

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2810350

### СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Мельников Виталий Геннадьевич (RU), Григоров Андрей Михайлович (RU)*

Заявка № 2023119786

Приоритет изобретения 27 июля 2023 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 27 декабря 2023 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 27 июля 2043 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

E21C 39/00 (2023.08); G01C 7/06 (2023.08); G01B 11/16 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023119786, 27.07.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.07.2023Дата регистрации:  
27.12.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.07.2023

(45) Опубликовано: 27.12.2023 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,  
ФГБОУ ВО СПбГУ, Патентно-лицензионный  
отдел

(72) Автор(ы):

Мельников Виталий Геннадьевич (RU),  
Григоров Андрей Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

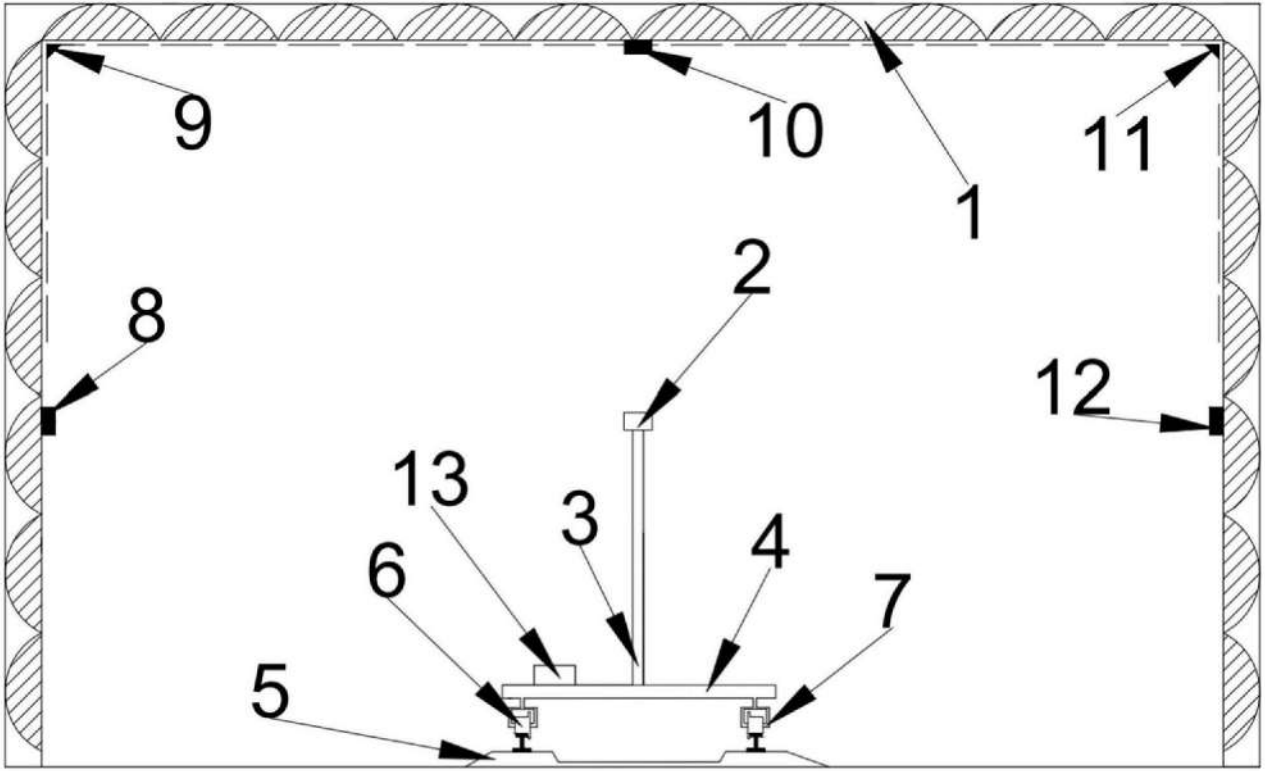
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет императрицы Екатерины II"  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2472930 C1, 20.01.2013. RU 188601  
U1, 17.04.2019. RU 2458320 C1, 10.08.2012. RU  
2469272 C1, 10.12.2012. RU 2522365 C1,  
10.07.2014. CN 106194181 A, 07.12.2016.

## (54) СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

(57) Реферат:

Изобретение относится к горному делу и может быть использовано в горнодобывающей промышленности для поверхностной диагностики технического состояния подземных горных выработок. Способ автоматизированной поверхностной диагностики технического состояния подземных горных выработок включает повторяющуюся лазерно-сканирующую съемку, построение по результатам сканирования трехмерных точечных моделей, получение оседаний горной породы по построенным трехмерным точечным моделям. Подземную горную выработку делят на исследуемые сечения, которые располагают на расстоянии от 2 до 4 м между собой. В начало подземной горной выработки устанавливают на железнодорожные пути устройство с лазерно-сканирующей системой, которая закреплена в двухосном карданном подвесе и установлена на измерительной стойке, которая закреплена на подвижной платформе. Лазерно-сканирующая система проводит съемку по опорным точкам

исследуемого сечения, в которых наблюдают повышенные сжимающие или растягивающие напряжения, начиная с опорной точки 0°, далее опорная точка 45°, опорная точка 90°, опорная точка 135°, опорная точка 180°. После окончания сканирования на данном сечении устройство перемещают к следующему исследуемому сечению, где процесс сканирования повторяется, в зависимости от интенсивности оседания горных пород. Полученные данные с лазерно-сканирующей системы поступают на переносной блок хранения данных, на основании которых строят трехмерные точечные модели исследуемых сечений, затем проводят их сравнение и выделяют наиболее опасные участки горной выработки. Опасные участки осматривают специалисты, которые классифицируют состояние горной выработки по категориям. Техническим результатом является повышение точности определения смещений горной породы в подземной криволинейной горной выработке. 1 ил.



Фиг. 1

RU 2810350 C1

RU 2810350 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*E21C 39/00* (2006.01)  
*G01C 7/06* (2006.01)  
*G01B 11/16* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*E21C 39/00 (2023.08); G01C 7/06 (2023.08); G01B 11/16 (2023.08)*(21)(22) Application: **2023119786, 27.07.2023**(24) Effective date for property rights:  
**27.07.2023**Registration date:  
**27.12.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **27.07.2023**(45) Date of publication: **27.12.2023** Bull. № 36

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU  
VO SPGU, Patentno-litsenziyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Melnikov Vitalij Gennadevich (RU),  
Grigorov Andrej Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj  
universitet imperatritsy Ekateriny II" (RU)**(54) **METHOD FOR AUTOMATED SURFACE DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF UNDERGROUND MINING WORKINGS**

(57) Abstract:

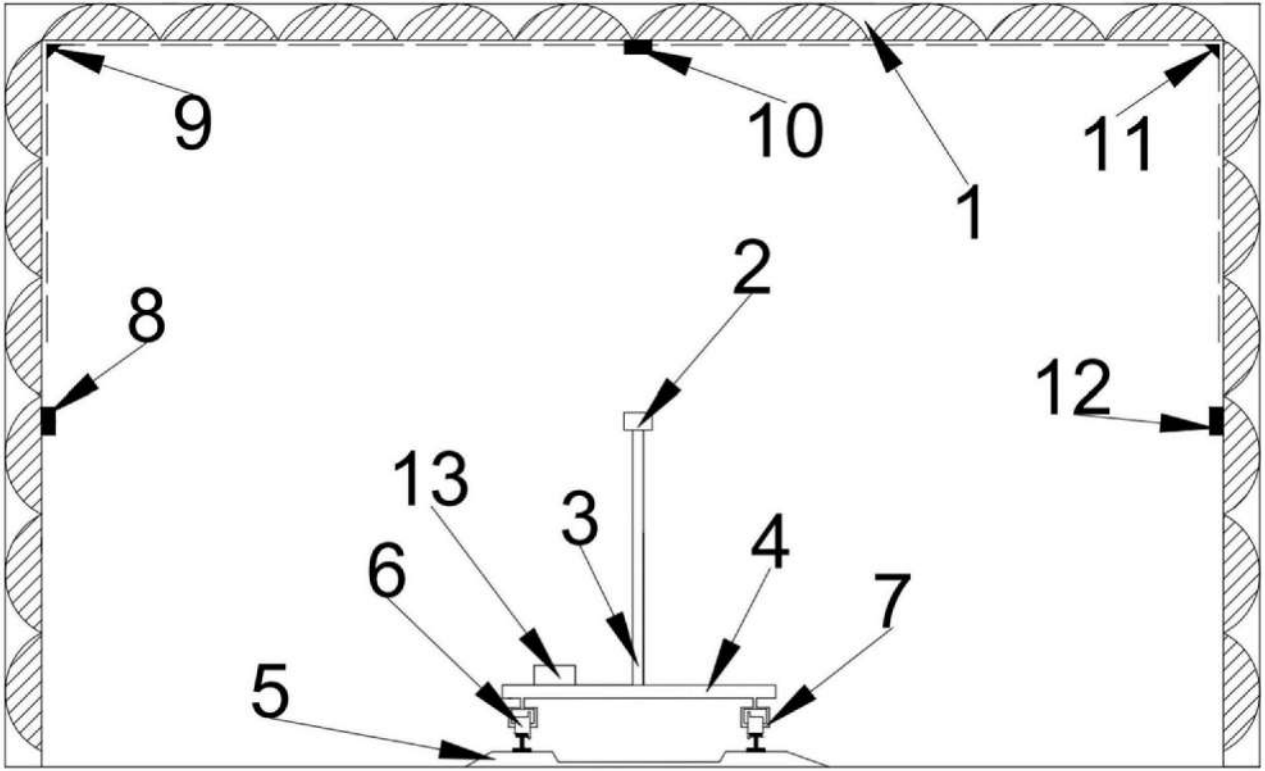
FIELD: mining.

SUBSTANCE: invention can be used in the mining industry for surface diagnostics of the technical condition of underground mine workings. A method for automated surface diagnostics of the technical condition of underground mine workings includes repeated laser scanning, construction of three-dimensional point models based on scanning results, and obtaining rock subsidence from the constructed three-dimensional point models. The underground mine opening is divided into sections under study, which are located at a distance of 2 to 4 m from each other. At the beginning of an underground mine, a device with a laser scanning system is installed on the railway tracks, which is fixed in a biaxial gimbal and installed on a measuring stand, which is mounted on a moving platform. The laser scanning system surveys the reference points of the section under study, in which increased compressive

or tensile stresses are observed, starting from reference point 0°, then reference point 45°, reference point 90°, reference point 135°, reference point 180°. After scanning is completed at a given section, the device is moved to the next section under study, where the scanning process is repeated, depending on the intensity of rock subsidence. The obtained data from the laser scanning system is transferred to a portable data storage unit, on the basis of which three-dimensional point models of the sections under study are built, then they are compared and the most dangerous sections of the mine working are identified. Dangerous areas are inspected by specialists who classify the condition of the mine into categories.

EFFECT: increased accuracy of determining rock displacements in underground curved mine workings.

1 cl, 1 dwg



Фиг. 1

RU 2810350 C1

RU 2810350 C1

Изобретение относится к горному делу и может быть использовано в горнодобывающей промышленности для поверхностной диагностики технического состояния подземных горных выработок.

Известен способ определения границ зон опасных сдвижений месторождения (патент RU 2426880 C1, 20.08.2011), который основан на определении границ зон опасных сдвижений месторождения, включающем закладку реперов по основным профильным линиям, расположенным по простиранию и вкрест простирания отдельных залежей в пределах месторождения, дополнительным профильным линиям в зоне влияния горных работ и дополнительным линиям, соединяющим профильные линии, проведение периодических наблюдений за смещением реперов, по результатам которых определяют границы зон опасных сдвижений, дополнительными линиями соединяют между собой точки пересечения основных профильных линий, по смещениям реперов строят изогипсы оседания земной поверхности и определяют границы зон опасных сдвижений в зависимости от характера изменения изогипс.

Недостатком способа является большой объем работ по закладке реперов, а также необходимость периодических нивелировок по всем заложенным реперам и обработке результатов таких наблюдений.

Известен способ оценки напряженного состояния горных пород и устройство для его осуществления (патент RU 2292456 C1, 27.01.2007), включает бурение скважины, формирование трещины разрывом горной породы, измерение давления разрыва. Разрыв горной породы осуществляют пластичным веществом в плоскостях, параллельных стенкам выработки, при этом оценку напряженного состояния горных пород проводят по параметрам нагнетания пластичного вещества в формируемую скважину. Для разрыва горной породы могут использовать пластичное вещество, свойства которого постоянны во времени и не зависят от горного давления. Пластичное вещество в формируемые трещины могут подавать периодически фиксированными порциями.

Недостатком способа является необходимость бурения скважин, а также тот факт, что каждая скважина должна пробуриваться в том месте, где в горной породе отсутствуют трещины, а также необходимость бурения новых скважин для каждого последующего замера, так как метод является разрушающим.

Известен способ прогноза разрушения участка массива горных пород (патент RU 2522365 C1, 10.07.2014), включает регистрацию во времени сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ), измерение их спектральных амплитуд и построение по результатам измерений спектрально-временной матрицы этих амплитуд по мере роста частоты и времени, определение частотных поддиапазонов по мере роста частоты и выделение в каждом из них близких по значениям спектральных амплитуд. На матрице выделяют незамкнутыми линиями три группы увеличивающихся во времени близких по значениям спектральных амплитуд. Наблюдают на матрице в каждой группе расширение во времени поддиапазонов частот и площадей каждой группы, по которым судят о нарастании процесса разрушения участка массива горных пород. Одновременно с выделением групп на матрице последовательно регистрируют разности между максимальной и минимальной величинами из близких по значениям спектральных амплитуд сигналов ЭМИ, соотношения этих разностей, разность этих соотношений и количество спектральных амплитуд в каждой группе в каждый момент времени. По уменьшению указанных соотношений и их разностей, последующей их стабилизации во времени и по увеличению количества этих амплитуд в третьей группе судят о начале интенсивного возникновения трещин.

Недостатком этого способа является низкая точность его прогноза разрушения

массива горных пород, связанная с неопределенностью критериев ЭМИ, характеризующих собственно процесс разрушения, а также влиянием помех от окружающей техники.

Известен способ определения изменений напряженного состояния массива горных пород во времени и устройство для его осуществления (патент RU 2135770 C1, 27.08.1999), включает образование выработки или скважины и измерение изменений напряженного состояния окружающего массива. В выработку или скважину помещаются датчики ИК-излучения и по их показаниям измеряют изменения мощности потока этого излучения. По графикам изменения значений мощности ИК-излучения во времени восстанавливают эволюцию параметров напряженного состояния в зонах поверхности вблизи этих участков. В частности, фиксируют моменты изменений напряженного состояния и оценивают величины таких изменений.

Недостатком этого способа является то, что он применим только для конкретных, заранее подготовленных участков выработок или скважин.

Известна методика визуальных наблюдений в подземных горных выработках (Пантелеев, А.В. Методика визуальных наблюдений в подземных горных выработках на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам / А.В. Пантелеев, Э.В. Каспарьян, И.Э.Семенова. 2020, 70 с.). Рассмотрен визуальный метод оценки состояния горных выработок при разработке запасов месторождений, склонных и опасных по горным ударам. Обоснован научный подход при проведении визуального обследования горных выработок, позволяющий получить приближенные характеристики типа и параметров поля напряжений отдельных участков месторождения и разработать адекватные мероприятия по обеспечению их устойчивости.

Недостатком визуальной оценки является субъективность при классификации вида и степени интенсивности проявления геомеханических процессов, а также то, что достоверность, объем и полнота получаемой информации при применении визуального метода в значительной степени определяются опытом, квалификацией и добросовестностью исполнителей.

Известен способ определения вертикальных сдвижений и деформаций (патент RU 2472930 C1, 20.01.2013), принятый за прототип. Способ включает закладку основных профильных линий, располагаемых по простиранию и вкрест простирания пласта угля или рудной залежи, и дополнительных профильных линий, располагаемых в других направлениях в пределах границ мульды сдвижения, зафиксированных через равные интервалы рабочими и опорными реперами, располагаемыми на концах профильных линий вне зоны сдвижения, систематические определения высотного положения рабочих реперов относительно опорных до начала и в период сдвижений земной поверхности, получение оседаний, вычисление наклонов и кривизны соответственно как первая и вторая производная от оседаний. До начала сдвижений поверхности производят закладку не менее четырех опорных реперов вне зоны сдвижения, два из которых располагают на линии максимальных оседаний по простиранию пласта или рудной залежи и два других - перпендикулярно линии первых двух, то есть вкрест простирания пласта или рудной залежи, производят лазерно-сканирующую съемку потенциальной зоны подработки до начала сдвижений и повторные съемки того же участка после начала сдвижений, устанавливая при каждой съемке марки внешнего ориентирования на опорные реперы. По результатам съемочной работы лазерно-сканирующей системы строят трехмерные точечные модели участка подработки земной поверхности, используя которые, получают оседания как разность соответствующих профилей точечной модели, отражающей состояние поверхности участка до начала сдвижений, и профилей модели,

отражающей состояние того же участка на определенную стадию процесса сдвижения, включая стадию окончания процесса сдвижения. При этом сравниваемые профили получают как линии пересечения поверхностей моделей, отражающих различные стадии процесса сдвижения, с вертикальными плоскостями, однозначное положение которых  
5 определяют через координатные привязки к маркам внешнего ориентирования, отображаемым на точечных трехмерных моделях.

Недостатком этого способа являются необходимость установки реперов, а также невозможность применения способа для подземных выработок криволинейной формы.

Техническим результатом является повышение точности определения смещений  
10 горной породы в подземной криволинейной горной выработке.

Технический результат достигается тем, что подземную горную выработку делят на исследуемые сечения, которые располагают на расстоянии от 2 до 4 метров между собой, в начало подземной горной выработки устанавливают на железнодорожные пути устройство с лазерно-сканирующей системой, которая закреплена в двухосном  
15 карданном подвесе и установлена на измерительной стойке, которая закреплена на подвижной платформе, лазерно-сканирующая система проводит съемку по опорным точкам исследуемого сечения, в которых наблюдают повышенные сжимающие или растягивающие напряжения, начиная с опорной точки 0°, далее опорная точка 45°, опорная точка 90°, опорная точка 135°, опорная точка 180°, после окончания  
20 сканирования на данном сечении, устройство перемещают к следующему исследуемому сечению, где процесс сканирования повторяется, в зависимости от интенсивности оседания горных пород, данные которые получены с лазерно-сканирующей системы, поступают на переносной блок хранения данных, на основании которых строят трехмерные точечные модели исследуемых сечений, затем проводят их сравнение и  
25 выделяют наиболее опасные участки горной выработки, которые затем осматривают специалисты, которые классифицируют состояние горной выработки по категориям.

Способ поясняется следующей фигурой:

фиг. 1 - подземная горная выработка;

1 - подземная горная выработка;

30 2 - лазерно-сканирующая система;

3 - измерительная стойка;

4 - подвижная платформа;

5 - железнодорожные пути;

6 - колеса;

35 7 - крепление;

8 - опорная точка 0°;

9 - опорная точка 45°;

10 - опорная точка 90°;

11 - опорная точка 135°;

40 12 - опорная точка 180°;

13 - переносной блок хранения данных.

Способ для автоматизированной поверхностной диагностики технического состояния подземных горных выработок осуществляется следующим образом. Подземную горную выработку 1 делят на исследуемые сечения, располагаемые на расстоянии от 2 до 4  
45 метров между собой. Устройство устанавливают в начало подземной горной выработки. Лазерно-сканирующую систему 2, закрепленную в двухосном карданном подвесе, устанавливают на измерительную стойку 3, которая закреплена на подвижной платформе 4. Движение к первоначальному участку сканирования осуществляется при



помощи подвижной платформы 4, которую устанавливают на железнодорожные пути 5 при помощи колес 6, соединенных с подвижной платформой 4 через крепления 7. Лазерно-сканирующая система 2 начинает проводить лазерно-сканирующую съемку опорных точек исследуемого сечения, начиная с опорной точки  $0^\circ$  8, далее опорная точка  $45^\circ$  9, опорная точка  $90^\circ$  10, опорная точка  $135^\circ$  11, опорная точка  $180^\circ$  12. Опорными точками являются точки, в которых наблюдаются повышенные сжимающие или растягивающие напряжения. На вертикальные стенки горной выработки со стороны горной породы будут действовать повышенные растягивающие напряжения, причем, они будут одинаковы во всех точках этих стенок за счет прямоугольной формы горной выработки, поэтому будет достаточно одной опорной точки с каждой стороны горной выработки, например, опорная точка  $0^\circ$  8 и опорная точка  $180^\circ$  12, которые располагаются параллельно лазерно-сканирующей системе 2 относительно горизонтальной плоскости. На горизонтальную стенку будут действовать повышенные сжимающие напряжения, причем, они также будут одинаковы во всех точках горизонтальной стенки за счет прямоугольной формы горной выработки, поэтому будет достаточно одной опорной точки, например, опорной точки  $90^\circ$  10, которая располагается параллельно лазерно-сканирующей системе 2 относительно вертикальной плоскости. Опорная точка  $45^\circ$  9 и опорная точка  $135^\circ$  11 располагаются в местах соединения вертикальных и горизонтальной стенок. Эти опорные точки являются наиболее опасными, поскольку в этих точках будут одновременно действовать и сжимающие, и растягивающие напряжения. Данные, получаемые с лазерно-сканирующей системы 2, поступают на переносной блок хранения данных 13. После окончания процесса сканирования происходит перемещение к следующему исследуемому сечению, где процесс сканирования повторяется. Процесс сканирования всех исследуемых сечений повторяется в зависимости от интенсивности оседания горных пород, например, для недавно пройденной горной выработки процесс сканирования повторяется каждый день, поскольку для такой выработки свойственно интенсивное оседание горных пород. После окончания процесса интенсивного оседания горных пород, который составляет, в среднем, от 2 до 7 суток, интервал сканирования может быть увеличен. По результатам данных, полученных лазерно-сканирующей системой 2 и записанных на переносной блок хранения данных 13, строят трехмерные точечные модели исследуемых сечений. Сравнивая между собой полученные трехмерные точечные модели исследуемых сечений, определяют оседание горной породы. Затем наиболее опасные участки осматривают специалисты, которые классифицирует состояние горной выработки по категориям.

Способ поясняется следующим примером.

Две близко расположенные выработки прямоугольного сечения, каждая из которых оказывает влияние на другую. Пусть выработки имеют следующие параметры:

$a_1 = 5$  м – ширина левой выработки

$a_2 = 3,75$  м – ширина правой выработки

$k_1 = 1,65$  м - коэффициент концентрации напряжений левой выработки

$k_2 = 1,48$  м - коэффициент концентрации напряжений правой выработки

$z = 120$  м – глубина расположения выработок

$\gamma = 2,5 \frac{\tau}{\text{м}^3}$  – удельный вес породы

$m_1 = m_2 = 0,4$  - величины, относящиеся к добавочным напряжениям выработок

$B = 8$  м – расстояние между выработками

Рассчитаем напряжения левой выработки в точке, в которой эти напряжения будут максимальны, а именно в точке пересечения правой вертикальной стенки с верхней горизонтальной стенкой по формуле, предложенной Левиной:

$$\sigma_1 = \left[ k_1 + m_2 * (k_2 - 1) * \left( 1 - \frac{B}{2,5 * a_2} \right) \right] * \gamma * z = \left[ 1,65 + 0,4(1,48 - 1) * \left( 1 - \frac{8}{2,5 * 3,75} \right) \right] * 2,5 * 120 = 50,4 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Рассчитаем такое же напряжение для правой выработки в точке пересечения левой вертикальной стенки с верхней горизонтальной стенкой:

$$\sigma_2 = \left[ k_2 + m_1 * (k_1 - 1) * \left( 1 - \frac{B}{2,5 * a_1} \right) \right] * \gamma * z = \left[ 1,48 + 0,4(1,65 - 1) * \left( 1 - \frac{8}{2,5 * 5} \right) \right] * 2,5 * 120 = 47,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Примем приблизительно для данной породы предел прочности породы:

$$\sigma_c = 70 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Рассчитаем отношения напряжений, рассчитанных нами, к пределу прочности породы:

$$\sigma_{д1} = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{50,4}{70} = 0,72 \text{ – для левой выработки}$$

$$\sigma_{д2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_c} = \frac{47,2}{70} = 0,67 \text{ – для правой выработки}$$

Классифицируем эти выработки.

В левой выработке  $\sigma_{д1} > 0,7$ , значит первая выработки относится к категории Д, в которой наблюдается стреляние и интенсивное динамическое заколообразование, также возможны микроудары и горные удары. Для такой выработки длительность интенсивной стадии составляет от 2 и более суток. В это время процесс сканирование должен проводиться каждые 1-4 часа. После затухания процесса заколообразования интервал сканирования может быть увеличен в зависимости от интенсивности процесса заколообразования. Полученная категория горной выработки является самой опасной, для которой проведение горно-добычных работ недопустимо до окончания процесса интенсивного оседания горных пород.

Рассмотрим вторую выработку. В ней  $0,5 < \sigma_{д2} < 0,7$ , что соответствует категории Г, в которой наблюдается интенсивное шелушение, а также динамическое заколообразование. Для такой выработки длительность интенсивной стадии составляет 6-12 часов, после чего интенсивная стадия процесса, как правило, затухает. Во время интенсивной стадии процесс сканирования должен проводиться каждые 4-8 часов. После окончания интенсивной стадии интервал сканирования можно увеличить в зависимости от интенсивности процесса заколообразования. В отличие от первого случая, для данной категории горной выработки возможно проведение горно-добычных работ при условии соблюдения постоянного контроля технического состояния горной выработки.

После каждой серии измерений производится их обработка, и составляются таблицы промежуточных результатов.

Преимущество способа состоит в том, что способ не требует установки реперов и профилейных линий, а сканирование проводится подвижной лазерно-сканирующей

системой, которая перемещается по рельсам, что дает возможность повысить производительность сканирования за счет высокой скорости перемещения по железнодорожным путям, поскольку на скорость движения и точность сканирования не будет влиять шероховатость дна выработки, при это сама выработка может быть криволинейна, а также то, что на протяжении всей длины выработки будет получаться равнозначная погрешность, благодаря тому, что установка железнодорожных путей проводится в соответствии с правилами, по которым рельсы должны иметь определенный зазор до боковой стенки, который соблюдается на протяжении всей выработки. Преимущество также состоит в том, что можно изменять шаг непосредственно в процессе сканирования, тем самым адаптироваться под требуемую точность сканирования, как в отдельных участках, так и во всей выработке в целом.

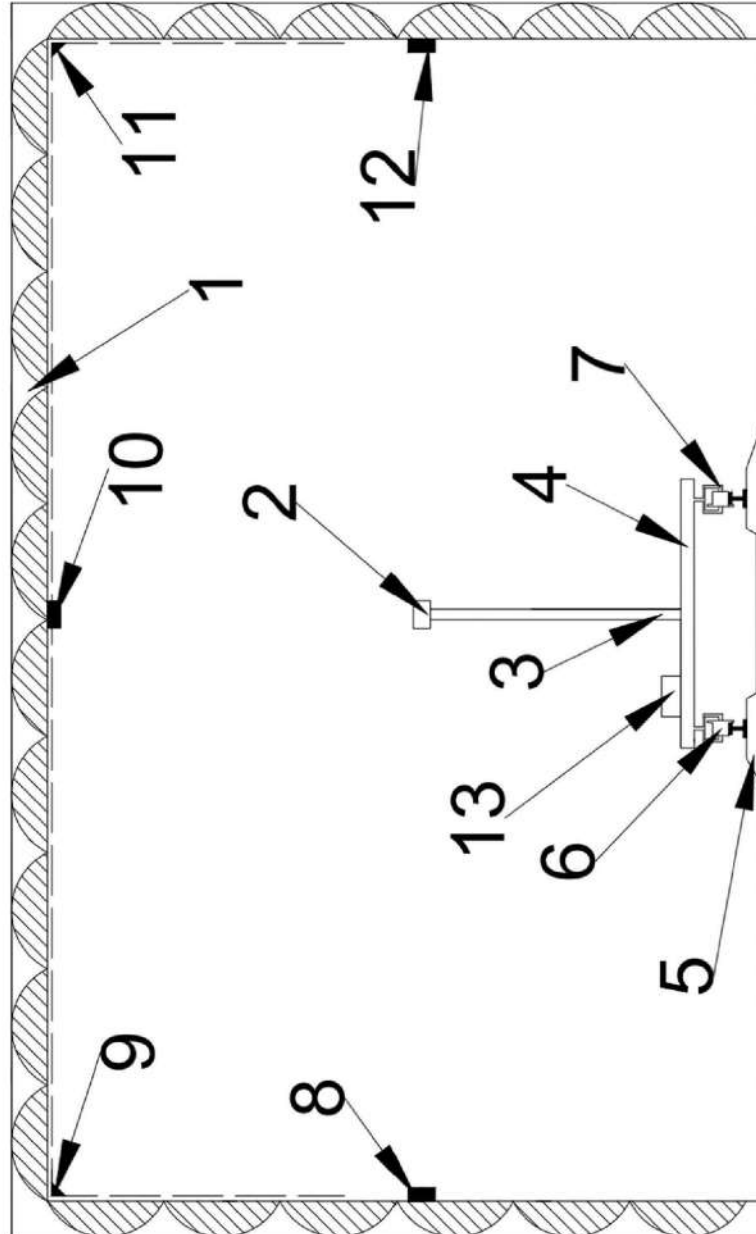
#### (57) Формула изобретения

Способ автоматизированной поверхностной диагностики технического состояния подземных горных выработок, включающий повторяющуюся лазерно-сканирующую съемку, построение по результатам сканирования трехмерных точечных моделей, получение оседаний горной породы по построенным трехмерным точечным моделям, отличающийся тем, что подземную горную выработку делят на исследуемые сечения, которые располагают на расстоянии от 2 до 4 м между собой, в начало подземной горной выработки устанавливают на железнодорожные пути устройство с лазерно-сканирующей системой, которая закреплена в двухосном карданном подвесе и установлена на измерительной стойке, которая закреплена на подвижной платформе, лазерно-сканирующая система проводит съемку по опорным точкам исследуемого сечения, в которых наблюдают повышенные сжимающие или растягивающие напряжения, начиная с опорной точки  $0^\circ$ , далее опорная точка  $45^\circ$ , опорная точка  $90^\circ$ , опорная точка  $135^\circ$ , опорная точка  $180^\circ$ , после окончания сканирования на данном сечении, устройство перемещают к следующему исследуемому сечению, где процесс сканирования повторяется, в зависимости от интенсивности оседания горных пород, данные которые получены с лазерно-сканирующей системы, поступают на переносной блок хранения данных, на основании которых строят трехмерные точечные модели исследуемых сечений, затем проводят их сравнение и выделяют наиболее опасные участки горной выработки, которые затем осматривают специалисты, которые классифицируют состояние горной выработки по категориям.

35

40

45



Фиг. 1