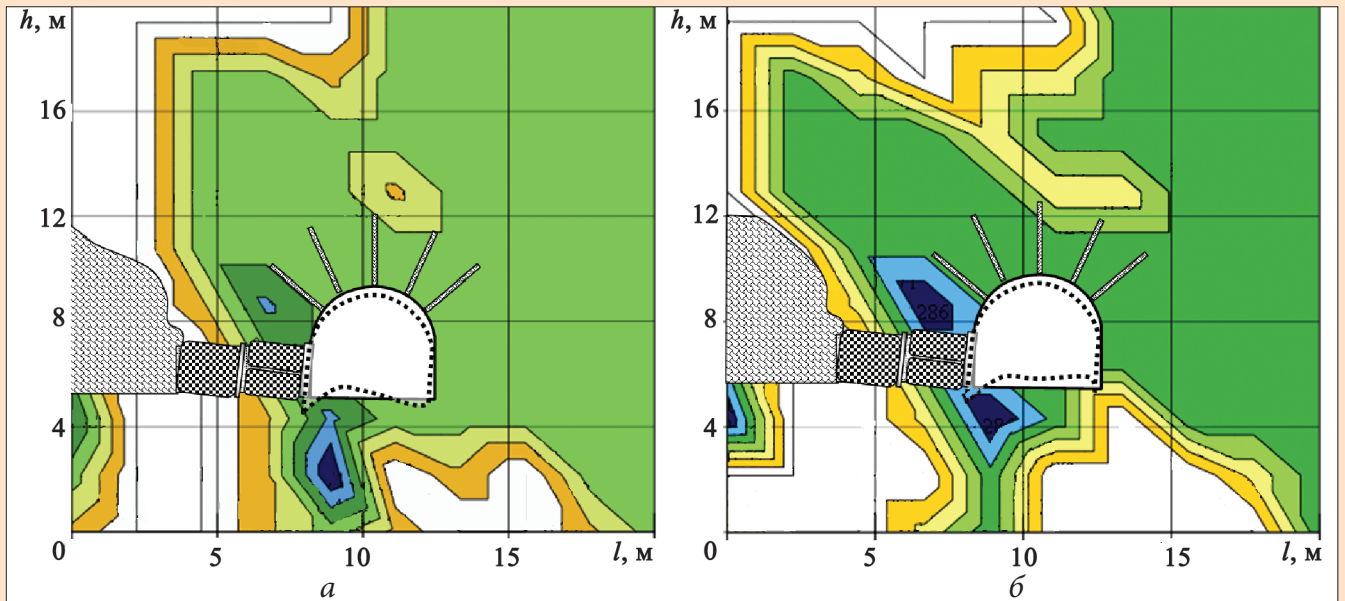


Рис. 2. Развитие трещиноватых зон во времени за период активной (а) и установившейся (б) стадий деформационного процесса: ■ – зоны упругого деформирования; □ – зоны неупругих деформаций; ■ – зоны разрыва сплошности; ■ – граничные зоны, расположенные на фронте разрушения горных пород.

ханизм работы анкеров при различных способах их установки – определены условия формирования локальных зон сжатия в массиве, а также силовые и деформационные характеристики анкерных штанг, которые установлены в шпурсы с выступами различного типа. В результате прогнозирования смещений кровли, почвы, боков и бермы выработки при разных способах поддержания обоснованы параметры всей системы крепления для различных этапов деформационного процесса, разработаны методические рекомендации по их практическому использованию.

Другое направление исследований связано с методологическим и нормативным обеспечением безопасной отработки запасов угля в газонасыщенном массиве горных пород. При увеличении скорости подвигания очистных и подготовительных выработок растет скорость обнажения и разрушения пород кровли, что при высокой метаносности углепородного массива приводит к интенсивному их загазированию и снижению темпов добычи угля по газовому фактору. Высокая газонасыщенность пород предопределила необходимость предварительной дегазации массива, а на ряде передовых шахт – ее трансформацию в добычу метана с применением предложенных и апробированных принципиально новых схем дегазации с использованием специальных технологических выработок «газового горизонта» [1]. В процессе разработки технологий комплексной дегазации и утилизации метана решен ряд важных научных и прикладных задач.

Научные результаты связаны с установлением закономерностей изменения геомеханического состояния и газовой проницаемости газонасыщенного породного массива под влиянием очистных работ и реакцией на данные процессы пространственных и временных параметров различных по литологической структуре источников газовыделения. Установлены периодический характер дебита метана, его концентрации по длине выработок и связь с закономерностью самоорганизации породного массива, которая реализуется в виде квазипериодических геодилатационных полей и обусловлена саморазрушениями перенапряженных участков массива за счет рекомбинационной смены альтернативных квазистационарных равновесных состояний [2]. Доказано, что на нестационарный характер газовыделения в скважины превалирующее влияние оказывают происходящие в породном массиве квазипериодические геомеханические процессы.

Метод оценки напряженно-деформированного состояния газонасыщенного породного массива использует закономерности его разрушения под совместным действием сил горного и газового давлений. В основу определения путей миграции метана в газовые коллекторы, расположенные в разрушенных породах, положено несколько основных физических закономерностей: движение газа происходит из зон повышенного давления в зоны пониженного давления; при прочих равных условиях газ (как менее легкий компонент со-



держающегося в порах и трещинах флюида) поднимается в сторону земной поверхности; направление движения потоков свободного метана в массиве зависит от ориентации в геопространстве магистральных трещин и тектонических нарушений; интенсивность газопереноса определяется деформацией пористой среды и раскрытием трещин.

Элементы разработанной технологии моделирования геомеханических и газодинамических процессов вошли в экспериментально-аналитический метод комплексного анализа состояния породного массива [3], преимуществами которого являются определение серий расчетов идеализированных квазистационарных состояний насыщенной газом геосреды систем газопроводящих магистральных трещин, их верификация по результатам геофизического мониторинга [4] в горных выработках и сравнительный анализ полученных данных с решением серии обратных задач.

Практическое применение метода позволило осуществить оперативный прогноз расположения благоприятных для дегазации участков массива, разработать способ построения карт зональности участков повышенного газовыделения, определить параметры заложения подземных дегазационных скважин, отработать новые схемы и способы подземной дегазации на ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько». Разработаны и подтверждены патентами новые способы дегазации и добычи метана из пластов-спутников, газоносных пород и выработанного пространства. Установлены: требования к безопасной организации работ по дегазации; параметры целевого заложения дегазационных скважин на конкретные источники газовыделения; последовательность проведения буровых и дегазационных работ; параметры и режимы взаимоувязки процессов угледобычи и дегазационных мероприятий при различных технологических схемах ведения горных работ. Разработан, утвержден и введен в действие стандарт Минуглепрома Украины СОУ 10.1.05411357.006:2007 [5], который регламентирует условия и параметры эффективного применения новых схем дегазации в угледобывающей отрасли Украины, устанавливает требования к заложению газосборных выработок и расположению дегазационных скважин.

Разработанные методы и технологии показали высокую эффективность. В результате внедрения методических и технических рекомендаций обоснованы: способы обеспечения устойчивости выработок, ориентация в геопространстве потоков свободного метана, схемы и способы подземной дегазации (пласты  $m_3$

и  $l_4$ , ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько»); методология оценки деформаций влагонасыщенных пород и надежности систем комбинированного крепления на пластах  $c_4$  и  $c_5$  для условий шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»; способы управления горным давлением на пласте  $h_7$  шахты «Нестор» (ООО «Нестор & С»); параметры новых типов крепей и средств охраны выработок с учетом специфики исходного напряженного состояния и деформационных процессов в трещиноватом породном массиве на шахтах им. К. А. Румянцева, им. А. И. Гаевого и других. Предложенные мероприятия и рекомендации обеспечивают снижение размеров зон неупругих деформаций и уменьшение конвергенции выработок, что подтверждает эффективность их использования.

**Выводы.** Комплекс проведенных исследований существенно углубил представления о геомеханических процессах, протекающих в подземной горнодобывающей системе, позволил разработать методологию прогнозирования состояния газонасыщенного породного массива и соответствующее программное обеспечение, создать научную основу и нормативно-техническую базу новых технологий дегазации. Практические результаты стали возможными благодаря опыту решения актуальных проблем повышения эффективности и безопасности работы угольных шахт, что подтверждает их надежность и конкурентоспособность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Булат А. Ф. Концепция комплексной дегазации угледобывающего массива на шахте им. А.Ф. Засядько // Геотехническая механика. – 2003. – Вып. 42. – С. 3 – 9.
2. *Открытие № 318.* Закономерность самоорганизации грунтовых и породных массивов вокруг протяженных подземных выработок / Л. В. Байсаров, М. А. Ильяшов, В. В. Левит, Т. А. Паламарчук, В. Б. Усаченко, А. А. Яланский // Научные открытия, идеи, гипотезы (1992 – 2007). Информ.-аналит. обзор. – М.: МААНОН, 2008. – С. 298 – 299.
3. *Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков* / А. Ф. Булат, С. А. Курносов, И. Н. Слащев [и др.] // Геотехническая механика. – 2005. – Вып. 59. – С. 10 – 21.
4. *Геомеханічний моніторинг підземних геотехнічних систем: монографія* / [відп. ред. А. Ф. Булат]. – Донецьк: Ноулідж, 2010. – 235 с.
5. *Дегазація вугільних пластів та вміщуючих порід із застосуванням газозбірної виробки. Схеми дегазації:* СОУ 10.1.05411357.006:2007. – [Чинний від 2008-04-01]. – Офіц. вид. – К.: Мінуглепром України, 2007. – 31 с.