

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202391805 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.08.30

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

(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

(32) 2023.02.20

(33) KZ

(96) KZ2023/041 (KZ) 2023.06.19

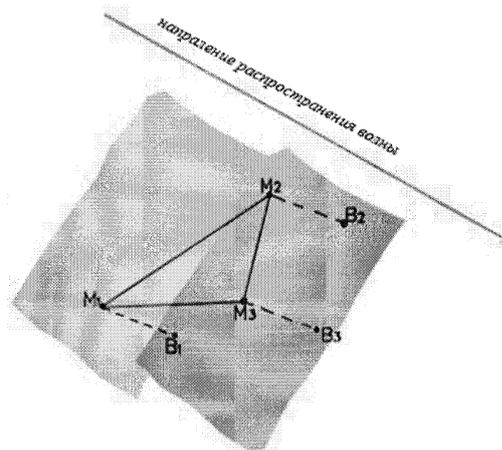
(71) Заявитель:

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 Кайыртау
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.



A1

202391805

202391805

A1

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

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 сеймосигналом 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 датчиками 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 $B_i(a_i, b_i, c_i)$ 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, B_2, B_3 . При этом, расстояние между другими датчиками и соответствующими проекциями будут равны $B_2, M_2 = v(t_2 - t_1)$ и $B_3, M_3 = v(t_3 - t_1)$. Из построения проекций и их свойств, используя теорему Пифагора для прямоугольных треугольников M_1, B_2, M_2 и M_1, B_3, M_3 и условия ортогональности прямых

B_3M_3 и B_3M_1 , B_2M_2 и B_2M_1 , B_3M_3 и B_3B_2 , B_2M_2 и B_2B_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

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

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

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

где:

$$\begin{aligned} f_1 &= f_1(a_2, b_2, c_2), \quad f_2 = f_2(a_3, b_3, c_3), \quad f_3 = f_3(a_3, b_3, c_3), \quad f_4 = f_4(a_2, b_2, c_2), \\ f_5 &= f_5(a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3), \quad f_6 = f_6(a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3). \end{aligned}$$

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 итерационной 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:

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

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:

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

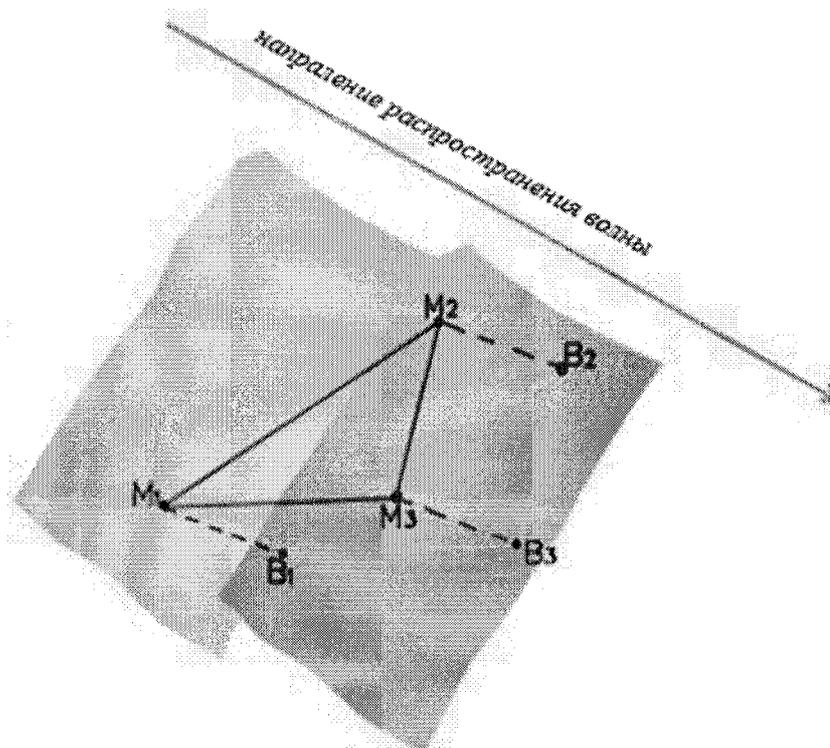
По азимуту θ и углу места φ определяют направление прямой проходящей через очаг разрушения 2 и центр системы регистрации O , совпадающей с нормалью \bar{N} к фронту волны 1. Локализация очагов разрушения определяется пересечением пленгов n_1 и n_2 (точка 2), полученных двумя системами регистрации O_1 и O_2 (фиг.3).

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОЧАГОВ РАЗРУШЕНИЯ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

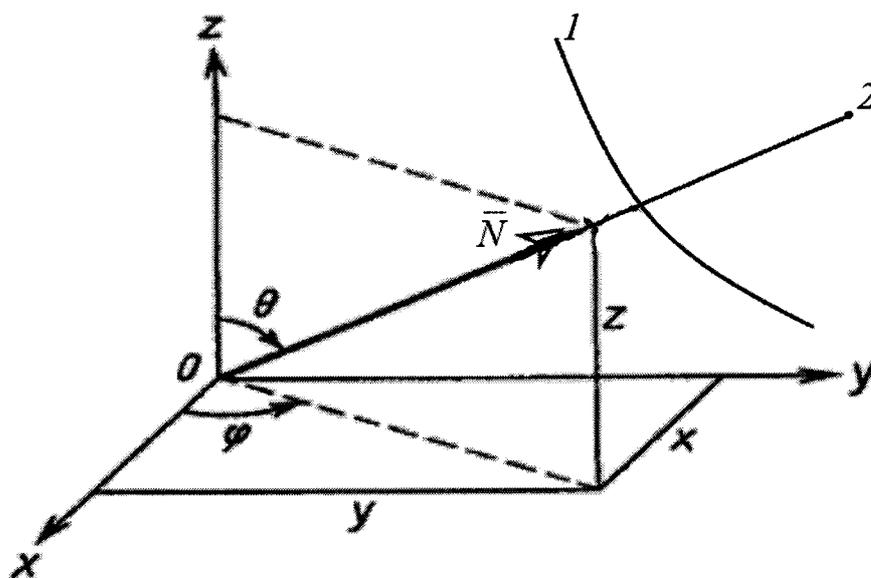
Способ локализации очагов разрушения в массиве горных пород при подземной разработке полезных ископаемых, включающий установку на обнаженных плоскостях горного массива двух систем регистрации сигнала сейсмоакустической эмиссии в виде треугольников, размещенных в вершинах треугольника датчиков приема сигналов, измерение временных задержек прихода фронта волны к датчикам, *отличающийся* тем, что каждый датчик системы регистрации непосредственно закрепляется к массиву горных пород, выполняют условие, чтобы датчики одной системы регистрации не лежали на одной прямой, измеряют координаты датчика в единой системе отсчета месторождения, по координатам датчиков рассчитывают расстояние между ними, 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 устанавливают для каждой системы пеленг на очаг разрушения по прямой проходящей через ее центр и очаг разрушения в массиве горных пород, совпадающий с направлением нормали к фронту волны.

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



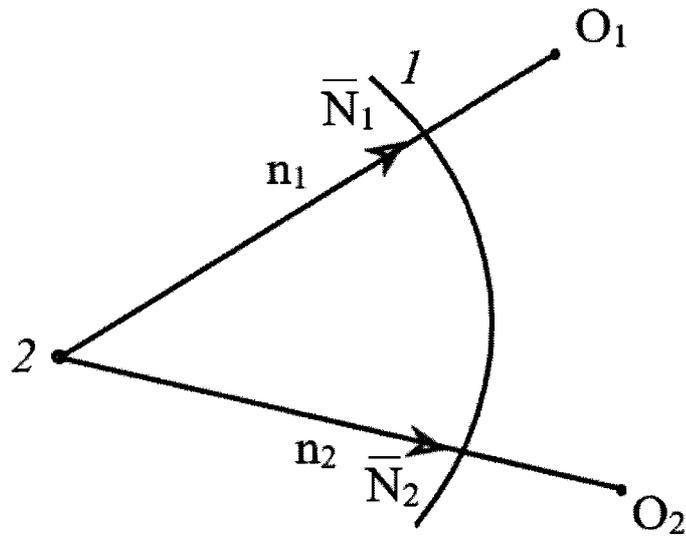
Фиг.1

СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОЧАГОВ
РАЗРУШЕНИЯ В МАССИВЕ ГОРНЫХ
ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



Фиг.2

СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОЧАГОВ
РАЗРУШЕНИЯ В МАССИВЕ ГОРНЫХ
ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



Фиг.3

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ
(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

202391805

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

E21C 41/16 (2006.01)

G01V 1/28 (2006.01)

Согласно Международной патентной классификации (МПК)

Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Просмотренная документация (система классификации и индексы МПК)

E21B 39/00, 41/16, 45/00, 47/022, 47/04, G01V 1/00, 1/28

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)
ЕАПАТИС, Espacenet, Google Patents, «Поисковая платформа» Роспатент

В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
X	SU 1752942 A1 (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ) 1992.08.07, реферат, фиг. 5	1
A	SU 1789019 A3 (БЫКОВСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ЗАВОД СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ) 1993.01.15, весь документ	1
A	RU 2753166 C1 (ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН) 2021.08.12, весь документ	1
A	SU 242430 A1 (ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА АН КАЗАХСКОЙ ССР) 1969.09.08, весь документ	1
A	WO 2009/007822 A2 (SCHLUMBERGER TECHNOLOGY BV и др.) 2009.01.15, весь документ	1

последующие документы указаны в продолжении

* Особые категории ссылочных документов:

«А» - документ, определяющий общий уровень техники

«D» - документ, приведенный в евразийской заявке

«E» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее

«O» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"P" - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета"

«Т» - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения

«X» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности

«Y» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории

«&» - документ, являющийся патентом-аналогом

«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: **27/07/2023**

Уполномоченное лицо:

Заместитель начальника отдела механики,
физики и электротехники



М.Н. Юсупов