



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

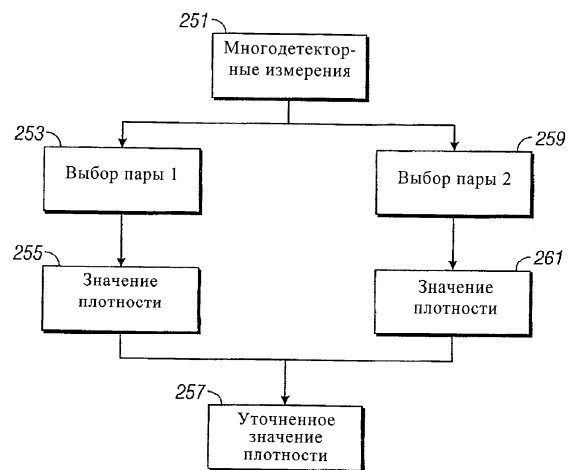
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2007143511/28, 24.04.2006**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.04.2006(30) Конвенционный приоритет:
27.04.2005 US 11/115,792(43) Дата публикации заявки: **10.06.2009**(45) Опубликовано: **10.08.2010** Бюл. № 22(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **US 2005067563 A1, 31.03.2005. US**
2002190198 A1, 19.12.2002. US 5825024 A,
20.10.1998. US 2003178560 A1, 25.09.2003. SU
525038 A1, 15.08.1976. SU 659108 A1,
25.04.1979.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную
фазу: **27.11.2007**(86) Заявка РСТ:
US 2006/015454 (24.04.2006)(87) Публикация РСТ:
WO 2006/116299 (02.11.2006)Адрес для переписки:
101000, Москва, М.Златоустинский пер., 10,
кв.15, "ЕВРОМАРКПАТ", пат.пов.
И.А.Веселищкой, рег. № 11(72) Автор(ы):
ГИЛЧРИСТ Аллен У. (US)(73) Патентообладатель(и):
БЕЙКЕР ХЬЮЗ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ПОЛУЧЕНИЯ УТОЧНЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ ПЛОТНОСТИ
ПОРОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ**

(57) Реферат:

Использование: для определения уточненного значения плотности породы с использованием импульсного источника нейтронов. Сущность: заключается в том, что облучают толщу пород источником нейтронов, находящимся в стволе пробуренной в толще пород скважины, регистрируют, по меньшей мере, в трех местоположениях в стволе скважины гамма-излучение, создаваемое в породе в результате облучения, осуществляют

для каждого из, по меньшей мере, трех местоположений выработку сигнала отклика, соответствующего указанному зарегистрированному гамма-излучению, для каждой из, по меньшей мере, двух пар сигналов отклика определяют соответствующее значение плотности с использованием сравнения числа отсчетов зарегистрированных гамма-квантов, и получают на основе, по меньшей мере, двух значений плотности уточненное значение плотности породы.

Технический результат: повышение точности определения плотности породы. 3 н. и 16 з.п. ф-лы, 5 ил.



ФИГ. 5



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007143511/28, 24.04.2006**

(24) Effective date for property rights:
24.04.2006

(30) Priority:
27.04.2005 US 11/115,792

(43) Application published: **10.06.2009**

(45) Date of publication: **10.08.2010 Bull. 22**

(85) Commencement of national phase: **27.11.2007**

(86) PCT application:
US 2006/015454 (24.04.2006)

(87) PCT publication:
WO 2006/116299 (02.11.2006)

Mail address:
**101000, Moskva, M.Zlatoustinskij per., 10, kv.15,
"EVROMARKPAT", pat.pov. I.A.Veselitskoj, reg.
№ 11**

(72) Inventor(s):
GILChRIST Allen U. (US)

(73) Proprietor(s):
BEJKEK Kh'JuZ INKORPOREJTED (US)

(54) PROCEDURE AND DEVICE FOR OBTAINING CORRECTED VALUE OF ROCK DENSITY WITH IMPLEMENTATION OF PULSE SOURCE OF NEUTRONS

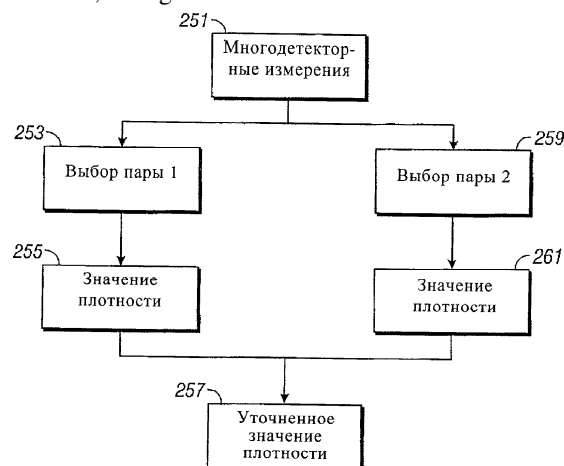
(57) Abstract:

FIELD: mining.

SUBSTANCE: thickness of rock is radiated with neutrons source. The neutrons source is arranged in a borehole drilled in rock thickness. Gamma-emission caused with radiation is recorded in at least three locations in the borehole. There is generated a response signal corresponding to the said recorded gamma-emission for each out of at least three locations. A corresponding value of density on base of comparison of number of readings of recorded gamma-quanta is determined for each out of at least two pairs of signals of response. Thus, there is obtained a corrected value of rock density on base of at least two density values.

EFFECT: upgraded accuracy of rock density determination.

19 cl, 5 dwg



ФИГ. 5

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится в основном к устройствам каротажа нефтяных и газовых скважин. В частности, данное изобретение относится к устройствам измерения плотности породы с использованием гамма-излучения, создаваемого импульсным источником нейтронов. Изобретение относится также к усовершенствованному устройству измерения плотности, которое может быть использовано как в обсаженных, так и в необсаженных скважинах.

Уровень техники

При добыче нефти и углеводородов желательно знать пористость подземной породы, содержащей запасы углеводородов. Знание пористости важно для подсчетов насыщенности нефтью и, следовательно, объема пластовой нефти в данном коллекторе. Знание пористости особенно необходимо для определения оставшейся пластовой нефти в старых нефтяных скважинах, для которых информация о пористости или недостаточна, или не существует вообще, а также для определения достаточны ли в них запасы нефти для того, чтобы оправдать использование усложненных способов ее добычи. Информация о пористости помогает также идентифицировать зоны газовых скоплений и различить газ и жидкость при низкой пористости.

При известной плотности породы пористость можно определить, используя известные формулы. Существуют различные устройства, позволяющие определить плотность коллектора. Большинство этих устройств эффективны при определении плотности (и, следовательно, пористости) коллектора, если их опускают в пробуренную в коллекторе необсаженную скважину, и имеется возможность установления контакта с самой подземной средой. Однако при обсаженной скважине между внутренним пространством ствола скважины, в котором находится устройство, и самой породой располагается слой стали и бетона. Обсадная труба создает препятствие на пути прохождения сигналов между устройством и коллектором и в обратном направлении. Кроме того, наличие цемента может исказить результаты измерения свойств породы.

Ранее были предложены на продажу приборы, в которых для выработки сигнала отклика, аналогичного сигналу для необсаженной скважины, использовались радионуклидные источники, имеющиеся в продаже. Устройство с радионуклидным источником будет иметь пониженную чувствительность из-за более сложных условий работы в стволе обсаженной скважины и ухудшение таких параметров, как глубинность исследования. Скорость счета будет также низка из-за поглощения, вносимого обсадкой скважины. Увеличение же активности источника было бы нежелательно из соображений безопасности использования такого высокоактивного источника. При использовании радиоактивных источников высокой активности возникают также проблемы с загрязнением окружающей среды. Кроме того, многие обсаженные скважины внутри обсадной трубы содержат систему трубопроводов. Из-за невозможности в скважине, содержащей систему трубопроводов, установить непосредственный контакт между устройством и стенкой ствола скважины даже устройства с радионуклидным источником в таких условиях не работают, так как испускаемые частицы будут стремиться распространяться по пути с низкой плотностью и поэтому мигрировать в кольцевое пространство между стенкой ствола и системой трубопроводов.

В соответствии с другим подходом, известным как гамма-активационный каротаж (каротаж по наведенному гамма-излучению), регистрируют гамма-излучение,

возникающее в породе при облучении источником нейтронов высокой энергии. При импульсном нейтронном источнике гамма-излучение возникает в результате срабатывания одного из двух механизмов. Первым является неупругое рассеяние быстрых нейтронов (нейтронов, энергия которых выше примерно 1 МэВ или близка к этому по порядку величины). Второй механизм связан с захватом надтепловых нейтронов (нейтронов с энергией, равной примерно 1 эВ). Третий механизм связан с захватом тепловых нейтронов (нейтронов с энергией, примерно равной 0,025 эВ). Время жизни быстрых нейтронов очень мало (несколько микросекунд), так что в течение длительности импульса источника формируется поле нейтронов с разной энергией. Вскоре после выброса все нейтроны замедляются до уровня тепловых, и эти тепловые нейтроны беспорядочно мигрируют до тех пор, пока не будут захвачены, причем время их жизни составляет сотни микросекунд. Гамма-излучение неупругого рассеяния возникает в непосредственной близости к генератору нейтронов, а гамма-излучение захвата тепловых нейтронов распределено дальше от генератора нейтронов (вплоть до десятков сантиметров). На количество захватного гамма-излучения сильно влияет содержание углеводородов и величина сечения захвата тепловых нейтронов в материале породы. Количество гамма-излучения, возникшего в результате неупругого рассеяния, менее зависит от этих величин, и результаты измерения такого гамма-излучения непосредственно связаны с плотностью породы. Использование импульсного источника нейтронов позволяет отделить захватное гамма-излучение от гамма-излучения неупругого рассеяния, что дает возможность лучшего определения плотности. Примеры импульсных нейтронных источников даны в патенте US 5900627 (Odom) и US 5825024 (Badruzzaman).

Измерения плотности породы традиционно проводят с использованием двух детекторов гамма-излучения. В случае необсаженной скважины оценки плотности ρ_{SS} и ρ_{LS} , сделанные с помощью ближнего и удаленного детекторов, используют для получения истинного значения плотности, применяя метод учета влияния глинистой корки на показания двухзондового плотностного каротажа, суть которого отображается выражением

$$\rho - \rho_{LS} = \Delta\rho = f(\rho_{LS} - \rho_{SS}) \quad (1),$$

где $f(.)$ представляет собой нелинейную функцию, зависящую от отклонения устройства от стенки или от толщины глинистой корки между устройством и породой, причем эту функцию определяют путем калибровки. В схеме с двумя детекторами есть возможность компенсировать отклонение от стенки (в случае измерения в процессе бурения) и внести поправку на толщину глинистой корки (в случае проведения кабельного каротажа). При использовании импульсного источника нейтронов должна быть также сделана коррекция на флуктуации интенсивности источника, так как схема с двумя детекторами дает только одну оценку плотности, основанную, например, на отношении выходных сигналов двух детекторов.

При проведении измерений в обсаженных скважинах возникают дополнительные сложности, связанные с наличием обсадной трубы и цемента. Для исследования породы нейтроны должны выйти из устройства, пройти через обсадную трубу и цемент и рассеяться или быть захваченными в породе, прежде чем образующееся гамма-излучение пройдет на обратном пути через цемент и обсадную трубу, чтобы в конце концов вернуться в устройство и там быть зарегистрированным. Таким образом, вместо простого введения коррекции на наличие глинистой корки (при проведении кабельных измерений в необсаженной скважине) или коррекции на отклонение от стенки (при проведении измерений в процессе бурения) в работающем в

обсаженной скважине устройстве измерения плотности должна быть предусмотрена возможность коррекции или компенсации наличия цемента и обсадной трубы, которая более значительна, чем для глинистой корки. В патенте US 5525797 (Moake) раскрыто устройство с тремя детекторами, в котором используется радионуклидный источник и
 5 введена коррекция на влияние обсадки. Недостатком этого устройства является необходимость в использовании источника высокой энергии (аспект безопасности) и тот факт, что измеряют интенсивность гамма-излучения в аналоговом режиме, а не скорость счета.

10 В US 5825024 раскрыт вариант выполнения, в котором используют четыре детектора в сочетании с импульсным источником нейтронов. Это, в принципе, могло бы дать возможность компенсации как флуктуации источника, так и влияния наличия обсадной трубы и глинистой корки. Однако в этом документе отсутствуют точные указания на то, как определять плотность. Настоящее изобретение направлено на
 15 устранение этого недостатка.

Краткое изложение сущности изобретения

В соответствии с одним из вариантов выполнения изобретения предложен способ определения плотности подземной породы. Толщу пород (формацию) облучают
 20 импульсами нейтронов из ствола пробуренной в толще пород скважины.

Образованное этими импульсами гамма-излучение регистрируют в по меньшей мере трех местоположениях в стволе скважины. В каждом из этих по меньшей мере трех местоположениях вырабатывается сигнал, пропорциональный зарегистрированному гамма-излучению. Плотность определяют (оценивают) по каждой из по меньшей мере
 25 двух пар сигналов отклика. Уточненное значение плотности породы определяют по по меньшей мере двум значениям плотности. Значение плотности для каждой пары сигналов отклика может быть определено путем сравнения двух сигналов, образующих пару. Это может быть сделано с использованием отношения двух
 30 сигналов. Может быть использовано сравнение с независимо полученным значением плотности. Независимо полученное значение плотности может быть определено по результатам измерений с радионуклидным источником или по результатам численного моделирования. Уточненное значение плотности может быть получено с использованием метода учета влияния глинистой корки на показания двухзондового
 35 плотностного каротажа по двум значениям плотности, определенным по двум парам сигналов. Зарегистрированное гамма-излучение может образовываться в результате неупругого рассеяния нейтронов.

С соответствии с другим аспектом изобретения предложено скважинное устройство измерения плотности подземной породы. Нехимический источник энергии доставляют
 40 в ствол скважины и создают импульсы нейтронов. Гамма-излучение, образованное в породе в результате облучения импульсами нейтронов, регистрируют по меньшей мере тремя детекторами и вырабатывают сигналы отклика на зарегистрированное гамма-излучение. Устройство снабжено процессором, способным определять
 45 отдельные значения плотности по меньшей мере по двум парам сигналов отклика и определяет по меньшей мере по двум отдельным значениям плотности уточненное значение плотности породы. Процессор может определять отдельные значения плотности для каждой пары сигналов отклика путем сравнения скоростей счета для
 50 двух сигналов, образующих пару. Может быть использовано отношение скоростей счета. Может быть использовано сравнение с независимо полученным значением плотности. Независимо полученное значение плотности может быть определено по результатам измерений с радионуклидным источником в необсаженной скважине или

по результатам численного моделирования. Уточненное значение плотности может быть получено с использованием метода учета влияния глинистой корки на показания двухзондового плотностного каротажа. Зарегистрированное гамма-излучение может образовываться в результате неупругого рассеяния нейтронов. Для доставки источника в ствол скважины может быть использовано такое средство, как каротажный кабель или буровая колонна. Уточненное значение плотности породы в основном не зависит от таких факторов, как наличие обсадной трубы в стволе скважины, наличие глинистой корки в стволе скважины, наличие цемента в кольцевом пространстве между обсадной трубой в стволе скважины и стенкой ствола скважины и/или отклонение от стенки ствола скважины средства доставки не радионуклидного источника энергии. По меньшей мере часть процессора находится на поверхности, в скважине и/или в удаленном пункте.

С соответствием с другим аспектом изобретения предложен машиночитаемый носитель, предназначенный для использования в скважинном устройстве измерения плотности подземной породы. Устройство содержит не радионуклидный источник энергии, доставляемый в ствол скважины и создающий импульсы нейтронов. Гамма-излучение, образованное в породе в результате облучения импульсами нейтронов, регистрируют по меньшей мере тремя детекторами и вырабатывают сигналы отклика на зарегистрированное гамма-излучение. Носитель содержит команды для управляющих сигналов, дающие возможность определять значение плотности для каждой из по меньшей мере двух пар сигналов отклика и определять по меньшей мере по двум соответствующим значениям плотности уточненное значение плотности породы. В качестве носителя могут выступать постоянное запоминающее устройство (ROM), стираемое программируемое запоминающее устройство (EPROM), электрически стираемое программируемое запоминающее устройство (EEPROM), флэш-память и оптический диск.

Краткое описание чертежей

Ниже изобретение более подробно рассмотрено со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых показано:

на фиг.1 (уровень техники) - схема системы радиоактивного каротажа;

на фиг.2 (уровень техники) - образование гамма-излучения неупругого рассеяния и захвата тепловых и надтепловых нейтронов;

на фиг.3 - блок-схема алгоритма, отражающая использование результатов измерения в необсаженной скважине с использованием радионуклидного источника гамма-излучения для калибровки результатов, полученных с импульсным источником нейтронов;

на фиг.4 - возможное соотношение между плотностью и скоростью счета для двух детекторов, входящих в устройство, изображенное на фиг.2; и

на фиг.5 - блок-схема, отображающая использование дополнительных результатов измерения для компенсации влияния диаметра скважины и/или наличия обсадной трубы.

Подробное описание предпочтительного варианта выполнения изобретения

На фиг.1 представлена система плотностного каротажа, выполненная в соответствии с предшествующим уровнем техники. Скважина 10 проходит через земную поверхность и может быть обсаженной или необсаженной в зависимости от конкретного вида исследуемой скважины. В скважине размещен каротажный зонд 12. Схематически показанная на фиг.1 система представляет собой систему радиоактивного скважинного каротажа на основе микропроцессора, в которой

использован многоканальный анализ величин для определения временного распределения регистрируемого гамма-излучения. Каротажный зонд 12 содержит сверхудаленный детектор (СУД) 17, удаленный детектор (УД) 14, ближний детектор (БД) 16 и импульсный источник 18 нейтронов. По одному из вариантов выполнения изобретения сверхудаленный, удаленный и ближний детекторы 17, 14 и 16 содержат соответствующий материал, такой как кристаллы германата висмута (В GO) или йодистого натрия (NaI), сопряженные с фотоумножителями. Для защиты детекторных сборок от воздействия высоких температур в стволе скважины они могут быть установлены в резервуар типа сосуда Дюара. Данное конкретное устройство источника и резервуара приведены исключительно в качестве примера и не должны рассматриваться как определяющие рамки изобретения. Кроме того, в одном из вариантов выполнения изобретения источник 18 содержит импульсный источник нейтронов на реакции D-T, при которой ионы дейтерия ускоряются и направляются на тритиевую мишень, в результате чего образуются нейтроны с энергией около 14 МэВ. Такой конкретный тип источника приведен только в качестве примера и не должен рассматриваться как определяющий рамки изобретения. Ток катода и ускоряющее напряжение в источнике 18 обеспечиваются блоком 15 питания. В скважине зонд 12 подвешен на кабеле 20, содержащем необходимые проводные связи для электрического соединения зонда 12 с наземной аппаратурой.

Выходные сигналы с детекторов 17, 14 и 16 собираются на детекторной плате 22, где они усиливаются и сравниваются с регулируемым порогом дискриминатора перед поступлением на каналный генератор 26. Канальный генератор 26 является компонентом многоканальной секции 24 нормирования, в которую также входит накопитель 28 спектра и центральный процессор (ЦП) 30. В секции 24 нормирования, в накопителе 28 спектра собираются спектральные данные с привязкой к номеру канала, вырабатываемому каналным генератором 26, и адресу ячейки памяти. После накопления во всех каналах соответствующих данных центральный процессор 30 считывает спектр, то есть собирает данные со всех каналов, и через модем 32, соединенный с кабелем 20, пересылает данные по линии связи в наземную аппаратуру. Канальный генератор 26 вырабатывает также сигналы синхронизации, регулирующие частоту следования импульсов источника 18 и дальнейшую работу центрального процессора 30 по выдаче управляющих команд, задающих определенные рабочие параметры зонда 12, включая уровни дискриминации детекторной платы 22, катодный ток и ускоряющее напряжение, подаваемые на источник 18 с блока 15 питания.

В наземную аппаратуру входит главный контроллер (процессор) 33, соединенный с кабелем 20 и предназначенный для обработки данных с зонда 12 и передачи управляющих сигналов на зонд 12. Имеется также связанный с наземной аппаратурой контроллер 36 глубины, выдающий в главный контроллер 33 сигналы, отражающие перемещение зонда 12 в скважине. Оператор системы обращается к главному контроллеру 33 для получения разрешения на ввод определенных входных данных, необходимых для выполнения системой каротажных операций. К главному контроллеру 33 подсоединены также дисплейный блок и блок накопления информации. Основным назначением дисплейного блока является визуальная индикация полученных данных каротажа, а также данных о работе системы. Блок накопления предназначен для сохранения полученных системой каротажных данных, а также для вызова накопленных данных и рабочих программ системы. Пересылка данных и получение инструкций с удаленного пункта может осуществляться по спутниковой связи.

При проведении каротажа так, как показано на фиг.1, сначала главный контроллер 33 пересылает программы работы системы и командные сигналы, предназначенные для выполнения центральным процессором 30 и относящиеся к конкретной операции проведения каротажа. Затем зонд 12 обычным образом перемещают в скважине, при этом источник 18 выдает импульсы в соответствии с синхронизирующими сигналами, поступающими с канального генератора 26. Обычно частота возбуждения источника 18 составляет 1000 импульсов в секунду (1 кГц). Это в свою очередь приводит к выбросу в окружающую исследуемую породу быстрых нейтронов с энергией порядка 14 МэВ. Как показано далее при рассмотрении фиг.2, этот пакет быстрых нейтронов, введенных в породу, образует в породе гамма-излучение, которое в различные моменты времени попадет на сверхудаленный, удаленный и ближний детекторы 17, 14 и 16. При попадании каждого гамма-кванта на детекторную сборку из кристалла и фотоумножителя возникает импульс напряжения с амплитудой, связанной с конкретным гамма-квантом, который далее поступает на детекторную плату 22. Следует напомнить, что на детекторной плате 22 происходит усиление каждого импульса и сравнение его регулируемым порогом дискриминации, обычно устанавливаемым на уровне, соответствующем приблизительно 100 кэВ. Если такой импульс имеет амплитуду, соответствующую энергии по меньшей мере 100 кэВ приблизительно, то импульс напряжения преобразуется в оцифрованный сигнал и поступает в канальный генератор 26 секции 24 нормирования.

Следует также добавить, что специалистам в данной области известно, что многие из функций, выполняемых описанными с привязкой к фиг.1 компонентами, могут быть реализованы процессором. Следует также отметить, что представленная на фиг.1 система включает также перемещение каротажного прибора в скважине с помощью кабеля. Однако было установлено, что каротажный прибор мог бы быть частью системы измерений в процессе бурения, входящей в забойную компоновку, доставляемую в скважину с помощью трубчатой конструкции, такой как буровая колонна или гибкие трубы малого диаметра. Кроме того, следует отметить, что на фиг.1 показано устройство в необсаженной скважине. Способ и устройство с равным успехом могут быть использованы и в обсаженных скважинах.

На фиг.2 показано каротажное устройство, в котором может быть использовано настоящее изобретение. Показанное устройство - это монитор параметров коллектора (RPM от англ. "Reservoir Performance Monitor") фирмы Baker Atlas, Incorporated. Измерительная головка 100 содержит источник 101 нейтронов и три разнесенных по оси детектора, описанных ниже. Число показанных на фиг.2 детекторов является только примером количества детекторов, используемых в приведенном варианте выполнения настоящего изобретения. Это не является признаком изобретения, определяющим его рамки. Каротажный зонд в соответствии с настоящим изобретением может содержать два детектора или более. Источник 101 нейтронов может выдавать импульсы с различной частотой и работать в различных режимах в зависимости от типа проводимых измерений. Ближний детектор (БД) 105 находится ближе всего к источнику 101. Удаленный детектор (УД) обозначен позицией 106, и следующий детектор 107 называется сверхудаленным детектором (СУД). Быстрые нейтроны с энергией, приблизительно равной 14 МэВ, испускаются источником 101 и попадают в ствол скважины и породу, где они испытывают несколько типов взаимодействий. В течение первых нескольких микросекунд (мкс) прежде, чем потерять большую часть энергии, некоторые нейтроны испытывают неупругое рассеяние на ядрах в стволе скважины и породе и образуют гамма-

излучение. Это гамма-излучение 120 неупругого рассеяния имеет энергию, характеризующую ядра атомов, на которых произошло рассеяние. В число атомных ядер, содержащихся в такой среде, входят, например, ядра углерода, кислорода, кремния, кальция и некоторые другие.

Два или более детекторов задействованы при работе в одном или более режимах. В такие режимы входят, но не ограничиваются этим, режим регистрации параметров импульсов нейтронов, режим спектрометрии импульсов нейтронов, режим поддержки отображения импульсов нейтронов и режим нейтронной активации. Например, в режиме регистрации параметров импульсов нейтронов устройство с частотой дискретизации 1 кГц записывает полный временной спектр для каждого детектора. Для стабилизации уровней дискриминации по энергии записывается также энергетический спектр. Временные спектры для ближнего и удаленного детекторов могут быть обработаны независимо, чтобы получить обычную информацию о сечении захвата тепловых нейтронов, или эти два спектра могут быть использованы совместно, чтобы внести автоматическую коррекцию на влияние диаметра скважины и эффекта рассеяния и получить результаты более близкие к истинным значениям характеристик породы.

В режиме спектрометрии импульсов нейтронов устройство производит отсчеты, например, с частотой 10 кГц и регистрирует полный спектр гамма-излучения неупругого рассеяния и захватного гамма-излучения с каждого детектора. Эти данные обрабатывают так, чтобы определить важные соотношения элементов, включая соотношения углерод/кислород и кальций/кремний по спектру неупругого рассеяния и кремний/кальций по спектру захватного гамма-излучения. В режиме поддержки отображения импульсов нейтронов выдается как энергетический спектр, так и спектр временной задержки одновременно для каждого детектора. Результаты измерений могут быть использованы для определения остаточного содержания газа, нефти и воды. В сочетании с другими геофизическими данными такие результаты измерения могут обеспечить получение подробной картины динамики добычи. Режим нейтронной активации дает возможность проводить измерения перемещения воды, используя некоторые данные геофизических наблюдений. Стационарные измерения проводят в любом из двух режимов, а измерения при различных скоростях каротажа могут быть использованы для разделения двух разных значений расходов или в кольцевом пространстве, или в прилегающей колонне насосно-компрессорных труб. В каждом из режимов измерения в зависимости от необходимости различные распределения скорости счета могут быть использованы или по отдельности, или в сочетании друг с другом.

При выключенном генераторе нейтронов измерительная аппаратура может быть также использована для регистрации распределения материалов, помеченных радиоактивными индикаторами, введенными в скважину во время ее обработки. Подобным путем можно оценить эффективность проведения таких операций, как гидравлический разрыв пласта или установка сетчатого фильтра с гравийной набивкой.

В одном из вариантов выполнения настоящего изобретения импульсный генератор нейтронов повышенной надежности с увеличенным выходным сигналом объединяют с высокоскоростным скважинным микропроцессором и управляющими схемами приводов и детекторов. Для проведения различных измерений система поддерживает работу в режиме нескольких частот и временной селекции при регистрации. Режимы работы могут быть выбраны с поверхности без извлечения устройства из скважины.

Всего за несколько микросекунд нейтроны в результате упругого или неупругого рассеяния замедляются до теплового уровня, соответствующего приблизительно 0,025 эВ. Этот процесс схематически отображен на фиг.2 в виде последовательности сплошных стрелок 110. Термализованные нейтроны продолжают испытывать упругие взаимодействия, но при этом в среднем больше не теряют своей энергии. Через несколько микросекунд после выключения генератора нейтронов этот процесс заканчивается. В течение последующих нескольких сот микросекунд тепловые нейтроны захватываются ядрами различных элементов и снова образуют гамма-излучение 130, известное как захватное гамма-излучение. Спектр захватного гамма-излучения дает информацию о относительном содержании этих элементов.

В соответствии с настоящим изобретением в предлагаемом способе для определения плотности используют скорости счета с группы детекторов гамма-излучения. В качестве примера способ рассмотрен со ссылкой на фиг.3. В блоке 151 показаны результаты измерений, выполненных каротажным устройством с тремя детекторами, отображенным и на фиг.2. Измерения могут быть выполнены как в необсаженной скважине, так и в обсаженной. Калибровка выполнена с использованием результатов обычного каротажа в необсаженной скважине с двумя детекторами и с радионуклидным источником гамма-излучения, что показано в блоке 153. Измерения в необсаженной скважине могут быть выполнены ранее в той же скважине или получены для расположенной поблизости скважины. В соответствии с одним из вариантов выполнения изобретения в блоке 155 определяют скорости счета с ближнего и удаленного детекторов, входящих в настоящее устройство, и сравнивают с данными калибровки. Результаты такого сравнения схематически показаны на фиг.4, где по оси ординат отложены значения плотности, полученные в необсаженной скважине, а по оси абсцисс отношение. Это отношение может быть названо первым отношением $R_{12} = C_1/C_2$. Использование этого отношения обсуждается, например, в работах Одома (Odom) и др. (SPE55641 и SPE71042). По такому графику, как представленный на фиг.4, в блоке 157 с фиг.3 определяется зависимость между отношением R_{12} и плотностью ρ породы. Эта зависимость может быть отображена, например, линией 201 на фиг.4. Следует отметить, что, хотя линия 201 отражает линейную зависимость между отношением R_{12} и плотностью, могут быть использованы другие виды зависимости, включая логарифмическую. В общем виде эта зависимость может быть выражена уравнением:

$$\rho_{12} = f(R_{12}) = f\left(\frac{C_1}{C_2}\right) \quad (2).$$

Следует отметить, что сравнение отношения R_{12} для данных, полученных в необсаженной скважине, рассмотрены в приведенных двух ссылках на работы Одома.

Предлагаемый в данном изобретении способ основан на том принципе, что при проведении измерений с тремя или более детекторами каждая пара приемников может быть использована для получения значения плотности, как описано со ссылкой на фиг.3 и 4. В частности, при использовании трех детекторов можно при применении импульсного источника нейтронов получить две полунезависимые величины плотности. При использовании четырех детекторов можно при применении импульсного источника нейтронов получить три полунезависимые величины плотности. Два или более полунезависимых значения плотности являются аналогом измерения двух значений плотности, полученных при каротаже необсаженной скважины с использованием радионуклидного нейтронного источника и двух детекторов (ближнего и удаленного). Способ, по которому совмещаются эти

полунезависимые значения плотности, рассмотрен далее со ссылкой на фиг.5.

Обращаясь к фиг.5, можно отметить, что в блоке 251 получают результаты многодетекторных измерений. Первую пару таких результатов отбирают в блоке 253, и с использованием способа, описанного ранее в привязке к фиг.3 и 4, в блоке 255 с использованием уравнения (2) получают значение плотности ρ_{12} . С использованием второй пары результатов измерений, отобранной в блоке 259, получают в блоке 261 второе значение плотности, которое можно обозначить ρ_{13} . Значения ρ_{12} и ρ_{13} передают затем в блок 257 для получения уточненного значения ρ_{imp} с использованием коррекции на влияние глинистой корки на показания двухзондового плотностного каротажа на основе полученных значений ρ_{12} и ρ_{13} . Это делает возможным при использовании трех детекторов гамма-излучения получить в необсаженной скважине скорректированное значение плотности с поправкой на наличие глинистой корки (или результатов измерения в процессе бурения с коррекцией на отклонение от стенки) с импульсным нейтронным источником. Тот же способ может быть также использован для получения скорректированных данных по плотности при обсаженной скважине. При использовании четырех детекторов можно было бы получить лучшие результаты измерения плотности при обсаженной скважине, чем для трех детекторов. При подсчетах по методу учета влияния глинистой корки на показания двухзондового плотностного каротажа скорректированное значение плотности можно выразить уравнением в следующем виде:

$$\rho_{imp} - \rho_{13} = f_2(\rho_{13} - \rho_{12}) \quad (3).$$

Следовательно, скорректированная плотность является функцией двух отношений скоростей счета, зарегистрированных тремя детекторами. Следует отметить, что у Одома (SPE71042) обсуждается определение двух значений плотности по двум парам измерений, но отсутствует указание на дальнейшую операцию объединения двух определенных значений плотности для получения скорректированной плотности.

Обработка данных может быть выполнена наземным или скважинным процессором. В случае измерений в процессе бурения обработку проводят предпочтительно скважинным процессором, чтобы уменьшить объем данных, телеметрически передаваемых на поверхность. Во всяком случае соотношения, используемые при определении плотности, могут быть определены заранее и заложены в процессор. Как отмечалось ранее, в одном из вариантов выполнения изобретения соотношения могут быть получены по данным для необсаженной скважины, измеренным с двумя приемниками и радионуклидным источником гамма-излучения. Соотношения могут быть также получены с использованием моделирования методом Монте-Карло для различных диаметров стволов скважин, обсадных труб и цемента. Такое моделирование описано, например, в патенте US 6064063 (Mickael) и имеющем того же правопреемника, что и настоящее изобретение. Калибровку можно также провести по лабораторным измерениям, выполненным на основе данных кернового анализа.

В случае кабельного каротажа обработка результатов измерений может быть выполнена наземным процессором 33, скважинным процессором или на удаленном пункте. Процессом сбора и обработки данных можно по меньшей мере частично управлять через скважинные электронные блоки. Обязательным при регулировании работы и обработке данных является использование компьютерных программ, представленных на машиночитаемом носителе, что даст возможность выполнять управление и обработку в процессоре. В машиночитаемые носители могут входить постоянные запоминающие устройства (ROM), стираемые программируемые

запоминающие устройства (EPROM), электрически стираемые программируемые запоминающие устройства (EEPROM), флэш-память и оптические диски.

Хотя в данном описании раскрыты конкретные варианты выполнения изобретения, для специалистов в данной области будут очевидны различные модификации.

Заявляемое изобретение охватывает все такие варианты, подпадающие под рамки и сущность приложенной формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Способ определения плотности подземной породы, в котором выполняют следующие операции: облучают толщу пород источником нейтронов, находящимся в стволе пробуренной в толще пород скважины, регистрируют по меньшей мере в трех местоположениях в стволе скважины гамма-излучение, создаваемое в породе в результате облучения, осуществляют для каждого из по меньшей мере трех местоположений выработку сигнала отклика, соответствующего указанному зарегистрированному гамма-излучению, для каждой из по меньшей мере двух пар сигналов отклика определяют соответствующее значение плотности с использованием сравнения числа отсчетов зарегистрированных гамма-квантов и получают на основе по меньшей мере двух значений плотности уточненное значение плотности породы.

2. Способ по п.1, в котором определение соответствующей плотности на основе по меньшей мере двух пар сигналов отклика включает определение для каждой из по меньшей мере двух пар сигналов отклика отношения двух сигналов отклика, образующих пару.

3. Способ по п.2, в котором определение соответствующих значений плотности для каждой из по меньшей мере двух пар сигналов отклика включает сравнение отношения для каждой из по меньшей мере двух пар с независимо полученным значением плотности.

4. Способ по п.3, в котором независимо полученное значение получают в результате по меньшей мере одной операции из группы, включающей измерения, выполненные с использованием радионуклидного источника гамма-излучения в необсаженном стволе скважины, и численное моделирование.

5. Способ по п.1, в котором получение уточненного значения плотности осуществляют с использованием метода учета влияния глинистой корки на показания двухзондового плотностного каротажа.

6. Способ по п.1, в котором в зарегистрированное гамма-излучение включает гамма-излучение, образованное в результате неупругого рассеяния нейтронов.

7. Способ по п.1, в котором облучение включает импульсное облучение импульсным источником нейтронов.

8. Устройство измерения плотности подземной породы в стволе скважины, содержащее источник нейтронов, доставляемый в ствол скважины, по меньшей мере три детектора гамма-излучения, вырабатывающие сигналы отклика на гамма-излучение, создаваемое в породе в результате облучения импульсным источником нейтронов, и процессор, способный определять значение плотности для каждой из по меньшей мере двух пар сигналов с использованием числа отсчетов зарегистрированных гамма-квантов для двух сигналов, образующих каждую из пар, и уточненное значение плотности породы на основе по меньшей мере двух значений плотности.

9. Устройство по п.8, в котором процессор способен определять значение плотности на основе по меньшей мере двух пар сигналов путем определения для каждой из по

меньшей мере двух пар сигналов отношения двух сигналов, образующих пару.

10. Устройство по п.9, в котором процессор способен определять значение плотности для по меньшей мере двух пар сигналов путем сравнения отношения для каждой из по меньшей мере двух пар с независимо полученным значением плотности.

11. Устройство по п.10, в котором процессор способен определять указанное независимо полученное значение, используя результаты по меньшей мере одной операции, выбранной из группы, включающей измерения, выполненные с использованием радионуклидного источника гамма-излучения в необсаженном стволе скважины, и численное моделирование.

12. Устройство по п.8, в котором процессор способен определять уточненное значение плотности с использованием метода учета влияния глинистой корки на показания двухзондового плотностного каротажа.

13. Устройство по п.8, в котором в зарегистрированное гамма-излучение включает гамма-излучение, образованное в результате неупругого рассеяния нейтронов.

14. Устройство по п.8, содержащее также средство доставки источника нейтронов в ствол скважины, выбранное из каротажного кабеля и буровой колонны.

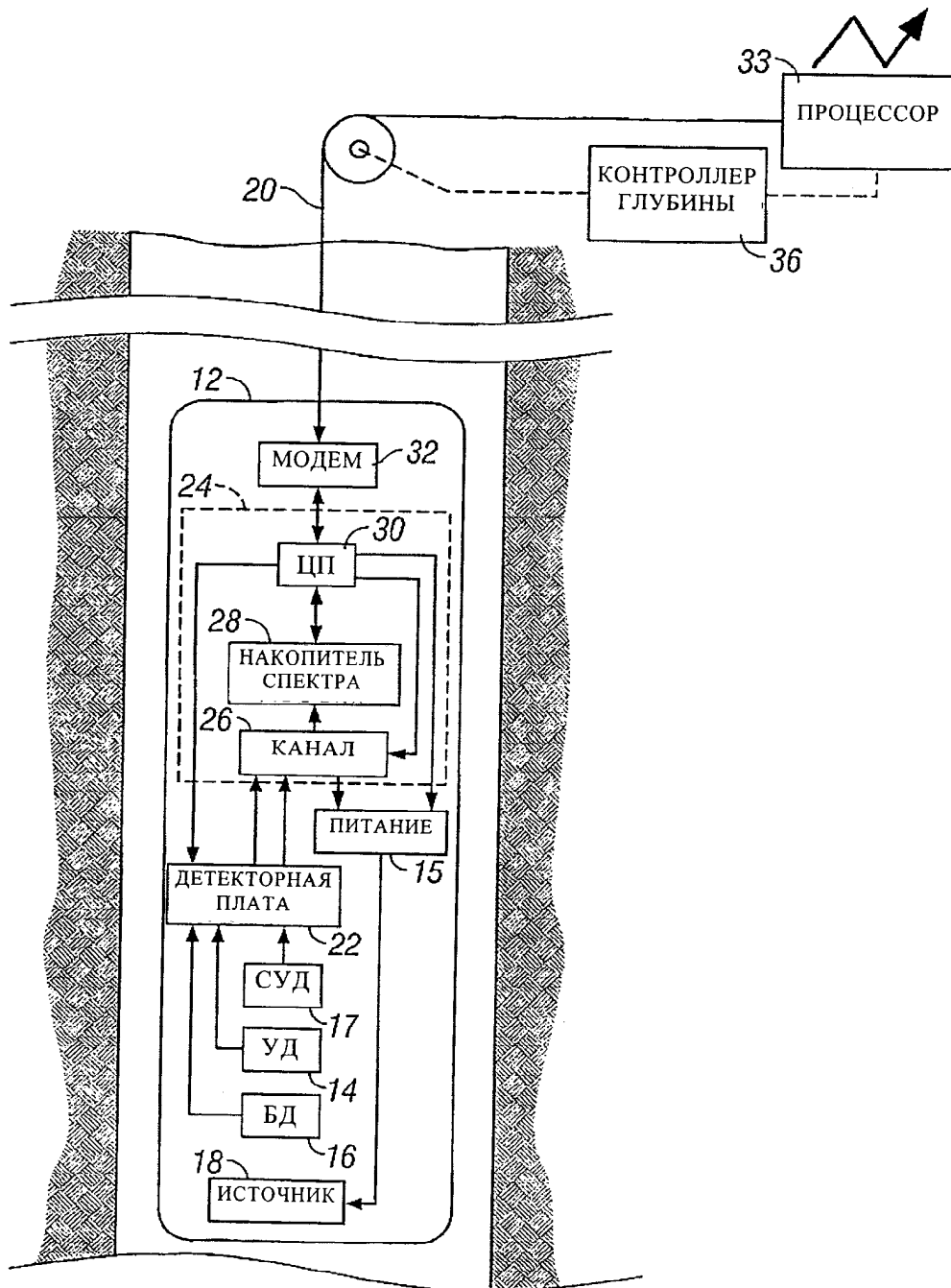
15. Устройство по п.8, в котором уточненное значение плотности породы в основном не зависит от по меньшей мере одного из факторов из группы, включающей: наличие обсадной трубы в стволе скважины, наличие глинистой корки в стволе скважины, наличие цемента в кольцевом пространстве между обсадной трубой и стенкой ствола скважины и отклонение от стенки ствола скважины средства доставки источника нейтронов.

16. Устройство по п.8, в котором по меньшей мере часть процессора находится в одном из местоположений, включающем местоположение на поверхности, в скважине и в удаленном пункте.

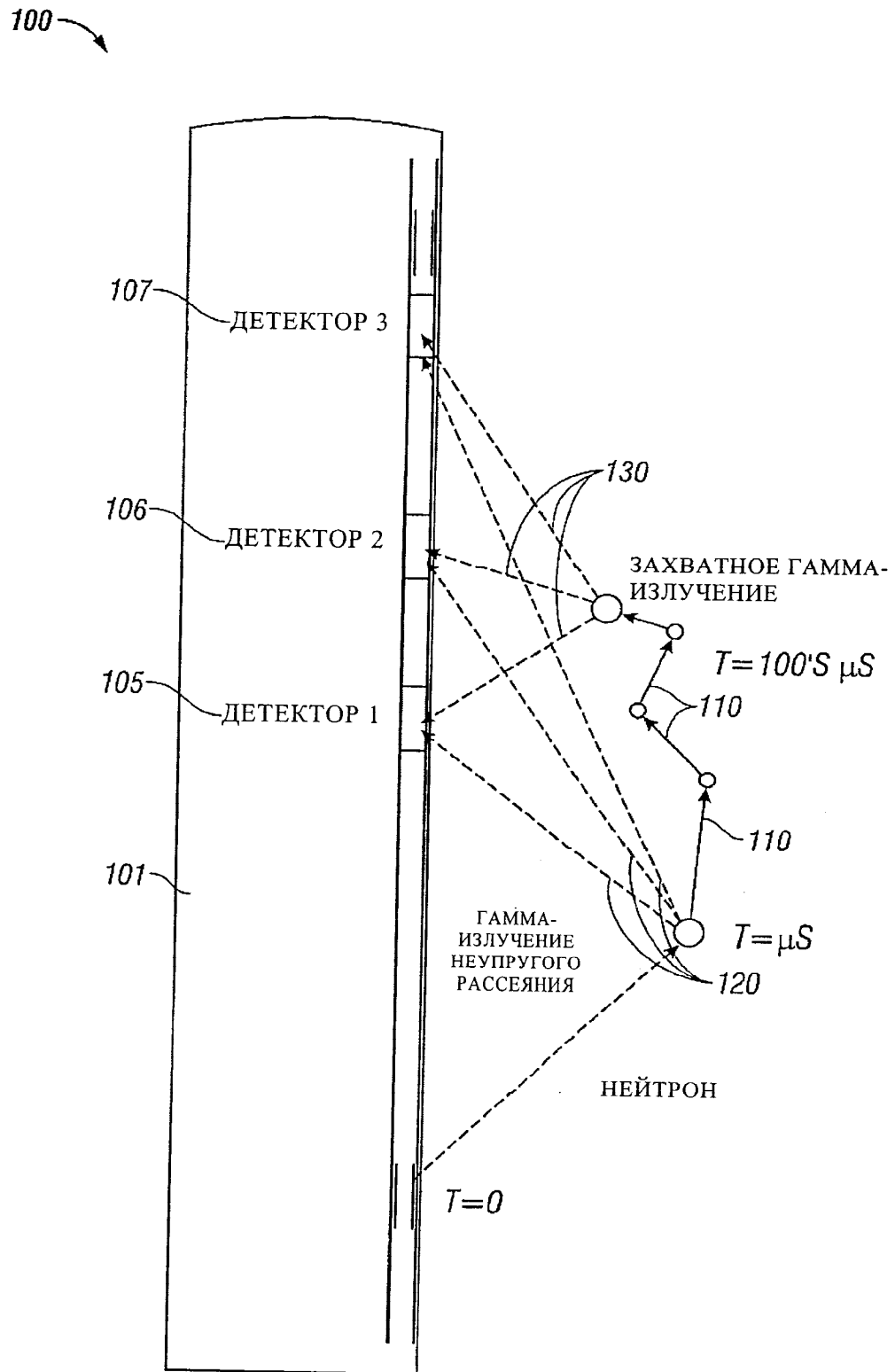
17. Устройство по п.8, в котором источник нейтронов включает импульсный источник нейтронов.

18. Машиночитаемый носитель для использования в устройстве измерения в стволе скважины плотности подземной породы, содержащем источник нейтронов, доставляемый в ствол скважины, и по меньшей мере три детектора гамма-излучения, вырабатывающие сигналы отклика на гамма-излучение, создаваемое в породе в результате облучения импульсным источником нейтронов, причем носитель содержит программы, позволяющие процессору выполнять определение значения плотности для каждой из по меньшей мере двух пар сигналов отклика с использованием числа отсчетов зарегистрированных гамма-квантов для каждого из двух сигналов, образующих каждую из двух пар, и определение на основе по меньшей мере двух значений плотности уточненное значение плотности породы.

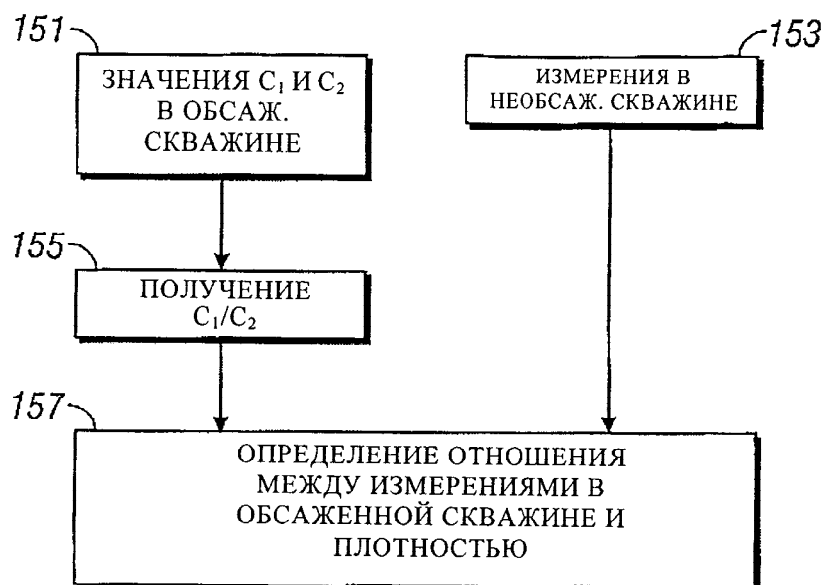
19. Носитель по п.18, включающий по меньшей мере одно устройство из следующих: постоянное запоминающее устройство, стираемое программируемое запоминающее устройство, электрически стираемое программируемое запоминающее устройство, флэш-память и оптический диск.



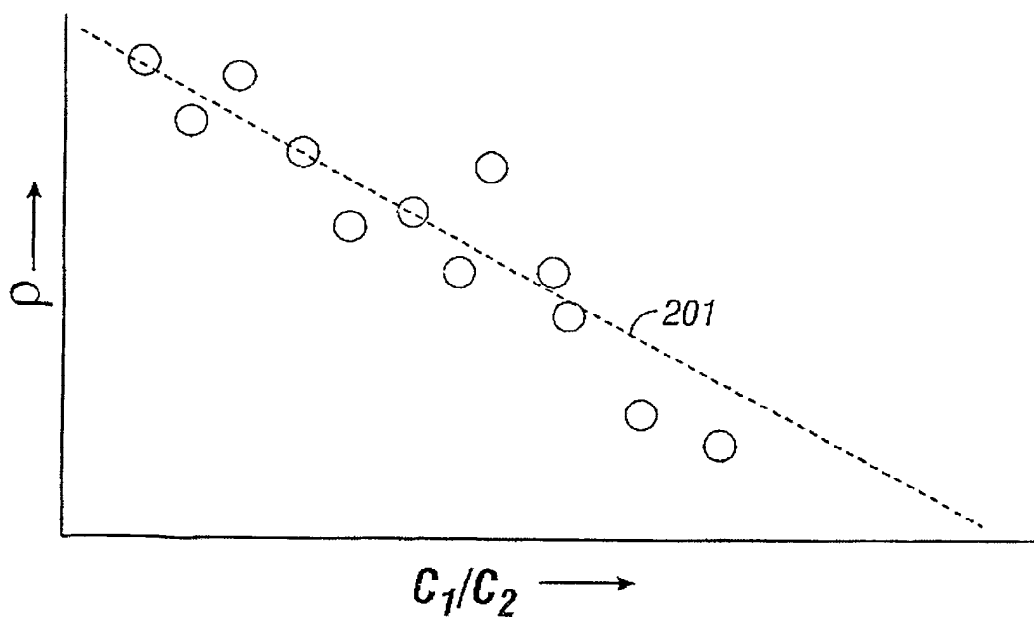
ФИГ. 1
(Уровень техники)



ФИГ. 2
(Уровень техники)



ФИГ. 3



ФИГ. 4