

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036025**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.09.15

(51) Int. Cl. **G01V 5/10** (2006.01)

(21) Номер заявки
201892451

(22) Дата подачи заявки
2018.11.27

(54) **СПОСОБ ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ**

(31) **2018102735**

(56) WO-A3-2008027652
US-A1-20040222368
RU-C2-2518876
US-A-5459314

(32) **2018.01.24**

(33) **RU**

(43) **2019.07.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ИМ.
Н.Л. ДУХОВА" (RU)**

(72) Изобретатель:
Микеров Виталий Иванович (RU)

(74) Представитель:
Ульянин О.В. (RU)

(57) Изобретение относится к способам определения геофизических параметров пластов горных пород с использованием аппаратуры импульсного нейтрон-γ-каротажа. Техническим результатом изобретения является возможность одновременного определения плотности и пористости горной породы. Технический результат достигается тем, что находят отношения счетов ближнего и дальнего γ-детекторов отдельно для счетов, полученных во время нейтронных импульсов RIN и в промежутках между ними RRC, предварительно находят калибровочные функции для плотности RIN_{corr}(ρ) и пористости RRC_{corr}(p) в виде линейных функций, соответственно, от плотности ρ и пористости p, определяют входящие в RIN_{corr}(ρ) и RRC_{corr}(p) калибровочные коэффициенты k и m, а также константы a и b, вычисляют значения RIN_{corr} и RRC_{corr} путем коррекции RIN и RRC с использованием полученных калибровочных функций, находят плотность ρ и пористость p горной породы согласно выражениям

$$\rho = (RIN_{corr} - a)/k$$

$$p = (RRC_{corr} - b)/m.$$

B1

036025

036025

B1

Изобретение относится к способам определения геофизических параметров пластов горных пород с использованием аппаратуры импульсного нейтрон-гамма-каротажа и может быть использовано для одновременного определения плотности и пористости горных пород в процессе бурения нефтегазовых скважин или их исследования.

Известен "Импульсный нейтронный метод каротажа для определения нескольких параметров горных пород", включающий облучение породы импульсами быстрых нейтронов, регистрацию энергетического спектра γ -квантов по крайней мере на одном расстоянии от источника нейтронов во время нейтронных импульсов и в течение определенного времени после по крайней мере одной группы нейтронных импульсов, а также регистрацию энергетического спектра и временной зависимости скорости счета после последнего нейтронного импульса (канадский патент изобретение CA 2896051 A1, МПК G01V 5/10, 07.01.2016).

Недостатком аналога является относительно низкая точность определения нейтронной пористости горной породы при наличии кристаллизационной воды, примесей, поглощающих тепловые нейтроны, а также при минерализации бурового раствора и/или пластовой воды, которые влияют на интенсивность γ -квантов радиационного захвата.

Известен способ измерения "Нейтронной пористости, основанный на использовании нескольких γ -детекторов и импульсного нейтронного источника", включающий облучение породы группами нейтронных импульсов определенной длительности, регистрацию γ -квантов по крайней мере на двух расстояниях от источника в сгруппированные интервалы времени, содержащие ранние и поздние счета γ -квантов, вычисление взвешенной суммы счетов γ -квантов, зарегистрированных в каждом интервале времени, вычисление отношения взвешенной суммы для первого детектора к взвешенной сумме для второго детектора, использование отношения для определения водородного индекса (пористости) породы. Заявка на изобретение WO 2013/148998 A1, МПК G01V 5/10, 03.10.2013.

Недостатком аналога является относительно низкая точность определения нейтронной пористости горной породы при наличии кристаллизационной воды, примесей, поглощающих тепловые нейтроны, а также при минерализации бурового раствора и/или пластовой воды, которые влияют на интенсивность гамма-квантов радиационного захвата.

Известны "Метод и устройство определения плотности горной породы с помощью импульсного нейтронного излучения", включающий коррекцию количества зарегистрированных γ -квантов неупругого рассеяния с учетом эффекта переноса нейтронов. Заявка на изобретение CA № 2657591 A1, МПК G01V 1/40, 06.03.2008 (прототип).

В этом методе на первом этапе вычисляется скорректированное отношение скоростей счета ближнего и дальнего зондов согласно соотношению (1)

$$CINEL = RIN - Z \cdot RNF^k, \quad (1)$$

где CINEL - скорректированное отношение скоростей счета ближнего и дальнего зондов;

RIN - отношение скоростей счета γ -квантов неупругого рассеяния ближним и дальним детекторами;

RNF - отношение скоростей счета γ -квантов радиационного захвата ближним и дальним детекторами;

k и Z - калибровочные коэффициенты, которые подбираются из условия минимальной чувствительности CINEL к пористости с помощью калибровочных измерений и модельных расчетов.

k зависит от угловой чувствительности γ -детектора (для экранированного γ -детектора $0,75 > k > 0,5$).

Плотность породы в указанном методе вычисляется из выражения (2)

$$\rho = M \cdot \ln(CINEL) + N \quad (2)$$

где ρ - плотность породы;

M и N - калибровочные коэффициенты, которые подбираются с помощью калибровочных измерений и модельных расчетов.

Недостатком прототипа является невозможность одновременного определения плотности и пористости горной породы.

Техническим результатом изобретения является возможность одновременного определения плотности и пористости горной породы.

Технический результат достигается тем, что в способе одновременного определения плотности и пористости горной породы, заключающемся в том, что облучают горную породу импульсным источником быстрых нейтронов, регистрируют γ -излучение ближним и дальним, относительно импульсного источника быстрых нейтронов, γ -детекторами раздельно во время нейтронных импульсов и в промежутках между ними, находят отношения счетов ближнего и дальнего γ -детекторов раздельно для счетов, полученных во время нейтронных импульсов RIN и в промежутках между ними RRC, производят коррекцию отношения счетов ближнего и дальнего детекторов во время нейтронных импульсов с использованием RIN и поправки в виде функции от RRC, получают скорректированное значение RIN_{corr} , предварительно находят калибровочные функции для плотности $RIN_{\text{corr}}(\rho)$ в виде

$$RIN_{\text{corr}}(\rho) = [RIN(\rho) + f_1(RRC(\rho))] \quad (3)$$

и пористости $RRC_{\text{corr}}(\rho)$ в виде

$$RRC_{\text{corr}}(\rho) = [RRC(\rho) + f_2(RIN(\rho))], \quad (4)$$

функции $f_1(RRC(\rho))$ и $f_2(RIN(\rho))$ находят таким образом, чтобы калибровочные функции $RIN_{\text{corr}}(\rho)$ и $RRC_{\text{corr}}(\rho)$ были линейными функциями, соответственно, от плотности ρ и пористости p

$$RIN_{\text{corr}}(\rho) = k \cdot \rho + a \quad (5)$$

$$RRC_{\text{corr}}(\rho) = m \cdot p + b \quad (6)$$

где k и m - калибровочные коэффициенты, а a и b - константы,

определяют калибровочные коэффициенты k и m , а также константы a и b , вычисляют значения RIN_{corr} и RRC_{corr} путем коррекции RIN и RRC с использованием полученных калибровочных функций, находят плотность ρ и пористость p горной породы согласно выражениям

$$\rho = (RIN_{\text{corr}} - a)/k \quad (7)$$

$$p = (RRC_{\text{corr}} - b)/m \quad (8)$$

Изобретение поясняется чертежами.

На фиг. 1 схематично показаны основные элементы и их взаимное расположение для одной из возможных конструкций скважинного устройства, предназначенного для реализации предлагаемого нейтрон- γ метода, где

1 - охранный корпус скважинного устройства,

2 - импульсный источник быстрых нейтронов,

3, 4 - ближний и дальний γ -детекторы,

на фиг. 2 приведена зависимость 5 - отношения счетов γ -квантов неупругого рассеяния от плотности $RIN(\rho)$,

на фиг. 3 приведена зависимость 6 - отношения счетов γ -квантов радиационного захвата от плотности $RRC(\rho)$,

на фиг. 4 приведена зависимость 7 - калибровочной функции от плотности $RIN_{\text{corr}}(\rho)$ при $f_1(RRC(\rho)) = -RRC(\rho)/12$,

на фиг. 5 приведена зависимость 8 - отношения счетов γ -квантов радиационного захвата от пористости $RRC(p)$,

на фиг. 6 приведена зависимость 9 - отношения счетов γ -квантов неупругого рассеяния от пористости $RIN(p)$,

на фиг. 7 приведена зависимость 10 - калибровочной функции от пористости $RRC_{\text{corr}}(p)$ при $f_2(RIN(p)) = -(RIN(p))^3/9$.

Цилиндрический охранный корпус 1 выполняется из стали толщиной в несколько миллиметров.

Импульсный источник 2 быстрых нейтронов может быть выполнен в виде генератора нейтронов с энергией 2,5 МэВ или 14 МэВ, расположен соосно с охранным корпусом 1 и служит для облучения горной породы импульсами быстрых нейтронов.

Ближний 3 и дальний 4 γ -детекторы нейтронов служат для регистрации γ -квантов, поступающих на них из окружающей среды. В качестве ближнего 3 и дальнего 4 детекторов могут использоваться сцинтилляционные детекторы. Детекторы 3 и 4 могут быть выполнены в виде кассет, содержащих несколько сцинтилляционных детекторов и расположенных соосно с охранным корпусом 1.

Приведенные на фиг. 2, 3, 5 и 6 зависимости рассчитаны в модельных описаниях скважины, скважинного прибора и породы при различной плотности ρ и пористости p , при расстояниях ближнего и дальнего детекторов от импульсного источника 2 (14 МэВ нейтронов), равных 30 и 60 см соответственно.

На фиг. 4 и 7 приведены зависимости калибровочных функций от плотности 7 - для $RIN_{\text{corr}}(\rho)$ и пористости 10 - для $RRC_{\text{corr}}(p)$.

Зависимости 5 и 6 хорошо описываются выражениями (9) и (10)

$$RIN(\rho) = 3,5854 + 1,9042 \cdot \rho - 0,3571 \cdot \rho^2 \quad (9)$$

$$RRC(\rho) = -14,4506 + 18,1883 \cdot \rho - 4,5658 \cdot \rho^2, \quad (10)$$

а зависимости 8 и 9 - выражениями (11) и (12)

$$RRC(p) = 1,6246 + 0,0978 \cdot p - 0,0012 \cdot p^2 \quad (11)$$

$$RIN(p) = 6,1218 + 2,2446 \cdot 10^{-4} \cdot p - 1,0036 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 \quad (12)$$

В рассматриваемом примере зависимости 7 и 10 имеют вид прямых линий при $f_1(RRC(\rho)) = -RRC(\rho)/12$ и $f_2(RIN(p)) = -(RIN(p))^3/9$.

При добыче нефти и углеводородов желательнее знать вместе и плотность ρ , и пористость p горной породы (коллектора), содержащей углеводороды. Совместное определение этих характеристик необходимо для подсчета объема пластовой нефти в коллекторе. Знание плотности и пористости также важно в случае старых нефтяных скважин, для которых информация о плотности или пористости либо недостаточна, либо вообще отсутствует.

Одним из методов, используемых для определения плотности и пористости горной породы, является

ся метод импульсного нейтрон- γ -каротажа. При реализации этого метода горную породу облучают импульсами быстрых (14 МэВ) нейтронов и регистрируют γ -излучение, возникающее в породе, γ -детектором, находящимся на некотором расстоянии от источника быстрых нейтронов.

При облучении горной породы быстрыми нейтронами γ -излучение возникает в основном в результате двух типов ядерных реакций. К первому типу относится неупругое рассеяние быстрых (с энергией, примерно, более 1 МэВ) нейтронов. Второй тип реакций - это захват надтепловых и тепловых нейтронов. Излучаемые при этом γ -кванты называются, соответственно, γ -квантами неупругого рассеяния и радиационного захвата.

Использование импульсного источника быстрых нейтронов позволяет регистрировать отдельно γ -кванты неупругого рассеяния и γ -квантов радиационного захвата. Во время нейтронного импульса (как правило, длительностью <10 мкс) детектор γ -излучения в основном регистрирует γ -кванты неупругого рассеяния, а после его окончания - γ -кванты радиационного захвата.

Измерения плотности или пористости породы традиционно проводят с использованием двух детекторов γ -излучения. При этом показания ближнего детектора используются для учета влияния скважины, скважинного устройства и его положения в скважине. Кроме того, схема с двумя детекторами обеспечивает коррекцию отношения показаний ближнего и дальнего детекторов на флуктуации интенсивности импульсного источника быстрых нейтронов.

В том случае, когда вода и углеводороды содержатся только в поровом пространстве породы, количество регистрируемых γ -квантов неупругого рассеяния и радиационного захвата определяются плотностью и пористостью породы соответственно. При этом между плотностью и пористостью породы существует взаимно однозначная обратная связь. Это связь проявляется в том, что с увеличением плотности (уменьшением пористости) отношение счетов на двух детекторах γ -квантов неупругого рассеяния растет, а отношение счетов γ -квантов радиационного захвата падает. Рост одного отношения и падение другого взаимозависимы, поскольку происходят за счет взаимодействия γ -квантов с одной и той же породой.

Обратная связь между указанными отношениями позволяет скорректировать и превратить в линейные функции зависимость от плотности отношения счетов на двух детекторах γ -квантов неупругого рассеяния с учетом отношения счетов γ -квантов радиационного захвата, а также зависимость от пористости отношения счетов γ -квантов радиационного захвата с учетом отношения счетов γ -квантов неупругого рассеяния.

Факторами, затрудняющими измерение пористости нейтрон- γ -методом, являются присутствие в породе существенных количеств не содержащейся в порах кристаллизационной воды, примесей, поглощающих тепловые нейтроны, а также минерализация бурового раствора и/или пластовой воды.

Наличие этих факторов изменяет интенсивность γ -квантов радиационного захвата. В этом случае взаимно однозначная связь между измеренными плотностью и пористостью отсутствует.

Причина расхождения может быть установлена с использованием имеющейся информации о литологии породы и/или спектра регистрируемого γ -излучения.

Способ реализуют следующим образом.

Предварительно определяют калибровочные коэффициенты k и m , а также константы a и b с помощью измерений калибровочных функций на геофизических моделях пород с известной плотностью и пористостью в отсутствие кристаллизационной воды в породе, минерализации воды в скважине и в порах, а также примесей, поглощающих тепловые нейтроны.

Включают импульсный источник 2 на генерацию импульсов быстрых нейтронов. Быстрые нейтроны выходят из импульсного источника 2 и попадают в промысловую (скважинную) жидкость, обсадную колонну, а затем в горную породу вокруг скважины (на фиг. 1 не показаны), в которых быстрые нейтроны испытывают упругие и неупругие столкновения с ядрами входящих в их состав химических элементов, вследствие чего теряют энергию, становятся с течением времени эпитепловыми, а затем и тепловыми.

γ -кванты, возникшие в окружающей среде во время и в промежутках между нейтронными импульсами, частично попадают в γ -детекторы 3 и 4. Электрические импульсы, возникающие под действием γ -квантов в каждом из γ -детекторов 3 и 4, поступают в электронную схему (на фиг. 1 не показана), обеспечивающую усиление импульсов, их счет и передачу в наземную аппаратуру после каждого импульса источника 2.

Повторяют процесс регистрации для $N \geq 1$ нейтронных импульсов, количество которых определяется установленной точностью измерений.

С помощью наземной аппаратуры определяют отношения RIN , RRC . Вычисляют скорректированные отношения счетов ближнего и дальнего детекторов во время нейтронных импульсов $RIN_{\text{сог}}$ и в промежутках между нейтронными импульсами $RRC_{\text{сог}}$ с использованием соотношений (3) и (4). Для рассматриваемого примера $RIN_{\text{сог}}$ и $RRC_{\text{сог}}$ составляют

$$RIN_{\text{сог}} = RIN - RRC/12 \quad (13)$$

$$RRC_{\text{сог}} = RRC - RIN^3/9 \quad (14)$$

Находят плотность ρ и пористость p горной породы с помощью калибровочных коэффициентов k и m , а также констант a и b согласно выражениям

$$\rho = (RIN_{\text{corr}} - a)/k \quad (15)$$

$$p = (RRC_{\text{corr}} - b)/m \quad (16)$$

Калибровочные коэффициенты k , m , a и b находят из калибровочных зависимостей, полученных для рассматриваемой горной породы, примеры которых представлены на фиг. 4 и 7. В рассматриваемом случае $k=0,497$; $a=4,665$; $m=9,792$; $b=-23,8886$.

Пусть в измерениях плотности и пористости горной породы отношение счетов ближнего зонда к дальнему зонду во время импульсов составляет $RIN=6,115$, а между импульсами $RRC=2,5$. Согласно выражениям (13) и (14) этим значениям RIN и RRC соответствуют $RIN_{\text{corr}}=5,907$ и $RRC_{\text{corr}}=-22,907$. Вычисления ρ и p с использованием выражений (15) и (16) и приведенных выше значений калибровочных коэффициентов дают для них значения $\rho=2,50 \text{ г/см}^3$ и $p=10\%$.

Далее вычисляется значение пористости горной породы при полученном значении плотности с учетом того, что поры заполнены водой. В том случае, когда горная порода составлена из кальцита, плотность которого при нулевой пористости составляет $2,71 \text{ г/см}^3$, измеренное значение плотности $2,50 \text{ г/см}^3$ означает, что водонасыщенная пористость горной породы должна составлять 12% . Таким образом, расхождение между измеренным и вычисленным значениями пористости составляет 2% . Известно (Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. РД 153-39.0-072-01. Москва, 2001), что абсолютная погрешность измерения пористости при значениях пористости около 10% не должна превышать $1,3\%$. Таким образом, наблюдаемое расхождение между измеренным и вычисленным значениями пористости, превышающее допустимую погрешность, указывает на наличие одного или нескольких факторов, влияющих на измерения: связанной (кристаллизационной) воды, примесей, поглощающих тепловые нейтроны, минерализации воды в скважине или в порах.

Приведенные выше выражения (15) и (16) для вычисления плотности и пористости работают и в общем случае. При этом калибровочные коэффициенты a , k , b , m определяются отдельно для каждой измеряемой породы путем проведения калибровочных измерений.

Таким образом, заявленный технический результат - возможность одновременного определения плотности ρ и пористости p горной породы - достигается за счет предварительного нахождения калибровочных функций путем измерения RIN и RRC во время и в промежутках между нейтронными импульсами на геофизических моделях горных пород, коррекции RIN во время нейтронных импульсов, а RRC - в промежутках между нейтронными импульсами, обеспечивающей линейность калибровочных функций от плотности ρ и пористости p соответственно, определения калибровочных коэффициентов k и m , а также констант a и b , облучения горной породы импульсным источником 2 быстрых нейтронов, находящемся в прочном корпусе 1, и регистрации γ -излучения ближним 3 и дальним 4 γ -детекторами, также находящимися в прочном корпусе 1, раздельно во время нейтронных импульсов и в промежутках между ними, нахождении отношения счетов ближнего 3 и дальнего 4 γ -детекторов раздельно для счетов, полученных во время нейтронных импульсов RIN , а также в промежутках между ними RRC , вычисления скорректированных значений RIN_{corr} и RRC_{corr} с использованием калибровочных функций (3) и (4), определения плотности ρ и пористости p горной породы согласно выражениям (15) и (16).

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ одновременного определения плотности и пористости горной породы, заключающийся в том, что облучают горную породу импульсным источником быстрых нейтронов, регистрируют γ -излучение ближним и дальним, относительно импульсного источника быстрых нейтронов, γ -детекторами раздельно во время нейтронных импульсов и в промежутках между ними, находят отношения счетов ближнего и дальнего γ -детекторов раздельно для счетов, полученных во время нейтронных импульсов RIN и в промежутках между ними RRC , производят коррекцию отношения счетов ближнего и дальнего детекторов во время нейтронных импульсов с использованием RIN и поправки в виде функции от RRC , получают скорректированное значение RIN_{corr} , отличающийся тем, что предварительно находят калибровочные функции для плотности $RIN_{\text{corr}}(\rho)$ в виде

$$RIN_{\text{corr}}(\rho) = [RIN(\rho) + f_1(RRC(\rho))]$$

и пористости $RRC_{\text{corr}}(p)$ в виде

$$RRC_{\text{corr}}(p) = [RRC(p) + f_2(RIN(p))],$$

функции $f_1(RRC(\rho))$ и $f_2(RIN(p))$ находят таким образом, чтобы калибровочные функции $RIN_{\text{corr}}(\rho)$ и $RRC_{\text{corr}}(p)$ были линейными функциями, соответственно, от плотности ρ и пористости p

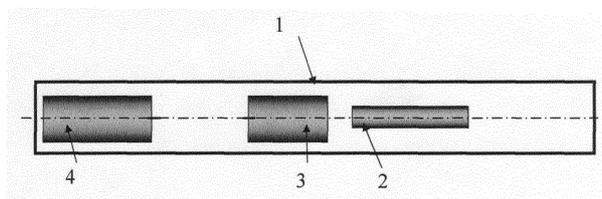
$$RIN_{\text{corr}}(\rho) = k \cdot \rho + a$$

$$RRC_{\text{corr}}(p) = m \cdot p + b$$

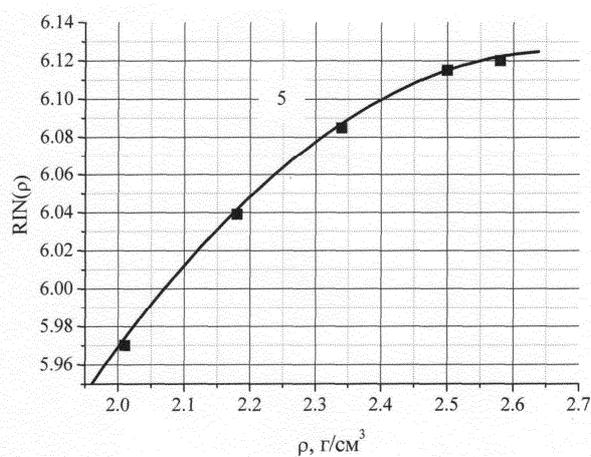
где k и m - калибровочные коэффициенты, а и b - константы,
 определяют калибровочные коэффициенты k и m , а также константы a и b , вычисляют значения RIN_{corr} и RRC_{corr} путем коррекции RIN и RRC с использованием полученных калибровочных функций, находят плотность ρ и пористость p горной породы согласно выражениям

$$\rho = (RIN_{\text{corr}} - a)/k$$

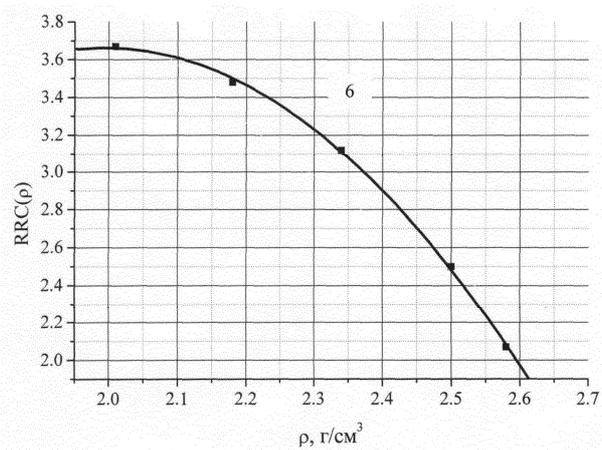
$$p = (RRC_{\text{corr}} - b)/m$$



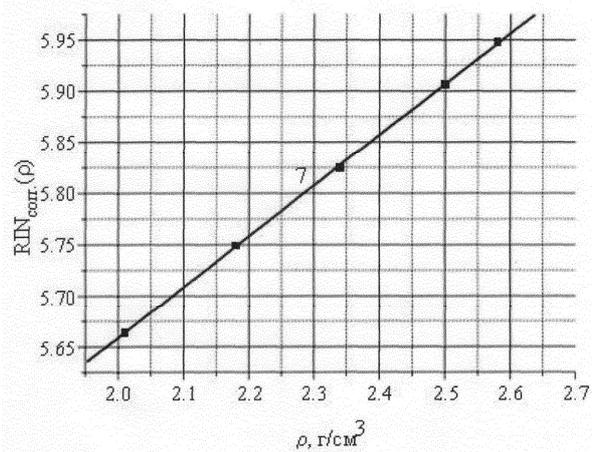
Фиг. 1



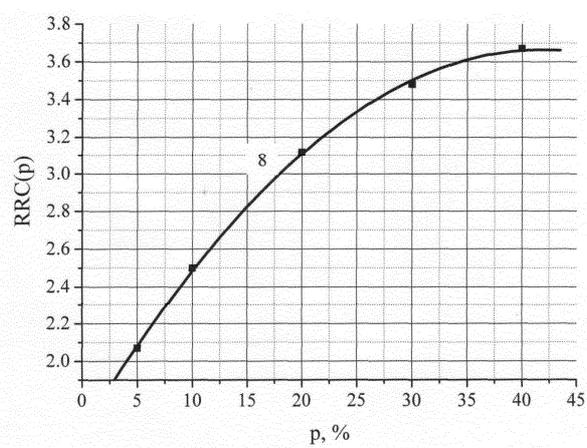
Фиг. 2



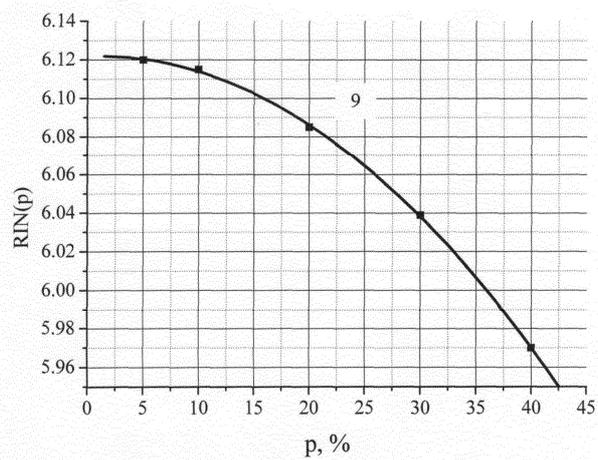
Фиг. 3



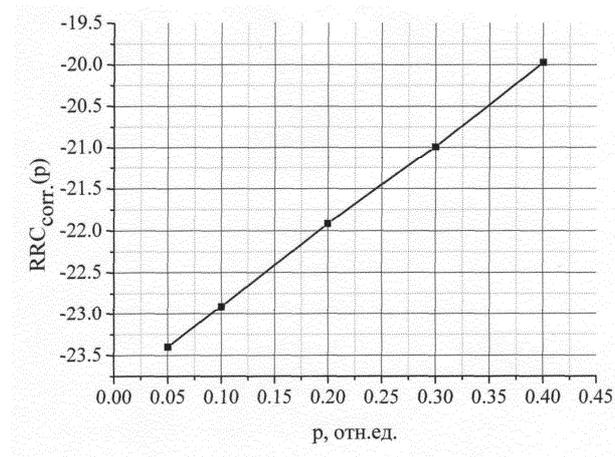
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

