

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2492454

### СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ В СОСТАВЕ ГОРНОЙ МАССЫ И СИСТЕМА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012113090

Приоритет изобретения 03 апреля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 сентября 2013 г.

Срок действия патента истекает 03 апреля 2032 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B.P. Simonov', is written over the printed name.





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012113090/28, 03.04.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.04.2012

(45) Опубликовано: 10.09.2013 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2040020 C1, 20.07.1995. RU 2412650 C1,  
27.02.2011. SU 1784904 A1, 30.12.1992. US  
3361911 A, 02.01.1968. US 2004210393 A1,  
21.10.2004.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский  
государственный горный университет", отдел  
интеллектуальной собственности и  
трансфера технологий (отдел ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Проскураков Руслан Максимович (RU),  
Войтюк Ирина Николаевна (RU),  
Коптева Александра Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

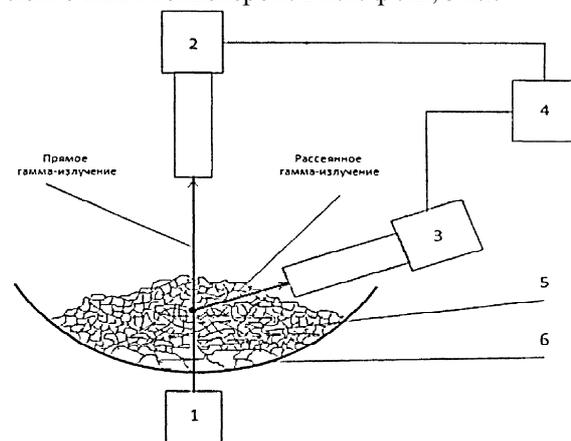
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Санкт-  
Петербургский государственный горный  
университет" (RU)

## (54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ В СОСТАВЕ ГОРНОЙ МАССЫ И СИСТЕМА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Использование: для измерения объемной плотности горной породы в составе горной массы. Сущность: заключается в том, что выполняют облучение исследуемой горной массы потоком гамма-квантов источника излучения, регистрируют потоки гамма-излучения и определяют объемную плотность с учетом интенсивностей потоков гамма-излучения, при этом объемную плотность горной породы, размещенной на движущемся конвейере в составе горной массы, состоящей из полезного ископаемого и горной породы, определяют по разности сигналов постоянного напряжения, пропорциональных интенсивности прямого гамма-излучения, проходящего сквозь горную массу, и интенсивности рассеянного от фокуса гамма-излучения после взаимодействия с полезным ископаемым, при этом поток гамма-квантов

источника излучения направляют вертикально вверх по продольной оси конвейера. Технический результат: повышение точности измерения плотности горной породы в составе горной массы при транспортировании ее ленточным конвейером. 2 н.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012113090/28, 03.04.2012

(24) Effective date for property rights:  
03.04.2012

Priority:

(22) Date of filing: 03.04.2012

(45) Date of publication: 10.09.2013 Bull. 25

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 linija, 2,  
FGBOU VPO "Sankt-Peterburgskij  
gosudarstvennyj gornyj universitet", otdel  
intellektual'noj sobstvennosti i transfera  
tekhnologij (otdel IS i TT)

(72) Inventor(s):

Proskurjakov Ruslan Maksimovich (RU),  
Vojtjuk Irina Nikolaevna (RU),  
Kopteva Aleksandra Vladimirovna (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Sankt-  
Peterburgskij gosudarstvennyj gornyj  
universitet" (RU)

(54) **METHOD OF MEASUREMENT OF BULK DENSITY OF GEOLOGICAL MATERIAL AS PART OF ROCK MASS AND SYSTEM FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

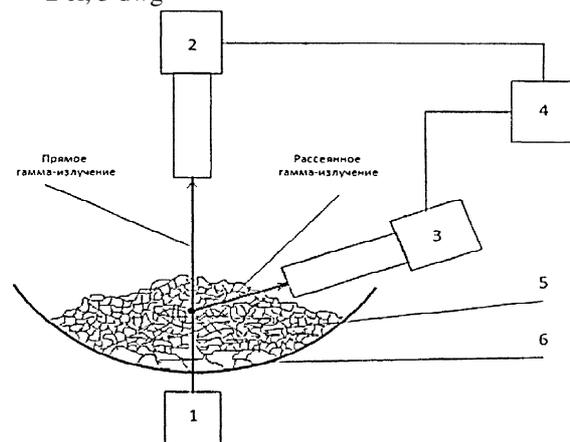
FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: irradiation of the test rock mass with the flux of gamma rays of the radiation source is carried out, the fluxes of gamma radiation are recorded, and the bulk density is determined taking into account the intensities of fluxes of gamma radiation, and the bulk density of the geological material placed on a moving conveyor as part of the rock mass consisting of mineral products and the geological material is determined by the difference between DC voltage signals proportional to the intensity of direct gamma radiation passing through the rock mass, and intensity of scattered from focus gamma radiation after interaction with the mineral products, at that the flux of gamma-rays of the radiation source is directed vertically upwards along the longitudinal axis of the conveyor.

EFFECT: improved accuracy of measurement of

density of the geological material as part of the rock mass during transportation of it on the belt conveyor.

2 cl, 3 dwg



Фиг.1

RU 2 4 9 2 4 5 4 C 1

RU 2 4 9 2 4 5 4 C 1

Изобретение относится к радиоизотопным методам бесконтактного измерения плотности вещества и предназначено для измерения плотности пустой породы в составе горной массы на ленточном конвейере.

5 Известен способ бесконтактного контроля состава твердых, жидких и газообразных сред путем их облучения ядерными излучениями и измерения интенсивности рассеянного исследуемой средой или прошедшего через нее излучения (авт.св. SU №129355, опубл. 01.01 1960 г.). Контроль состава твердых, жидких и газообразных сред производят путем их облучения ядерными излучениями с  
10 последующим измерением интенсивности рассеянного исследуемой средой излучения. Способ дает возможность контролировать состав нескольких (более двух) компонентных сред, для чего исследуемую среду облучают последовательно излучениями различных энергий или видов, или комбинаций этих излучений, а затем, измеряя значение интенсивности рассеянного средой или прошедшего сквозь нее, или  
15 же прошедшего и рассеянного средой излучений, вычисляют содержание отдельных компонентов в исследуемой среде.

Недостатком этого способа является низкая точность и сложность измерений за счет необходимости применения нескольких источников излучения. Также  
20 недостатком является то, что данный способ применим для единичных лабораторных измерений и не подходит в промышленных условиях для непрерывных измерений плотности потока горной массы.

Известен способ измерения плотности или определения наличия и количества материалов различной плотности в подлежащем измерению объекте (пат. RU  
25 №2182703, опубл. 20.05.2002). Способ измерения плотности включает распространение электромагнитных лучей через подлежащий измерению объект и измерение интенсивности излучения на стороне выхода лучей из подлежащего измерению объекта. Протяженность объекта измеряется вдоль пути прохождения излучения через  
30 подлежащий измерению объект, и излучение производится по меньшей мере на двух различных длинах волн.

Недостаток способа заключается в применимости только для единичных образцов материалов, находящихся в статике, и не может быть использован для потоков сыпучих грузов, находящихся в движении и имеющих высокую динамику изменения  
35 плотности.

Известен способ идентификации материалов путем многократного радиографического облучения (пат. RU №2426102, опубл. 10.08.2011), сущность которого заключается в том, что производят радиографическое просвечивание  
40 исследуемого объекта под различными углами, определяют коэффициенты ослабления для материалов, входящих в состав объекта, при этом облучение осуществляют на предварительно заданном наборе энергий, задают множество веществ, подлежащих гарантированной идентификации, затем определяют возможную ошибку нахождения коэффициентов ослабления, для каждого уровня энергии и для каждого включения с  
45 помощью компьютерной программы определяют возможный набор веществ, соответствующий выбранной погрешности, после чего полученные данные обрабатывают с помощью компьютерной программы для идентификации материалов.

Недостаток способа заключается в необходимости многократного рентгеновского  
50 облучения материала, а также в повышении погрешности измерений с увеличением количества веществ в составе исследуемого объекта, имеющих сложную молекулярную структуру с заранее неизвестными плотностями и коэффициентами ослабления первичного излучения.

Известен способ определения количественного состава композиционных материалов (пат. RU №2436074, опубл. 10.12.2011), сущность которого заключается в том, что выполняют последовательное облучение композиционного материала, состоящего по крайней мере из двух компонентов - связующего и наполнителя, потоком проникающего излучения двумя источниками, регистрацию датчиками интенсивности излучения, прошедшего через композиционный материал, определение количественного содержания одного из компонентов по ослаблению прошедшего через композиционный материал излучения и вычисление содержания другого компонента расчетным путем, при этом определение количественного состава производят при перемещении композиционного материала относительно системы измерений, первый источник излучения облучает чистый наполнитель, второй источник излучения облучает наполнитель, пропитанный связующим, два датчика регистрируют прошедшее через композиционный материал излучение от первого и второго источников, при этом на одинаковых расстояниях от источников дополнительно устанавливают два датчика, регистрирующие излучение, прошедшее только через окружающую среду и не прошедшее через композиционный материал, затем количественное содержание связующего определяют по соотношению интенсивности прошедшего через композиционный материал излучения и интенсивности не прошедшего через материал излучения по соответствующему математическому выражению. Технический результат: повышение точности определения количественного состава композиционных материалов. 1 ил.

Недостаток способа заключается в использовании нескольких источников излучения, а также в косвенности измерений количественного содержания связующего, что приводит к низкой точности измерений. Способ не подходит для непрерывных измерений количественного состава потоков сыпучих материалов.

Известен гамма-метод измерения плотности в модификации узкого пучка, заключающийся в облучении изучаемого вещества узким пучком испускаемого радиоактивным источником гамма-излучения и регистрации детектором прошедшего через вещество первичного гамма-излучения (Арцыбашев В.А. Гамма-метод измерения плотности. М.: Атомиздат, 1965, с.28-38). Поглощение и рассеяние гамма-квантов, испускаемых источником, зависит от плотности среды, поэтому измерение ослабленного гамма-излучения источника позволяет определить плотность. По степени ослабления первичного гамма-излучения, используя экспоненциальный закон, рассчитывают плотность поглощающей среды.

Недостаток метода заключается в том, что не учитывается влияние рассеянного материалом излучения, что вносит дополнительные погрешности на результат измерений.

Известен способ определения плотности горных пород по степени ослабления ими первичного пучка  $\gamma$ -излучения. (Осипов В.И. Лабораторный гаммаскопический плотномер горных пород. - Изотопы в СССР, 1972, №26, с.25-28). Гамма-излучение по специальному каналу-коллиматору диаметром 3 мм выходит в виде направленного пучка из левого конуса, проходит через образец и по аналогичному коллиматору правого конуса попадает в детектор. Обработку результатов измерений осуществляет блок, состоящий из интенсиметра и регистратора импульсов. Ослабление узкого пучка в исследуемой среде определяется известным экспоненциальным законом, а плотность среды вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{\ln N_0 - \ln N}{\mu \cdot x}$$

где  $N$  - интенсивность излучения при наличии поглощающей среды;  $N_0$  - интенсивность излучения при отсутствии поглощающей среды;  $\mu$  - массовый коэффициент ослабления излучения в исследуемой среде;  $x$  - толщина исследуемого образца.

5 Массовый коэффициент ослабления может быть рассчитан теоретически, исходя из валового химического состава исследуемой породы и энергии  $\gamma$ -излучения, или найден экспериментально из формулы при определении  $N$  и  $N_0$  в образцах с заранее известной плотностью.

10 Недостаток способа заключается в том, что повышении относительной погрешности определения плотности пород с уменьшением линейной плотности исследуемых образцов, а также неточности измерений при неоднородностях химического состава материала.

15 Известен способ определения объемной плотности горных пород (патент РФ №2040020, опубл. 20.07.1995), принятый за прототип, включающий облучение исследуемой горной породы потоком гамма-квантов источника и регистрацию на одном или нескольких расстояниях от источника интенсивностей  $N_i$  потоков рассеянного гамма-излучения в области энергий 0,2-1,0 МэВ, проведение градуировки и определение объемной плотности с учетом соотношения интенсивностей потоков  
20 рассеянного гамма-излучения, отличающийся тем, что дополнительно для исследуемой горной породы определяют эффективный атомный номер  $Z_{эф}$  например, путем регистрации мягкой компоненты рассеянного гамма-излучения в области энергий менее 200 кэВ, априорно устанавливают корреляционную зависимость  
25 между  $Z_{эф}$ , и параметром  $K=2 \sum P_i Z_i^2 / A_i$ , где  $P_i$  массовое содержание в горной породе элемента с атомным номером  $Z_i$  и атомным весом  $A_i$ , для чего отбирают, проводят анализ и определяют массовое содержание каждого элемента и  $Z_{эф}$  для образцов разных типов горных пород, предварительно на стандартных образцах с известной  
30 электронной плотностью осуществляют градуировку прибора в единицах электронной плотности  $\rho_э=f(N_i)$ , при регистрации интенсивностей  $N_i$  потоков рассеянного гамма-излучения в области энергий 0,2-1,0 МэВ определяют с учетом их соотношения величину  $\rho_э$  исследуемой горной породы, по найденному для исследуемой горной породы значению  $Z_{эф}$ , и зависимости  $K=f(Z_{эф})$  определяют  
35 соответствующую ему величину  $K$ , а объемную плотность  $\rho$  исследуемой горной породы рассчитывают по соотношению  $\rho=\rho_э/K$ .

40 Недостаток: способ усложнен из-за необходимости предварительного отбора, анализа и определения массового содержания каждого элемента и эффективного атомного номера для образцов разных типов горных пород, а также многочисленных градуировок прибора. Способ подходит для горных пород с плотностями, отличающимися незначительно и не подходит для грузопотоков со случайным распределением плотности на конвейере.

45 Известен термокаталический газоанализатор (пат. на пм RU №18582. опубл. 27.06.2001 г.). Газоанализатор содержит мостовую измерительную схему содержит мостовую измерительную схему со встроенными в нее чувствительными элементами, выполненными по микроэлектронной технологии. В качестве измерительной схемы  
50 использована двухмостовая схема, состоящая из измерительного моста, в одно плечо которого встроен измерительный элемент, и сравнительного моста, в одно плечо которого встроен сравнительный элемент, причем оба элемента имеют идентичную конструкцию, а в качестве плеч отношений измерительного и сравнительного моста служат резисторы с разным сопротивлением с возможностью разогрева

измерительного и сравнительного элементов электрическим током до разных температур.

Недостатком является то, что компенсационный резистор ставится не в смежное плечо рабочего моста, а подключено к сравнительному мосту, что неправильно. При  
5 подключении сравнительного моста возникает дополнительный источник ошибок, так все резисторы дополнительного моста, во-первых, имеют разброс  $\pm 10\%$  по номинальным значениям, а, во-вторых, дополнительный мост должен компенсировать уход от номинала одного резистора, и при подключении четырех  
10 резисторов этого не происходит. В связи с этим в дополнительном мосте наблюдается как температурный дрейф, так и разброс по номиналам. Для того, чтобы компенсировать влияние температуры на резисторы, их необходимо подключать к термостатам, но по данной схеме это невозможно, так как не произойдет компенсации влияния внешней среды. Суммарная ошибка от дрейфа номиналов дополнительного  
15 моста будет более значительной, так как она подвергается в процессе выделения полезно сигнала мультипликативному и аддитивному преобразованию.

Известна двухмостовая измерительная схема (Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. Учеб. для вузов. - М.: Изд-во МЭИ, 2005, стр.356-358), используемая в газоанализаторе МН и предназначенная для  
20 измерения содержания газа путем изменения напряжения в обоих мостах. Схема работает следующим образом: два моста, питаемых от вторичных обмоток силового трансформатора, первый из которых является рабочим, а второй - мост сравнения. Рабочий мост имеет резисторы  $R_1, R_2$ , представляющие собой платиновые  
25 чувствительные элементы с внешним теплообменом, омываются анализируемым газом, Резистор  $R_1$ , находится в неоднородном магнитном поле,  $R_2$  - между полюсами ложного магнита (медного блока). Резисторы  $R_3, R_4$  являются постоянными и выполнены из манганиновой проволоки. При наличии кислорода в смеси газов  
30 рабочий мост работает в неравновесном режиме и напряжение в измерительной диагонали  $U_{ab}$  зависит от концентрации кислорода. Для проверки начальной точки шкалы вторичного прибора приемник снабжается металлическим шунтом. При его опускании снимается магнитное поле, резисторы  $R_1$  и  $R_2$  попадают в одинаковые  
35 условия и рабочий мост должен быть уравновешен. В схему моста включен не показанный на схеме переменный резистор начальной балансировки.

Плечи второго моста  $R_5$  и  $R_6$  выполнены из платиновой проволоки, омываются воздухом, причем  $R_6$ , как и  $R_2$  находится между полюсами ложного магнита. Резисторы  $R_7$  и  $R_8$  выполнены подобно  $R_3$  и  $R_4$  из манганиновой проволоки.  
40 Поскольку концентрация кислорода в воздухе, является стабильной, второй мост развивает постоянный сигнал небаланса  $U_{bd}$ . Колебания  $U_{bd}$  обусловлены только отклонениями напряжения питания, температуры и давления окружающей среды. Для измерения сигнала рабочего моста используется компенсационный метод, причем сигналом компенсации служит доля напряжения небаланса моста сравнения  $U_{bd}$ ,  
45 снимаемая с реохорда,  $U_{bc} = a \cdot U_{bd}$  где  $a$  изменяется от 0 до 1. Компенсация сигнала рабочего моста долей сигнала моста сравнения осуществляется автоматически.

Недостатки: используется операционный усилитель, который не подходит для  
50 точного измерения величины из-за низкой чувствительности диапазона измерения. Реохорд находится в питающей диагонали второго моста, поэтому шунтирующее сопротивление выходной диагонали второго моста включено последовательно во входную цепь усилителя, что в свою очередь приводит к изменению сопротивления на входе усилителя в процессе измерения, что резко повышает нелинейность усиленного

выходного сигнала и уменьшает чувствительность, а значит точность и воспроизводимость результатов измерения.

Известно устройство для измерения характеристик материала на движущемся конвейере, в частности толщины, массы, плотности, твердости, состава и так далее и  
5 уменьшения флуктуации импульсов после прохождения через вещество (патент US №3373286, опубл. 03.12.1968 г.). Устройство включает лучевой источник гамма-излучения, расположенный на одной стороне материала и детектор, расположенный с

10 противоположной стороны для приема прошедшего через материал излучения. Материалом может служить любое твердое или сыпучее вещество. Детектор выполняет функцию преобразования интенсивности излучения в пропорциональный ей электрический сигнал. Влияние неустойчивых колебаний импульсов или  
15 рассеянного излучения на результат измерений компенсируется за счет использования в системе коллиматора, формирующего направленный поток излучения и

установленного между источником излучения и контролируемым материалом. Недостатком является неточность измерения характеристик вещества при  
20 одновременном нахождении на конвейерной ленте материала с различной плотностью и химическими свойствами и возможность измерения плотности только

однокомпонентной среды. Известна система для измерения удельной массы материала на ленточном конвейере при помощи регистрации рассеянного материалом излучения (патент US №3361911, опубл. 01.02.1968 г.), принятая в качестве прототипа. Материал,  
25 находящийся на ленточном конвейере, облучают вертикальным потоком гамма-квантов от источника излучения, расположенного под лентой по центру конвейера, затем регистрируют рассеянное материалом гамма-излучение детектором,  
расположенным напротив источника, преобразуя интенсивность излучения в пропорциональный ей сигнал постоянного напряжения, которое подают на усилитель  
30 и далее к индикатору. Установка включает источник излучения с радиоизотопом  $Co^{60}$ , ленточный конвейер с нагруженным материалом, диафрагму, детектор излучения, усилитель и индикатор. Удельную массу контролируемого материала определяют по

35 прямой зависимости от числа импульсов, испускаемых детекторами. Недостаток - низкая точность за счет отсутствия возможности разделения потока на конвейере, имеющего различную плотность, то есть для получения точных физических характеристик необходима предварительная сепарация потока.

Техническим результатом способа является повышение точности измерения плотности горной породы в составе горной массы при транспортировании ее  
40 ленточным конвейером.

Техническим результатом системы является повышение точности измерения плотности горной породы в составе горной массы при транспортировании ее ленточным конвейером.

45 Технический результат достигается тем, что в способе определения объемной плотности горной породы в составе горной массы, включающий облучение исследуемой горной массы потоком гамма-квантов источника излучения, регистрацию потоков гамма-излучения и определение объемной плотности с учетом интенсивностей потоков гамма-излучения, объемную плотность горной породы,  
50 размещенной на движущемся конвейере в составе горной массы, состоящей из полезного ископаемого и горной породы, определяют по разности сигналов постоянного напряжения, пропорциональных интенсивности прямого гамма-излучения, проходящего сквозь горную массу, и интенсивности рассеянного от фокуса

гамма-излучения после взаимодействия с полезным ископаемым, при этом поток гамма-квантов источника излучения направляют вертикально вверх по продольной оси конвейера.

5 Технический результат достигается тем, что система для измерения плотности  
объемной плотности горной породы в составе горной массы, включающая источник  
излучения, детектор излучения, расположенный напротив него по вертикали,  
снабжена дополнительным детектором излучения, расположенным под углом к  
10 вертикальной оси в направлении интенсивности рассеянного от фокуса гамма-  
излучения после взаимодействия с полезным ископаемым, и вычислительным  
устройством обработки данных, выполненным в виде двухмостовой компенсационной  
измерительной схемы, в которой питающая диагональ рабочего моста соединена с  
первым детектором излучения, питающая диагональ компенсационного моста  
15 соединена с дополнительным детектором излучения, измерительные диагонали  
указанных мостов включены встречно, при этом первые вершины измерительных  
диагоналей соединены накоротко, а вторые вершины - через индикатор нуля  
соединены с входом релейного усилителя, который соединен с обмоткой реверсивного  
двигателя, вал которого механически соединен с реохордом, расположенным между  
20 двумя сопротивлениями компенсационного моста, и шкалой измерений.

На фиг.1 представлена схема способа. Способ осуществляют следующим образом.  
Поток горной массы 5, размещенной на движущемся конвейере 6 и состоящей из  
полезного ископаемого и горной породы, например, каменного угля и горной породы  
или железной руды и горной породы, облучают потоком гамма-квантов источника  
25 излучения 1, расположенного под конвейером 6 по его продольной оси. При этом  
поток гамма-квантов источника излучения 1 направляют вертикально вверх по  
продольной оси конвейера 6 перпендикулярно потоку горной массы 5. Детектором 2  
регистрируют интенсивность прямого гамма-излучения, проходящего сквозь горную  
массу 5, движущуюся на ленточном конвейере 6, по ее продольной оси. Детектором 3  
30 регистрируют интенсивность рассеянного от фокуса гамма-излучения после  
взаимодействия с полезным ископаемым, например, углем или железной рудой.  
Объемную плотность горной породы определяют с учетом интенсивностей потоков  
гамма-излучения, а именно как разность сигналов постоянного напряжения,  
35 пропорциональных измеренным детекторами 2 и 3 интенсивностей гамма-излучений в  
вычислительном устройстве 4.

Способ осуществляют следующим образом. Суммарный многокомпонентный  
поток горной массы 5, состоящей из полезного ископаемого, например, угля или  
40 железной руды, и горной породы и перемещаемый конвейером 6, облучается узким  
пучком гамма-квантов, испускаемых из источника излучения 1 радионуклидом Cs-137  
с энергией гамма-кванта 662 кэВ (фиг.1). Пучок направлен перпендикулярно потоку  
по продольной оси конвейера 6. Луч взаимодействует с горной массой 5 на  
конвейере 6. При этом происходит ослабление потока квантов в узком пучке,  
45 проходящего через горную массу 5, за счет фотоэлектрического поглощения квантов  
и выхода квантов из узкого пучка при комптоновском рассеянии. Таким образом, при  
взаимодействии с потоком горной массы 5 на конвейере 6 пучок излучения  
преобразуется в две составляющие: прямое и рассеянное  $\gamma$ -излучение. Прямое  
50 излучение пронизывает продольное сечение потока горной массы 5 на конвейере 6, и  
степень его ослабления дает информацию об общем потоке горной массы 5, например,  
угле или железной руды и горной породы на конвейере 6. Регистрация прямого  
излучения происходит в детекторе 2, установленном напротив источнику 1 гамма

излучения по вертикали.

При транспортировании потока горной массы 5 по ленточному конвейеру 6 ввиду того, что куски горной породы обладают большей в несколько раз плотностью и размерами в сравнении с полезным ископаемым, они подвергаются «стесненному падению» и с течением определенного времени оказываются в нижнем слое транспортируемого грузопотока, а полезное ископаемое - в верхней. При этом по сечению потока горной массы 5 горная порода занимает меньшую в несколько раз площадь в сравнении с полезным ископаемым, как видно из фиг.1. В связи с этим первичное излучение при взаимодействии с потоком горной массы 5 будет претерпевать максимальное рассеяние в точке поперечного сечения потока горной массы 5 занятой полезным ископаемым, например, углем или железной рудой, или в так называемом фокусе излучения. Фокус излучения системы - точка, в которой пересекаются или фокусируются продолжения первоначально параллельных лучей после прохождения через рассеивающую среду. При этом по сечению горной массы 5 может быть несколько фокусов, образованных различными веществами горной массы 5 и собранных в фокальную поверхность.

Для повышения точности измерений целесообразно регистрировать рассеянное  $\gamma$ -излучение непосредственно от полезного ископаемого, например угля или железной руды, так как по количеству его много больше, чем горной породы. Регистрация рассеянного излучения производится детектором 3, направленного в сторону фокуса рассеянного излучения в полезном ископаемом, например в угле или железной руде. Угол поворота детектора 3 в пространстве подбирают экспериментально и зависит от расположения точки максимального измерительного сигнала.

Регистрация потоков гамма-квантов прямого и рассеянного излучений в детекторах 2 и 3 соответственно осуществляют с использованием сцинтилляционного детектора 8 согласно фиг.2, в которых происходит формирование спектрометрических сигналов, амплитуда которых пропорциональна энергии зарегистрированных квантов. Энергии зарегистрированных прямых и рассеянных квантов лежат в двух различных диапазонах. Поток гамма-излучения от источника 1, прошедший через горную массу 5, преобразуют в фотоэлектронном умножителе 9 в электрический сигнал: импульсы переменной амплитуды и длительности.

При подаче действующих значений напряжений от детекторов 2 и 3 прямого и рассеянного излучений в измерительную схему получаем разность напряжений  $U_1$  и  $U_2$ :  

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

По значению  $\Delta U$  получают значение объемной плотности горной породы на предварительно отградуированной в единицах плотности шкале измерений.

На фиг.1 представлена схематично система для измерения объемной плотности горной породы, на фиг.2 - составные блоки детектора излучения 2 и 3, на фиг.3 - вычислительное устройство 4 или двухмостовая компенсационная измерительная схема.

Система состоит из источника гамма-излучения 1, детекторов излучения 2, 3 и вычислительного устройства 4 обработки данных, выполненном в виде двухмостовой компенсационной измерительной схемы. Детектор 2 расположен вертикально по продольной оси конвейера 5, строго напротив источника излучения 1, а детектор 3 - под углом к вертикальной оси в направлении интенсивности рассеянного от фокуса гамма-излучения после взаимодействия с полезным ископаемым, например, углем или железной рудой.

Источник излучения представлен в виде защитного коллимирующего устройства

для формирования узкого пучка излучения радионуклида Cs-137 в области энергий 0,662 МэВ.

В состав детектора излучения входят коллиматор 7, сцинтилляционный детектор 8 типа СДН-71 типоразмера  $\varnothing 30 \times 63$  мм, фотоэлектронный умножитель 9 типа ФЭУ-115(ФЭУ-115М), интегрирующий усилитель 10, компаратор 11, счетчик 12, генератор тактовых импульсов 13, цифроаналоговый преобразователь 14 и высоковольтный источник питания 15. (Фиг.2) Коллиматор 7 служит для получения параллельных пучков лучей, прошедших через контролируемую среду.

Сцинтилляционный детектор 8 собран на основе сцинтилляционного кристалла NaJ(Tl), и служит для преобразования интенсивности гамма-квантов в импульсы светового излучения определенной интенсивности в зависимости от их энергии. ФЭУ 9 служит для преобразования энергии световой вспышки в электрический импульс. Интегрирующий усилитель 10 предназначен для усиления сигнала с выхода ФЭУ 9.

Компаратор 11, предназначен для дискриминации сигналов с выхода интегрирующего усилителя 10. Для детектора 2 прямого излучения производится дискриминация импульсов, соответствующих энергиям гамма-квантов меньшим 300 кэВ, а для детекторов 3 рассеянного излучения - импульсов, соответствующих энергиям гамма-квантов превышающим 300 кэВ. Импульсы с выхода компаратора 11 подсчитываются счетчиком 12, после чего подаются на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) 14, где преобразуются в аналоговый сигнал постоянного напряжения. Генератор тактовых импульсов 13 подключен к счетчику 12 и ЦАП 14 и предназначен для точного измерения временных интервалов и формирования интервалов «счет» и «пауза» на основе кварцевого резонатора Q2 частотой 18.432 МГц. Питание детекторов 2 и 3 осуществляют регулируемым в диапазоне 1000-1500 В напряжением от высоковольтного источника питания 15, при токе потребления, не более 0,1 мА.

Вычислительное устройство 4 представлено в виде двухмостовой компенсационной измерительной схемы и служит для обработки данных с выходов детекторов 2, 3, в частности, для осуществления индикации на шкале измерений разности напряжений от детекторов 2 и 3.

В состав вычислительного устройства входят (фиг.3): рабочий и компенсационный мосты M1 и M2 соответственно с постоянными сопротивлениями R<sub>1</sub>-R<sub>6</sub> и реохордом R<sub>7,8</sub>, индикатор нуля R<sub>Э</sub>, релейный усилитель V, реверсивный двигатель M, и шкала измерений Ш.

Система работает следующим образом: суммарный многокомпонентный поток горной массы 5, состоящий из полезного ископаемого, например, угля или железной руды, и горной породы и перемещаемый ленточным конвейером, облучается узким пучком гамма-квантов, испускаемых от источника гамма-излучения 1 (рис.1). Пучок направлен вертикально вверх по продольной оси конвейера 6. После взаимодействия с горной массой 5 прямое гамма-излучение регистрируется детектором 2, а рассеянное гамма-излучение после взаимодействия с потоком полезного ископаемого, например, углем или железной рудой, - детектором 3.

Детекторы излучения 2, 3 работают в счетном режиме и преобразуют каждые кванты, попавшие в виде вспышек света на фотоэлектронных умножителях 9 в импульсы напряжения. Затем, попадая в интегрирующие усилители 10, импульсы усиливаются и подаются к компараторам 11, где дискриминируются по мощности в зависимости от вида излучения и преобразуются в цифровой код, который поступает в

счетчик 12 для подсчета полученных импульсов. С выхода счетчиков 12 подсчитанные импульсы поступают на ЦАП 14, где преобразуются в аналоговый сигнал постоянного напряжения. Таким образом, детектор 2 осуществляет преобразование интенсивности квантов прямого излучения в напряжение  $U_1$ , а детектор 3 - преобразование интенсивности квантов рассеянного излучения в напряжение  $U_2$ . Сигнал  $U_1$ , пропорциональный значению объемной плотности всего потока горной массы 5 и сигнал  $U_2$ , пропорциональный значению объемной плотности полезного ископаемого, например, угля или железной руды, подают на вычислительное устройство 4 к питающим диагоналям рабочего и компенсационного мостов М1 и М2 соответственно.

Первые вершины измерительных диагоналей мостов М1 и М2 соединены накоротко, а вторые - через индикатор нуля  $R_3$ , который является нулевым органом и поддерживает четырехканальный диапазон чувствительности системы к изменению напряжения между мостами. Индикатор нуля  $R_3$  подключен к входу релейного усилителя V, который в свою очередь управляет обмоткой реверсивного двигателя М. Вал двигателя М механически соединен с реохордом  $R_{78}$  и шкалой измерений Ш.

Схемы измерительных диагоналей мостов М1 и М2 включены встречно. Таким образом, сигналы напряжений  $U_1$  и  $U_2$  в измерительных диагоналях мостов М1 и М2 имеют разные знаки, что обеспечивает разность напряжений на индикаторе нуля  $R_3$ , равную:

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

От индикатора нуля  $R_3$  разность напряжений поступает на вход релейного усилителя V с малой зоной нечувствительности, после чего усиливается и поступает на управляющую обмотку реверсивного двигателя М, заставляя последний вращаться. Двигатель М в свою очередь перемещает контакт реохорда  $R_{78}$  и уравнивает систему таким образом, чтобы падение напряжения, протекающее через индикатор нуля  $R_3$ , стало равным нулю.

Таким образом, большая часть напряжения измерительной диагонали моста М2 оказывается скомпенсированной падением напряжения на реохорде  $R_{78}$ . Одновременно с передвижением контакта реохорда  $R_{78}$  происходит передвижение стрелки шкалы измерений Ш на угол  $\varphi$ . Значение объемной плотности горной породы, свободной от погрешностей, генерируемых посторонними компонентами, получают на предварительно отградуированной шкале Ш. Второстепенные сигналы при этом компенсируют.

#### Формула изобретения

1. Способ определения объемной плотности горной породы в составе горной массы, включающий облучение исследуемой горной массы потоком гамма-квантов источника излучения, регистрацию потоков гамма-излучения и определение объемной плотности с учетом интенсивностей потоков гамма-излучения, отличающийся тем, что объемную плотность горной породы, размещенной на движущемся конвейере в составе горной массы, состоящей из полезного ископаемого и горной породы, определяют по разности сигналов постоянного напряжения, пропорциональных интенсивности прямого гамма-излучения, проходящего сквозь горную массу, и интенсивности рассеянного от фокуса гамма-излучения после взаимодействия с полезным ископаемым, при этом поток гамма-квантов источника излучения направляют вертикально вверх по продольной оси конвейера.

2. Система для измерения плотности объемной плотности горной породы в составе

горной массы, включающая источник излучения, детектор излучения, расположенный  
напротив него по вертикали, отличающаяся тем, что она снабжена дополнительным  
детектором излучения, расположенным под углом к вертикальной оси в направлении  
5 интенсивности рассеянного от фокуса гамма-излучения после взаимодействия с  
полезным ископаемым, и вычислительным устройством обработки данных,  
выполненным в виде двухмостовой компенсационной измерительной схемы, в  
которой питающая диагональ рабочего моста соединена с первым детектором  
излучения, питающая диагональ компенсационного моста соединена с  
10 дополнительным детектором излучения, измерительные диагонали указанных мостов  
включены встречно, при этом первые вершины измерительных диагоналей соединены  
накоротко, а вторые вершины - через индикатор нуля соединены с входом релейного  
усилителя, который соединен с обмоткой реверсивного двигателя, вал которого  
15 механически соединен с реохордом, расположенным между двумя сопротивлениями  
компенсационного моста, и шкалой измерений.

20

25

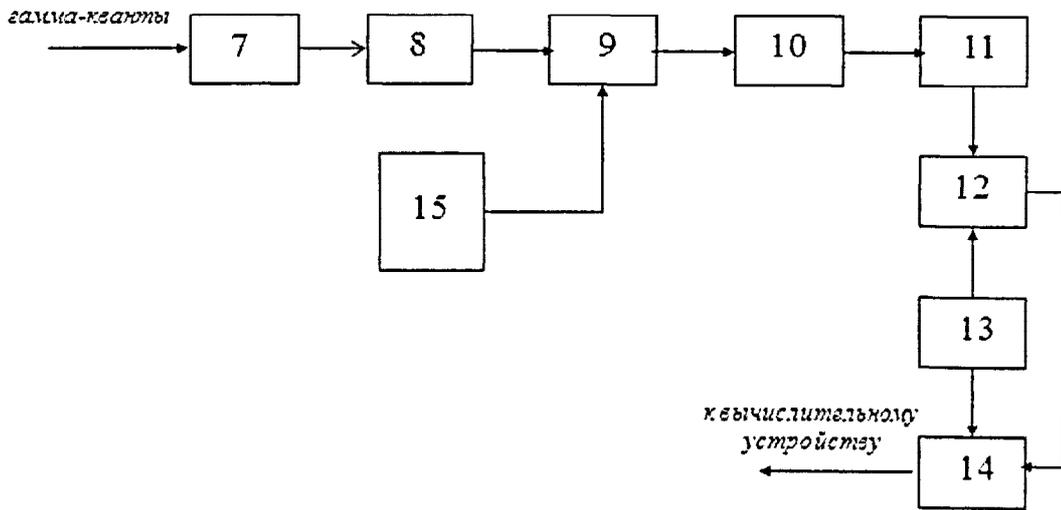
30

35

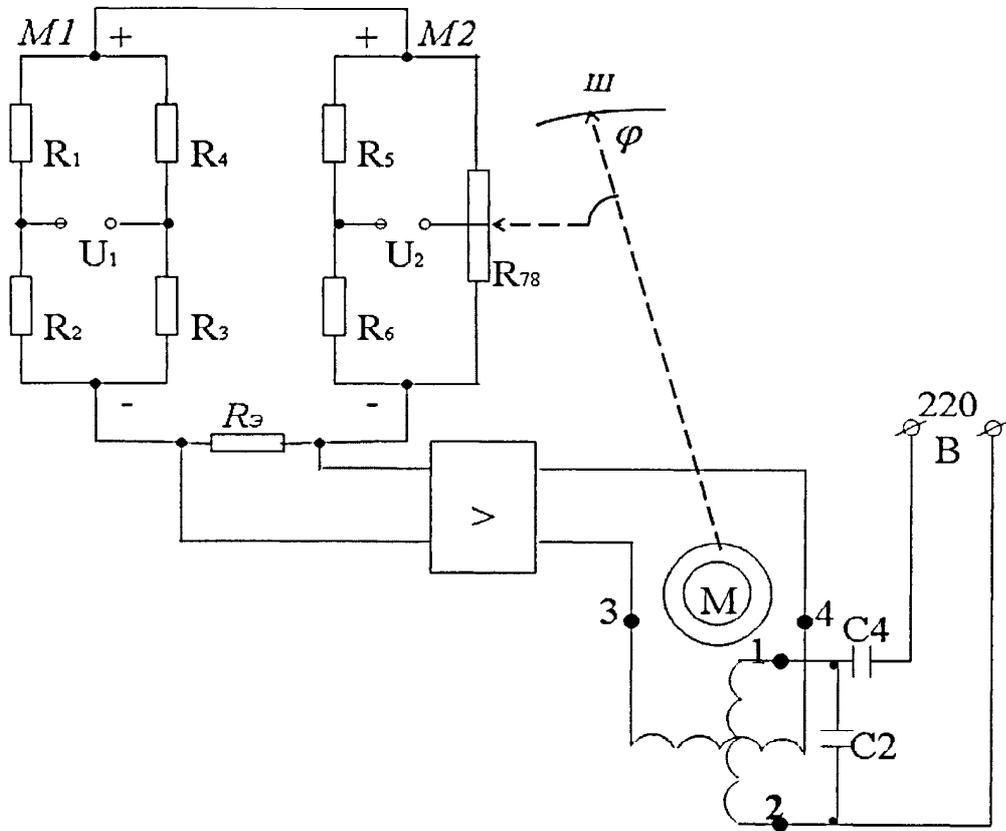
40

45

50



Фиг.2



Фиг. 3