Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т./XVIII, вып. 1, 1975 г.

РАСПОЗНАВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ КРОВЛИ ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ЕЕ ДЕФОРМАЦИЙ

М.А.Борисова

В условиях больших обнажений кровли, например, при разработке полезных ископаемых системой камер (или камер-лав), информация о горногеологических характеристиках приобретает особое значение. Изменение физико-механических свойств кровли, вызываемое геологическими нарушениями, приводит к интенсивному ее деформированию на ослабленных участках. Вследствие этого в кровле возникают аномальные зоны деформаций, что приводит к частичному снижению ее устойчивости по месту расположения аномальной зоны или по всей площади обнажения.

Своевременное подкрепление аномальных зон кровли позволит существенно повысить безопасность ведения горных работ, обеспечит возможность доработки очистных забоев до проектной величины пролета. Из-за отсутствия разработанных методов и измерительной аппаратуры геологические нарушения в кровле очистных забоев зачастую выявляются с заметным запаздыванием, границы зон аномальных деформаций определяются неточно; в совокупности это значительно снижает эффективность принимаемых мер.

Систематический автоматизированный контроль за деформациями кровли в очистных забоях с помощью комплекса датчиков дает возможность своевременно обнаруживать аномальные зоны и определять их типы. При этом размещать датчики следует в узлах сетки, образованной линиями, параллельными и перпендикулярными забою [1].

Весьма существенным для оперативного управления устойчивостью кровли является информация о типе геологического нарушения, вызвавшего возникновение аномальной зоны деформаций.

Параметры аномальных зон деформаций кровли являются косвенными признаками геологических нарушений, вызывающих образование этих зон. Каждый из параметров в отдельности еще не дает оснований для

определения типа геологического нарушения, но их совокупность позволяет сопоставить каждому геологическому нарушению аномальную зону определенного класса. Аномальные зоны деформаций кровли характеризуют их конфигурация, преимущественное направление, охватываемая площадь и т.д.

По данным о деформациях кровли в камерах-лавах шахт комбината "Ленинградсланец" для описания аномальных зон выделено восемь признаков (см.таблицу).

На основании приведенной классификации аномальных зон, а также полученных ранее уравнений деформаций кровли в очистных забоях [2,3] и осуществляется решение задачи распознавания классов аномальных зон. При небольшой глубине залегания пологого пласта (как, например, в условиях шахт "Ленинградсланца") для квазиоднородной кровли процесс ее деформаций во время отработки очистного забоя полностью описывается выражением

$$W_p(x,y)=\frac{\left(1+\chi\frac{b}{b_к}\right)}{\frac{Eh^3}{\frac{3}{2}(1-\mu^2)q_\gamma b_1^4\frac{n^4}{3+3n^4+2n^2}\left(\frac{x^2}{a_1^2}-\frac{y^2}{b_1^2}-1\right)}+\frac{\lambda}{q_\gamma}}+\Delta h, \qquad (1)$$

где $W_p(x,y)$ – расчетное значение деформации кровли в точке с координатами x,y в текущий момент времени, м; E – модуль продольной упругости, тс/м^2; μ – коэффициент Пуассона; λ – приведенная жесткость крепи, тс/м; χ – эмпирический коэффициент, отражающий величину ползучести пород кровли при наличии крепи; q_γ – собственный вес пачки слоев непосредственной кровли, т/м^2; $b=2b_1$ – наименьший размер обнажения кровли, м; $a=2a_1$ – наибольший размер обнажения кровли, м; $b_к$ – проектная конечная ширина обнажения кровли, м; $n=a/b$ – соотношение размеров обнажения кровли; Δh – деформация междукамерных целиков, м.

На участках, соответствующих аномальным зонам, деформации кровли выходят за пределы ожидаемых расчетных значений (норм), определяемых по формуле (1). На основании сравнения показаний датчика с нормами может быть сформирована матрица отклонений $\Delta=\{\Delta_{nm}\}$ размерностью $N\times M$, элементами которой являются разности вида

$$\Delta_{nm}=W_j-W_{pj}, \qquad (2)$$

где N – число датчиков в ряду, параллельном забою, и n – номер датчика в этом ряду; M – число датчиков в ряду, перпендикулярном забою, и m – номер датчика в этом ряду; W_j – величина деформации кровли, зарегистрированная датчиком с номером j в сквозной нумерации; W_{pj} – расчетная величина деформации кровли, определенная по формуле (1), для точки установки j-го датчика.

Связь номера датчика j с элементами матрицы определяется выражением

Классификация аномальных зон

Класс нарушения	Характеристика зон							
	Преимущественное направление	Протяженность		Расположение			Число зон	Площадь от общей площади обнажения, %
		в направлении, параллельном забою	в направлении, параллельном бортовым целикам	относительно бортовых датчиков	относительно забоя и заднего целика	относительно центра камеры-лавы		
1. Изменение физико-механических свойств	Не имеет	Почти по всей длине камеры-лавы	Почти по всей ширине камеры-лавы	Несколько не доходит до заднего целика	Несколько не доходит до заднего целика	Захватывает центр камеры-лавы	Одна	Не менее 70
2. Карст	Параллельно бортовым целикам	До 60 м общей длины камеры-лавы	Практически по всей ширине камеры-лавы	У одного из бортовых целиков	По всей ширине камеры-лавы, от забоя до заднего целика	Смещена к одному из бортовых целиков	Одна	До 30
3. Трещины	Параллельно линии забоя	В зависимости от количества трещин и их свойств – до 80% общей длины	В зависимости от количества трещин но не более 2/3 от всей ширины	Не доходит до бортовых целиков	Не доходит до забоя и заднего целика	Может захватывать центр или смещаться к забою либо заднему целику	Одна	Не более 40–50
4. Карст и трещина	Ярко выражены признаки второго и третьего классов нарушений						Одна Т-образная зона или две 2-го и 3-го классов, если трещина слабо выражена	Менее 70
5. Площадное нарушение	Любое	Невелика, менее 60 м	Невелика, менее половины ширины камеры-лавы	В любом месте	В любом месте	В любом месте	Не более двух	В пределах 25
6. Местное нарушение	Не имеет	Мала	Мала	В любом месте	В любом месте	В любом месте	Обычно не более трех	Менее 10 (обычно 5–6)

$$j=(m-1)N+n\,. \qquad (3)$$

Распознавание класса аномальной зоны деформаций кровли (см.схему) осуществляется в четыре этапа.

Первый этап – сокращение объема информации. Для аномальных зон элементы матрицы Δ будут положительными, а в условиях деформаций кровли, не выходящих за пределы норм, – нулевыми или отрицательными. Для определения характеристик аномальной зоны согласно выбранному набору признаков важен только сам факт попадания датчика в аномальную зону. Это дает возможность перейти от матрице Δ к матрице $D_1=\{d_{nm}\}$ такой же размерности, элементами которой являются 0 или 1. Значение элемента определяется по следующему правилу:

$$d_{nm}=\begin{cases}1, & \text{если } \Delta_{nm}>0\\ 0, & \text{если } \Delta_{nm}\leqslant 0\,.\end{cases}$$

Второй этап – разделение классов аномальных зон на группы. Производится по признаку охватываемой ими площади. В первую группу попадает только один класс – кровля с пониженными физико-механическими свойствами (см.таблицу). Выделение этого класса осуществляется оценкой числа датчиков, попавших в аномальную зону (значение счетчика k_1), по сравнению с их общим числом N_r.

Для дальнейшего разделения классов на группы формируются два вектора: $D_2=\{d_n\}$ (где $n=1,2,\ldots,N$) и $D_3=\{d_m\}$ (где $m=1,2,\ldots,M$). Элементы векторов определяются следующим образом. Подсчитывается сумма элементов матрицы D_1 сначала для каждого столбца

$$S_n=\sum_{m=1}^{M}d_{nm}\,,$$

а затем для каждой строки

$$S_m=\sum_{n=1}^{N}d_{nm}\,.$$

Элементу вектора $D_2=\{d_n\}$ присваивается значение 0 или 1 по правилу

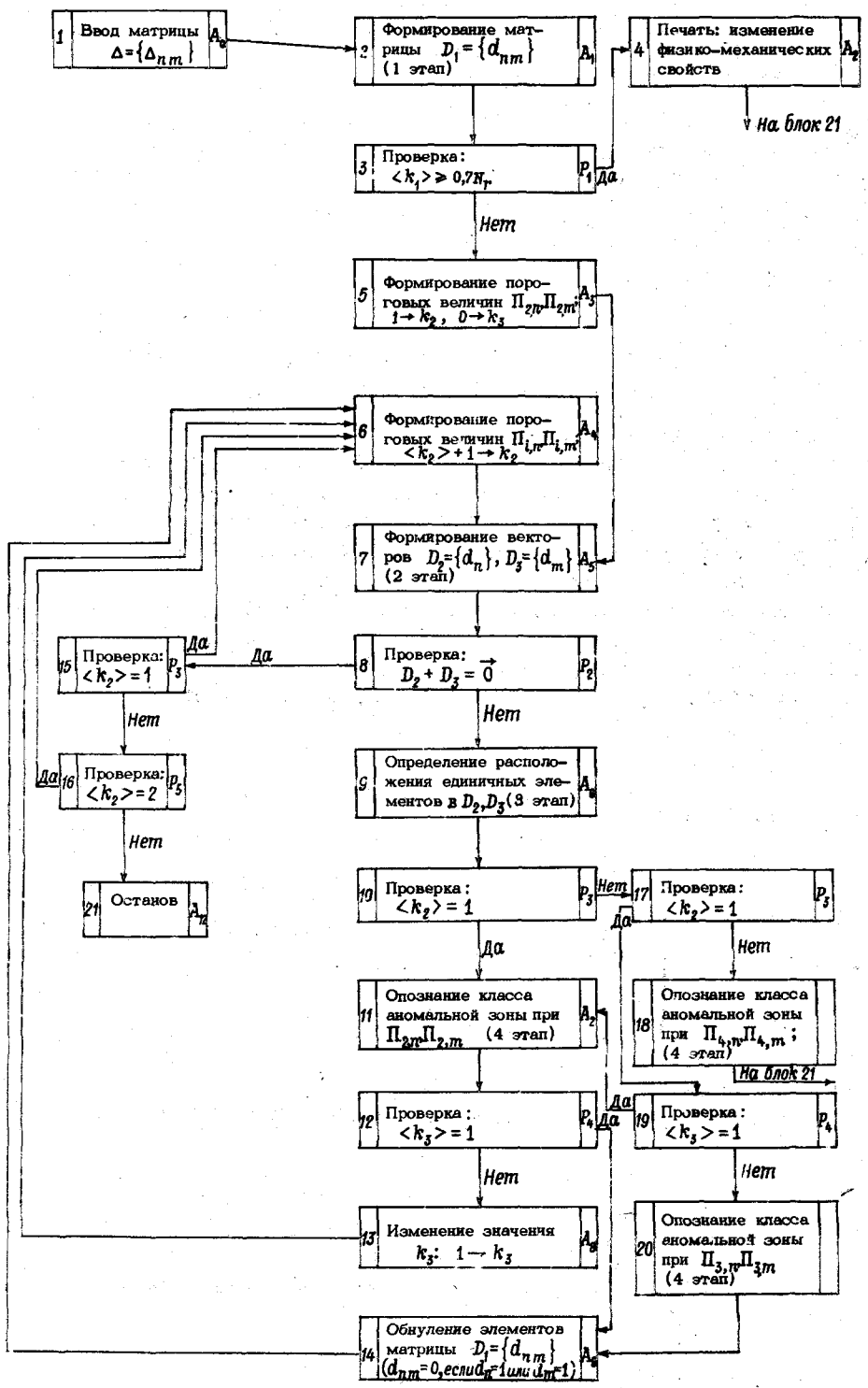
$$d_n=\begin{cases}1, & \text{если } S_n\geqslant \Pi_{i,n}\\ 0, & \text{если } S_n<\Pi_{i,n}\end{cases}\,. \qquad (4)$$

Элементу вектора $D_3=\{d_m\}$ аналогично присваивается значение 1 и 0:

$$d_m=\begin{cases}1, & \text{если } S_m\geqslant \Pi_{i,m}\\ 0, & \text{если } S_m<\Pi_{i,m}\end{cases}\,. \qquad (5)$$

В формулах (4) и (5) $\Pi_{i,n}$ и $\Pi_{i,m}$ – пороговые значения, огра-

Укрупненная структурная схема автоматической классификации геологических нарушений кровли



ничивающие минимальное количество единиц в суммах, соответственно, с индексом n – по столбцу, с индексом m – по строке; i – номер группы классов, при выделении которой используется данный порог.

Оставшиеся классы аномальных зон делятся на три группы. Для разделения классов на группы были определены [3] пороговые значения

$$\begin{cases} \Pi_{2,n} = \frac{M}{2} + 1 \\ \Pi_{2,m} = \frac{N}{2} + 1 \end{cases}; \quad \begin{cases} \Pi_{3,n} = \frac{M}{2} \\ \Pi_{3,m} = \frac{N}{2} - 2 \end{cases}; \quad \begin{cases} \Pi_{4,n} = 1 \\ \Pi_{4,m} = 1 \end{cases}.$$

В сформированных по формулам (4) и (5) векторах D_2 и D_3 преимущественное направление аномальной зоны характеризуется количеством элементов со значением 1 и принадлежностью их к одному из векторов, а протяженность в направлении, совпадающем с линией забоя и направлением бортовых целиков, определяется тем, при какой паре порогов сформированы векторы.

Сформированные векторы D_2 и D_3 служат входной информацией для третьего этапа распознавания.

Третий этап – определение расположения единичных элементов в векторах D_2 и D_3. Векторы D_2 и D_3 по существу являются своеобразными "проекциями" аномальной зоны на две взаимно перпендикулярные оси, одна из которых параллельна забою, а вторая – бортовым целикам. При этом расположение в них элементов, имеющих значение 1, характеризует положение аномальной зоны относительно бортовых и заднего целиков, центра обнажения, а также количество аномальных зон.

Для упрощения дальнейшего изложения введем некоторые дополнительные обозначения. Прежде всего под вектором $D=\{d_i\}$ условимся понимать один из векторов D_2 или D_3. Будем говорить, что вектор D размерности r содержит компактную группу единиц, если все его единичные элементы расположены подряд.

Все возможные случаи взаимного расположения 0 и 1 в D исчерпываются следующими ситуациями: а) $D \in k_1$, если $d_1 = d_r = 0$ и D содержит компактную группу единиц; б) $D \in k_2$, если D не содержит компактной группы единиц; в) $D \in k_3$, если $d_1 + d_r > 0$ и D содержит компактную группу единиц; г) $D \in k_4$, если $D = \vec{0}$. При этом считаем, что любой из перечисленных случаев исключает остальные.

Определив расположение элементов со значением 1 в векторах D_2 и D_3, сформируем вектор $C=\{c_i\}$ (где $i = 1,2,\ldots 6$). При этом элементы C_1, C_2, C_3 определяются при анализе D_2, а C_4, C_5, C_6 – при анализе D_3 по следующим правилам:

$$C_i = \begin{cases} 1, \text{ если } D_2 \in k_i \\ 0 \text{ в противном случае} \end{cases} \quad i = 1,2,3;$$

$$C_i = \begin{cases} 1, \text{ если } D_3 \in k_{i-3} \\ 0 \text{ в противном случае} \end{cases}, \quad i = 4,5,6.$$

Сформированный таким образом шестимерный вектор C несет в себе информацию об аномальной зоне деформаций кровли по всему набору признаков, указанному в таблице.

Четвертый этап – опознание класса аномальной зоны. Вектор C, согласно правилам его формирования, может иметь не более двух элементов со значением 1.

В результате подробного анализа всех возможных значений вектора C, а также сопоставления значений вектора с данными таблицами [3] можно сформировать шестимерные векторы $R_1 - R_6$, элементами которых являются нули и единицы:

$$R_1 = \{1,1,1,0,1,0\}; \quad R_2 = \{1,1,0,1,1,1\}; \quad R_3 = \{0,0,0,0,1,0\};$$

$$R_4 = \{1,1,1,0,1,0\}; \quad R_5 = \{0,1,0,0,1,0\}; \quad R_6 = \{0,1,0,0,1,0\}.$$

В результате покоординатного перемножения сформированного вектора C *на один из векторов* $R_1 - R_6$, *согласно приведенным ниже* равенствам, происходит распознавание класса аномальной зоны: $C \wedge R_1 = \vec{0}$ – "ТРЕЩИНА"; $C \wedge R_2 = \vec{0}$ – "КАРСТ"; $C \wedge R_3 = \vec{0}$ – "КАРСТ и ТРЕЩИНА"; $C \wedge R_4 = \vec{0}$ – "ВЫРОЖДЕННАЯ ТРЕЩИНА"; $C \wedge R_5 = \vec{0}$ – "ПЛОЩАДНОЕ НАРУШЕНИЕ"; $C \wedge R_6 = \vec{0}$ – "МЕСТНОЕ НАРУШЕНИЕ" ($\wedge$ означает покоординатное умножение).

Над векторами D_2 и D_3, сформированными при $\Pi_{2,n}$ и $\Pi_{2,m}$, производятся преобразования третьего и четвертого этапов распознавания, после чего происходит возвращение ко второму этапу для формирования векторов D_2 и D_3 с очередной парой $\Pi_{i,n}, \Pi_{i,m}$ и т.д., пока не будут выполнены преобразования четвертого этапа над векторами, сформированными при $\Pi_{4,n}$, $\Pi_{4,m}$.

При формировании D_2 и D_3 с использованием первой пары пороговых значений для определения класса аномальной зоны производится последовательное логическое умножение вектора C на векторы R_1, R_2 и R_3. Если используется вторая пара пороговых значений, то берутся векторы R_4 и R_5. В последнем случае используется лишь вектор R_6. При этом, если $C \wedge R_6 = \vec{0}$, то опознан класс "МЕСТНОЕ НАРУШЕНИЕ", в противном случае в кровле имеется "БОЛЕЕ ОДНОГО МЕСТНОГО НАРУШЕНИЯ".

Таким образом, решение задачи о распознавании классов аномальных зон деформаций кровли позволит дифференцированно выбирать паспорта крепления. Соответствие паспорта крепления конкретному обнажению кровли достигается снижением плотности крепи в очистном забое в целом и установкой дополнительных рядов крепления по месту действия геологического нарушения. Оперативное управление устойчивостью кровли, осуществляемое сгущением или разряжением крепи, даст возможность существенно повысить безопасность ведения очистных работ, а также получить значительный экономический эффект за счет экономии леса.

Изучение и обобщение данных, накопленных при систематическом контроле деформаций кровли в течение длительного периода времени, позволит в дальнейшем выявить ряд прототипов процесса деформаций кровли в очистных забоях. Сравнение реального процесса деформаций кровли в контролируемом очистном забое с найденными прототипами даст возмож-

ность определять оптимальный паспорт крепи в каждом конкретном случае в течение первых дней отработки данного обнажения.

Литература

1. Борисова М.А. Математическая формализация и блок-схема алгоритма переработки информации об опусканиях кровли в лавах. – "Технология добычи угля подземным способом." М., изд.ЦНИЭИуголь, 1973, № 3.

2. Борисова М.А. Основы методики систематического контроля опусканий кровли в очистных забоях. – Зап. ЛГИ, т.61, вып. 1, Л., 1972.

3. Борисова М.А. Разработка методов оперативного контроля и прогноза деформаций кровли очистных забоев с помощью ЭВМ. – Автореф. канд. дисс. Изд. ЛГИ, 1973.