

УДК004.9:622.831

О.В. БАКАЕВ

*Донбасский государственный технический университет, Украина*

## ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА СКРЫТОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ВПЕРЕДИ ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

*Предложена информационная модель мониторинга скрытого трещинообразования в плоскости выемочного столба впереди очистного забоя, а так же в примыкающих подготовительных горных выработках. Проведена декомпозиция компьютерной системы мониторинга процесса трещинообразования в углепородном массиве. Первичной информацией для этой системы является пассивная электромагнитная и акустическая эмиссия углепородного массива. Приведено описание полученных подсистем и их взаимодействие путем преобразования и передачи информации для системы мониторинга. Описаны основные информационные потоки системы и ее этапы функционирования. Предложена архитектура компьютерной системы мониторинга процесса трещинообразования в углепородном массиве. Описаны компоненты системы мониторинга и их назначение.*

**Ключевые слова:** информационная система, мониторинг, трещинообразование, углепородный массив, прогнозагазодинамических явлений.

### Введение

Эффективная и безопасная эксплуатация горных выработок, особенно в сложных горногеологических и горнотехнических условиях, невозможна без гарантоспособных информационных технологий критического применения [1], анализирующих состояние угле породного массива. Одной из проблем, комплексного анализа состояния угле породного массива (УПМ), как было показано в работе [2], является получение текущей информации, в режиме реального времени, о динамике распределения интенсивности скрытого трещинообразования в плоскости выемочного столба впереди очистного забоя, а также в примыкающих подготовительных горных выработках. Получение своевременной информации о местоположении аномальных зон с повышенной концентрацией трещинообразования существенно повысит безопасность и эффективность эксплуатации горнодобывающих предприятий.

### 1. Постановка задачи

Известно, что техногенное воздействие на углепородный массив в шахтах приводит к существенно перераспределению напряжений в нем. Величины этих напряжений зависят от многих факторов и меняются как во времени, так и в пространстве массива. Из-за значительных структурных и силовых неоднородностей в углепородном массиве, по мере продвижения лавы, возникает и различная динамика скрытого трещинообразования.

На данный момент накопился довольно обширный материал как лабораторных [3], так и натурных исследований [4], свидетельствующих о том, что трещинообразование сопровождается выделением импульсной энергии в широком спектре частот от низких до высокочастотных.

Используя соответствующую аппаратуру для регистрации пассивной акустической (АЭ) или электромагнитной эмиссии (ЭМИ), можно получать качественную информацию о структурных перестройках в углепородном массиве.

Как, правило, геофизические методы контроля углепородного массива в настоящее время базируются в основном на методах раздельной регистрации АЭ и ЭМИ.

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в ряде стран, в том числе, в лаборатории горной геофизики Коммунарского горно-металлургического института (в настоящее время – ДонГТУ), позволили установить, что при одноосной деформации образцов различных горных пород, можно регистрировать одновременно, как АЭ, так и ЭМИ.

Причем, вероятность одновременного появления импульсов электромагнитного и сейсмоакустического излучения для различных образцов породы во временных воротах  $\Delta \leq 100$  мкс находилась в пределах 0,75...0,86 [5].

Следовательно, используя современные информационные технологии и соответствующие алгоритмы обработки поступающей информации, можно определять местоположение единичных

актов трещинообразования. При непрерывном мониторинге поступающих сигналов получаем графическую интерпретацию интенсивности скрытого трещинообразования в плоскости выемочного столба впереди очистного забоя.

## 2. Информационная модель

Углеродный массив в области техногенного воздействия – это многокомпонентная динамическая объемно распределенная как по простиранию, так и по восстанию система  $V$ , состояние элементов которой в каждый момент времени может находиться в определенном состоянии. Причем это состояние зависит не только от внешних, но и от внутренних факторов, а также от ретроспективы предыдущего состояния.

В общем виде динамическую систему можно записать [2, 8]:

$$V = \{v_i : i \in I\}, \quad (1)$$

где  $v_i$  – элемент множества  $V$ , минимальный объем;  $I$  – множество индексов, нумерующих элементы множества. Кроме того, данная система  $V$  имеет множество состояний

$$Z = \{z_i : i \in I\}, \quad (2)$$

где  $z_i$  – элемент множества  $Z$ , описывающий состояние элемента.

Проектирование информационной модели системы мониторинга скрытого трещинообразования является направленным процессом переработки большого количества информации, поступающей от комплексных датчиков, установленных в углеродном массиве в необходимую с помощью оптимального состава программно-аппаратных средств.

В соответствии с рекомендациями [7,8], подход должен быть основан на декомпозиции функций и структур, в сочетании с методами системного анализа для отдельных компонентов и моделирования процессов функционирования системы. Процесс декомпозиции может быть представлен как решение задачи минимизации:

$$L \rightarrow \min \rightarrow D^* \quad (3)$$

$$D \in \{D\}, \quad (4)$$

$$D_i \cap D_j = 0, \quad (5)$$

$$i \neq j, \quad (6)$$

где  $D$  – операция декомпозиции;

$\{D\}$  – множество семейств декомпозиции;

$D^*$  – оптимальная декомпозиция;

$L$  – множество возможных принципов и алгоритмов управления, используемых для построения системы мониторинга.

Если  $V_0$  – декомпозируемая система, то после применения к  $V_0$  декомпозиции  $D_0$  получим множество подсистем:

$$V_0, V_1, V_2, \dots, V_m, \quad (7)$$

Из всего множества семейств подсистем выберем те, которые применимы к данной системе, т.е.

$$\{D\} \in \{\{D\}\}, \quad (8)$$

Полученные подсистемы могут быть расчленены на подсистемы более нижнего уровня, т.е.  $V_i$  может быть разбито на:

$$V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, \dots, V_{im}, \quad (9)$$

Каждая подсистема допускает декомпозицию на процессы, которые в свою очередь могут быть поделены на функции, т.е. каждый процесс представляется как вектор:

$$MF_{ij} = \{MF_{ij1}, MF_{ij2}, \dots, MF_{ijm}\}, \quad (10)$$

где  $MF_{ij}$  –  $i$ -я функция  $j$ -го процесса;  $m$  – число процессов;

Таким образом, общую информационную модель системы мониторинга трещинообразования можно представить в виде:

$$P = \{F_{mi}, A_j, G_i, TT_n, G_o, G_{ob}\}, \quad (11)$$

где  $F_{mi} = \{F_{m1}, F_{m2}, \dots, F_{mi}\}$  – множество информационных моделей системы;

$A_j = \{A_1, A_2, \dots, A_j\}$  – множество алгоритмов переработки и преобразования информации;

$G_i = \{G_{i1}, G_{i2}, \dots, G_{ii}\}$  – множество структур устройств ввода;

$TT_n = \{TT_{n1}, TT_{n2}, \dots, TT_{nn}\}$  – множество параметров технических требований;

$G_o = \{G_{o1}, G_{o2}, \dots, G_{oo}\}$  – множество структур отображения;

$G_{ob} = \{G_{ob1}, G_{ob2}, \dots, G_{obk}\}$  – множество структур средств обработки;

Для разработки встраиваемой архитектуры компьютерной системы была предложена информационная модель (рис. 1), которая отображает основные информационные потоки, а также основные подсистемы и их взаимодействие, что дает, в последующем, возможность перейти к процессу создания реальной системы.

Подсистемы информационной модели реализуют определенное множество функций для составления информационного описания процесса отображения динамической сцены распределения интенсивности скрытого трещинообразования на виртуальной карте, обрабатываемого участка.

Поэтому, в соответствии с выражением (10), можно записать, что:

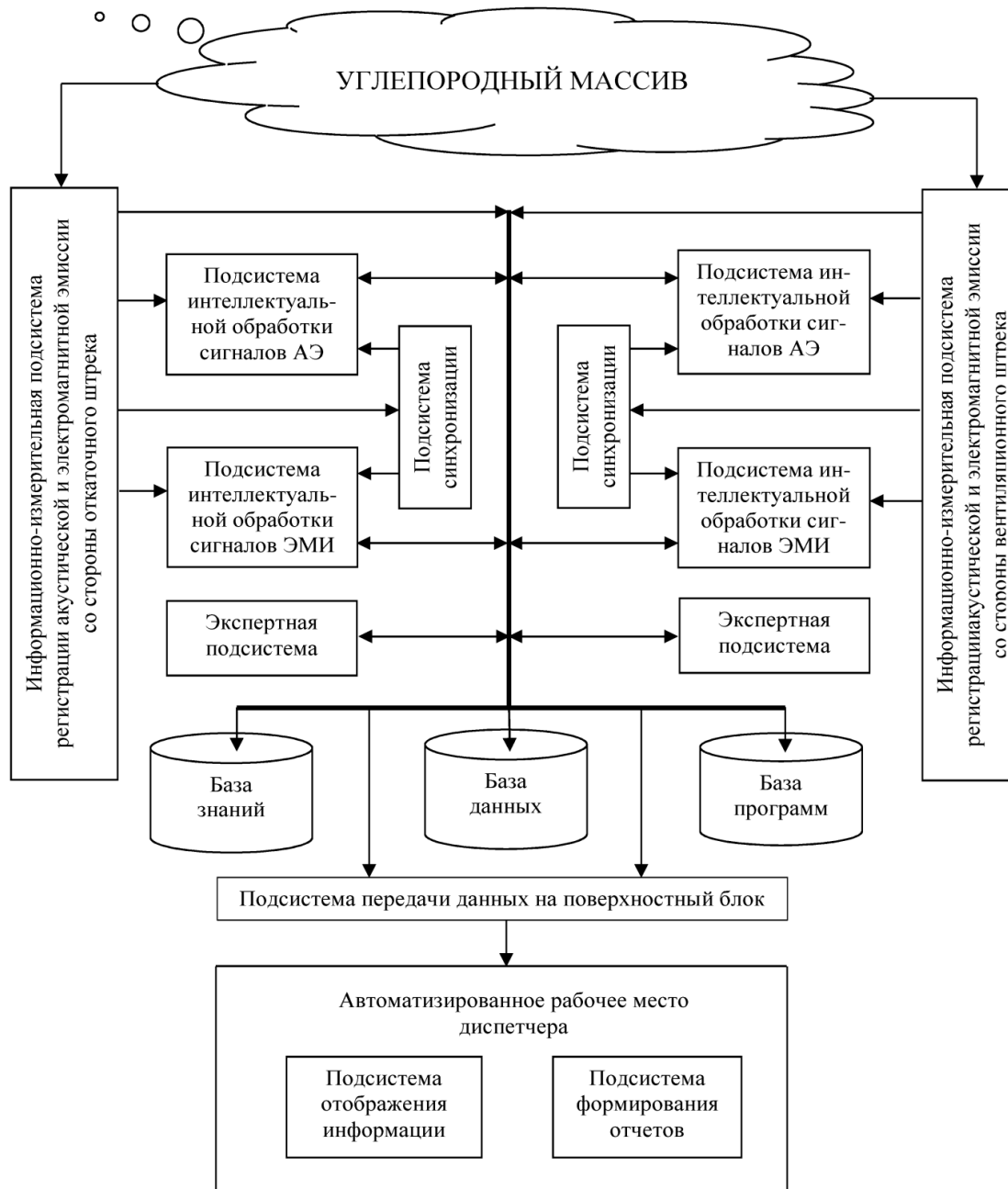


Рис. 1. Архитектура системы мониторинга интенсивности скрытого трещинообразования

$MF_{11}, MF_{21}, MF_{31}$  – функции, отвечающие за автоматическую регистрацию акустических сигналов в откаточном штреке;

$MF_{41}, MF_{51}, MF_{61}$  – функции, отвечающие за автоматическую регистрацию акустических сигналов в вентиляционном штреке;

$MF_{73}, MF_{83}, MF_{93}$  – функции, отвечающие за автоматическую регистрацию электромагнитных сигналов в откаточном штреке;

$MF_{104}, MF_{114}, MF_{124}$  – функции, отвечающие за автоматическую регистрацию электромагнитных сигналов в вентиляционном штреке;

$MF_{211}$  – функция, отвечающая за автоматическое определение скорости распространения акустического сигнала в УПМ;

$MF_{15}, \dots, MF_{16}$  – функции, отвечающие за автоматическую синхронизацию регистрируемых сигналов;

$MF_{41}, MF_{72}$  – функции, отвечающие за интеллектуальную обработку акустической эмиссии;

$MF_{17}, MF_{27}$  – функции, отвечающие за интеллектуальную обработку электромагнитной эмиссии;

$MF_{19}, MF_{39}$  – функции, отвечающие за формирование базы данных и базы знаний;

$MF_{18}, MF_{28}$  – функции, отвечающие за экспертные подсистемы;

$MF_{111}$  – функции, отвечающие за связь с соответствующими подсистемами, базами и автоматизированным рабочим местом (АРМ).

Полный поток информации, которую генерирует система, можно представить в виде суммы трех составляющих: проблемной, атрибутивной и ситуативной. В этом случае полный поток информации можно записать:

$$I = I_{\text{п}} + I_{\text{а}} + I_{\text{с}}, \quad (12)$$

Из этого следует, что система может быть разделена на подсистемы не только по функциональности, но и по видам генерируемой информации, что позволит оптимизировать распределение потоков информации. Перечень и функциональное назначение подсистем приведены ниже.

1. Информационно-измерительные подсистемы со стороны откаточного и вентиляционного штрека представляют собой специализированные средства для регистрации АЭ и ЭМИ в УПМ. Причем для регистрации АЭ и ЭМИ необходимо иметь по три комплексных датчика с каждой стороны. Эти подсистемы реализуют функции:

$MF_{11}, MF_{21}, MF_{31}, MF_{73}, MF_{83}, MF_{93}$  для откаточного штрека;

$MF_{42}, MF_{52}, MF_{62}, MF_{104}, MF_{114}, MF_{124}$  для вентиляционного штрека соответственно.

2. Подсистемы синхронизации со стороны откаточного и вентиляционного штреков представляют собой специализированные средства, осуществляющие общую синхронизацию процессов интеллектуальной обработки сигналов АЭ и ЭМИ и учет времени прихода соответствующих сигналов. Эти подсистемы реализуют функции

$MF_{15}, MF_{25}, MF_{35}$  – для откаточного штрека;

$MF_{16}, MF_{26}, MF_{36}$  – для вентиляционного штрека соответственно;

3. Подсистемы интеллектуальной обработки акустической эмиссии со стороны откаточного и вентиляционного штреков представляют собой специализированные средства, предназначенные для выделения акустических сигналов, отвечающих за трещинообразование в УПМ, от техногенных шумов. Эти подсистемы реализуют функции  $MF_{41}, MF_{42}$ ;

4. Подсистема интеллектуальной обработки электромагнитных сигналов со стороны откаточного и вентиляционного штрека представляют собой специализированные средства, предназначенные для выделения электромагнитных сигналов, отвечающих за трещинообразование в УПМ, от техногенных

шумов. Эти подсистемы реализуют функции  $MF_{17}, MF_{27}$ ;

5. Подсистема хранения информации представляет собой хранилище входных, промежуточных и выходных данных формируемых в процессе мониторинга интенсивности трещинообразования в УПМ, а также баз знаний и баз программ. Эти подсистемы реализуют функции  $MF_{19}, MF_{29}, MF_{39}$ ;

6. Подсистема передачи информации на автоматизированное рабочее место, эта подсистема реализует функции  $MF_{110}, MF_{210}, MF_{111}$ ;

7. Автоматизированное рабочее место диспетчера имеет в своем составе две подсистемы. Подсистема отображения информации и подсистема формирования отчетов.

В соответствии с предложенной информационной моделью, была предложена архитектура автоматизированной системы мониторинга процесса скрытого трещинообразования в УПМ, которая состоит из трех комплексов: подземного, поверхностного и комплекса передачи информации. Подземный комплекс, в свою очередь, состоит из двух подсистем, которые устанавливаются соответственно в откаточном и вентиляционном штреках. Автоматизированная система работает следующим образом: сигналы с комплексных датчиков, регистрирующих АЭ и ЭМИ, поступают в подсистемы обработки информации, где происходит очистка от техногенных шумов (бурение по углю и породе, подрывные работы, движение колесного транспорта, работа комбайна и т.д.) Дальнейшая обработка выделенных сигналов производится в последующих подсистемах по соответствующим алгоритмам, основная задача которых, определение координат местоположения единичных актов трещинообразования с последующим их накоплением.

На рис. 2 представлена виртуальная панель динамической сцены отображения интенсивности скрытого трещинообразования на АРМ диспетчера.

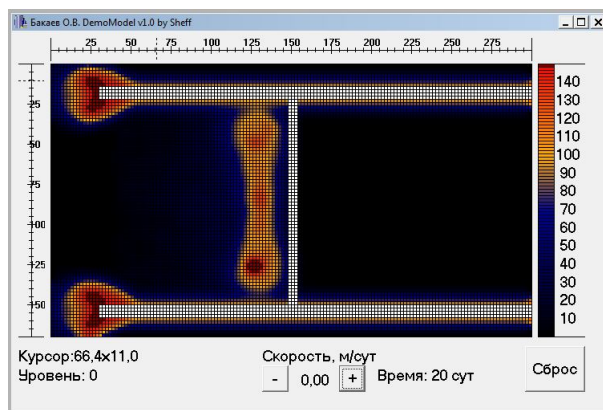


Рис. 2. Виртуальная панель отображения скрытого трещинообразования на АРМ диспетчера.

## Заключення

Предложена информационная модель мониторинга распределения интенсивности скрытого трещинообразования по плоскости выемочного столба впереди очистного забоя, а также в примыкающих подготовительных горных выработках. Мониторинг трещинообразования осуществляется в режиме реального времени. Приведено описание полученных подсистем и их взаимодействие.

## Литература

1. *Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения [Текст]: учеб. пос. / В.С. Харченко, А.В. Боярчук, Е.В. Брежнев и др.; – МОН Украины, Национальный аэрокосмический университет им.Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х. : Университет, 2011. – 641 с.*
2. *Бакаев, О.В. Методы и модели мониторинга геодинамических процессов в углеродном массиве*

*угольных шахт [Текст] / О.В. Бакаев // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2012. - № 6 (58). – С. 219 – 223.*

3. *О прогнозе разрушения горных пород на основе регистрации импульсов электромагнитного излучения [Текст] / Г.Е. Яковицкая, М.В. Курленя, А.Г. Вострецов, Г.Е. Кулаков // ФТПРПИ. – 2001. – № 3. – С. 41 – 52.*

4. *Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород [Текст] / А.Г. Вострецов, Г.И. Кулаков, М.В. Курленя, Г.Е. Яковицкая. – Н-ск: Изд-во СО РАН, 2000. – 250 с.*

5. *Бакаев, О.В. Экспериментальные исследования электромагнитного и акустического излучения при деформации образцов горных пород [Текст] / О.В. Бакаев, А.И. Спужакин // Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва. – 2006. – С. 145 – 165.*

6. *Месарович, М. Общая теория систем: математические основы [Текст] / М. Месарович, Я. Тахакара. – М.: Мир, 1978. – 312 с.*

7. *Якобсон, И. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения [Текст] / И. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо. – СПб.: Питер, 2002. – 458 с.*

*Поступила в редакцию 8.02.2013, рассмотрена на редколлегии 6.03.2013*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. компьютерных систем и сетей В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

## ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ МОНІТОРИНГУ ПРИХОВАНОГО ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ПОПЕРЕДУ ОЧИСНОГО ВИБОЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

*О.В. Бакаев*

Запропонована інформаційна модель моніторингу прихованого тріщиноутворення в площині виемочного стовпа попереду очисного вибою. а також в примикаючих підготовчих гірничих виробітках. Проведена декомпозиція комп'ютерної системи моніторингу процесу тріщиноутворення в вуглепородному масиві. Первинною інформацією для цієї системи є пасивна електромагнітна та акустична емісія в вуглепородному масиві. Наведено опис отриманих підсистем та їх взаємодія шляхом перетворення і передачі інформації для системи моніторингу. Описано основні інформаційні потоки системи та її етапи функціонування. Запропонована архітектура комп'ютерної системи моніторингу процесу тріщиноутворення в вуглепородному масиві. Описані компоненти системи моніторингу та їх призначення.

**Ключові слова:** інформаційна система, моніторинг, тріщиноутворення, вуглепородний масив, пасивна електромагнітна та акустична емісія, прогноз газодинамічних явищ.

## INFORMATION MODEL OF MONITORING LATENT FORMATION OF CRACKS IN FRONT OF BREAKAGE HEADING OF COAL MINE

*O.V. Bakayev*

The informative model of latent formation of cracks in the coal pole flatness in front of cleaning backwall as well as in preparatory mountain making monitoring is presented. Decomposition the monitoring computer system of the latent formation of cracks was carried out. The primary information for this system is passive electromagnetic and seismic emission of coal containing massif. The subsystems and their interactions by transforming and transmitting information to the monitoring system was described. The basic flows of information system and its phases of operation was described. Architecture of a computer system for monitoring the process of latent formation of cracks was proposed. The components of the monitoring system and their purpose was described.

**Key words:** informative system, monitoring, latent formation of cracks, coal containing massif, passive electromagnetic and seismic emission, prognosis of the gas-dynamic phenomena forecast.

**Бакаев Олег Викторович** – директор гос. НПП «Фотон», старший преподаватель кафедры «Специализированные компьютерные системы» Донбасского государственного технического университета, Алчевск, Украина, e-mail: foton\_777@mail.ru,