



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 184 367** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) МПК⁷ **G 01 N 23/08, 23/12**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 98121701/28, 25.04.1997

(24) Дата начала действия патента: 25.04.1997

(30) Приоритет: 02.05.1996 EP 96201214.2

(43) Дата публикации заявки: 27.09.2000

(46) Дата публикации: 27.06.2002

(56) Ссылки: EP 0236623 A, 16.09.1987. GB 2088050 A, 03.06.1982. US 4618975 A, 21.10.1986. RU 94008179 A1, 10.02.1996.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 02.12.1998

(86) Заявка РСТ:
EP 97/02237 (25.04.1997)

(87) Публикация РСТ:
WO 97/42493 (13.11.1997)

(98) Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д. Кузнецову

(71) Заявитель:
ШЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ МААТСХАППИЙ
Б.В. (NL)

(72) Изобретатель: СХЕРС Александер Мейнхарт
(NL),
СЛЕЙКЕРМАН Вальтер Фредерикус Йоханнес
(NL)

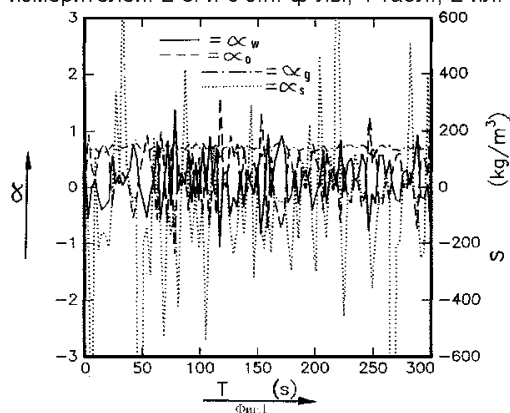
(73) Патентообладатель:
ШЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ МААТСХАППИЙ
Б.В. (NL)

(74) Патентный поверенный:
Егорова Галина Борисовна

(54) СПОСОБ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА МНОГОФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ

(57) Изобретения относятся к области исследования объектов радиационными методами и могут быть использованы для определения состава многофазной жидкости. Состав многофазной жидкости с изменяющейся соленостью определяется путем пропускания пучка фотонов через жидкость и измерения уровня поглощения жидкостью излучения при как минимум трех уровнях энергии излучения и подачи полученных таким образом данных о поглощении излучения на обработчик данных, который выдает данные, касающиеся состава жидкости, включая содержание соли, если есть, на основании алгоритма вычисления фазовой доли, в котором принимается во внимание поглощение излучения солью. Техническим результатом изобретений

является увеличение точности измерений, возможность учета соленой составляющей жидкости, упрощение калибровки измерителей. 2 с. и 6 з.п. ф-лы, 1 табл., 2 ил.



RU 2 184 367 C2

RU 2 184 367 C2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 184 367** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl.⁷ **G 01 N 23/08, 23/12**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

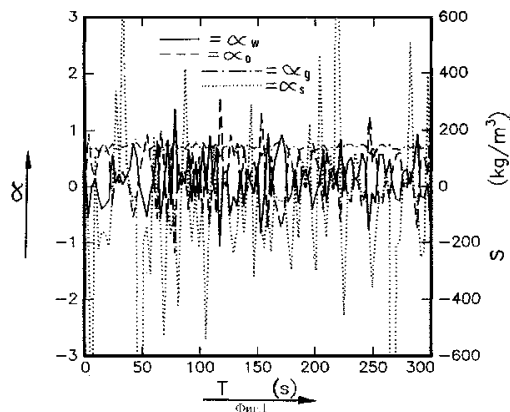
(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 98121701/28, 25.04.1997
 (24) Effective date for property rights: 25.04.1997
 (30) Priority: 02.05.1996 EP 96201214.2
 (43) Application published: 27.09.2000
 (46) Date of publication: 27.06.2002
 (85) Commencement of national phase: 02.12.1998
 (86) PCT application:
EP 97/02237 (25.04.1997)
 (87) PCT publication:
WO 97/42493 (13.11.1997)
 (98) Mail address:
129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. Ju.D. Kuznetsovu

(71) Applicant:
ShELL INTERNEhShNL RISERCh
MAATSKhAPIIJ B.V. (NL)
 (72) Inventor: SKhERS Aleksander Mejnkhart (NL),
SLEJKERMAN Val'ter Frederikus Jokhannes (NL)
 (73) Proprietor:
ShELL INTERNEhShNL RISERCh
MAATSKhAPIIJ B.V. (NL)
 (74) Representative:
Egorova Galina Borisovna

(54) **MEASURING DEVICE AND METHOD FOR DETERMINING MULTIPHASE LIQUID COMPOSITION**

(57) Abstract:
 FIELD: chemical engineering;
 spectroscopy. SUBSTANCE: method involves
 passing photon beam through multiphase
 liquid of variable salinity. Radiation
 absorption level is measured at least at
 three radiation power levels. The so
 obtained data are sent to data processing
 unit that gives data output concerning the
 liquid composition including those of salt
 if available, by using phase fraction
 calculation algorithm taking into account
 radiation absorption caused by salt. EFFECT:
 enhanced accuracy of measurements; salt
 component calculation; simplified measuring
 instrument calibration. 8 cl, 2 dwg, 2 tbl



RU 2 184 367 C2

RU 2 184 367 C2

Изобретение относится к способу и измерительному прибору для определения состава многофазной жидкости путем пропускания через нее пучка фотонов.

Конкретно изобретение относится к способу и измерительному прибору для определения состава многофазной жидкой смеси, выдаваемой одной или несколькими скважинами для добычи сырой нефти, где сырой нефти обычно сопутствует некоторое количество природного газа и/или воды. Такое измерение предоставляет информацию о составе жидкости и схему потока в трубопроводе от каждой скважины, что дает понимание, необходимое для оптимального управления системой добычи и нефтеносными пластами, откуда добывают сырую нефть.

Существует несколько способов определения состава подобной многофазной жидкости путем пропускания через нее пучка фотонов, где пучок фотонов обычно порождается источником гамма- и/или рентгеновских лучей.

Все эти способы исходят из того, что поглощение пучка фотонов в любом веществе выражается формулой: $1n I_0/I = \mu \rho d$,

где I_0 - интенсивность генерируемого излучения,

I - интенсивность пропущенного излучения,

μ - коэффициент массового поглощения излучения, характерный для данного вещества,

ρ - плотность вещества,

d - дальность проникновения излучения сквозь вещество.

В этих способах также учитывается, что при конкретном уровне энергии излучения каждое вещество имеет соответствующий коэффициент μ массового поглощения излучения, который характерен для данного вещества и, кроме того, что при изменении уровня энергии излучения коэффициент μ массового поглощения излучения также изменяется по закону, характерному для данного вещества.

В Международной патентной заявке РСТ/ЕР 94/01320 рассматривается способ определения состава многофазной жидкости, добываемой из нефтяной скважины, путем пропускания через нее пучка фотонов и измерения уровня поглощения излучения при двух уровнях энергии излучения. В известном способе также принимается во внимание, что три доли: нефти, воды и газа в сумме составляют единицу, т.е. около 100% жидкости, протекающей по трубопроводу, так что можно составить систему из трех математических уравнений, посредством которых данные измерений обрабатываются для получения информации о составе жидкости.

В описании европейского патента 236623 идет речь о том, что имеет определенный смысл измерять уровень поглощения излучения пучка фотонов при более чем двух уровнях энергии для получения более расширенного набора данных о поглощении излучения, из которого можно вывести состав жидкости. Этот известный способ также дает возможность учитывать поглощение излучения, обусловленное частицами песка, погруженными в жидкую смесь, и содержанием серы в сырой нефти за счет

использования дополнительных систем излучения, которые излучают пучки фотонов с другими уровнями энергии.

Хотя эти известные способы измерения предоставляют полезную информацию, было обнаружено, что известные измерительные приборы требуют обширной калибровки, которую требуется регулярно обновлять, но и это не избавляет процесс измерения от некоторой неточности.

В основу настоящего изобретения положена задача увеличения точности определения состава многофазной жидкости и предоставление более простых и менее частых процедур калибровки измерителей многофазного состава.

Способ согласно изобретению содержит определение состава многофазной жидкости путем пропускания через нее пучка фотонов и измерения уровня поглощения излучения жидкостью при как минимум трех уровнях энергии излучения и передачу данных измерения поглощения излучения на блок обработки данных, который программируется так, что он осуществляет вычисления в соответствии с алгоритмом вычисления фазовой доли на основании упомянутых данных о поглощении излучения и на основании упомянутых вычислений выдает данные, касающиеся состава жидкости, причем жидкость содержит соленую воду и алгоритм расчета фазовой доли включает в себя этапы определения солёности воды.

Способ согласно изобретению базируется на понимании того факта, что содержание соли, если таковая имеется, в воде, выдаваемой, например, скважиной для добычи сырой нефти, может оказывать существенное воздействие на поглощение жидкостью пучка фотонов.

В преимущественном варианте осуществления способ согласно изобретению содержит:

измерение уровня поглощения излучения жидкостью путем измерения потока фотонов в пропущенном излучении при трех уровнях энергии излучения, логарифмы отношений интенсивности генерируемого излучения I_{on} к интенсивности пропущенного излучения I_n^{trans} на трех уровнях энергии излучения, разделенное на дальность d проникновения излучения через материал обозначаются I_1 , I_2 , и I_3 и алгоритм вычисления предполагает решение следующего матричного уравнения:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_w \rho_w |_{ini} & \mu_{o1} \rho_o & \mu_{g1} \rho_g & \mu_{s1} + (R-1) \mu_{s1} & \mu_{o1} \\ \mu_w \rho_w |_{ini} & \mu_{o2} \rho_o & \mu_{g2} \rho_g & \mu_{s2} + (R-1) \mu_{s2} & \mu_{o2} \\ \mu_w \rho_w |_{ini} & \mu_{o3} \rho_o & \mu_{g3} \rho_g & \mu_{s3} + (R-1) \mu_{s3} & \mu_{o3} \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_w \\ \alpha_o \\ \alpha_g \\ \Delta S \\ \text{Asd}_w \end{bmatrix}$$

где ρ обозначает плотность компоненты жидкости в kg/m^3 ,

μ обозначает коэффициент массового поглощения в m^2/kg ,

α обозначает долю объема компоненты в жидкости,

R обозначает возрастание плотности воды при возрастании солёности на единицу,

ΔS обозначает изменение солёности в kg/m^3 ,

нижний индекс w относится к соленой воде,

нижний индекс o относится к сырой нефти,

нижний индекс g относится к газу,
нижний индекс H_2O относится к пресной воде; и

нижний индекс i_1 относится к первоначальному состоянию; и

блок обработки данных программируется для решения данного матричного уравнения.

Специалисту ясно, что параметры вышеприведенного матричного уравнения могут обозначаться символами, отличными от использованных выше, и что уравнение может быть составлено иным способом. Уравнение можно решать различными способами, но все они имеют в своей основе методику обращения матриц. Однако безотносительно к разнообразию способов важно то, что согласно настоящему изобретению в любом алгоритме вычисления принимается во внимание зависимость поглощения излучения от содержания соли.

Компьютерные модели, в которых используется вышеприведенный алгоритм расчета, демонстрируют, однако, что, измеренные таким образом соленость и фазовые доли, в частности измеренное содержание воды в жидкости, становятся чувствительными к статистическим флуктуациям измеряемых потоков фотонов.

Чтобы подавить эту чувствительность, предпочтительно, чтобы уровень поглощения излучения измерялся неоднократно и блок обработки данных программировался так, чтобы он учитывал, что содержание соли в водной компоненте жидкости остается практически постоянным в течение промежутка времени, ограниченного не менее чем несколькими часами, и решал данное матричное уравнение путем отыскания статистического оптимума.

Предположение о том, что соленость добываемой воды практически постоянна в течение промежутка времени порядка нескольких часов избавляет от необходимости решать матричное уравнение точно. Подходящим способом отыскания решения данного уравнения является нахождение статистически оптимального решения в смысле минимизации χ^2 на основе методики минимизации функции. Эта методика описана в руководстве "Computational methods in optimization", написанном Е. Полаком и опубликованном издательством Академик пресс в Нью-Йорке в 1971 г.

Если поглощение пучка фотонов измеряется при трех энергетических уровнях излучения для определения статистически оптимального значения солености с достаточной статистической достоверностью, требуются данные о поглощении излучения в течение нескольких часов. Минимально необходимое время сбора информации можно уменьшить за счет использования более чем трех уровней энергии.

Измерительный прибор согласно изобретению содержит источник излучения для пропускания через жидкость пучка фотонов, детектор излучения для измерения уровня поглощения излучения жидкостью при как минимум трех уровнях энергии излучения и блок обработки данных, который программируется так, что он производит вычисления в соответствии с алгоритмом вычисления фазовой доли на основании данных о поглощении излучения и выдает

данные, касающиеся состава жидкости, на основании указанных вычислений, причем измерительный прибор приспособлен определять состав многофазной жидкости, которая содержит соленую воду, и алгоритм вычисления фазовой доли включает в себя этапы определения солености воды.

Эти и другие признаки, объекты и преимущества способа и измерительного прибора согласно изобретению станут очевидными из нижеследующего подробного описания, формулы, чертежей и реферата.

Дальнейшее описание изобретения будет приведено на примере и со ссылками на прилагаемые чертежи, где:

фиг. 1 изображает диаграмму, которая служит графическим представлением результатов прямого решения матричного уравнения, соответствующего изобретению, для означенных ниже условий; и

фиг. 2 изображает диаграмму, которая служит графическим представлением результатов применения алгоритма минимизации χ^2 для решения матричного уравнения, соответствующего изобретению.

На левой шкале фиг.1 и 2 откладывается фазовая доля a воды w , нефти o , газа g и соли s , а на правой шкале - соленость S в $кг/м^3$. Горизонтальная шкала представляет собой шкалу времени, где время t выражается в секундах (s).

Полевая практика показала, что колебания солености имеют место в скважинах, где добыча из нефтеносных пластов осуществляется с закачкой воды и что добываемая вода может представлять собой смесь воды, находящейся в пласте, и закаченной воды, каждая из которых обладает своей собственной соленостью.

Полный ионный анализ воды, выдаваемой различными скважинами, где добыча сырой нефти из нефтеносного пласта осуществляется с закачкой воды, показал, что соленость различается от скважины к скважине. Скважины выдавали воду с соленостью от $160 кг/м^3$ для воды, находящейся в пласте, и $35 кг/м^3$ для закачиваемой воды.

Кроме того, в течение шести месяцев соленость для некоторых скважин изменилась более чем на $10 кг/м^3$.

Твердотельная методика детектирования с высоким разрешением, описанная в Международной патентной заявке PCT/EP 94/01320, позволяет разрешать уровни энергии 13,9, 17,8, 22, 26,3 и 59,5 кэВ пучка фотонов, излучаемых источником гамма-лучей Am-241, и следовательно, эти уровни пригодны для определения солености.

Соли растворяются в добываемой воде, а раз так, они не характеризуются долей объема.

Линейный коэффициент поглощения в соленой воде представляет собой сумму линейных коэффициентов поглощения в соли и в пресной воде:

$$\rho_w \mu_w = \mu_s s + (\rho_w - s) \mu_{H_2O}$$

где соленость S обозначает количество соли (в $кг$), находящейся в кубометре соленой воды, а μ_w , μ_s и μ_{H_2O} представляют собой

коэффициенты массового поглощения соответственно соленой воды, соли и пресной

воды.

Плотность соленой воды ρ_w возрастает вместе с соленостью приблизительно по линейному закону. Коэффициент возрастания различается для каждой соли и находится в пределах 0,6-0,9. Отсюда плотность соленой воды выражается формулой:

$$\rho_w = \rho_{H_2O} + RS,$$

где R обозначает возрастание плотности воды при возрастании солености S на единицу.

Комбинация этих уравнений дает:

$$\rho_w \mu_w = \rho_{H_2O} \mu_{H_2O} + (\mu_s + [R-1] \mu_{H_2O}) S.$$

В случае когда измерительный прибор калибруется при первоначальной солености S_{ini} и ΔS обозначает изменение солености, получаем следующее уравнение:

$$\rho_w \mu_w = \rho_w \mu_w |_{ini} + (\mu_s + [R-1] \mu_{H_2O}) \Delta S.$$

Измеряя поглощение излучения при трех уровнях энергии 1, 2 и 3 соответственно и принимая во внимание, что скважине для добычи сырой нефти доли нефти, газа и воды в сумме дают практически единицу, получаем следующее матричное уравнение:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{w1} \rho_w |_{ini} & \mu_{o1} \rho_o & \mu_{g1} \rho_g & \mu_{s1} + (R-1) \mu_{H_2O} & 0 \\ \mu_{w2} \rho_w |_{ini} & \mu_{o2} \rho_o & \mu_{g2} \rho_g & \mu_{s2} + (R-1) \mu_{H_2O} & 0 \\ \mu_{w3} \rho_w |_{ini} & \mu_{o3} \rho_o & \mu_{g3} \rho_g & \mu_{s3} + (R-1) \mu_{H_2O} & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_w \\ a_o \\ a_g \\ S \\ \Delta S \end{bmatrix}$$

$$\text{или } \bar{J} = \bar{M} \bar{a}.$$

Это система уравнений, имеющая решение. Измерив поглощение пропущенных гамма-лучей и решив это матричное уравнение, получаем фазовые доли и изменение солености ΔS . Можно показать, что матрица, обратная M, является слабо обусловленной, так что статистическая погрешность измерения \bar{I}_m может приводить

к большим ошибкам в измеряемых фазовых долях и солености. Чтобы оценить выполнимость измерения состава, использующего три или более уровня энергии, весь процесс измерения был смоделирован при помощи компьютерной модели, описанной ниже.

В компьютерной модели использовалась основная ситуация, описанная в таблице (см. в конце описания).

Моделирование состояло из следующих шести этапов.

Этап 1

Вычисление линейных коэффициентов поглощения для нефти, соленой воды и газа. Они вычисляются исходя из параметров основного случая, определенных выше. Эти параметры, а также табличные значения атомного коэффициента поглощения лежат в основе вычисления линейных коэффициентов поглощения для воды, нефти, газа и соли.

Этап 2

Выбор комбинации \bar{a} долей воды, нефти и газа, первоначальной солености S_{ini} и изменения солености ΔS .

Этап 3

Ожидаемые значения потока фотонов

вычисляются с использованием матричного уравнения. Необходимо знать потоки фотонов для пустой трубы при трех уровнях энергии. Они были выбраны реалистически, согласно полевым испытаниям:

5 Уровень энергии (кэВ) - Поток фотонов (c^{-1})

17,8 - 21000

26,3 - 2000

59,5 - 80000

10 Этап 4

Процесс подсчета подвергается статистическим флуктуациям. Измеренные потоки фотонов будут колебаться вокруг вычисленных потоков фотонов согласно распределению Пуассона. В компьютерной модели измеренные потоки фотонов генерируются методом случайной выборки из распределения Пуассона, математическое ожидание и дисперсия которого задается вычисленным потоком фотонов. Обычно моделировалось 3600 наборов из 3 измеренных потоков фотонов, каждый из которых моделирует время измерения 3 секунды.

Этап 5

25 Эти смоделированные потоки фотонов затем преобразовывались в доли воды, нефти и газа a_w , a_o , a_g и солености S путем решения матричного уравнения согласно изобретению.

30 Графическое представление результатов этой процедуры изображено на фиг. 1. Входные фазовые доли в этом случае не изменяются со временем, причем доля воды $a_w=0,15$, доля нефти $a_o=0,15$ и доля газа $a_g=0,70$. Входная первоначальная соленость S_{ini} была выбрана равной нулю, а изменение

35 солености ΔS было взято 100 кг/м^3 . Фиг.1 изображает большие флуктуации долей воды и нефти a_w , a_o и солености S. Доля газа a_g проявляет относительно малую чувствительность к статистическим флуктуациям потоков фотонов. Был сделан вывод, что измеренные фазовые доли (конкретно, ватеркат $\equiv a_w/(a_o+a_w)$) и соленость становятся крайне чувствительными к статистическим колебаниям измеренных потоков фотонов. Отсюда следует, что в данном случае решение уравнений для каждого измерения не дает практического измерения состава.

45 Чтобы усовершенствовать расчет фазовых долей, был разработан статистический алгоритм минимизации χ^2 , который использует тот факт, что соленость добываемой воды, скорее всего, не флуктуирует в течение трехсекундного промежутка времени. Полевая практика показала, что время изменения солености измеряется либо месяцами (постепенная замена воды из пласта закачиваемой водой), либо днями (внезапный прорыв заканчиваемой воды) и что в течение нескольких часов соленость вряд ли изменится.

60 Это наблюдение используется при вычислении фазовой доли для достижения более точного измерения состава, фазовые доли нужно искать так, чтобы получить постоянную соленость. Сохранение солености постоянной для всех наборов данных предполагает, что для любого смоделированного трехсекундного измерения

-5-

матричное уравнение уже не нужно решать, поскольку его точное решение представляет собой результат, представленный на фиг.1. Вместо этого следует искать такое решение, которое было бы оптимальным в смысле минимизации χ^2 . Это решение затем дает доли отдельных фаз для всех наборов данных и единое постоянное значение солёности, пригодное для всех наборов.

Хи-квадрат χ^2 , подлежащий минимизации, определяется следующей формулой:

$$\chi_{\text{общ}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^L \left(\frac{I_{mji} - I_{cji}(\bar{a}_i)}{\sigma_{ij}} \right)^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i^2}{n-1}$$

в которой n - это число наборов данных, L - число доступных уровней энергии, причем L равно как минимум трем, и I_{mji} и I_{cji} - логарифмы измеренных и, соответственно, вычисленных потоков фотонов при уровне номер j для набора данных i . I_{cji} вычисляется из фазовых долей и солёности согласно матричному уравнению, σ_{ij} - это стандартная дисперсия при измерении I_{mji} . (В моделях σ_{ij} , согласно статистике Пуассона, принимается равной квадратному корню из I_{mji}). n наборов фазовых долей и единое постоянное значение для солёности, которое минимизирует хи-квадрат, - это наилучшее решение для измерения в статистическом смысле.

Каждый набор данных имеет 2 независимых параметра. Таким образом, для минимизации χ^2 всего имеется $2n+1$ независимых параметров. Согласно матричному уравнению I_{cji} нелинейно относительно своих независимых параметров, что делает процесс минимизации обременительным упражнением. Процедура минимизации значительно упрощается благодаря разделению линейной и нелинейной частей. Для этой частной задачи минимизации такое разделение естественным образом вытекает из определения χ^2 .

Отсюда возникает следующая двухэтапная процедура.

Этап 1

I_{cji} является функцией ΔS и $\frac{1}{a_i}$ согласно

$$\begin{bmatrix} I_{o1} \\ I_{o2} \\ I_{o3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{w1} \rho_w |_{i n1} + \Delta S \mu_{s1} + (R-1) \mu_{z o1} & \mu_{o1} \rho_o & \mu_{g1} \rho_g \\ \mu_{w2} \rho_w |_{i n2} + \Delta S \mu_{s2} + (R-1) \mu_{z o2} & \mu_{o2} \rho_o & \mu_{g2} \rho_g \\ \mu_{w3} \rho_w |_{i n3} + \Delta S \mu_{s3} + (R-1) \mu_{z o3} & \mu_{o3} \rho_o & \mu_{g3} \rho_g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_w \\ d_o \\ 1-d_w-d_o \end{bmatrix}$$

что следует из матричного уравнения путем исключения a_g . Выбирается пробная солёность ΔS . Для этого ΔS

варьируют $\frac{1}{a_i}$, чтобы приблизиться к

минимуму χ_i^2 . Поскольку I_c линейна относительно фазовых долей, минимизацию χ_i^2 можно осуществить с использованием разложения особого значения, которое представляет собой неитерационный метод и предполагает только действия с матрицами. В процессе минимизации фазовые доли заключены в интервале от нуля до единицы.

Поэтому ищут набор фазовых долей в интервале от нуля до единицы, который минимизирует χ_i^2 для $\Delta S_{\text{проб}}$.

5

Затем общий хи-квадрат $\chi_{\text{общ}}^2$ вычисляется путем суммирования n отдельных χ_i^2 с последующим нормированием.

Этап 2

10

Общий хи-квадрат $\chi_{\text{общ}}^2$ является функцией ΔS и будет иметь минимум для определенного ΔS . ΔS , для

15

которого $\chi_{\text{общ}}^2$ минимально, является оптимальным решением. Обнаружение этого минимума представляет собой итерационную процедуру, для которой можно использовать, например, алгоритм параболической интерполяции.

20

Использование вышеописанного алгоритма вычисления фазовой доли для того же набора моделированных потоков фотонов, что на фиг.1, приводит к результатам для фазовых долей и солёности, изображенным на фиг.2. Фиг.2 демонстрирует, что использование статистического алгоритма минимизации χ^2 дает статистически приемлемое определение фазовой доли, которое не чувствительно к изменениям солёности.

25

В алгоритме минимизации χ^2 нет нужды ограничивать число уровней энергии тремя. В том случае когда имеется больше уровней энергии и можно измерить поглощение на этих уровнях, они могут быть включены в алгоритм вычисления фазовой доли.

30

Включение как можно большего числа уровней энергии в процесс измерения имеет очевидное преимущество, поскольку при этом минимально необходимое время для сбора информации существенно уменьшается. Включение уровня 22 кэВ источника гамма-лучей Am-241 дополнительно к упомянутым ранее уровням 17,8, 26,3 и 59,5 кэВ уменьшает минимальное время сбора информации в 3-4 раза. Включение уровня 13,9 кэВ в качестве пятого уровня дает выигрыш еще в 7-8 раз.

35

Еще одно преимущество включения как можно большего числа уровней энергии состоит в том, что при этом возрастает статистическая точность измерения состава, поскольку при определении фазовой доли используется в целом больше счетчиков фотонов. При низкой жидкостной нагрузке поток фотонов, получаемый на уровне 17,8 кэВ, преобладает и введение уровней 13,9, 22 и/или 26,3 кэВ не привносит большой статистической точности. При высокой жидкостной нагрузке поток фотонов в пике 17,8 сравним с потоками для уровней 22 и 26,3 кэВ.

40

45

50

55

60

Способность способа, соответствующего изобретению, определять изменение солёности также можно использовать для упрощения процедуры калибровки измерителя состава. Вместо того, чтобы калибровать прибор при помощи солёной добываемой воды, можно калибровать его при помощи пресной воды. Прибор будет измерять отклонение солёности (относительно солёности пресной воды, которая равна реальной солёности добываемой воды).

-6-

Возможны дополнительные упрощения процедуры калибровки. Поглощающие свойства пресной воды известны из табличных данных, и, таким образом, опорный поток фотонов для воды можно, в принципе, вычислить на теоретической основе из потоков фотонов, измеренных для пустой трубы. Соответственно калибровку при помощи воды можно опустить.

Аналогичная серия аргументов применима к опорному потоку фотонов для нефти. Исходя из потоков фотонов для пустой трубы опорные потоки для нефти и газа можно вычислить на основании плотностей и массовой доли углерода для нефти и газа (что касается газа, необходимо также знать долю других газов, например, N₂, CO₂, H₂S).

Итак, в вышеописанной процедуре калибровки достаточно измерить только поток фотонов для пустой трубы. Этот труд может взять на себя производитель оборудования.

Преимуществом вышеозначенной процедуры калибровки является то, что в оперативном определении опорных потоков фотонов нет никакой необходимости. Это делает подводное применение измерителя состава такого типа более простым в эксплуатации и более дешевым. Также появляется возможность использовать расходомер, когда пучок фотонов пропускается через трубу большого диаметра.

Специалисту ясно, что вместо вышеописанного радиоизотопного источника потока фотонов Am-241 можно использовать другие источники потока фотонов, например рентгеновскую трубку.

Преимущество использования рентгеновской трубки в том, что ее можно выключить, когда измерительный прибор не используется, и что выход фотонов можно отрегулировать так, чтобы он возрастал в ответ на возрастание поглощения пучка фотонов жидкостью, протекающей через прибор.

Специалисту также ясно, что алгоритм матричного вычисления и алгоритм минимизации χ² согласно изобретению может вводиться в обработчик данных как программа вычисления и обработчик данных может производить отображение информации, демонстрируя доли нефти, газа, воды и соленость добываемой многофазной жидкости или набор этих характеристик или их производных.

Наконец, следует принять во внимание, что способ и измерительный прибор, соответствующие изобретению, полезны для определения состава любой соленой многофазной жидкости, в котором требуется учитывать поглощение излучения соленой составляющей, с учетом того, что для жидкостей, отличных от тех, что вытекают из углеводородных скважин, алгоритм матричного вычисления и алгоритм минимизации хи-квадрат подлежат соответствующей минимизации.

Формула изобретения:

1. Способ определения состава многофазной жидкости, содержащей соленую воду, путем пропускания через нее пучка фотонов и измерения уровня поглощения излучения жидкостью при, как минимум, трех уровнях энергии и передачи данных измерения поглощения излучения на блок

обработки данных, который программируется так, что он выполняет вычисления в соответствии с алгоритмом вычисления фазовой доли на основании указанных данных поглощения излучения и на основании указанных вычислений выдает данные, касающиеся состава жидкости, отличающийся тем, что воздействие содержания соли в соленой воде на поглощение излучения пучка фотонов принимают во внимание при вычислении фазовой доли и содержит этапы, при которых получают матричное уравнение, относящееся к измеренным данным поглощения излучения к фазовым долям многофазной жидкости и к изменению в солености соленой воды в отношении воды, имеющей начальную соленость, при этом используют следующее уравнение для определения линейного коэффициента поглощения в соленой воде:

$$\rho_w \mu_w = \rho_w \mu_w |_{ini} + (\mu_s + (R-1)\mu_{H_2O}) \Delta S,$$

при этом w, H₂O и s относятся к соленой воде, пресной воде и соли соответственно; ini - к первоначальной солености;

ρ - плотность, кг/м³;
μ - коэффициент массового поглощения, м²/кг;

R обозначает возрастание плотности воды при увеличении солености на единицу;

ΔS обозначает изменение солености, кг/м³;

выбирают линейный коэффициент поглощения воды, имеющей начальную соленость ρ_wμ_w|_{ini}, и определяют изменение солености из решения матричного уравнения.

2. Способ по п. 1, в котором уровень поглощения излучения жидкостью измеряют путем измерения потока фотонов пропущенного излучения при трех уровнях энергии излучения: логарифмы отношений интенсивности генерируемого излучения I_{on} к интенсивности I_n^{trans} пропущенного излучения при трех уровнях энергии излучения (n= 1, 2, 3), поделенное на дальность d проникновения излучения сквозь вещество, обозначаются I₁, I₂, I₃, и уравнение расчета содержит следующую схему матричного уравнения:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{w1} \rho_w |_{ini} & \mu_{o1} \rho_o & \mu_{g1} \rho_g & \mu_s & 1 + (R-1)\mu_{H_2O} & 1 \\ \mu_{w2} \rho_w |_{ini} & \mu_{o2} \rho_o & \mu_{g2} \rho_g & \mu_s & 2 + (R-1)\mu_{H_2O} & 2 \\ \mu_{w3} \rho_w |_{ini} & \mu_{o3} \rho_o & \mu_{g3} \rho_g & \mu_s & 3 + (R-1)\mu_{H_2O} & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_w \\ d_o \\ d_g \\ d_s \\ \Delta S \end{bmatrix}$$

где ρ - обозначает плотность компоненты жидкости, кг/м³;

μ - обозначает коэффициент массового поглощения, м²/кг;

α обозначает долю объема компоненты в жидкости;

R обозначает возрастание плотности воды при возрастании солености на единицу;

ΔS - обозначает изменение солености, кг/м³;

нижние индексы: w относится к соленой воде; s относится к соли; o относится к сырой нефти; g относится к газу; H₂O относится к пресной воде; ini относится к воде, имеющей первоначальную соленость, и блок обработки данных программируют

на решение этого матричного уравнения.

3. Способ по п. 2, в котором уровень поглощения излучения измеряют неоднократно и блок обработки данных программируют так, что он учитывает, что содержание соли в водной фазе жидкости остается практически постоянным на протяжении промежутка времени, ограниченного, по крайней мере, несколькими часами и так, что он решает указанное матричное уравнение путем отыскания статистического оптимума.

4. Способ по п. 3, в котором блок обработки данных программируется так, что он ищет указанный статистический оптимум на основании статистического алгоритма минимизации хи-квадрат.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором многофазная жидкость истекает из скважины для добычи углеводородной жидкости, которая выдает сырую нефть совместно с природным газом и/или соленой водой, и фазовые доли указанных составляющих флуктуируют и колеблются в пределах от 0 до 100%, при условии, что скважина выдает указанные составляющие в вялотекущем режиме.

6. Измерительный прибор для определения состава многофазной жидкости, включающей соленую воду, содержащий источник излучения для пропускания пучка фотонов сквозь жидкость, детектор излучения для измерения уровня поглощения излучения жидкостью при, как минимум, трех уровнях энергии излучения и блок обработки данных, который программируется с возможностью вычисления, в соответствии с алгоритмом вычисления, фазовой доли на основании данных о поглощении излучения и возможностью выдачи данных, касающихся состава жидкости, на основании указанных вычислений, при этом в блок обработки данных вводится алгоритм вычисления,

отличающийся тем, что введенный алгоритм вычисления устраивается с возможностью принятия во внимание воздействие содержания соли в соленой воде на поглощение жидкостью пучка фотонов при вычислении фазовой доли, при этом при введенном алгоритме вычисления вычисляется матричное уравнение, относящееся к измеренным данным поглощения излучения, к фазовым долям многофазной жидкости и к изменению в солёности соленой воды в отношении воды, имеющей первоначальную солёность, и линейный коэффициент поглощения $\rho_w \mu_w$ соленой воды определяется на основании следующего равенства:

$$\rho_w \mu_w = \rho_w \mu_w |_{ini} + (\mu_s + (R-1) \mu_{H_2O}) \Delta S,$$

при этом w , H_2O и s относятся к соленой воде, пресной воде и соли соответственно;

ini - к первоначальной солёности;

ρ - плотность, $кг/м^3$;

μ - коэффициент массового поглощения, $м^2/кг$;

R обозначает возрастание плотности воды при увеличении солёности на единицу;

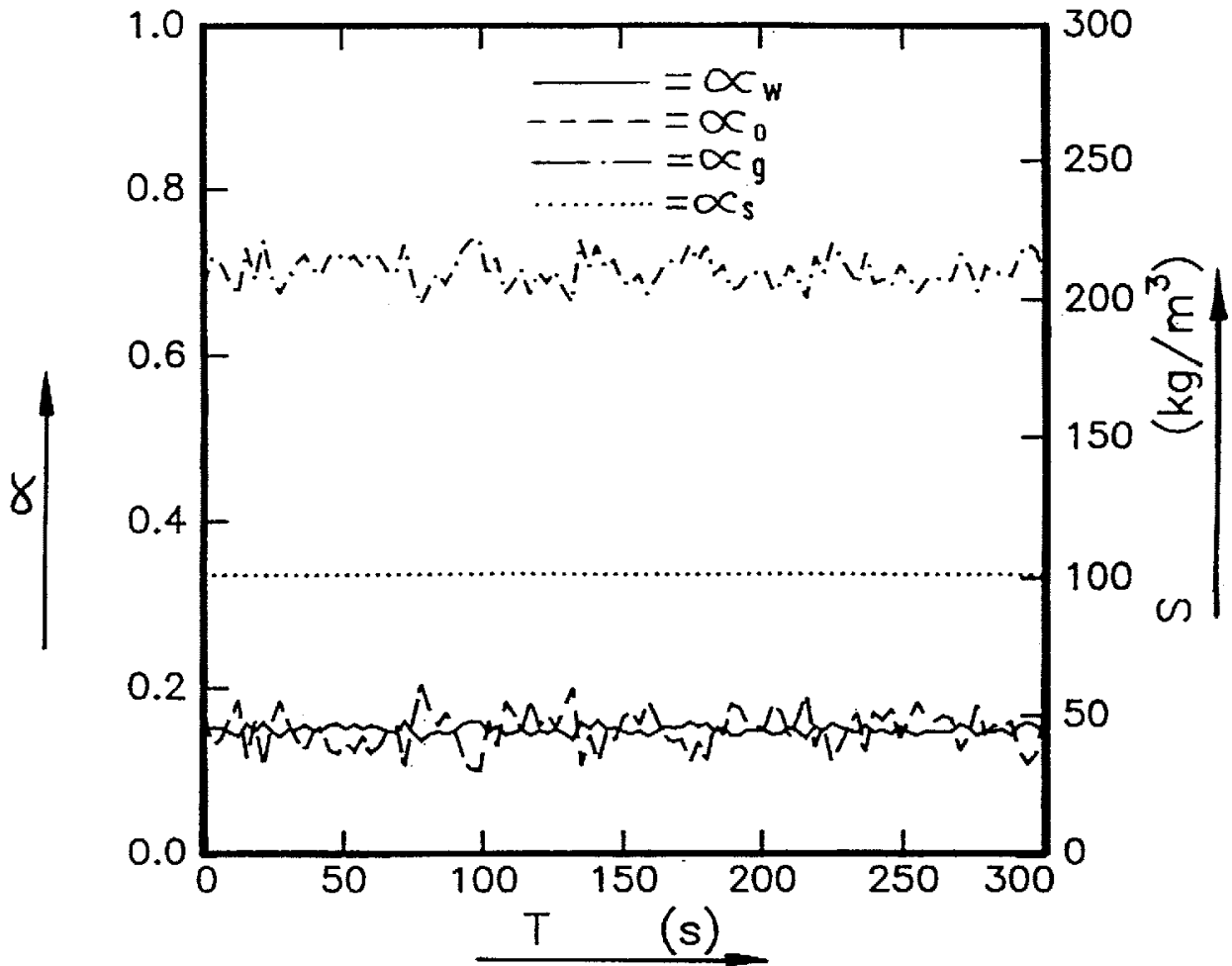
ΔS - обозначает изменение солёности, $кг/м^3$;

при этом алгоритм вычисления для определения изменения в солёности вычисляется путем решения матричного уравнения, используется выбранный линейный коэффициент поглощения воды, имеющей первоначальную солёность, $\rho_w \mu_w |_{ini}$.

7. Измерительный прибор по п. 6, в котором источник излучения пучка фотонов содержит рентгеновскую трубку.

8. Измерительный прибор по п. 6, в котором источник излучения пучка фотонов содержит источник гамма-лучей.

Плотность нефти	$\rho_o =$	800	кг/м^3
Плотность газа	$\rho_g =$	30	кг/м^3
Плотность соленой воды	$\rho_w =$	1070	кг/м^3
Соленость воды	$S =$	100	кг/м^3
Состав соли		NaCl	
Глубина проникновения		0,05	м



Фиг.2

RU 2184367 C2

RU 2184367 C2