

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **048090**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.10.24

(51) Int. Cl. *E21C 41/16* (2006.01)
G01V 1/28 (2006.01)

(21) Номер заявки
202391805

(22) Дата подачи заявки
2023.06.19

(54) **СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОЧАГОВ РАЗРУШЕНИЯ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

(31) **2023/0106.1**

(56) SU-A1-1752942

(32) **2023.02.20**

SU-A3-1789019

(33) **KZ**

RU-C1-2753166

(43) **2024.08.30**

SU-A1-242430

(96) **KZ2023/041 (KZ) 2023.06.19**

WO-A2-2009007822

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**НЕКОММЕРЧЕСКОЕ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ К.И. САТПАЕВА" (KZ)**

(72) Изобретатель:

**Имансакипова Ботакоз Бекетовна,
Сакабеков Аужан, Васильев Иван
Вениаминович, Айтказинова Шынар
Касымкановна (KZ), Сдвижкова
Елена Александровна (UA), Рысбеков
Канай Бахытович, Исабаев Кайыргай
Жулдызтаевич (KZ)**

(57) Изобретение относится к горной промышленности, а именно к подземной разработке месторождений полезных ископаемых в условиях локального разрушения горного массива, и может быть использовано для обеспечения промышленной и экологической безопасности при проведении горных работ, полноты извлечения полезных ископаемых на проблемных участках. Разработан способ локализации очагов разрушений в массиве горных пород при подземной разработке полезных ископаемых по пеленгу на источник сейсмоакустической эмиссии, сопровождающей процесс, путем определения пеленга на очаг разрушения в массиве горных пород (МГП) на основе геометрических соотношений расстояний между датчиками системы регистрации, полученных по их координатам, и расстояниями каждого датчика до его проекции на фронт волны, определяемые по скорости сейсмоакустической волны (САВ) и временами задержки, устанавливаются для каждой системы пеленг на очаг разрушения по прямой, проходящей через ее центр и очаг разрушения в МГП, совпадающей с направлением нормали к фронту волны. Техническим результатом является повышение точности определения координат очагов разрушения в МГП для обеспечения промышленной и экологической безопасности, а также полноты извлечения полезных ископаемых на проблемных участках.

B1

048090

048090

B1

Изобретение относится к горной промышленности, а именно к подземной разработке месторождений полезных ископаемых в условиях локального разрушения горного массива, и может быть использовано для обеспечения промышленной и экологической безопасности при проведении горных работ, полноты извлечения полезных ископаемых на проблемных участках.

Известен способ диагностики повреждений конструкций и деталей, патент [№ 2352931 РФ, Бюл. 11, 2009], заключающийся в том, что устанавливают на равностороннем треугольнике в его вершинах приемники, сторона треугольника менее 100 мм, а скорость звука в материале треугольника меньше скорости в детали. Приемники имеют акустический контакт с деталью. Измеряют временные задержки прихода сигнала акустической эмиссии (АЭ) в вершины треугольника от места нахождения дефекта, определяют по временным задержкам направление из центра треугольника на дефект, который излучает сигнал АЭ, учитывают какие и сколько дефектов имеется для данной точки треугольника, определяют углы между направлением на дефекты (если их больше одного) и плоскостью размещения треугольника. Переносят треугольник с приемниками в другую характерную точку и выполняют те же действия, что были выполнены для первой точки размещения треугольника, определяют точки пересечения направлений из обеих точек, анализируют информацию измерений и делают выводы о пригодности детали к использованию.

Основными недостатками способа является:

низкая точность определения местоположения дефектов в детали за счет двойного измерения АЭ и временных задержек, которые отличаются друг от друга,

низкая оперативность. Так как для получения информации увеличено время в два раза за счет выполнения необходимых действий при выполнении эксперимента измерений.

Существует способ [заявка на изобретение № 119901 РФ, дата публикации заявки 10.12.2005] определения местоположения гипоцентра и эпицентра афтершока, основанный на контроле сейсмических сигналов заключается в том, что в сейсмической зоне устанавливают сейсмостанции, регистрируют сейсмические сигналы от афтершоков и вычисляет дальность от сейсмостанции до афтершока, сейсмоприемники устанавливают в горизонтальной плоскости на коренных породах вершинах равностороннего треугольника со стороной менее 1000 мм, определяют в этой породе время прохождения сейсмосигналом расстояния равного стороне треугольника, измеряют скорости продольной волны и поперечной, в объеме горной породы расположения треугольника, принимают сейсмические сигналы от афтершоков, измеряют временные задержки приема датчиками сигнала, величинами пропорциональными проекциям сторон треугольника на нормали к фронту сейсмоакустической волны (САВ) по временам задержки угол между нормалью и заданным началом отсчета по тригонометрической зависимости между ними.

Основным недостатком способа является зависимость точности пеленгации от направления распространения фронта сейсмоакустической волны по отношению к плоскости, на которой расположены датчики. Наибольшая точность пеленга соответствует нахождению источника излучения сигнала и датчиков в одной плоскости. Кроме того, нелинейная, синусоидальная зависимость проекций сторон треугольника на нормаль к фронту волны, может считаться линейной и соответствующей максимальной точности пеленга, только в окрестности нулевого значения аргумента синуса, что накладывает ограничения на величину времени задержки. Другим недостатком является определение пеленга относительно плоскости, в которой расположены датчики, без привязки к единой системе координат месторождения.

Несмотря на принципиальную разницу в целях, общей основой способов для их достижения является определение координат реализации события по временам задержки прихода САВ волны к датчикам, установленным в вершинах равностороннего треугольника на основе следующей теоремы. Если некоторая прямая, первоначально совпадающая с биссектрисой равностороннего треугольника со стороной l , вращается в плоскости треугольника вокруг его центра, то проекции S_1, S_2, S_3 сторон треугольника изменяется по закону синуса:

$$S_1 = l \sin(60^\circ + \varphi), \quad S_2 = l \sin \varphi, \quad S_3 = l \sin(60^\circ - \varphi), \quad (1)$$

где φ - угол поворота прямой относительно первоначального положения биссектрисы треугольника.

В способах используется не проекции (линейные размеры), а величины пропорциональные линейным размерам - задержки времени t_1, t_2, t_3 прихода сейсмоакустического сигнала вершины равностороннего треугольника. В соответствии с этим времена задержки выражается следующим образом:

$$t_1 = T \sin(60^\circ + \varphi), \quad t_2 = T \sin \varphi, \quad t_3 = T \sin(60^\circ - \varphi), \quad (2)$$

где $T = l/V$ - время прохождения волной расстояния, равного длине сторон треугольника.

Если задержки времени измерены, то угол φ однозначно определяется по формулам:

$$\varphi = -60^\circ / \arcsin(t_1/T), \quad \varphi = \arcsin(t_2/T), \quad \varphi = 60^\circ - \arcsin(t_3/T), \quad (3)$$

Техническая задача заключается в разработке способа локализации очагов разрушения в массиве горных пород (МГП) при подземной добыче полезных ископаемых по пеленгу на источник сейсмоакустической эмиссии (САЭ), сопровождающей эти процессы.

Техническим результатом является повышение точности определения координат очагов разрушения в МГП для обеспечения промышленной и экологической безопасности, а также полноты извлечения полезных ископаемых на проблемных участках.

Технический результат достигается определением пеленга на очаг разрушения в МГП на основе геометрических соотношений расстояний между датчиками системы регистрации, полученных по их координатам и расстояниями каждого датчика до его проекции на фронт волны, определяемые по скорости САВ и временами задержки устанавливаются для каждой системы пеленг на очаг разрушения по прямой проходящей через ее центр и очаг разрушения в МГП, совпадающей с направлением к нормали фронта волны.

Пеленг на источник эмиссии основан на регистрации сейсмоакустических волн тремя датчики приема не лежащими на одной прямой (фиг. 1).

Распространяясь в горном массиве, волна проходит каждый из датчиков с координатами $M_i(x_i, y_i, z_i)$ в момент времени t_i . Обозначим проекции точек M_i на плоскость фронта волны через $V_i(a_i, b_i, c_i)$, где $i=1, 2, 3$. В момент времени t_1 прохождения волной датчика M_1 его координаты и проекция совпадают: $x_1=a_1$; $y_1=b_1$; $z_1=c_1$ и точка M_1 становится общей вершиной треугольников M_1, M_2, M_3 и его проекции на фронт волны M_1, V_2, V_3 .

При этом расстояние между другими датчиками и соответствующими проекциями будут равны $V_2, M_2=v(t_2-t_1)$ и $V_3, M_3=v(t_3-t_1)$. Из построения проекций и их свойств, используя теорему Пифагора для прямоугольных треугольников M_1, V_2, M_2 и M_1, V_3, M_3 и условия ортогональности прямых V_3M_3 и V_3M_1 , V_2M_2 и V_2M_1 , V_3M_3 и V_3V_2 , V_2M_2 и V_2V_3 , после несложных преобразований получается следующая система нелинейных алгебраических уравнений относительно шести неизвестных - a_2, b_2, c_2 и a_3, b_3, c_3

$$\left. \begin{aligned} (a_2 - x_1)^2 + (b_2 - y_1)^2 + (c_2 - z_1)^2 &= d^2(M_1, M_2) - v^2(t_2 - t_1)^2 \\ (a_3 - x_1)^2 + (b_3 - y_1)^2 + (c_3 - z_1)^2 &= d^2(M_1, M_3) - v^2(t_3 - t_1)^2 \\ (x_1 - x_3)(a_3 - x_1) + (y_1 - y_3)(b_3 - y_1) + (z_1 - z_3)(c_3 - z_1) &= v^2(t_3 - t_1)^2 - d^2(M_1, M_3) \\ (x_1 - x_2)(a_2 - x_1) + (y_1 - y_2)(b_2 - y_1) + (z_1 - z_2)(c_2 - z_1) &= v^2(t_2 - t_1)^2 - d^2(M_1, M_2) \\ (a_3 - x_3)(a_2 - x_1) + (b_3 - y_3)(b_2 - y_1) + (c_3 - z_3)(c_2 - z_1) &= 0 \\ (a_2 - x_2)(a_3 - x_1) + (b_2 - y_2)(b_3 - y_1) + (c_2 - z_2)(c_3 - z_1) &= 0 \end{aligned} \right\} (4)$$

Система эффективно решается методом Ньютона-Рафсона. Для этого необходимо представить ее в векторной форме:

$$\left. \begin{aligned} f_1 &\equiv (a_2 - x_1)^2 + (b_2 - y_1)^2 + (c_2 - z_1)^2 - d^2(M_1, M_2) + v^2(t_2 - t_1)^2 = 0 \\ f_2 &\equiv (a_3 - x_1)^2 + (b_3 - y_1)^2 + (c_3 - z_1)^2 - d^2(M_1, M_3) + v^2(t_3 - t_1)^2 = 0 \\ f_3 &\equiv (x_1 - x_3)(a_3 - x_1) + (y_1 - y_3)(b_3 - y_1) + (z_1 - z_3)(c_3 - z_1) - v^2(t_3 - t_1)^2 + d^2(M_1, M_3) = 0 \\ f_4 &\equiv (x_1 - x_2)(a_2 - x_1) + (y_1 - y_2)(b_2 - y_1) + (z_1 - z_2)(c_2 - z_1) - v^2(t_2 - t_1)^2 + d^2(M_1, M_2) = 0 \\ f_5 &\equiv (a_3 - x_3)(a_2 - x_1) + (b_3 - y_3)(b_2 - y_1) + (c_3 - z_3)(c_2 - z_1) = 0 \\ f_6 &\equiv (a_2 - x_2)(a_3 - x_1) + (b_2 - y_2)(b_3 - y_1) + (c_2 - z_2)(c_3 - z_1) = 0 \end{aligned} \right\} (5)$$

где

$$f_1 = f_1(a_2, b_2, c_2), f_2 = f_2(a_3, b_3, c_3), f_3 = f_3(a_3, b_3, c_3), f_4 = f_4(a_2, b_2, c_2), \\ f_5 = f_5(a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3), f_6 = f_6(a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3).$$

Введя обозначения $x=(a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3)'$, $F=(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6)'$ и запишем систему уравнений (5) примет вид:

$$F(x) = 0 \quad (6)$$

Используя итерационный механизм метода:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - [W(x^{(k)})]^{-1} F(x^{(k)}), \quad (7)$$

где $x^{(k)}=(a_2^{(k)}, b_2^{(k)}, c_2^{(k)}, a_3^{(k)}, b_3^{(k)}, c_3^{(k)})'$, матрица Якоби, $W(x^{(k)})$ равная:

$$W(x^{(k)}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial a_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_1}{\partial b_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_1}{\partial c_2}(x^{(k)}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial f_2}{\partial a_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_2}{\partial b_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_2}{\partial c_3}(x^{(k)}) \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial f_3}{\partial a_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_3}{\partial b_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_3}{\partial c_3}(x^{(k)}) \\ \frac{\partial f_4}{\partial a_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_4}{\partial b_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_4}{\partial c_2}(x^{(k)}) & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial f_5}{\partial a_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_5}{\partial b_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_5}{\partial c_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_5}{\partial a_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_5}{\partial b_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_5}{\partial c_3}(x^{(k)}) \\ \frac{\partial f_6}{\partial a_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_6}{\partial b_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_6}{\partial c_2}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_6}{\partial a_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_6}{\partial b_3}(x^{(k)}) & \frac{\partial f_6}{\partial c_3}(x^{(k)}) \end{pmatrix} \quad (8)$$

функция $F(x)$ в итерационном виде

$$F(x^{(k)}) = \begin{cases} f_1(a_2^{(k)}, b_2^{(k)}, c_2^{(k)}, a_3^{(k)}, b_3^{(k)}, c_3^{(k)}) \\ f_2(a_2^{(k)}, b_2^{(k)}, c_2^{(k)}, a_3^{(k)}, b_3^{(k)}, c_3^{(k)}) \\ f_3(a_2^{(k)}, b_2^{(k)}, c_2^{(k)}, a_3^{(k)}, b_3^{(k)}, c_3^{(k)}) \\ f_4(a_2^{(k)}, b_2^{(k)}, c_2^{(k)}, a_3^{(k)}, b_3^{(k)}, c_3^{(k)}) \\ f_5(a_2^{(k)}, b_2^{(k)}, c_2^{(k)}, a_3^{(k)}, b_3^{(k)}, c_3^{(k)}) \\ f_6(a_2^{(k)}, b_2^{(k)}, c_2^{(k)}, a_3^{(k)}, b_3^{(k)}, c_3^{(k)}) \end{cases} \quad (9)$$

Задавая число итерационных циклов k в соответствии с разработанным алгоритмом по созданной программе на языке MatLAB с требуемой точностью вычисляются координаты точек $B_2(a_2, b_2, c_2)$ и $B_3(a_3, b_3, c_3)$. Для проверки сходимости итерационного процесса применяется критерий $|x^{(k+1)} - x^{(k)}| < \epsilon$, где ϵ - достаточно малое число, задаваемое исходя из требований к точности получаемых результатов. По найденным значениям координат точек B_1 и B_2 , известных координат точки M_1 находится уравнение плоскости фронта волны, проходящей через точки M_1 , B_1 , B_2 в момент времени t_1 , уравнение прямой, определяющей его направление распространения, совпадающее с нормалью к фронту волны \vec{N} , и угловой пеленг на источник сейсмоакустической эмиссии. Пеленг определяется углами φ и θ :

$$\varphi = \arctg \frac{(a_2 - x_1)(c_3 - z_1) - (a_3 - x_1)(c_2 - z_1)}{(b_2 - y_1)(c_3 - z_1) - (b_3 - y_1)(c_2 - z_1)} \quad (10)$$

$$\theta = \arcsin \frac{(a_3 - x_1)(c_2 - z_1) - (a_2 - x_1)(c_3 - z_1)}{|\vec{N}|},$$

где φ - угол между проекцией нормали к фронту волны N на плоскость O_{xy} с осью O_x , θ - угол между вектором N и его проекцией на ось O_z (фиг. 2). Модуль N равен:

$$|\vec{N}| = \left([(b_2 - y_1)(c_3 - z_1) - (b_3 - y_1)(c_2 - z_1)]^2 + [(a_2 - x_1)(c_3 - z_1) - (a_3 - x_1)(c_2 - z_1)]^2 + [(a_3 - x_1)(c_2 - z_1) - (a_2 - x_1)(c_3 - z_1)]^2 \right)^{1/2} \quad (11)$$

По азимуту θ и углу места φ определяют направление прямой проходящей через очаг разрушения 2 и центр системы регистрации O , совпадающей с нормалью \vec{N} к фронту волны 1. Локализация очагов разрушения определяется пересечением пеленгов p_1 и p_2 (точка 2), полученных двумя системами регистрации O_1 и O_2 (фиг. 3).

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

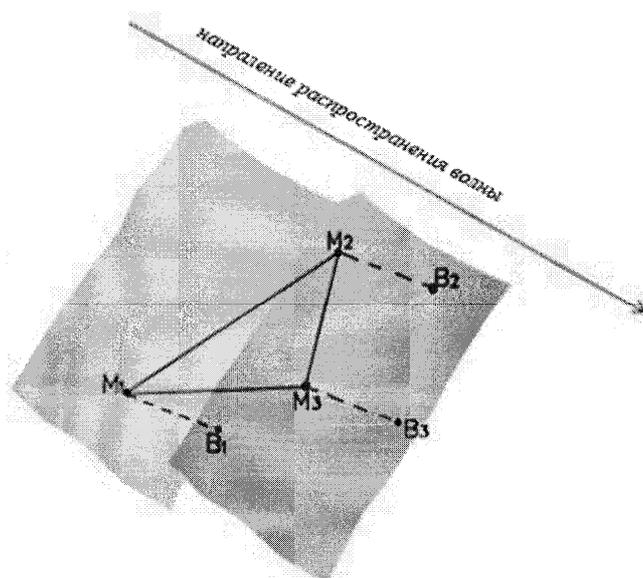
Способ локализации очагов разрушения в массиве горных пород при подземной разработке полезных ископаемых, включающий установку на обнаженных плоскостях горного массива двух систем регистрации сигнала сейсмоакустической эмиссии в виде треугольников, размещенных в вершинах треугольника датчиков приема сигналов, измерение временных задержек прихода фронта волны к датчикам, отличающийся тем, что датчики системы регистрации размещают в вершинах произвольного треугольника, каждый датчик системы регистрации непосредственно закрепляется к массиву горных пород, измеряют координаты датчика в единой системе отсчета месторождения, по координатам датчиков (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) и (x_3, y_3, z_3) рассчитывают расстояние между ними и определяют координаты центра системы x_{c1}, y_{c1}, z_{c1} , по скорости сейсмоакустической волны в горном массиве и измеренным временам задержки прихода волны к датчикам определяют расстояние между датчиком и его проекцией на фронт волны в фиксированный момент времени, по геометрическим соотношениям расстояний между датчиками системы регистрации и их проекциями вычисляют итерационным методом координаты проекции датчиков (a_1, b_1, c_1) , (a_2, b_2, c_2) и (a_3, b_3, c_3) , устанавливают для каждой системы пеленг (азимут θ_1 и угол места φ_1) на очаг разрушения, определяющий направление прямой проходящей через ее центр и очаг разрушения в массиве горных пород, совпадающий с направлением нормали к фронту волны \vec{N}_1 , которые определяют по следующим математическим выражениям:

$$\varphi = \arctg \frac{(a_2 - x_{c1})(c_3 - z_{c1}) - (a_3 - x_{c1})(c_2 - z_{c1})}{(b_2 - y_{c1})(c_3 - z_{c1}) - (b_3 - y_{c1})(c_2 - z_{c1})},$$

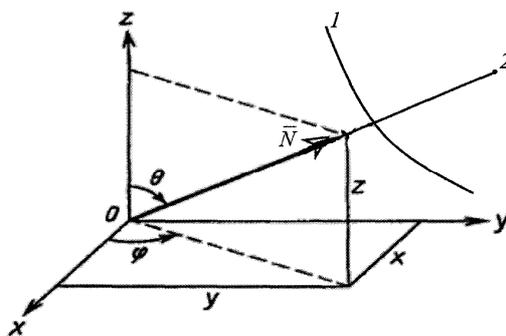
$$\theta = \arcsin \frac{(a_3 - x_{c1})(c_2 - z_{c1}) - (a_2 - x_{c1})(c_3 - z_{c1})}{|\vec{N}|},$$

$$|\vec{N}| = \left([(b_2 - y_{c1})(c_3 - z_{c1}) - (b_3 - y_{c1})(c_2 - z_{c1})]^2 + [(a_2 - x_{c1})(c_3 - z_{c1}) - (a_3 - x_{c1})(c_2 - z_{c1})]^2 + [(a_3 - x_{c1})(c_2 - z_{c1}) - (a_2 - x_{c1})(c_3 - z_{c1})]^2 \right)^{1/2},$$

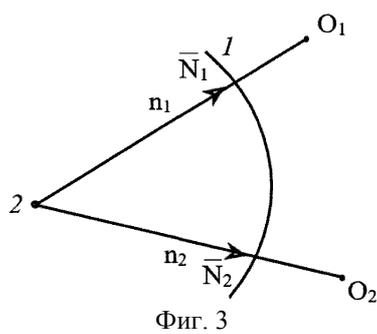
по точке пересечения пеленга от двух систем регистрации определяют координаты очага разрушения в массиве горных пород.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3