

УДК 004.9:622.831

О.В. БАКАЕВ

Донбасский государственный технический университет, Украина

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Предложены методы и модели для информационной системы мониторинга геодинамических процессов в углепородном массиве добычных участках угольной шахты. Показаны возможности определения динамики скрытого трещинообразования и расположения структурных неоднородностей в плоскости выемочного столба впереди очистного забоя. Показана возможность определения температурного режима угольного пласта, а также возможность контроля динамики выделения метана. Многокомпонентная диагностика углепородного массива позволит усовершенствовать методы прогноза газодинамических явлений.

Ключевые слова: информационная система, геодинамика, углепородный массив, прогноз газодинамических явлений.

Введение

Внедрение гарантоспособных информационных технологий в системы критического применения [1], а именно, в подземную добычу угля, как у нас в стране, так и за рубежом, в настоящее время уже насущная проблема. Это, прежде всего, связано с тем, что добыча угля подземным способом осуществляется в сложных горногеологических и горно-технических условиях на больших глубинах [2]. Средняя глубина разработки пластов превышает 720м, а 33 шахты работают на глубине 1000-1400м. Как показывает статистика угольные шахты Украины, особенно Донбасса, характеризуются самыми сложными горногеологическими условиями в сравнении с другими странами. Постоянное возрастание глубины разработок осложняется увеличением шахтопластов, склонных к газодинамическим явлениям (горные удары, внезапные выбросы угля и газа и т.д.). Из 190 действующих шахт более 45% опасны по газодинамическим явлениям (ГДЯ), которые представляют наибольшую опасность при ведении горных работ, вследствие недостаточной изученности их природы и основ прогнозирования. Все чаще эти процессы носят катастрофический характер и сопровождаются групповой гибелью шахтеров, а также большими материальными потерями. За последнее десятилетие, несмотря на существенное сокращение объемов добычи угля, в подземных горных выработках произошло более 785 газодинамических явлений и погибло свыше 550 человек.

В настоящее время для отработки пластов склонных к ГДЯ руководствуются инструкцией по безопасному ведению горных работ [3]. Инструкция

предусматривает ряд комплексных мер, которые условно можно разделить на два основных направления:

- технологические мероприятия, снижающие риск возникновения ГДЯ;
- текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов.

Текущий прогноз основан на двух основных методах: дискретном (от 8 часов и более) контроле за начальной скоростью газовыделения в подготовительных горных выработках и непрерывном за акустической активностью углепородного массива очистного забоя [4].

В тоже время, несмотря на достигнутые успехи в прогнозировании ГДЯ, состояние выбросоопасности на угольных шахтах, как показывает анализ и практика, требует дальнейшего теоретического изучения, совершенствования методов и средств для прогноза и профилактики опасных явлений. Выполнение поставленных задач возможно лишь при систематическом сборе и анализе информации об объекте, выбросоопасность которого зависит, в первую очередь, от трех основных факторов, – газ, горное давление и физико-механические свойства углепородного массива. Верификация и гарантоспособность аппаратно-программного комплекса для прогноза в значительной степени зависит от принятой методологии исследований, которая должна включать базовые теоретические положения и совокупность способов их практической реализации для решения конкретной проблемы.

Поэтому разработка новых методов и моделей для информационной системы мониторинга геодинамических процессов (МГДП), протекающих в уг-

лепородном массиве при техногенном на него воздействии, представляет собой актуальную научную проблему, решение которой направлено на повышение уровня безопасности при ведении горных работ на выбросоопасных пластах.

1. Постановка задачи

На рисунке 1 схематично приведен объект исследования – углепородный массив. Если бы не было техногенного воздействия на углепородный мас-

сив – образование искусственных полостей (выемка угля и формирование подготовительных горных выработок), то не возникло бы и взаимодействие тектонических и техногенных напряжений. Эти напряжения характеризуются сложными взаимодействиями, как во времени, так и в пространстве. Причем, вариации величин техногенных напряжений очень сильно зависят от скорости подвигания лавы и подготовительных горных выработок, а также от всевозможных технологических мероприятий, проводимых на добычных участках.

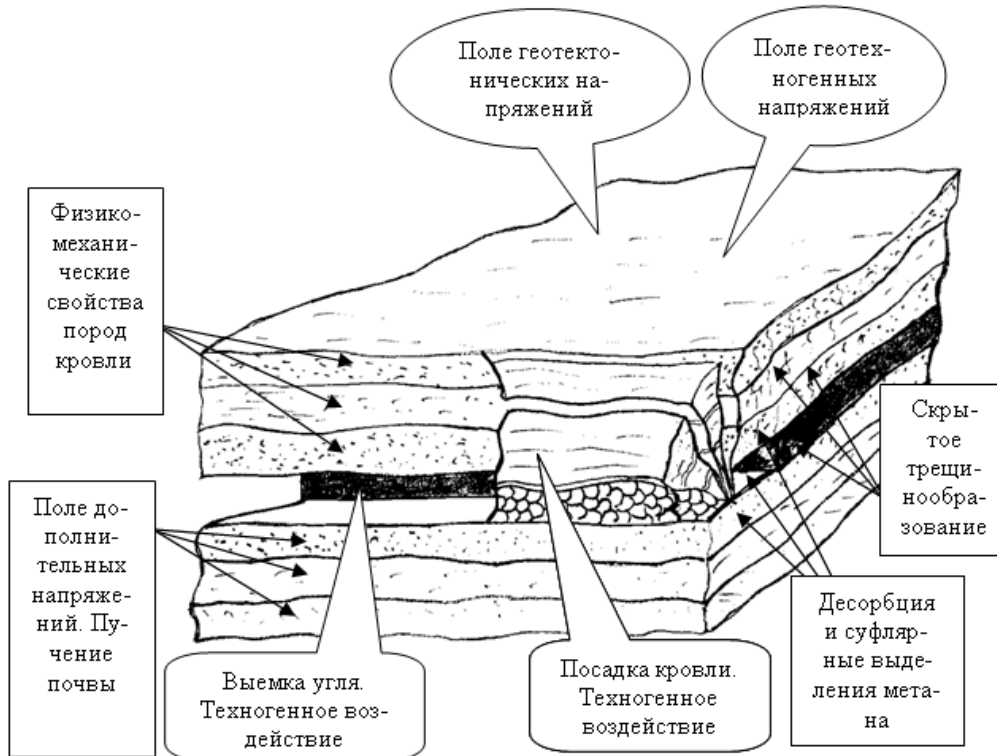


Рис. 1. Схематическая модель углепородного массива

Из-за значительных структурных и силовых неоднородностей в углепородном массиве возникает и различная динамика скрытого трещинообразования по мере подвигания лавы. Это в свою очередь приводит к разупрочнению углепородного массива, изменяет динамику десорбции метана и его диффузию в искусственно образованные полости. Газ в углепородном массиве находится как в адсорбированном состоянии, так и в свободном, заполняя полости, причем, находится, порой под очень большим давлением. Десорбция газа – это эндогенный процесс, сопровождающийся поглощением тепла, вследствие чего, изменяется температурное поле угольного пласта в моменты активной десорбции. Кроме того, в углепородном массиве в аномальных зонах и структурных неоднородностях как стационарных, так и динамически образованных, происходят дополнительные физико-механические изменения, которые в свою очередь приводят к дополнительному перерас-

пределению напряжений в этих зонах. Как следствие, эти зоны формируют выше перечисленные последствия, но с более высокой динамикой, что зачастую приводит к техногенным авариям.

В силу этого следует, что для достижения безаварийной работы в угледобычных участках необходим системный анализ состояния углепородного массива в режиме реального масштаба времени.

Использование системного анализа превращает эмпирическую горную науку в аналитическую. Анализируя различные процессы в углепородном массиве можно выявить основные закономерности протекания геодинамических процессов, своевременно выявить резервы для безопасного труда горнорабочих и различных механизмов, осуществлять на ранней стадии прогноз ГДЯ и управлять добычными механизмами для своевременной релаксации напряжений. При этом можно моделировать различные состояния углепородного массива при различ-

ных воздействиях на него, что открывает путь для выбора наиболее оптимального вида горных работ. Сегодня во многих случаях, если не во всех, мы управляем «вслепую», основываясь только на вероятностных оценках, на инженерном опыте и интуиции. Завтра, используя системный анализ и возможности МГДП, «переигрывая» все варианты воздействия на углеродный массив, мы сможем достаточно точно «вычислить» наши действия в отношении углеродного массива. А для этого нужны соответствующие функциональные методы исследо-

вания и соответствующие методы анализа, которые могут выявить «движущую силу» ГДЯ, в то время как существующие методы исследования выявляют лишь её *результат*.

2. Математическая модель многокомпонентной системы

На рис. 2 показана общая схема исследуемой системы: углеродный массив, и информационная система МГДП.

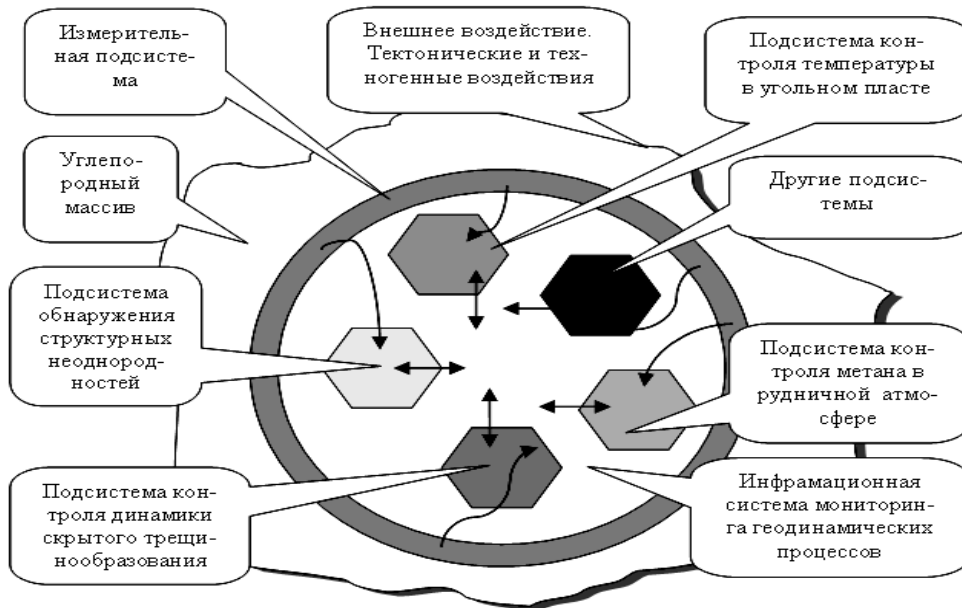


Рис. 2. Схема исследуемой системы

Углеродный массив можно представить как формализованное понятие системы, в виде трехмерного Евклидова пространства:

$$V = \{v_i : i \in I\}, \tag{1}$$

где v_i – элемент множества V , минимальный объем; I – множество индексов, нумерующих элементы множества.

Причем, данная система V имеет множество состояний – Z (прочность, уровень трещиноватости, газообильность, как в свободном, так и в десорбированном состоянии, содержание влаги, и как следствие различные величины объемного удельного сопротивления – ρ , магнитной – η и диэлектрической – ϵ проницаемости угля и породы, а также других физико-механических свойств).

Углеродный массив – это многокомпонентная динамическая система V , состояние элементов которой в каждый момент времени может находиться в одном из возможных состояний. Причем это состояние зависит не только от внешних, но и от внутренних факторов, а также от ретроспективы предыдущего состояния. В общем виде множество состояний – Z можно записать:

$$Z = \{z_i : i \in I\}, \tag{2}$$

где z_i – элемент множества Z , состояние элемента; I – множество индексов, нумерующих элементы множества.

Таким образом, общая система состоит из:

- системного множества V ;
- множества глобальных состояний Z ;
- функции R (глобальная реакция), связывающая вход и состояние системы с ее выходом, которую можно описать выражением [5]:

$$(x, y) \in V \Leftrightarrow (\exists v)[R(z, x) = y] \tag{3}$$

Информационная система МГДП, приведенная на рис. 2, в соответствии с принципами декомпозиции может быть представлена различными подсистемами, которые выполняют соответствующие функции.

Однако, только в пяти предложенных автором подсистемах, а именно в:

- измерительной подсистеме;
- подсистеме обнаружения структурных неоднородностей в угольном пласте впереди очистного забоя;

- подсистеме контроля динамики скрытого трещинообразования в углеродном массиве впереди очистного забоя;

- подсистеме контроля динамики температурного поля в угольном пласте впереди очистного забоя;

- подсистеме контроля концентрации метана в рудничной атмосфере по длине лавы и в других критических местах, заложены основные методы, позволяющие совместно с другими подсистемами вывести системный анализ углеродного массива на новый качественный уровень.

3. Архитектура ИС МГДП

Предложенная автором в работе [6] информационная система МГДП в углеродном массиве на угольной шахте, архитектура которой приведена на рис. 3 данной статьи, представлена тремя видами основных комплексов:

- подземного, который устанавливается на каждом добычном участке;
- комплекса передачи информации на поверхность, который также устанавливается на каждом добычном участке;
- поверхностного.

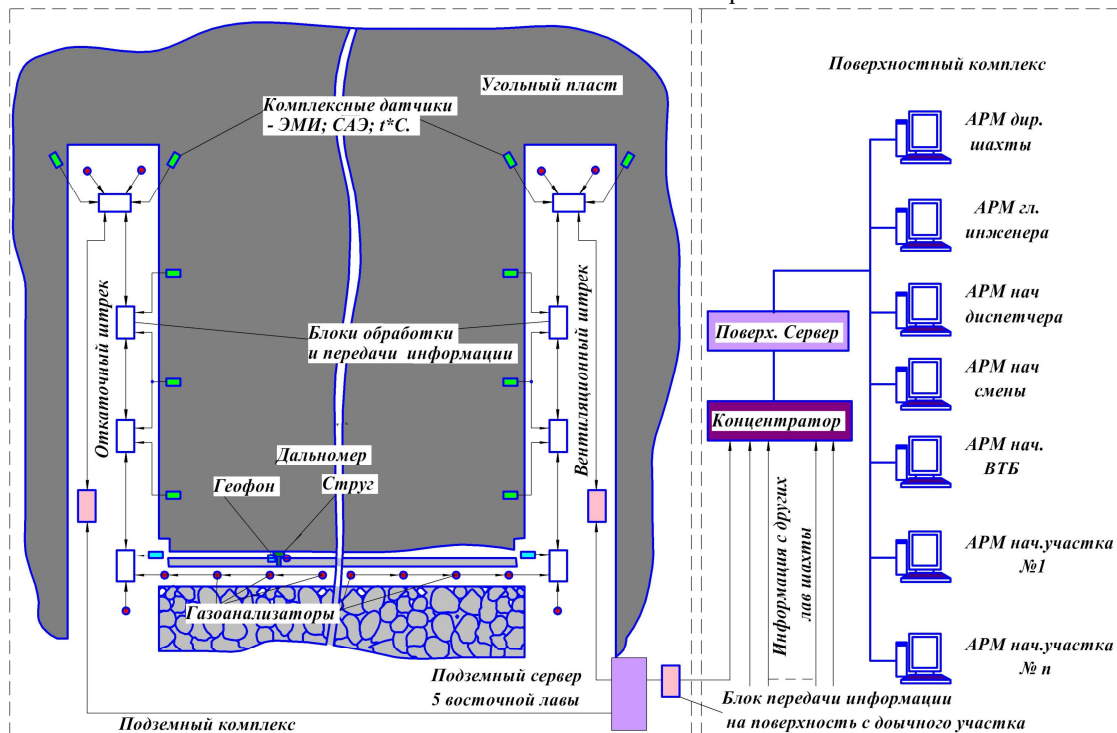


Рис. 3. Архитектура информационной системы мониторинга углеродного массива

В подземном комплексе в реальном масштабе времени функционируют одновременно все задействованные подсистемы, в том числе и выше перечисленные. Сбор данных является неотъемлемой частью мониторинга, поэтому в измерительной подсистеме задействованы различные датчики, которые обеспечивают соответствующие подсистемы текущей информацией. Комплексные датчики (КД) предназначены для регистрации пассивной электромагнитной и акустической эмиссии, возникающей при скрытом трещинообразовании в углеродном массиве. Кроме того КД измеряет температуру угольного пласта в зоне установки, регистрируя тем самым, возможные десорбционные процессы метана, а также регистрирует акустические шумы, которые возникают от взаимодействия режущего органа комбайна с углем и прошедшие сквозь угольный пласт. Первичный спектр шумов, регистрирует гео-

фон, укрепленный на комбайне. Дальнометры определяют геометрическое положение режущего органа в лаве, тем самым позиционируя источник излучения акустической эмиссии. Рудничную атмосферу по длине лавы, а также в критических точках, контролируют газоанализаторы, которые образуют сенсорную беспроводную сеть. Газоанализаторы перемещаются в месте с механизированной крепью по мере подвигания лавы. Вся информация, предварительно обработанная на подземных блоках обработки передается по соответствующим каналам на поверхностный комплекс, где осуществляется окончательная обработка информации, которая поступает на автоматизированные рабочие места соответствующих служб. Виртуальная панель, на которой в реальном времени отображается интенсивность скрытого трещинообразования, по мере подвигания лавы, представлена на рис. 4.

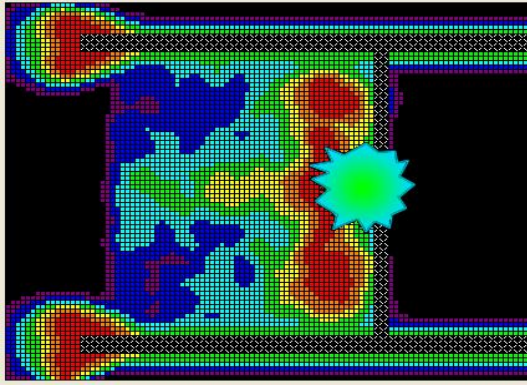


Рис. 4. Виртуальная панель отображения скрытого трещинообразования на АРМ гл. инженера

Заключение

Предложенные методы и модели для информационной системы мониторинга геодинамических процессов позволят в режиме реального времени диагностировать состояние угленосного массива добычного участка шахты по четырем взаимосвязанным факторам: интенсивности скрытого трещинообразования в плоскости выемочного столба впереди очистного забоя и подготовительных горных выработок, определять структурные неоднородности угольного пласта и его температурный режим, а также контролировать динамику выделения метана. Мониторинг динамики изменения этих параметров

позволит уже в ближайшем будущем обеспечить получение качественно новой информации о процессах и явлениях в массивах горных пород.

Литература

1. Харченко, В.С. Парадигмы и принципы гарантоспособных вычислений: состояние и перспективы развития [Текст] / В.С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 2 (33). – С. 91 – 100.
2. Геофизический контроль массива при отработке угольных пластов [Текст] / Отв. ред. А.Н. Зорин АН УССР. Ин-т геотехн. механики. – К.: Наук. думка. – 1990. – 168 с.
3. НПАОП 10.0-5.26-88 Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, склонные к горным ударам.
4. Оценка геодинамического строения шахтных полей геофизическими методами [Текст] / В.В. Туманов, А.В. Савченко, М.Ю. Бозак, С.А. Шурховецкий // *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. – 2007. – №1. – С. 115 – 127.
5. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы [Текст] / М. Месарович, Я. Тахакара. – М.: Мир, 1978. – 312 с.
6. Бакаев, О.В. Концепция построения информационной системы мониторинга геодинамических процессов в угленосном массиве угольных шахт [Текст] / О.В. Бакаев // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 6 (47). – С. 343 – 348.

Поступила в редакцию 16.02.2012

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В. Левашенко, University of Žilina, Žilina, Словакия.

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ МОНІТОРИНГУ ГЕОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВУГЛЕПОРОДНОМУ МАСИВІ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

О.В. Бакаєв

Запропоновані методи та моделі для інформаційної системи моніторингу геодинамічних процесів у вугленосному масиві вугільних шахт. Знайдені можливості визначення динаміки прихованого щілиноутворення та розташування структурних неоднорідностей в площині видобувного стовпа попереду очистного вибою. Знайдена можливість визначення температурного режиму вугільного пласта, а також можливість контролю динаміки виділення метану. Багатоконпонентна діагностика вугленосного масиву дасть змогу удосконалити методи прогнозу газодинамічних явищ.

Ключові слова: інформаційна система, геодинаміка, вугленосний масив, прогноз газодинамічних явищ.

METHODS AND MODELS FOR MONITORING GEODYNAMICS PROCESSES IN COAL-BEARING SERIES OF A COAL MINE

O.V. Bakaev

Contrive methods and models for information system of monitoring geodynamics processes in a coal-bed of a coal mine. Show potentialities of definition dynamic of hide fracturing and disposition of structure inhomogeneity in platitude a coal-bed of a coalface. The possibility of determination of a coal-bed temperature mode, and also possibility of monitoring of the methane emission dynamics is shown. Multicomponent diagnostics of coal-bearing series let improve methods of prognosis of geodynamics processes.

Keywords: information system, geodynamics, coal containing massif, prognosis of the gas-dynamic phenomena forecast.

Бакаєв Олег Вікторович – директор ГНПП «Фотон», ст. преп. кафедри «Спеціалізовані комп'ютерні системи» Донбасського державного технічного університету, Алчевськ, Україна, e-mail: foton_777@mail.ru.