



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013146191/03, 16.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.10.2013

(45) Опубликовано: 10.12.2014 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2071563 C1, 10.01.1997. SU 1717846 A1, 07.03.1992. SU 1553717 A1, 30.03.1990. SU 1629533 A1, 23.02.1991. SU 1740665 A1, 15.06.1992. CN 101165315 A, 23.04.2008.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 22 линия, 3, кор.
3, литер В, ОАО "ВНИМИ"

(72) Автор(ы):

**Яковлев Дмитрий Владимирович (RU),
Мулёв Сергей Николаевич (RU),
Цирель Сергей Вадимович (RU),
Максимов Александр Сергеевич (RU),
Мазья Марк Давыдович (RU),
Бондарев Алексей Владимирович (RU),
Баданин Александр Иванович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество "Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела-Межотраслевой научный центр ВНИМИ" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к горному делу и предназначено для оценки напряженно-деформированного состояния участка массива горных пород путем регистрации импульсного излучения электромагнитных колебаний. Технический результат - повышение точности и достоверности прогноза динамического разрушения горных пород, а также снижение трудоемкости и повышение технологичности измерений. Способ включает измерение в выработке максимальных амплитуды и активности электромагнитного излучения (ЭМИ) на порогах регистрации выше уровня фона ЭМИ. В диапазоне амплитуд от нулевого отсчета до максимального вычисляют параметр A как логарифмическое среднее распределения пиковых амплитуд импульсов. Все значения амплитуд указанного диапазона разбивают на 10 неравных порогов в логарифмической прогрессии с шагом, кратным \log_2 . Строят гистограмму распределения сигналов в двойных логарифмических координатах. На основе этой гистограммы рассчитывают параметр B как оценку скорости

нарастания пиковых амплитуд импульсов выше порогового уровня. Строят графики зависимостей значений параметров $A(x_i)$ и $B(x_i)$ от положения точки наблюдения x_i на профиле выработки, а также графики градиентов функций этих параметров. Устанавливают критические величины параметров $A_{кр}$ и $B_{кр}$ и их суммарную критическую скорость изменения. Удароопасными считают те участки, в которых одновременно выполняются хотя бы три из четырех неравенств. Устройство содержит последовательно соединенные датчик электромагнитного излучения (ЭМИ), предусилитель и усилитель, а также аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и блок цифровой обработки с подключенным к нему блоком индикации, согласно изобретению, дополнительно снабжено фильтром низких частот, включенным в последовательную цепь между предусилителем и усилителем, последовательно включенными между усилителем и АЦП вторым фильтром низких частот и фильтром высоких частот, а также источником

опорного напряжения, а в блок цифровой обработки включен быстродействующий цифровой сигнальный процессор, подключенный двусторонней связью к АЦП, соединенный также

двусторонними связями с энергонезависимой памятью программ, флэш-памятью данных и USB-портом. 2 н. и 6 з.п. ф-лы, 5 ил.

R U 2 5 3 5 3 2 9 C 1

R U 2 5 3 5 3 2 9 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013146191/03, 16.10.2013

(24) Effective date for property rights:
16.10.2013

Priority:

(22) Date of filing: 16.10.2013

(45) Date of publication: 10.12.2014 Bull. № 34

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 22 linija, 3, kor. 3,
liter V, OAO "VNIMI"

(72) Inventor(s):

**Jakovlev Dmitrij Vladimirovich (RU),
Mulev Sergej Nikolaevich (RU),
Tsirel' Sergej Vadimovich (RU),
Maksimov Aleksandr Sergeevich (RU),
Maz'ja Mark Davydovich (RU),
Bondarev Aleksej Vladimirovich (RU),
Badanin Aleksandr Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-
issledovatel'skij institut gornoj geomekhaniki i
markshejderskogo dela-Mezhotraslevoj
nauchnyj tsentr VNIMI" (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING ROCK MASS BUMP HAZARD BY ELECTROMAGNETIC EMISSION, AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: invention refers to mining and is meant for evaluation of stress strain behaviour of rock mass section by recording pulse emission of electromagnetic oscillations. Method involves measurement of maximum amplitudes in roadway and maximum activity of electromagnetic emission on record threshold above the level of electromagnetic emission background. In the range of amplitudes from zero reading to maximum reading, calculated is A parameter as logarithmic mean value of distribution of pulses peak amplitudes. All the values of amplitudes of the specified range are divided into 10 unequal threshold in logarithmic progression in increment divisible by \log_2 . Bar chart of signals distribution is built in double logarithmical coordinates. Based on this bar chart calculated is B parameter as estimation of rise rate of pulses peak amplitudes above the threshold level. Dependence diagrams of parameter values $A(x_i)$ and $B(x_i)$ from station x_i location on roadway profile are built as well as diagrams of gradients of these parameters functions. Critical values of A_{cr} and B_{cr}

are determined as well as their total critical rate of change. Rock-bump hazardous considered are those sections where at least four of three inequations are realised simultaneously. Device contains series-connected electromagnetic sensor, preamplifier and amplifier, analogue-to-digital converter and digital processing unit with indicating unit connected to it. According to the method the device is additionally provided with low-frequency filter connected to series circuit between preamplifier and amplifier, series connected between amplifier and analogue-to-digital converter, the second low-frequency filter and high-frequency filter, as well as reference voltage source, and to digital processing unit connected is quick operating digital signal processor double connected to analogue-to-digital converter, double connected also to programs non-volatile memory, data flash-memory and USB-port.

EFFECT: improving accuracy and reliability of rocks dynamic fracture forecast, as well as reducing labour intensity and improving measurements processibility.

8 cl, 5 dwg

RU 2 535 329 C1

RU 2 535 329 C1

Изобретение относится к горному делу и предназначено для оценки напряженно-деформированного состояния участка массива горных пород в условиях шахт и рудников, разрабатывающих пласты, опасные по горным ударам и выбросам, путем регистрации импульсного излучения электромагнитных или упругих колебаний от образующихся под действием предельных напряжений трещин разрушения.

Интенсивный рост объемов добычи полезных ископаемых ведет к увеличению глубины их разработки и усложнению геомеханических условий горных работ. Следствием этого является возникновение таких опасных ситуаций, при которых существующие методы контроля динамики изменений прочностных характеристик в горном массиве не отражают в полной мере истинной картины происходящих в нем процессов.

Основой предупреждения этих природно-технологических явлений являются: региональный прогноз, представляющий собой оценку геодинамической опасности пластов в пределах месторождений и горных отводов шахт; локальный прогноз, т.е. прогноз и оценка напряженно-деформированного состояния участков массива горных пород в пределах выемочных полей и конкретных выработок, обычно осуществляемый с помощью буровой техники по выходу буровой мелочи или кернового бурения.

При этом для обеспечения эффективности проведения горных работ особую актуальность приобретает разработка и развитие современных способов непрерывного контроля и оценки напряженно-деформированного состояния массива с помощью портативных приборов.

Современные геофизические системы характеризуются широким использованием компьютеризированных устройств и новейших мощных ЭВМ для цифровой регистрации и обработки больших массивов информации, применением современных материалов и изделий, позволяющих проводить измерения на больших глубинах, а также в экстремальных климатических условиях. Все это позволяет по-новому подойти к самому процессу получения и обработки геофизической информации.

Как известно, базовые методы локального прогноза (прогноз удароопасности по выходу штыба, дискованию керна) основываются на нормативных документах. Основным недостатком базовых методов прогноза удароопасности является обязательное бурение скважин (шпуров) и, как следствие, их высокая трудоемкость и продолжительность выполнения.

В последнее время для решения задач локального прогноза все большее применение находят методы, основанные на регистрации естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ).

Физической основой использования электромагнитных методов является установленная зависимость энергии, амплитуды, длительности, частоты, скорости распространения и других параметров электромагнитных колебаний от напряженного состояния и физико-механических свойств горных пород.

Прогноз удароопасности участков массива горных пород состоит в изменении одного или нескольких параметров электромагнитных колебаний по методикам, учитывающим особенности каждой конкретной шахты.

Известен Способ контроля нарушения сплошности массива горных пород по авторскому свидетельству СССР №1101552, МПК E21C 39/00, опубл. 07.07.1984 г., включающий регистрацию сигналов электромагнитной эмиссии и измерение их длительности, определение средней длительности импульсов, возникающих при перераспределении горного давления, которую принимают за эталонную, сравнивая последующие сигналы с эталонным, выделение импульсов с длительностью, более чем

на порядок превышающей эталонную, и по их появлению судят о возникновении расслоения.

Однако данный способ не позволяет регистрировать амплитуду сигналов электромагнитной эмиссии, что снижает точность и достоверность получаемой информации. Кроме того, с помощью этого способа не регистрируется количество принимаемых сигналов, наличие которых также дает дополнительную информацию о процессе изменения напряженно-деформированного состояния в массиве и приближении процесса разрушения.

Известен также Способ прогноза разрушения горных пород по патенту РФ №2137920, МПК E21C 39/00, G01N 29/04, опубл. 20.09.1999 г., включающий регистрацию на интервале времени измерения сигналов электромагнитного излучения и измерение их амплитуд, по которым определяют начало разрушения исследуемого участка массива, причем интервал времени измерения разделяют на две неравные части, производят на каждой из них измерение величин амплитуд сигналов через равные промежутки времени, до нагружения исследуемого участка массива определяют интенсивность излучения сигнала помехи, измеряя амплитуды сигналов на большей части интервала времени измерения, а начало момента разрушения определяют по мере нагружения исследуемого участка массива по выполнению математического соотношения.

Недостатком указанного способа является то, что в месте исследования участка массива горных пород необходимо производить несколько замеров, что сильно влияет на продолжительность и трудоемкость работ. Кроме того, для обеспечения точности прогноза начала процесса разрушения горных пород необходимо проводить измерения по мере нагружения исследуемого участка массива, но при этом не решен вопрос, каким образом оценивать процесс нагружения.

Наиболее близким к предлагаемому способу по технической сущности и достигаемому результату является Способ оценки ударо- и выбросоопасности краевой части массива и эффективности мер борьбы с ними по патенту СССР №1717846, МПК E21F 5/00, опубл. 07.03.1992 г., включающий измерение у забоя выработки максимальных амплитуды и активности электромагнитного излучения (ЭМИ) на двух порогах регистрации выше уровня фона ЭМИ, определение критической величины активности ЭМИ и оценку удароопасности краевой части пласта. Согласно способу пороги регистрации ЭМИ выбирают в зависимости от максимальной и фоновой амплитуд импульсов (АИ) ЭМИ. На выбранных порогах АИ измеряют устойчивые средние значения импульсов активности ЭМИ и критические значения импульсов активности ЭМИ и при превышении импульсами активности ЭМИ критических значений участок считают удароопасным. Затем проводят мероприятия по устранению удароопасности и производят оценку их эффективности. При импульсах активности ЭМИ, меньших их критических значений, зону считают неудароопасной. При оценке выбросоопасности дополнительно определяют начальную скорость газовыделения и ее критическое значение, и зону считают выбросоопасной, если одновременно импульсы ЭМИ больше критических и начальная скорость газовыделения больше критической.

Данный способ оценки удароопасности позволяет повысить безопасность ведения работ путем дифференциации напряженного состояния краевых зон пласта и, тем самым, целенаправленного ведения борьбы с динамическими и газодинамическими его проявлениями. Однако при этом оценивают только параметры максимальных амплитуд ЭМИ в зависимости от фоновое значение амплитуды активности ЭМИ, но не принимают во внимание скорость нарастания пиковых амплитуд импульсов выше порогового уровня, что приводит к снижению точности прогноза разрушения горных

пород и возможной выбросоопасности, а также к повышению трудоемкости работ по проведению противоудароопасных мероприятий.

Кроме того, реализующее известный способ устройство не предназначено для использования в выработках, опасных по газу и пыли, т.к. не обладает необходимой искро- и взрывозащищенностью.

Известно Устройство для регистрации электромагнитного излучения, возникающего при трещинообразовании горных пород, по патенту РФ №1774303, МПК G01V 3/00, опубл. 07.11.1992 г., содержащее ферритовый тороидальный сердечник с равномерно размещенной на нем обмоткой и металлический экран, окружающий ее. Ферритовый сердечник выполнен в виде тора, полностью заполненного обмоткой, а экран расположен таким образом, что закрывает ее частично, на угол 285-295°. При этом на оставшейся открытой части обмотки дополнительно установлен козырек в виде рупора раструбом наружу, а боковые стенки рупора образуют угол не более 65-75°.

Недостатком данного устройства является невысокая чувствительность вследствие неэффективного использования магнитного потока ферритового сердечника, что не позволяет принимать сигналы малых амплитуд из-за слабой концентрации поля в пространстве измерений и высокой его концентрации в ферритовом тороидальном сердечнике.

Известно также Устройство для регистрации электромагнитного излучения, возникающего при трещинообразовании горных пород, по патенту РФ №2155973, МПК G01M 7/02, опубл. 10.09.2000 г., содержащее ферритовый тороидальный сердечник с обмоткой и металлический экран, окружающий ее. Ферритовый тороидальный сердечник выполнен незамкнутым с помещенным в пространстве его выреза твердым диэлектриком с размещенной на нем и намотанной встречно обмотке ферритового тороидального сердечника дополнительной обмоткой, включенной последовательно с обмоткой ферритового тороидального сердечника. Шаг дополнительной обмотки переменный, меньший к краям, а соотношение части дополнительной обмотки с большим шагом к ее частям с меньшим шагом находится в определенных пределах, зависящих от отношения угла, отсчитываемого от горизонтальной оси выреза до начала дополнительной обмотки с меньшим шагом, и угла, отсчитываемого от начала дополнительной обмотки с меньшим шагом до торцов сердечника.

Это устройство позволяет увеличить чувствительность прибора за счет концентрации поля в пространстве измерений и может быть использовано как для контроля разрушения участков массива горных пород при изменении их напряженно-деформированного состояния, так и в лабораторных условиях для регистрации электромагнитного излучения (ЭМИ), возникающего при разрушении образцов горных пород. Однако получаемые результаты в большой степени зависят от уровня электромагнитных помех, так как в данном устройстве отсутствует система их селекции. Алгоритм выбраковки ложных регистраций также отсутствует. Это приводит к выдаче ложных сигналов тревоги или к пропуску опасной ситуации, что снижает достоверность и точность прогноза удароопасности горных пород.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявленному является Устройство для определения степени ударо- и выбросоопасности горных пород по патенту РФ №2071563, МПК E21C 39/00, опубл. 10.01.1997 г., содержащее последовательно соединенные датчик акустической или электромагнитной эмиссии, предусилитель, аттенюатор, усилитель и измеритель пиковой амплитуды, а также формирователь импульсов и блок индикации. Кроме того, устройство снабжено измерителем энергии, коммутатором, аналого-цифровым преобразователем и

микропроцессорным блоком, соответствующим образом подключенными.

Использование этого устройства позволяет повысить оперативность прогноза и
разделения участков на опасные, неопасные и особоопасные за счет введения двойной
5 градации критерия предельной активности электромагнитной эмиссии, что позволяет
сократить объем и стоимость затрат на меры по приведению участка в неопасное
состояние.

В то же время недостатками данного устройства являются невысокая точность и
достоверность результатов измерений из-за наличия погрешности оценок опасности
10 ввиду отсутствия отстройки от фонового уровня излучения и отбраковки стационарных
сигналов, регистрируемых от работающих механизмов.

Кроме того, недостатком данного устройства является низкая степень защищенности
корпуса от пыли, влаги и газа, характерных для использования в шахтных условиях.

Изобретение решает задачу повысить надежность определения напряженно-
деформированного состояния массива горных пород в шахтных условиях посредством
15 приема устройством и последующего анализа сигналов от источников электромагнитных
колебаний, вызванных разрушением пород в массиве.

Технический результат заключается в повышении точности и достоверности прогноза
динамического разрушения горных пород, а также снижении трудоемкости и повышении
20 технологичности измерений, обусловленных, в частности, возможностью приема
сигналов электромагнитной эмиссии только с помощью антенны, без контакта с
массивом.

Для достижения технического результата с помощью способа определения
удароопасности массива горных пород, основанного на подсчете активности сигналов
электромагнитного излучения и измерении пиковых значений этих сигналов за
25 фиксированный интервал времени по нескольким амплитудным уровням, согласно
изобретению пулевой отсчет амплитуды принимают с учетом фонового излучения,
далее от нулевого отсчета до максимального все значения амплитуд разбивают на 10
неравных порогов в логарифмической прогрессии с шагом, кратным \log_2 , и по выборке
пиковых амплитуд импульсов оценивают параметры «А» и «В», при этом за параметр
30 «А» принимают логарифмическое среднее распределения пиковых амплитуд импульсов,
а за параметр «В» - оценку скорости нарастания пиковых амплитуд импульсов выше
порогового уровня по 10-ти порогам. Затем строят графики зависимостей значений
параметров $A(x_i)$ и $B(x_i)$ от положения точки наблюдения x_i на профиле выработки, а
также графики градиентов функций этих параметров, устанавливают критические
35 величины параметров $A_{кр}$ и $B_{кр}$ и их суммарную критическую скорость изменения, а
удароопасными считают те участки, в которых одновременно выполняются хотя бы
три из четырех математических соотношений, полученных эмпирическим путем.

Кроме того, условно-удароопасными, требующими дополнительных исследований,
40 считают участки, на которых одновременно выполняются четыре неравенства, также
полученных эмпирическим путем.

При этом измерения производят на множестве точек наблюдения вдоль профиля
контролируемой выработки, а параметр В рассчитывают с помощью линейной регрессии
значений гистограммы в точках наблюдения вдоль профиля контролируемой выработки.

Для осуществления способа устройство, содержащее последовательно соединенные
45 датчик электромагнитного излучения (ЭМИ), предусилитель и усилитель, а также
аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и блок цифровой обработки с подключенным
к нему блоком индикации, согласно изобретению дополнительно снабжено фильтром
низких частот, включенным в последовательную цепь между предусилителем и

усилителем, последовательно включенными между усилителем и АЦП вторым фильтром низких частот и фильтром высоких частот, а также источником опорного напряжения, в блок цифровой обработки включен быстродействующий цифровой сигнальный процессор, подключенный двусторонней связью к АЦП, соединенный также

5 двусторонними связями с энергонезависимой памятью программ, флэш-памятью данных и USB-портом.

Кроме того, в устройстве датчик электромагнитного излучения (ЭМИ) выполнен в виде LC-контура, АЦП выполнен многоразрядным и высокоскоростным, а последовательно включенные LC-контур, предусилитель и фильтр низких частот

10 образуют приемную электромагнитную антенну, конструктивно выполненную в виде цилиндра из радиопрозрачного материала, один торец которого залит компаундом, а в другом гермовводе закреплен антенный кабель, и размещенную в щелевом экране.

Изобретение поясняется чертежами, где на Фиг.1 представлена гистограмма распределения сигналов с амплитудой, превышающей порог A_0 фонового излучения;

на Фиг.2 - схема расположения точек наблюдения вдоль профиля контролируемой

15 выработки; на Фиг.3 - графики изменения параметра A (пиковых амплитуд импульсов ЭМИ) и его градиента вдоль расположения точек наблюдения; на Фиг.4 - графики изменения параметра B (скорости нарастания пиковых амплитуд импульсов выше порогового уровня) и его градиента вдоль профиля контролируемой выработки; на

20 Фиг.5 показана структурная схема устройства, реализующего способ.

Заявленный способ осуществляют следующим образом.

В массиве горных пород на исследуемом участке массива на интервале времени измерения (например, в течение 10-ти секунд), на множестве точек наблюдения вдоль

25 профиля контролируемой выработки осуществляют регистрацию сигналов электромагнитного излучения и измерение их амплитуд, после чего производят подсчет количества амплитуд, превышающих нулевой порог, причем нулевой отсчет амплитуды A_0 принимают с учетом фонового излучения, тем самым исключая из расчета составляющую «мелких» сигналов. Экспериментально установлено, что диапазон

30 амплитуд, которые подвергают дальнейшей обработке, необходимо начинать с нулевого порога с амплитудой A_0 , в котором количество импульсов превышает примерно 65000, и заканчивать максимальной амплитудой A_{\max} , зарегистрированной в 10-ти секундной выборке.

Все сигналы с амплитудой A_0 и ниже отбрасывают, как не информативные.

35 Среди оставшихся сигналов вычисляют параметр A - логарифмическое среднее распределения пиковых амплитуд импульсов по формуле:

$$A = \exp (\Sigma \ln A_i), \quad (1)$$

где A_i - амплитуды отдельных сигналов. $A_i > A_0$.

40 Далее весь массив сигналов с амплитудой более A_0 разбивают на 10 неравных порогов в логарифмической прогрессии с шагом, кратным \log_2 , в диапазоне от A_0 до A_{\max} , где A_{\max} - амплитуда максимального сигнала. Таким образом, пороги получаются «плавающими». Это позволяет даже при высоком уровне стационарной помехи выделять импульсные сигналы, идущие из массива горных пород.

45 По результатам этого деления строят гистограмму распределения сигналов в двойных логарифмических координатах, где по оси абсцисс отложены логарифмы амплитуд, а по оси ординат - логарифмы количеств сигналов, представленную на фиг.1. На основе этой гистограммы с помощью линейной регрессии рассчитывают параметр B - угол

наклона гистограммы, который, по существу, характеризует оценку скорости нарастания пиковых амплитуд импульсов выше порогового уровня.

После снятия измерений во всех точках наблюдения вдоль профиля контролируемой выработки строят графики зависимостей значений $A(x_i)$ и $B(x_i)$ от положения точки x_i на профиле выработки, а также графики градиентов функций $(A(x_i)-A(x_{i-1}))/ (x_i-x_{i-1})$ и $(B(x_i)-B(x_{i-1}))/ (x_i-x_{i-1})$ от x_i соответственно. Примеры построения графиков изменения параметра A и его градиента показаны на фиг.2. При этом, как видно на графике, градиент показывает нарастание скорости изменения амплитуды сигналов около изучаемого места контролируемой выработки.

Аналогично строятся графики для параметра B и его градиента (фиг 3), причем в данном случае градиент также показывает скорость изменения распределения амплитуд сигналов около изучаемого места контролируемой выработки.

Выбор и расчет не только самих величин параметров A и B , но и их градиентов обусловлен необходимостью отслеживать не только зоны активной электромагнитной эмиссии, но и зоны резкого увеличения эмиссии даже в относительно спокойных по динамическим явлениям местах. Резкое нарастание амплитуды эмиссии (увеличение параметра A) или изменение распределения амплитуд сигналов может свидетельствовать о росте трещины. Изменение распределения (уменьшение параметра B) может показывать развивающийся переход к следующей стадии разрушения - массовому появлению микротрещин следующего иерархического уровня.

При наличии критических величин $A_{кр}$ и $B_{кр}$ (известных из предыдущих исследований в данной выработке или шахте) и суммарной критической скорости изменения параметров, определяемой как $\{[dA/dx]*[dB/dx]\}_{кр}$, полученных сопоставлением измерений с одним из базовых методов (например, по выходу штыба, дискованию кернов), удароопасными считают те участки (x_{i-1}, x_{i+1}) , в которых одновременно выполняется хотя бы три из четырех неравенств:

$$A(x_i) > A_{кр}, \quad (2)$$

$$B(x_i) < B_{кр}, \quad (3)$$

$$[(A(x_i) - A(x_{i-1}))/ (x_i - x_{i-1})] * [(B(x_i) - B(x_{i-1}))/ (x_i - x_{i-1})] < \{[dA/dx]*[dB/dx]\}_{кр}, \quad (4)$$

$$[(A(x_{i+1})-A(x_i))/ (x_{i+1} - x_i)] * [(B(x_{i+1}) - B(x_i))/ (x_{i+1} - x_i)] < \{[dA/dx]*[dB/dx]\}_{кр}. \quad (5)$$

где $A(x_i)$ и $B(x_i)$ - значения параметров A и B в точке наблюдения x_i ;

$A_{кр}$ и $B_{кр}$ - критические величины параметров A и B ;

$A(x_{i-1})$ и $B(x_{i-1})$ - значения параметров A и B в предыдущей точке наблюдения по отношению к точке x_i ;

$A(x_{i+1})$ и $B(x_{i+1})$ - значения параметров A и B в последующей точке наблюдения по отношению к точке x_i ;

$\{[dA/dx]*[dB/dx]\}_{кр}$ - значения суммарной критической скорости изменения параметров A и B в соседних точках наблюдения.

При этом принимают во внимание, что критическое значение скорости изменения параметров $\{[dA/dx]*[dB/dx]\}_{кр}$ - величина отрицательная.

Выбор трех неравенств из четырех основан на опыте измерений и означает, что в число удароопасных включены следующие ситуации:

- превышены критические значения $A_{кр}$ и $B_{кр}$, и при этом данная точка на профиле

выработки опаснее, чем хотя бы одна из двух соседних с ней (тем самым исключаются самые «спокойные» точки в удароопасной зоне, которые не являются центрами процессов интенсивного деформирования или разрушения);

5 - превышено хотя бы одно из критических значений (Акр или Вкр), но при этом данная точка на профиле опаснее двух соседних и может стать источником процессов интенсивного необратимого деформирования или разрушения.

При отсутствии разработанных критических величин (например, при первом исследовании данной выработки) условно-удароопасными, в которых необходима проверка удароопасности повторными измерениями или измерениями другими методами, 10 считают участки $((x_{i-1}, x_{i+1}))$, на которых одновременно выполняются неравенства:

$$(A(x_i) - A(x_{i-1})) * (B(x_i) - B(x_{i-1})) / (x_i - x_{i-1}) < 0 \quad (6)$$

$$(A(x_{i+1}) - A(x_i)) * (B(x_{i+1}) - B(x_i)) < 0 \quad (7)$$

$$15 A(x_i) > \min(A(x_{i-1}), A(x_{i+1})) \quad (8)$$

$$15 B(x_i) < \max(B(x_{i-1}), B(x_{i+1})) \quad (9)$$

где $A(x_i)$ и $B(x_i)$ - значения параметров А и В в точке наблюдения x_i ;

$A(x_{i-1})$ и $B(x_{i-1})$ - значения параметров А и В в предыдущей точке наблюдения по отношению к точке x_i ;

20 $A(x_{i+1})$ и $B(x_{i+1})$ - значения параметров А и В в последующей точке наблюдения по отношению к точке x_i .

Выбор всех четырех неравенств в данном случае обусловлен тем, что сравнение производится не с критическими величинами, а со значениями параметров в соседних 25 точках, и условно-удароопасными считаются те участки, которые как по абсолютным величинам параметров А и В, так и по градиентам А и В показывают большую эмиссионную активность, чем соседние. Даже если абсолютные уровни параметров А и В и их градиентов относительно невелики, такое сочетание указывает на высокую вероятность развития необратимых процессов деформирования и разрушения в массиве.

30 Таким образом, разработанный способ, в отличие от существующих, позволяет выделять опасные участки как по абсолютной величине амплитуд импульсов или наклону графика повторяемости, так и по характеру изменений самих амплитуд и их распределения. Этот способ применим и в случае, когда известны критические значения параметров А и В для данного массива горных пород, и при измерениях в новых 35 условиях.

Устройство для регистрации электромагнитного излучения (фиг.5) состоит из блока регистрации 1, приемной электромагнитной антенны 2, зарядного устройства 3 и комплекта кабелей (кабель антенный 4, кабель интерфейсный 5).

40 Блок регистрации 1 размещен в стандартном прямоугольном металлическом корпусе, выполненном в особо взрывобезопасном исполнении с видом взрывозащиты, включающим искробезопасные электрические цепи, например, по ГОСТ Р 51330-10. Такой вид взрывозащиты достигается за счет ограничения параметров электрических цепей до искробезопасных значений, например, в конструкции блока питания, имеющегося в блоке регистрации 1, применена аккумуляторная батарея с параметрами 45 $U_0=9В$, $I_0=1,3А$, $R_{огр}=66 \text{ Ом}$ (залито компаундом), $SQR=10 \text{ Вт}$, $2 \times 3,3 \text{ Ом}$.

Блок регистрации 1 содержит блок питания 6, блок 7 аналоговой и блок 8 цифровой обработки. Блок 7 аналоговой обработки включает в себя последовательно включенные усилитель 9, фильтр низких частот 10, фильтр высоких частот 11, аналого-цифровой

преобразователь (АЦП) 12 и источник опорного напряжения 13, который формирует температурно-стабильное, с малым уровнем шумов напряжение смещения для работы аналоговых блоков прибора в системе с однополярным питанием, выходы которого подключены ко входам приемной электромагнитной антенны 2, фильтра низких частот 10, фильтра высоких частот 11 и АЦП 12. При этом АЦП 12 должен быть выполнен многоразрядным и высокоскоростным, что позволит делать непрерывную запись сигнала в широком динамическом диапазоне и широком частотном спектре.

Блок 9 цифровой обработки представляет собой микропроцессорный блок, построенный на базе стандартного набора функциональных узлов, и включает быстродействующий цифровой сигнальный процессор 14, подключенный двусторонней связью к АЦП 12, соединенный также двусторонними связями с энергонезависимой памятью программ 15, флэш-памятью данных 16 и USB-портом 17. Процессор 14 также соединен с индикатором 18, имеющим, например, жидкокристаллический дисплей, обеспечивающий вывод информации в две строки по 16 символов и расположенный на передней панели устройства. Управление режимами работы прибора осуществляется с помощью функциональной клавиатуры 19.

Функционально блок 9 цифровой обработки предназначен для приема и передачи информации на блоки устройства через стандартные порты сигнального процессора 14, управления работой индикатора 18, клавиатуры 19 и других узлов устройства, обеспечения интерактивного диалога с оператором на этапе ввода исходных параметров и выдачи результатов на ПК и т.д.

Приемная электромагнитная антенна 2 содержит последовательно включенные LC-контур 20, предусилитель 21 и фильтр низких частот 22. Конструктивно приемная штыревая электромагнитная антенна 2 выполнена в виде цилиндра из радиопрозрачного материала, один торец которого залит компаундом, а в другом гермовводе закреплен антенный кабель 4, и размещена в щелевом экране 23, предназначенном для создания направленного приема электромагнитного излучения.

Устройство работает следующим образом. Магнитная составляющая ЭМИ индуцирует ЭДС в контуре антенны 2, а электрическая составляющая отсекается щелевым экраном 23. Индуктивность контура, входная емкость и сопротивление предусилителя 21 задают характер амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) антенны. Сигнал с контура 20 усиливается предусилителем 21 по напряжению и току, и через фильтр низких частот 22 подается в блок 7 аналоговой обработки. При этом выделяется импульсная составляющая нестационарных сигналов, обусловленная естественным излучением горных пород.

Усиленный и отфильтрованный сигнал по экранированному антенному кабелю 4 поступает в блок регистрации 1. Там он дополнительно усиливается по напряжению с помощью усилителя 9 и фильтруется по низкой и высокой частоте с помощью фильтра низких частот 10 и фильтра высоких частот 11 соответственно. Подготовленный таким образом сигнал поступает на 16-ти разрядный АЦП 12 и оцифровывается с частотой 500 кГц. Цифровые отсчеты сигнала по последовательному интерфейсу (по интерфейсу кабелю 5) поступают в сигнальный процессор 14, где в зависимости от выбранного режима работы с помощью специального программного обеспечения обрабатываются в режиме реального времени для определения параметров «А» и «В» или записываются во флэш-память 16 данных прибора для последующей камеральной обработки. Информация об индексе (пикете) и результате измерения выводится на дисплей индикатора 18. Перенос результатов измерений на персональный компьютер (ПК) из блока регистрации 1 происходит при помощи файлового менеджера ОС ПК,

при этом прибор должен быть включен и соединен через USB-порт 17 с помощью интерфейсного кабеля 5 с USB-портом ПК (этот выход на чертеже не показан).

Данные копируются из памяти прибора в компьютер и оформляются в виде табличных файлов для последующего текстового или графического документирования.

5 Результаты измерений выводятся также на табло индикатора 18 прибора, где указывается номер замера и показатели структуры излучения «А» и «В», где «А» - логарифмическое среднее распределения пиковых амплитуд импульсов, зарегистрированных в заданный промежуток времени (в частности, за 10; 20; 40; 80 сек); «В» - показатель распределения амплитуд импульсов по 10-ти уровням (tg угла наклона прямой распределения). Параметр «А» рассчитывают в выбранном интервале записи как среднее арифметическое по абсолютным (выпрямленным) значениям отсчетов или их квадратов, а затем с учетом усиления пересчитывают в микровольты.

15 Устройство в целом может работать при температуре окружающего воздуха от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности окружающей среды $98\pm 2\%$ при температуре $35\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, конструкция устройства позволяет выполнить его малогабаритным и потребляющим небольшое количество электроэнергии, обеспечивает его максимальной степенью искрозащиты и дает возможность работать в условиях сильных промышленных помех. Переноска и обслуживание устройства обеспечивается одним оператором. Кроме того, в устройстве предусмотрена полная запись электромагнитного сигнала, что позволяет получить дополнительную возможность выделять стационарную помеху.

При этом применение разработанной методики обработки принятых сигналов ЭМИ позволяет повысить качество прогноза в условиях горных выработок, отличающихся 25 повышенным уровнем промышленных помех, за счет повышения точности и достоверности получаемых данных, а также снизить трудоемкость и повысить технологичность проведения мониторинга состояния горных пород, что обусловлено возможностью приема сигналов с помощью антенны без контакта с массивом в отличие от других известных методов.

30

Формула изобретения

1. Способ определения удароопасности массива горных пород по электромагнитной эмиссии, включающий измерение в выработке максимальных амплитуды и активности электромагнитного излучения (ЭМИ) на порогах регистрации выше уровня фона ЭМИ, 35 определение критической величины активности ЭМИ и оценку удароопасности контролируемой выработки, причем пороги регистрации ЭМИ выбирают в зависимости от максимальной и фоновой амплитуд импульсов ЭМИ, отличающийся тем, что за нулевой отсчет амплитуд ЭМИ принимают пороговый уровень фонового излучения, в диапазоне амплитуд от нулевого отсчета до максимального вычисляют параметр А как логарифмическое среднее распределения пиковых амплитуд импульсов, затем все значения амплитуд указанного диапазона разбивают на 10 неравных порогов в логарифмической прогрессии с шагом, кратным \log_2 , строят гистограмму распределения сигналов в двойных логарифмических координатах, на основе этой гистограммы рассчитывают параметр В как оценку скорости нарастания пиковых амплитуд импульсов 45 выше порогового уровня, строят графики зависимостей значений параметров $A(x_i)$ и $B(x_i)$ от положения точки наблюдения x_i на профиле выработки, а также графики градиентов функций этих параметров, устанавливают критические величины параметров $A_{кр}$ и $B_{кр}$ и их суммарную критическую скорость изменения, а удароопасными считают

те участки, в которых одновременно выполняются хотя бы три из четырех неравенств:

$$A(x_i) > A_{кр},$$

$$B(x_i) < B_{кр},$$

$$\frac{A(x_i) - A(x_{i-1})}{(x_i - x_{i-1})} * \frac{B(x_i) - B(x_{i-1})}{(x_i - x_{i-1})} < \{ [dA/dx] * [dB/dx] \}_{кр},$$

$$\frac{A(x_{i+1}) - A(x_i)}{(x_{i+1} - x_i)} * \frac{B(x_{i+1}) - B(x_i)}{(x_{i+1} - x_i)} < \{ [dA/dx] * [dB/dx] \}_{кр},$$

где $A(x_i)$ и $B(x_i)$ - значения параметров A и B в точке наблюдения x_i ;

$A_{кр}$ и $B_{кр}$ - критические величины параметров A и B ;

$A(x_{i-1})$ и $B(x_{i-1})$ - значения параметров A и B в предыдущей точке наблюдения по отношению к точке x_i ;

$A(x_{i+1})$ и $B(x_{i+1})$ - значения параметров A и B в последующей точке наблюдения по отношению к точке x_i ;

$\{ [dA/dx] * [dB/dx] \}_{кр}$ - значения суммарной критической скорости изменения параметров A и B в соседних точках наблюдения.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что условно-удароопасными, требующими дополнительных исследований, считают участки, на которых одновременно выполняются неравенства:

$$(A(x_i) - A(x_{i-1})) * (B(x_i) - B(x_{i-1})) / (x_i - x_{i-1}) < 0$$

$$(A(x_{i+1}) - A(x_i)) * (B(x_{i+1}) - B(x_i)) < 0$$

$$A(x_i) > \min(A(x_{i-1}), A(x_{i+1}))$$

$$B(x_i) < \max(B(x_{i-1}), B(x_{i+1}))$$

где $A(x_i)$ и $B(x_i)$ - значения параметров A и B в точке наблюдения x_i ;

$A(x_{i-1})$ и $B(x_{i-1})$ - значения параметров A и B в предыдущей точке наблюдения по отношению к точке x_i ;

$A(x_{i+1})$ и $B(x_{i+1})$ - значения параметров A и B в последующей точке наблюдения по отношению к точке x_i .

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что измерения производят на множестве точек наблюдения вдоль профиля контролируемой выработки.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что параметр B рассчитывают с помощью линейной регрессии значений гистограммы в точках наблюдения вдоль профиля контролируемой выработки.

5. Устройство для определения удароопасности массива горных пород по электромагнитной эмиссии, содержащее последовательно соединенные датчик электромагнитного излучения (ЭМИ), предусилитель и усилитель, а также аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и блок цифровой обработки с подключенным к нему блоком индикации, отличающееся тем, что оно дополнительно снабжено фильтром низких частот, включенным в последовательную цепь между предусилителем и усилителем, последовательно включенными между усилителем и АЦП вторым фильтром низких частот и фильтром высоких частот, а также источником опорного напряжения, выходы которого подключены ко входам датчика ЭМИ, второго фильтра низких частот, фильтра высоких частот и АЦП, а блок цифровой обработки выполнен в виде микропроцессорного блока, включающего быстродействующий цифровой сигнальный процессор, подключенный двусторонней связью к АЦП, соединенный также двусторонними связями с энергонезависимой памятью программ, флэш-памятью данных и USB-портом.

6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что датчик электромагнитного излучения (ЭМИ) выполнен в виде LC-контура.

7. Устройство по п.5, отличающееся тем, что АЦП выполнен многоразрядным и высокоскоростным.

5 8. Устройство по п.5, отличающееся тем, что последовательно включенные LC-контур, предусилитель и фильтр низких частот образуют приемную электромагнитную антенну, конструктивно выполненную в виде цилиндра из радиопрозрачного материала, один торец которого залит компаундом, а в другом гермовводом закреплен антенный кабель, и размещенную в щелевом экране.

10

15

20

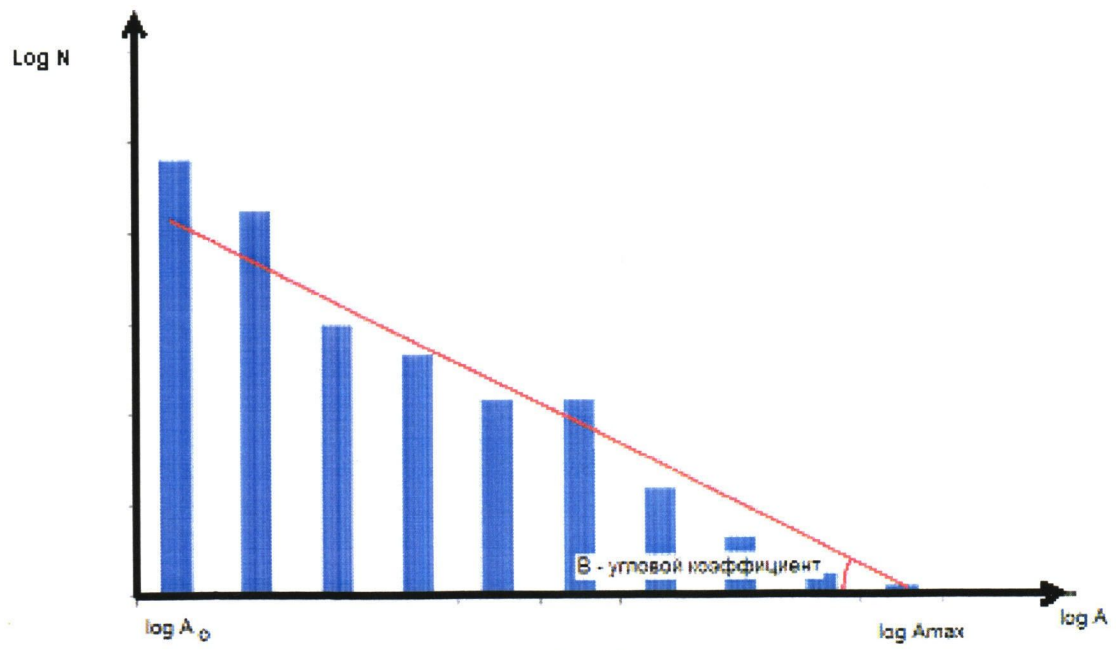
25

30

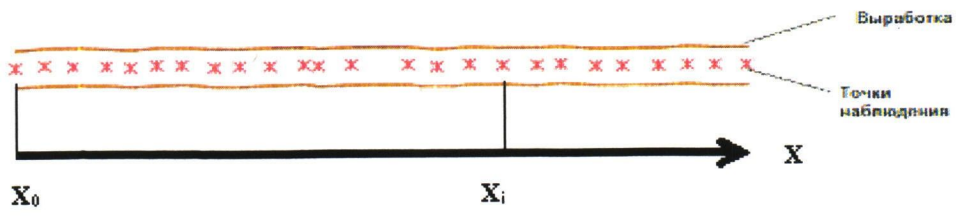
35

40

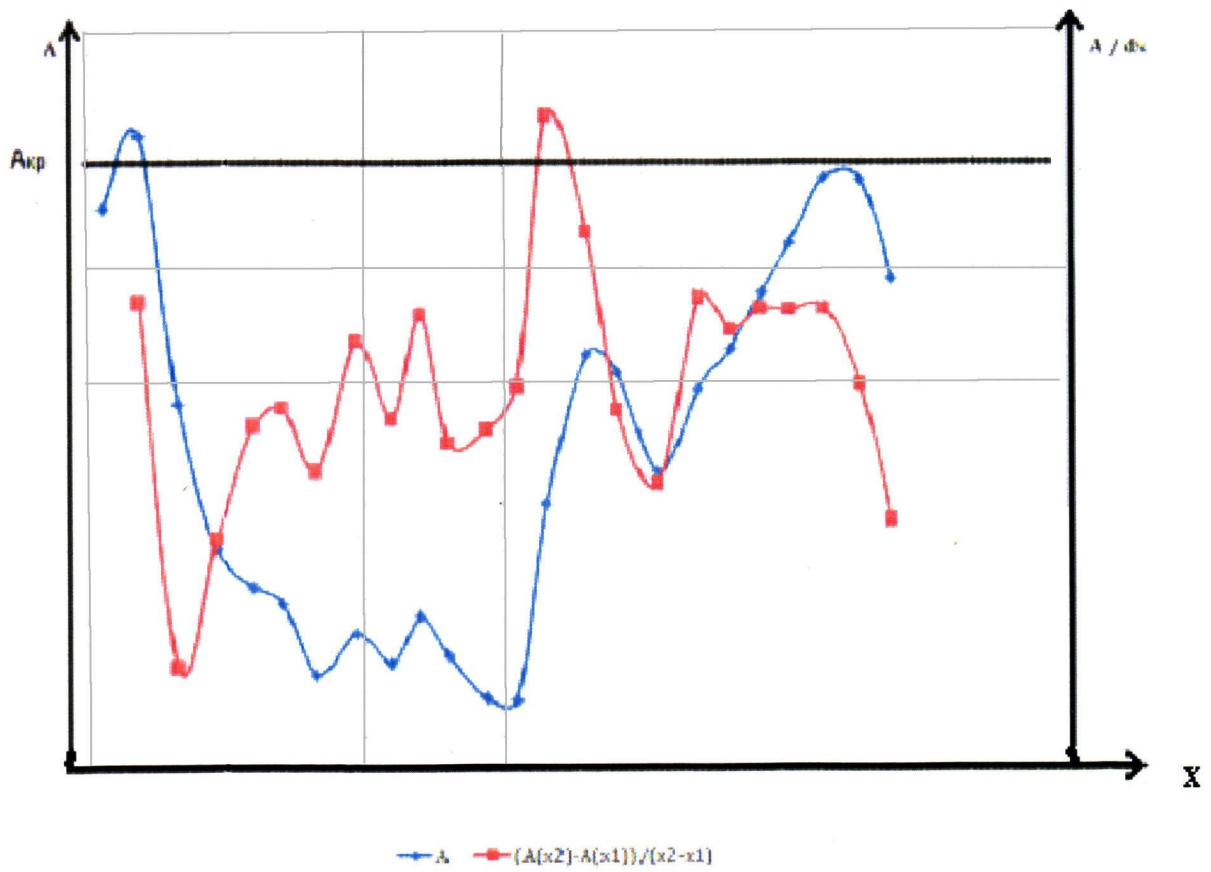
45



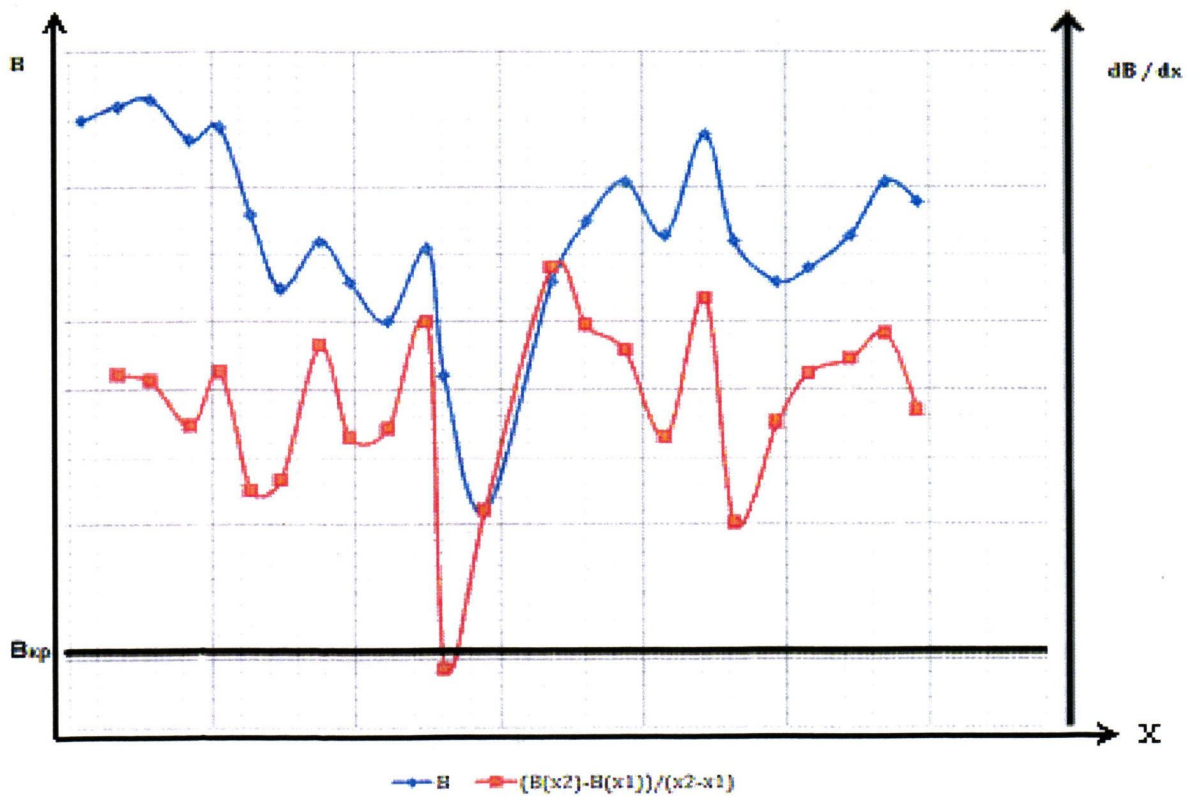
Фиг. 1



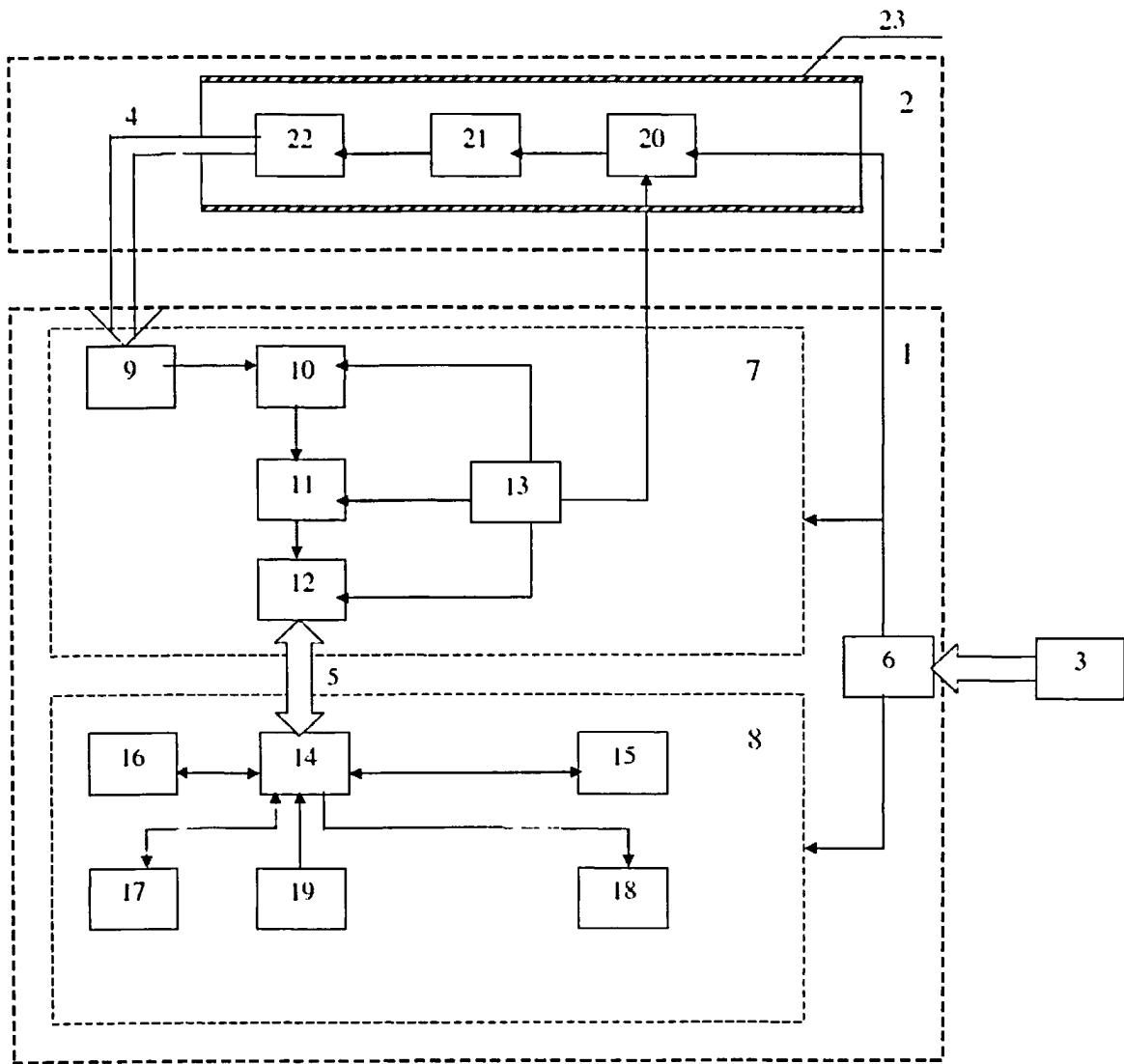
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5