



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004118829/28, 22.06.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.06.2004(30) Конвенционный приоритет:
23.06.2003 US 10/601,460

(43) Дата публикации заявки: 10.01.2006

(45) Опубликовано: 20.12.2008 Бюл. № 35

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 5677628 A, 14.10.1997. US 6147490
A, 14.11.2000. US 5043664 A, 27.08.1991. US
6111409 A, 29.08.2000. EP 0514978 A1,
25.11.1992. RU 2085921 C1, 27.07.1997. SU
644226 A, 23.09.1983. SU 1479859 A1, 15.05.1989.

Адрес для переписки:

129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Г.Б.Егоровой, рег.№ 513

(72) Автор(ы):

ГАНЕСАН Кришнамуртхи (US),
СУН И-Цяо (US),
АНЬ Ли (US)

(73) Патентообладатель(и):

ШЛЮМБЕРГЕР ТЕКНОЛОДЖИ БВ (NL)

(54) УСТРОЙСТВО И СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА С
КОРРЕКТИРОВКОЙ ПО СПИН-СПИНОВОМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ

(57) Реферат:

Использование: для каротажа скважин с использованием ядерного магнитного резонанса. Сущность: заключается в том, что для получения результатов измерения ядерного магнитного резонанса индуцируют в пробе флюида статическое магнитное поле; прикладывают к упомянутой пробе флюида осциллирующее магнитное поле в соответствии с последовательностью импульсов предварительной подготовки, содержащей последовательность импульсов корректировки по спин-спиновому

взаимодействию для создания модуляции спин-спинового взаимодействия; осуществляют сбор результатов измерений ядерного магнитного резонанса с использованием детектирующей последовательности, при этом детектирующая последовательность содержит, по меньшей мере, один 180-градусный импульс. Технический результат: уменьшение чувствительности к неоднородности магнитного поля при осуществлении измерений с использованием метода ядерного магнитного резонанса. 4 н. и 20 з.п. ф-лы, 14 ил.

RU 2 341 815 C2

RU 2 341 815 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2004118829/28, 22.06.2004**

(24) Effective date for property rights: **22.06.2004**

(30) Priority:
23.06.2003 US 10/601,460

(43) Application published: **10.01.2006**

(45) Date of publication: **20.12.2008 Bull. 35**

Mail address:
**129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. G.B.Egorovoj, reg.№ 513**

(72) Inventor(s):
**GANESAN Krishnamurtkhi (US),
SUN I-Tsjao (US),
AN' Li (US)**

(73) Proprietor(s):
ShLJuMBERGER TEKNOLODZhi BV (NL)

(54) **DEVICE AND METHOD OF MEASURING NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE WITH CORRECTION OF SPIN-SPIN INTERACTION**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: to obtain results of measuring nuclear magnetic resonance, a static magnetic field is induced in a fluid sample. An oscillating magnetic field is applied to the fluid sample in accordance with a pre-assigned sequence of pulses, comprising a series of pulses

for correcting spin-spin interaction so as to modulate the spin-spin interaction. The results of measuring nuclear magnetic resonance are taken using a detecting sequence. The detecting sequence comprises at least one 180-degree pulse.

EFFECT: reduced sensitivity.

24 cl, 14 dwg

RU 2 341 815 C2

RU 2 341 815 C2

Текст описания приведен в факсимильном виде.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

5 Настоящее изобретение относится к каротажу скважины с
использованием ядерного магнитного резонанса (ЯМР). В частности,
настоящее изобретение относится к способам и к устройству
10 ЯМР-каротажа скважины на основании J-взаимодействия между
углеродом и протонами.

ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

15 Работы по поиску и добыче нефти и газа являются очень
дорогостоящими. Любые сведения о геологических пластах, которые
могут помочь снизить ненужные затраты ресурсов на бурение
20 скважин, имеют огромную ценность. Поэтому в нефтегазовой
промышленности были разработаны различные инструментальные
средства для определения и прогнозирования свойств геологических
25 пластов. Среди инструментальных средств различных типов наиболее
приемлемы измерительные приборы на основе ядерного магнитного
30 резонанса (ЯМР). Измерительные приборы на основе ЯМР могут быть
использованы для определения таких свойства пласта, как
относительный объем пор и относительный объем подвижного флюида,
35 заполняющего объем пор. Описание ЯМР-каротажа скважины раскрыто,
например, в Патенте США № 6140817.

40 Ядерный магнитный резонанс представляет собой явление,
возникающее в выборочной группе ядер, имеющих ядерные магнитные
моменты, то есть, спиновые квантовые числа, отличные от нуля.
45

50

При помещении ядер в магнитное поле (B_0 , "Зеемановское поле"),
каждое прецессирует вокруг оси поля B_0 с ларморовской частотой
5 (ω_0), являющейся отличительным признаком, характеризующим каждый
тип ядер (гиромагнитное отношение, γ), и зависящей от
напряженности магнитного поля (B_0), действующего в месте
10 расположения ядра, то есть, $\omega_0 = \gamma B_0$.

При использовании ЯМР для каротажа скважин основным
15 исследуемым ядром является протон вследствие его хорошей
чувствительности к ЯМР и высокого относительного содержания в
воде и в углеводородах. Кроме того, вследствие ограничений,
20 обусловленных скважиной, существующие в настоящее время
скважинные каротажные зонды обеспечивают измерение только
значений T_1 , T_2 времени релаксации и влияния диффузии.
25

В других областях применения ЯМР, например, в химии, в
биологии и для анализа жидкой нефти, для определения структуры
30 молекул обычно используют способы спектроскопии химического
сдвига протона и углерода и J-взаимодействия. Химический сдвиг -
это термин, описывающий эффект экранирования электронами
35 магнитного поля, воздействующего на ядро. Различные химические
группы, такие как H_2 и CH_3 , обладают различными по величине
эффектами экранирования, и, следовательно, в спектре химического
40 сдвига протонов они проявляются в виде отдельных максимумов.
Расстояние между различными максимумами по частоте
45 пропорционально напряженности статического магнитного поля, то
есть, зависит от магнитного поля. J-взаимодействие, также
известное как спин-спиновое или скалярное взаимодействие,
50

возникает в результате взаимодействия между спинами ядер через электроны связи, см. публикацию E. L. Hahn, and D. E. Maxwell, "Spin echo measurements of nuclear spin coupling in molecules", Physical Review 88, 1070-1084, 1952. Экспериментальное определение J-взаимодействия редко осуществляется отдельно от других параметров. Измерение J-взаимодействия всегда осуществляют совместно с изменением химических сдвигов способами одномерной или многомерной спектроскопии.

Как указано выше, химический сдвиг зависит от магнитного поля. Для спектроскопии химического сдвига неоднородность статического магнитного поля не должна превышать нескольких частей на миллион (промилле). Такую степень однородности сложно реализовать в стволе скважины с использованием существующих технических средств. В отличие от этого константы J-взаимодействия (константы спин-спинового взаимодействия, КССВ) не зависят от напряженности статического магнитного поля и температуры. Это позволяет осуществить экспериментальное определение J-взаимодействия без выполнения спектроскопии химического сдвига в неоднородном статическом и в радиочастотном (РЧ) магнитном поле.

В патенте США № 6111409 раскрыты способы осуществления спектроскопии химического сдвига в стволе скважины. Поскольку в пласте сложно обеспечить однородность статического магнитного поля, то способы, предложенные в патенте, содержат операцию извлечения флюида в опробователь пласта перед выполнением измерений способом ЯМР. Создание строгой однородности, требуемой для обычных измерений химического сдвига, даже в опробователе

пласта является нелегкой задачей. Для формирования статического магнитного поля используют постоянный магнит и компенсационные катушки. Пространство в скважинном приборе, где можно разместить магнит и компенсационные катушки, ограничено по форме и объему. Обеспечение однородности, равной 1 промилле, во всем объеме является трудной задачей при конструировании и изготовлении магнита. Если объем, в котором обеспечивается однородность, слишком мал, то небольшая проба не может являться хорошим отображением исследуемого флюида. Во-вторых, изменение температуры может оказывать воздействие на напряженность и однородность магнитного поля.

В патенте США № 6346813, раскрыто множество способов измерения ЯМР для определения характеристик проб флюидов, извлеченных из подземных пластов. Одним из предложенных способов являются измерения ЯМР протона и углерода.

В заявке на патент США № 10/064, 529 от 24 июля 2002, раскрыты способы проведения экспериментов по J-спектроскопии (спектроскопии спин-спинового взаимодействия) с использованием способов разности спинового эха. Этот подход к решению проблемы предоставляет удобные способы получения данных о J-взаимодействии в стволе скважины. Хотя этот подход к решению проблемы обеспечивает меньшую чувствительность к неоднородности магнитного поля, тем не менее, неоднородность поля в некоторой степени оказывает отрицательное влияние. Неоднородное поле B_0 приводит к неоднородности радиочастотного поля B_1 . В результате, π -импульсы могут оказаться неточными во всей исследуемой области. Неточные π -импульсы могут приводить к ослаблению сигналов

J-модуляции (модуляции за счет спин-спинового взаимодействия).

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩЕСТВА ИЗОБРЕТЕНИЯ

5 Задачей настоящего изобретения является создание основанных
на ЯМР способов и устройства определения J-взаимодействия,
которые в меньшей степени подвержены влиянию неоднородности
10 магнитного поля.

Согласно одному из аспектов, варианты осуществления
15 настоящего изобретения относятся к способам измерений ядерного
магнитного резонанса, содержащих информацию о J-модуляции.

Согласно одному из вариантов осуществления настоящего
20 изобретения, способ измерения ядерного магнитного резонанса
содержит следующие операции: в пробе пластового флюида
индуцируют статическое магнитное поле; прикладывают к пробе

25 флюида осциллирующее магнитное поле в соответствии с
последовательностью импульсов предварительной подготовки,
содержащей последовательность импульсов корректировки по J
30 (корректировки по спин-спиновому взаимодействию) для создания
J-модуляции; и производят сбор результатов измерений ядерного

35 магнитного резонанса с использованием детектирующей
последовательности, которая содержит, по меньшей мере, один
180-градусный импульс. Способ может содержать дополнительные

40 операции: осуществляют многократный сбор результатов измерений
ядерного магнитного резонанса, при этом каждое измерение

45 производят при ином значении регулируемой задержки
последовательности импульсов корректировки по J; и осуществляют
анализ зависимости амплитуд множества результатов измерений

50 ядерного магнитного резонанса от регулируемой задержки для

получения информации о J-взаимодействии.

Согласно другому аспекту изобретения предложен способ
5 получения характеристик пластовых флюидов. Согласно одному из
вариантов осуществления настоящего изобретения способ получения
характеристик пластовых флюидов содержит следующие операции:
10 буровую скважину снабжают средством измерения ядерного
магнитного резонанса; в области, представляющей интерес,
индуцируют статическое магнитное поле; прикладывают к этой
15 области осциллирующее магнитное поле в соответствии с
последовательностью импульсов предварительной подготовки,
20 содержащей последовательность импульсов корректировки по J, для
создания J-модуляции; производят сбор результатов измерений
ядерного магнитного резонанса с использованием детектирующей
25 последовательности, которая содержит, по меньшей мере, один
180-градусный импульс.

Согласно другому аспекту изобретения предложено средство
30 измерения ядерного магнитного резонанса для каротажа скважины.
Согласно одному из вариантов осуществления настоящего
35 изобретения, средство измерения ядерного магнитного резонанса
содержит корпус, выполненный с возможностью перемещения в стволе
скважины, магнит, расположенный в корпусе и предназначенный для
40 индуцирования статического магнитного поля в зоне,
представляющей интерес, антенный блок, расположенный в корпусе и
45 предназначенный для индуцирования осциллирующего магнитного поля
в исследуемой зоне, и приема сигналов ядерного магнитного
резонанса, и электронный модуль, содержащий запоминающее
50 устройство для запоминания команд, обеспечивающих реализацию

последовательности импульсов корректировки по J.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

5 В дальнейшем изобретение поясняется описанием, предпочтительных вариантов воплощения со ссылками на сопровождающие чертежи, на которых:

10 Фиг.1 изображает схему каротажного ЯМР-зонда в стволе скважины, согласно изобретению;

15 Фиг.2 - схему последовательности импульсов для корректировки по J, согласно изобретению;

20 Фиг.3 - диаграмму зависимости амплитуды сигнала от времени задержки для J-модуляции, согласно изобретения;

25 Фиг.4 - схему последовательности импульсов для корректировки по J, согласно другому варианту осуществления изобретения;

30 Фиг.5 - схему последовательности импульсов для корректировки по J, содержащую стробируемую развязку, согласно изобретению;

35 Фиг.6 - схему последовательности импульсов для корректировки по J, содержащую стробируемую развязку, согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения;

40 Фиг.7 - схему последовательности импульсов для корректировки по J с регистрацией протонов, согласно изобретению;

45 Фиг.8 - схему последовательности импульсов для корректировки по J с последовательностью импульсов, обеспечивающей повышение уровня сигнала, согласно изобретению;

50 Фиг.9 - схему последовательности импульсов для

корректировки по J с последовательностью импульсов, обеспечивающей повышение уровня сигнала, и со стробируемой развязкой, согласно изобретению;

Фиг.10 - схему последовательности импульсов для корректировки по J с переносом намагниченности от протона к углероду, согласно изобретению;

Фиг.11 - схему последовательности импульсов для корректировки по J с переносом намагниченности от углерода к протону, согласно изобретению;

Фиг.12 - схему последовательности импульсов для корректировки по J с переносом намагниченности от протона к углероду, а затем обратно к протону, согласно изобретению;

Фиг.13 - последовательность операций, выполняемых для получения данных о J -взаимодействии и определения типа углеводорода, согласно изобретению;

Фиг.14 - последовательность операций, выполняемых в способе вычисления значений водонефтяного фактора и определения типа флюида, согласно изобретению.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ВОПЛОЩЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Изобретение относится к устройству и способам ЯМР-каротажа скважин на основании J -взаимодействия (например, ^1H - ^{13}C). Варианты осуществления настоящего изобретения основаны на измерении влияния J -взаимодействия (спин-спинового взаимодействия) (например, ^1H - ^{13}C) на значения амплитуды спинового эха. Способы настоящего изобретения менее чувствительны к неоднородности магнитного поля. В этом описании

модуляцию значений амплитуды спинового эха за счет влияния
J-взаимодействия именуют "корректировкой по J" ("корректировкой
5 по спин-спиновому взаимодействию" ("J-editing").
Корректировка по J может быть использована для определения подробного состава
пробы нефти, например, относительного содержания различных
10 углеродных групп. Углеродные группы могут содержать четвертичный
углерод, ароматические группы CH, алифатические группы CH, CH₂,
15 CH₃ и CH₄.

Способы могут быть реализованы на практике с использованием
известного средства измерения ЯМР. Средство измерения ЯМР может
20 находиться в лаборатории или являться частью каротажного зонда,
спускаемого в скважину на тресе, может представлять собой
прибор, выполняющий "измерения во время бурения" (ИВБ), или
25 прибор, выполняющий "каротаж во время бурения" (КВБ). Кроме
того, средство измерения ЯМР может являться частью опробователя
30 (испытателя) пласта (прибора для отбора проб флюида),
используемого для анализа флюидов, извлеченных из пластов.

На Фиг.1 показана схема скважинного каротажного
35 ЯМР-зонда 30, расположенного в стволе 32 скважины, проходящей
через пласт 31. Каротажный ЯМР-зонд 30 подвешен в стволе 32
скважины на бронированном кабеле 33, длина которого, определяет
40 относительную глубину расположения зонда 30. Длину кабеля
регулируют при помощи средства, расположенного на поверхности,
45 например, посредством барабана и лебедки 8. Наземное
оборудование 7 может содержать процессор, поддерживающий связь
со скважинным оборудованием. На Фиг.1 показан прибор, спускаемый
50 в скважину на тресе, однако разновидностями каротажных

ЯМР-зондов могут являться зонды ИВВ (MWD) или КВВ (LWD). Зонд 30 может содержать один или большее количество постоянных магнитов 34 и одну или большее количество антенн, например, антенный блок 35, которые могут индуцировать РЧ (или осциллирующее) магнитное поле и функционировать в качестве приемников. Кроме того, зонд 30 может содержать электронный модуль 36, который может содержать центральный процессор 36а, запоминающее устройство 36б и иные компоненты (не показаны) для управления последовательностями импульсов и сбором данных. В запоминающем устройстве 36б могут быть запомнены команды, обеспечивающие реализацию последовательности импульсов корректировки по J согласно вариантам осуществления настоящего изобретения.

Корректировка по J основана на наличии J-взаимодействий между различными ядрами, например, между различными протонами (гомоядерное взаимодействие) и между углеродом и протонами (гетероядерное взаимодействие), см., например, публикацию L. Muller, A. Kumar, и R.R. Ernst, "Two-dimensional carbon-13 NMR spectroscopy", J. Chem. Phys. 63, 5490-5491, 1975. Несмотря на то, что способы согласно изобретению могут быть применены как для гомоядерных взаимодействий, так и для гетероядерных взаимодействий, в приведенном ниже описании для ясности использованы только эксперименты по определению гетероядерных взаимодействий. В приведенном описании в качестве примера приведено взаимодействие между протоном и углеродом. Специалисту в данной области техники понятно, что заявленный способ может быть применен и для других гомоядерных или гетероядерных

взаимодействий.

Способ согласно изобретению обычно состоит из двух частей.

5 В первой части создают прецессию наблюдаемых спинов, например, углерода, возникающую вследствие J-взаимодействия со связанными с ним спинами, например, протона. В результате получают сигнал
10 ЯМР наблюдаемых спинов например, углерода, зависящий от J-взаимодействия и некоторых параметров последовательности импульсов. Последовательности импульсов, используемые в первой
15 части для развития эффектов J-взаимодействия называют "последовательностями импульсов корректировки по J". Во второй части способа осуществляют регистрацию сигнала от наблюдаемого
20 спина, например, углерода, подвергнутого J-модуляции, что в предпочтительном варианте осуществляют с использованием
25 последовательности импульсов, например, последовательности π -импульсов, используемой в последовательности Карра-Перселла-Мейбаума-Гилла (Carr-Purcell-Meiboom-Gill, CPMG), обеспечивающей
30 максимальные значения отношения сигнал-шум (ОСШ) (SNR). Последовательности импульсов, используемые во второй части,
35 называются "детектирующими последовательностями". Для специалиста в данной области техники понятно, что могут быть использованы различные последовательности, в том числе,
40 последовательности, подобные CPMG, не выходя за рамки патентных притязаний. Следовательно, согласно некоторым вариантам осуществления изобретения, полная последовательность импульсов
45 содержит последовательность импульсов корректировки по J, после которой следует детектирующая последовательность. В некоторых
50 вариантах осуществления изобретения, приведенных ниже, полная

последовательность импульсов может дополнительно содержать
последовательность импульсов, обеспечивающую повышение уровня
5 сигнала (например, последовательности импульсов, вызывающие
ядерный эффект Оверхаузера (Overhauser) (ЯЭО) (NOE) или перенос
намагниченности), которую создают до или после
10 последовательности импульсов корректировки по J.
Последовательности импульсов, создаваемые перед детектирующей
последовательностью импульсов, обычно называют
15 "последовательностью импульсов предварительной подготовки".
Поэтому последовательность импульсов предварительной подготовки
20 может содержать только последовательность импульсов
корректировки по J или дополнительно содержать
последовательность импульсов, обеспечивающую повышение уровня
25 сигнала.

В экспериментах с корректировкой по J осуществляют
30 генерацию радиочастотных (РЧ) импульсов на резонансных частотах
углерода и протона и их передачу в зонд. В зонде для
индуцирования и регистрации сигналов ЯМР протона и углерода
35 могут быть использованы либо одна, либо две РЧ-катушки. В
варианте с использованием двух катушек одна из катушек настроена
на резонансную частоту протона, а другая - на частоту углерода.
40 В варианте с использованием одной катушки катушка является
двухконтурной и настроена на обе резонансные частоты: углерода и
45 протона, см. например, публикацию F.D. Doty, R.R. Inners, and
P.D. Ellis, "A multinuclear double-tuned probe for applications
with solids or liquids utilizing lumped tuning elements", J.
50 Magn. Reson. 43, 399-416, 1981. Для специалистов в данной

области техники понятно, что для индуцирования и регистрации сигналов могут быть использованы и другие способы. С этими катушками, вне зависимости от того, применяется ли одна или две катушки, связан используемый антенный блок.

Способы корректировки по J согласно изобретению могут быть классифицированы на две основные группы: способы регистрации углерода и способы регистрации протонов. В способах регистрации углерода источником намагниченности и объектом регистрации являются спины ^{13}C (то есть, наблюдаемые спины), а для наложения J-модуляции на амплитуду спинового эха от ^{13}C осуществляют переворот ориентации спинов протонов (то есть, связанных спинов) или развязку от них. Это обычно обозначают как $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$, где ядро перед скобкой представляет собой наблюдаемое ядро, а ядро в скобках представляет собой связанное/"развязанное" ядро. В способах регистрации протонов источником намагниченности и объектом регистрации являются спины протонов (то есть, наблюдаемые спины), а для модуляции амплитуды спинового эха от протонов за счет J-взаимодействия осуществляют переворот ориентации спинов ^{13}C (то есть, связанных спинов) или развязку от них. Это обычно обозначают как $^1\text{H}\{^{13}\text{C}\}$. Вклад протонов, связанных с ^{12}C , в сигнал не является модулированным за счет J-взаимодействия и, следовательно, может быть устранен путем вычитания сигналов, полученных при двух операциях сканирования, одна из которых выполнена при наличии J-модуляции, а другая - без нее.

Чувствительность при регистрации ^{13}C способом ЯМР является низкой по сравнению с чувствительностью при регистрации

протонов, что обусловлено низким значением гиромагнитного отношения (γ) и низким относительным содержанием изотопа ^{13}C в природе, составляющим, приблизительно 1,1%. Поэтому желательно обеспечить повышение чувствительности экспериментов по регистрации углерода с корректировкой по J. Для этого может быть использовано множество способов повышения уровня сигнала. Способами повышения уровня сигнала, которые могут быть использованы в вариантах осуществления настоящего изобретения, могут являться способы повышения уровня сигнала за счет ядерного эффекта Оверхаузера (Overhauser) (NOE) и способы переноса намагниченности, см. например, публикации G. A. Morris, and R. Freeman, "Enhancement of nuclear magnetic resonance signals by polarization transfer", J. Am. Chem. Soc. 101:3, 760-762, 1979 и S. L. Hartmann and E. L. Hahn, "Nuclear double resonance in the rotating frame", Phys. Rev. 128, 2042-2053, 1962.

Корректировка по j при регистрации углерода

Способы регистрации углерода с корректировкой по J разделены на две подгруппы: 1) способы переворота ориентации спина протона и 2) способы стробируемой развязки. Более подробное описание этих способов приведено ниже.

На Фиг.2 представлена схема последовательности импульсов для корректировки по J, согласно одному из вариантов осуществления настоящего изобретения. В способе для развития J-модуляции в канале наблюдения (например, ^{13}C) используют импульс переворота ориентации спина протона в канале развязки. Последовательность импульсов может быть разделена на две части. Первая часть содержит последовательность импульсов

предварительной подготовки, в состав которой входит только последовательность импульсов корректировки по J в течение J -модуляции. Последовательность импульсов корректировки по J содержит обычную последовательность импульсов спинового эха (($\pi/2$)-задержка-(π)-задержка) в канале ^{13}C и π -импульс в канале ^1H . Вторая часть содержит детектирующую последовательность, которая содержит последовательность π -импульсов для измерения спинового эха, аналогичную последовательности, содержащейся в типичном импульсе Карра-Перселла-Мейбаума-Гилла (Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG)). В данном описании последовательность π -импульсов в детектирующей последовательности, обычно именуют последовательностью, подобной CPMG.

Интервал времени (t_{e1}) до поступления первого эхо-сигнала от углерода обычно является большим, например, порядка $1/J \approx 5-8$ мс (миллисекунд), поэтому имеется достаточное время для развития J модуляции. Более поздние эхо-сигналы (t_e) в последовательности, подобной CPMG, в предпочтительном варианте имеют короткие интервалы между эхо-сигналами, например, равные 200 мкс (микросекундам), поэтому может быть осуществлен сбор большого количества эхо-сигналов для улучшения ОСШ до того, как произойдет уменьшение амплитуды сигнала за счет затухания, обусловленного диффузией и T_2 .

В протонном канале подают одиночный π -импульс через промежуток времени τ после первого $\pi/2$ -импульса для углерода. Вследствие J -взаимодействия между углеродом и протоном (C-H), после начального $\pi/2$ -импульса для углерода происходит расщепление

намагниченности углерода на два вектора, прецессирующих вокруг
статического магнитного поля B_0 с двумя различными угловыми
5 частотами. Изменение угла сдвига фаз между этими двумя векторами
(их разделение) приводит к изменению амплитуды общей
намагниченности как функции косинуса угла сдвига фаз. Другими
10 словами, амплитуда намагниченности углерода является
J-модулированной. В течение времени τ угол сдвига фаз
(разделение) между двумя векторами постепенно увеличивается до
15 тех пор, пока за счет π -импульса для протонов не произойдет обмен
угловых частот этих двух векторов. В результате действия
20 π -импульса для протонов, за счет которого происходит обмен
спиновых состояний у спинов протонов, угол сдвига фаз между
двумя векторами уменьшается до тех пор, пока не будет подан
25 π -импульс для углерода. π -импульс для углерода приводит к обмену
спиновых состояний у спинов углерода, и, следовательно, снова
30 происходит обмен угловых частот двух векторов. Таким образом,
угол сдвига фаз (то есть, разделение фаз между двумя векторами)
снова возрастает. Из этого описания ясно, что в течение
35 интервала времени до поступления первого эхо-сигнала J-модуляция
возникает только лишь в течение промежутка времени,
40 соответствующего 2τ . Другими словами, степень J-модуляции зависит
от времени τ задержки. Эта J-модуляция проявляется в виде
коэффициента J-модуляции, создающего модуляцию амплитуды первого
45 эхо-сигнала.

После первого эхо-сигнала в канал углерода подают только
50 π -импульсы для углерода, посредством которых осуществляют

генерацию последовательности эхо-сигналов, но в протонный канал не подают никаких импульсов для протонов. В результате π -импульсы для углерода, которые подают в середине интервалов между эхо-сигналами, обеспечивают дополнительное подавление J-модуляции. В результате, J-модуляция возникает только в течение интервала времени до поступления первого эхо-сигнала, то есть, коэффициент J-модуляции является "замороженным" после поступления первого эхо-сигнала, и все последующие эхо-сигналы имеют ту же самую J-модуляцию, что и первый эхо-сигнал. Поскольку все эхо-сигналы имеют одинаковый коэффициент J-модуляции, то существует возможность суммирования всех эхо-сигналов для повышения отношения сигнал-шум (ОСШ) без потери информации о J-модуляции. В случае суммирования всех эхо-сигналов не учитывают эффекты затухания, обусловленные T_2 и диффузией, во втором и в последующих эхо-сигналах. Это оказывает незначительное влияние на получение коэффициента J-модуляции. В альтернативном варианте коэффициент J-модуляции может быть найден посредством аппроксимации, в которой учитывают эффекты затухания, обусловленные T_2 и диффузией, во втором и в последующих эхо-сигналах.

Как указано выше, J-модуляция является "замороженной" после первого эхо-сигнала. Поэтому коэффициент J-модуляции может быть получен из амплитуды $S(\tau)$ первого эхо-сигнала. Без учета воздействия неоднородностей статического и радиочастотного (РЧ) полей, $S(\tau)$ определяется следующим уравнением:

$$S(\tau) = S_0^c \sum_i A_i (\cos 2\pi J_i \tau)^{n_i} \quad (1)$$

где: S_0^c - амплитуда спинового эха углерода без J-модуляции, A_i - относительное содержание i-той углеродной группы, J_i - константа J-взаимодействия между углеродом и протоном для i-той углеродной группы, а n_i - количество протонов в i-той углеродной группе.

Из уравнения (1) следует, что при фиксированном τ амплитуда первого эхо-сигнала (или сумма всех эхо-сигналов) связана с функциями косинуса константы (J_i) взаимодействия в n_i -той степени, где n_i - количество протонов, соединенных с углеродом. Количество (n_i) протонов, соединенных с углеродом, может иметь пять различных значений: 0 для C (четвертичного углерода), 1 для CH, 2 для CH₂, 3 для CH₃, и 4 для CH₄. Количество ($n_i=1-4$) протонов, соединенных с углеродом, оказывает незначительное воздействие на константы J-взаимодействия между углеродом и протоном (C-H). Например, значения констант взаимодействия между углеродом и протоном (C-H) для всех алифатических углеродных групп (CH, CH₂, CH₃ и CH₄) приблизительно равны 125 Гц.

В уравнении (1) углеродные группы определены таким образом, что различные углеродные группы либо имеют различные константы (J_i) J-взаимодействия, либо различное количество (n_i) протонов. Поскольку константы J-взаимодействия изменяются не сильно, то удобно сгруппировать константы J-взаимодействия по нескольким значениям. Например, все константы J-взаимодействия в пробе нефти могут быть приблизительно сгруппированы по двум значениям: 160 Гц для ароматических углеродных групп и 125 Гц для алифатических углеродных групп. Таким образом, проба нефти может иметь шесть различных углеродных групп, которые

перечислены в Таблице 1. В типичных пробах нефти имеется лишь небольшое количество алифатических СН, а большую часть СН составляют ароматические группы. Следовательно, при желании можно не учитывать алифатическую группу СН для упрощения модели.

Таблица 1

Пример моделирования углеродных групп

Индекс i группы углерода	Наименование	Константа С-Н взаимодействия J_i	Количество протонов n_i
1	Четвертичный углерод (С)	Отсутствует	0
2	Ароматическая группа СН	160 Гц	1
3	Алифатическая группа СН	125 Гц	1
4	СН ₂	125 Гц	2
5	СН ₃	125 Гц	3
6	СН ₄	125 Гц	4

В конкретной пробе распределения J_i и n_i не изменяются, если же последовательность результатов измерений получают при различных временах задержки, то амплитуды первых эхо-сигналов при этих измерениях зависят от функций косинуса от времени задержки τ . Согласно предпочтительному варианту осуществления изобретения, может быть осуществлен сбор множества результатов сканирования с различными значениями τ при наличии фиксированного интервала времени до поступления первого эхо-сигнала, поэтому влияние T_2 и диффузии является одинаковым для всех результатов измерений. В том случае, когда результаты измерений получают при

различных значениях времени задержки τ , амплитуды результатов этих измерений зависят от значений времени задержки τ . Амплитуды сигналов, представленные в виде функции от τ , образуют систему линейных уравнений, из которой могут быть вычислены значения A_i - относительного содержания различных углеродных групп.

При решении этих линейных уравнений константы J-взаимодействия могут быть получены из их значений, опубликованных в литературе, или из результатов лабораторных экспериментов по ЯМР-спектроскопии проб нефти. Как указано выше, для всех алифатических углеродных групп константы J-взаимодействия изменяются незначительно, эти константы взаимодействия могут быть аппроксимированы посредством нескольких их значений, зависящих от гибридизации углерода (например, значений, приведенных в Таблице 1).

При указанном подходе система линейных уравнений может быть получена с использованием множества различных значений τ , которые не обязательно имеют какую-либо конкретную зависимость между собой. В альтернативном подходе множество результатов измерений может быть получено путем равномерного приращения значений τ . При наличии такого набора данных может быть использовано преобразование Фурье для создания спектра значений J, из которого могут быть получены значения J_i и A_i .

На Фиг.3 приведена диаграмма зависимости амплитуды эхо-сигнала от значений задержки τ с использованием пробы легких фракций нефти. В этом примере приведено 31 значение τ в интервале от 0 до 8 мс, причем явно видна модуляция значений амплитуды

эхо-сигнала за счет задержек τ . Из диаграммы следует, что большая часть значений амплитуды эхо-сигнала является модулированной за счет J-взаимодействия, что проявляется в виде наличия периодичности, равной, приблизительно, 8 мс. Эта периодичность соответствует константе J-взаимодействия, равной, приблизительно, 125 Гц, а это означает, что большая часть сигналов поступает от алифатических углеродных групп. Это соответствует составу пробы.

На Фиг.2 представлена только основная схема способа. Специалисту в данной области техники понятно, что способ может содержать другие известные приемы для улучшения результатов измерений. Например, он может содержать операцию циклического изменения фазы для снижения или подавления постоянных шумов, например, смещения измерительного прибора по постоянному току или ухудшения сигнала вследствие неидеальной длительности импульсов (то есть, $\pi/2$ -импульса или π -импульса). Одним из примеров схем циклического изменения фазы является схема "CYCLOPS", которая может быть использована для устранения смещения по постоянному току и несбалансированного усиления при квадратурной регистрации. Кроме того, циклическое изменение первого $\pi/2$ -импульса может устранить избыточную намагниченность углерода, восстановленную вследствие T_1 -релаксации в течение длинной последовательности π -импульсов, подобной CPMG.

Кроме того, специалисту в данной области техники понятно, что вместо $\pi/2$ - и π -импульсов (Фиг.2) могут быть использованы составные импульсы. Различные составные $\pi/2$ - и π -импульсы

известны в данной области техники, см., например, публикацию М.Н. Levitt and R.Freeman, J. Mag. Reson. (33), 473, 1979.

5 Например, вместо $\pi/2$ -импульса в направлении оси X, обозначаемого как $(\pi/2)_x$, обычно используют следующую составную последовательность из четырех импульсов:

10 $P=(\pi/4)_{-y}(\pi/4)_x(\pi/4)_y(\pi/4)_x$ (см., например, публикацию М.Н. Levitt, J. Mag. Reson. (48), 234, 1982. Аналогичным образом,

15 вместо π -импульса может быть использован, например, следующий составной импульс: $P=(\pi/2)_x(\pi)_y(\pi/2)_x$. Эти составные $\pi/2$ - или π -импульсы обычно дают лучшие результаты, поскольку они в меньшей

20 степени приводят к ухудшению качества сигнала вследствие неидеальной длительности импульса для $\pi/2$ - или π -импульсов.

25 Неидеальная длительность импульса сильнее проявляется в условиях скважины, при этом ожидается, что температура оказывает существенное воздействие на параметры сложных электрических схем

30 в программаторе импульсов и в передатчике.

π -импульс для протонов подают по истечении времени задержки

35 τ . Этот π -импульс для протонов не обязательно должен следовать после первого π -импульса для углерода (то есть, $\tau \leq t_{e1}/2$). Однако, варианты осуществления настоящего изобретения не ограничены этим

40 вариантом. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения π -импульс для протонов может совпадать с первым

45 π -импульсом для углерода (Фиг.4). В других вариантах осуществления изобретения π -импульс для протонов может быть подан

50 после первого π -импульса для углерода. В этом случае τ определяют

как временную задержку между π -импульсом для протонов и первым эхо-сигналом, поэтому уравнение (1) по-прежнему остается справедливым.

На Фиг.4 показана последовательность импульсов для другого способа переворота ориентации спина протона согласно вариантам осуществления настоящего изобретения. В этой последовательности импульсов π -импульс для протонов и π -импульс для углерода подают одновременно или с постоянным сдвигом по времени. Для создания различных вариантов J модуляции изменяют интервал времени до поступления первого эхо-сигнала и τ . В этом случае интервал времени до поступления первого эхо-сигнала задают равным 2τ , и уравнение (1) по-прежнему остается справедливым. При этой последовательности импульсов влияние T_2 и диффузии будет различным при изменении τ и, следовательно, первого интервала. В случае, если серия результатов измерений получена с использованием множества значений τ , может потребоваться корректировка результатов этих измерений для устранения влияния/введения поправок на влияние T_2 и диффузии до того, как эти данные будут подвергнуты анализу в соответствии с вышеописанными способами (например, путем решения системы линейных уравнений или выполнения преобразования Фурье).

В течение интервала времени (Фиг.2 и 4) до поступления первого эхо-сигнала подают пару π -импульсов для углерода/протонов, но в течение последующих интервалов между эхо-сигналами подают только π -импульсы для углерода в виде последовательности импульсов, подобной CPMG. При наличии этой

последовательности импульсов рост J-модуляции происходит только
лишь в течение интервала времени до поступления первого эхо-
5 сигнала. Специалисту в данной области техники понятно, что
возможны иные видоизмененные варианты этих последовательностей
импульсов. Например, нарастающая J-модуляция также может быть
10 создана в течение нескольких первых интервалов между эхо-
сигналами. В течение каждого из начальных интервалов между эхо-
сигналами, которые должны быть весьма продолжительными
15 (например, равными 8 мс) для развития J-модуляции, подают пару
 π -импульсов для углерода и протонов, применительно к интервалу
20 времени до поступления первого эхо-сигнала. Специалисту в данной
области техники также понятно, что способ использования
множества пар π -импульсов для углерода/протонов для создания
25 нарастающей J-модуляции в течение нескольких первых интервалов
между эхо-сигналами, может быть применен для всех способов
30 регистрации углерода с переворотом ориентации спина протонов и
способов регистрации протонов с переворотом ориентации спина
углерода, описание которых приведено ниже.

35 J-модуляция может быть создана посредством π -импульсов
(импульсов переворота ориентации спина) или посредством
40 стробируемой развязки в канале связанных ядер. В некоторых
вариантах осуществления изобретения вместо импульсов переворота
ориентации спина используют стробируемую развязку. На Фиг.5
45 показана одна из таких последовательностей импульсов, в которой
вместо π -импульса для протонов (Фиг.2) используют развязку от
50 протонов. Развязка от протонов останавливает рост J-модуляции с

момента времени τ до момента поступления первого эхо-сигнала. Следовательно, при использовании последовательности импульсов (Фиг.5) развитие J-модуляции происходит только лишь в течение промежутка времени τ , а не в течение промежутка времени 2τ , что имеет место при использовании последовательности импульсов на Фиг.2. В результате амплитуда $S(\tau)$ первого эхо-сигнала, полученная в результате эксперимента (Фиг.5), определяется следующим уравнением:

$$S(\tau) = S_0^c \sum_i A_i (\cos \pi J_i \tau)^{n_i} \quad (2)$$

В соответствующей последовательности импульсов развязка от протонов может быть применена сразу же после подачи $\pi/2$ -импульса для углерода и может быть снята в некоторый момент времени перед первым эхо-сигналом. В этом случае τ определяют как временную задержку между концом импульса развязки и первым эхо-сигналом, и уравнение (2) по-прежнему остается справедливым. Специалисту в данной области техники понятно, что развязка от протонов на Фиг.5, может быть достигнута посредством любых известных составных импульсов, служащих для развязки, или посредством широкополосного импульса развязки. Несмотря на то, что на Фиг.5 для ясности показано, что наблюдаемым спином является ^{13}C , а связанным с ним спином является ^1H (то есть, $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$), эти последовательности импульсов могут также быть применены к другим гетероядерным комбинациям.

На Фиг.6 показан другой вариант осуществления способа стробируемой развязки. Как показано на Фиг.6, устройство

развязки от протонов охватывает либо первую половину, либо
вторую половину интервала времени до поступления первого эхо-
5 сигнала. Кроме того, изменяют интервал времени до поступления
первого эхо-сигнала для создания различных видов J-модуляции,
которые закодированы в виде различной амплитуды
10 зарегистрированных сигналов. Этот подход аналогичен подходу,
показанному на Фиг.4. Может быть зарегистрирована
последовательность спектров, и может быть произведен анализ
15 зависимости модуляции амплитуд сигналов от величины интервала
времени до поступления первого эхо-сигнала (или τ) (например, с
20 использованием системы линейных уравнений или преобразования
Фурье) для получения значений констант J-взаимодействия и A_i .

Корректировка по j с регистрацией протонов

25 Вышеописанные варианты осуществления изобретения основаны
на регистрации углерода и на повороте ориентации спина протонов
или на развязке от протонов, то есть, $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$. Как указано выше,
30 регистрация углерода имеет намного меньшую чувствительность по
сравнению с регистрацией протонов вследствие более низкого
35 гиромагнитного отношения (γ) и более низкой распространенностью
спинов углерода. Поэтому иногда желательно выполнять эти
40 эксперименты с регистрацией протонов, то есть, $^1\text{H}\{^{13}\text{C}\}$.

На Фиг.7 показана последовательность импульсов для
45 регистрации протонов, аналогичная показанной на Фиг.2, за
исключением того, что каналы ^{13}C и ^1H поменялись местами. В этой
последовательности импульсов для регистрации протонов источником
50 намагниченности и объектом регистрации (то есть, наблюдаемыми

спинами) являются спины протонов. Чтобы обеспечить возможность нарастания J-модуляции, осуществляют переворот ориентации спинов углерода. Поскольку приблизительно 99% сигнала от протонов поступает от протонов, соединенных с ^{12}C , и в нем отсутствует какое-либо J-взаимодействие, для облегчения анализа вклад в сигнале от протонов, соединенных с ^{12}C , должен быть устранен. Это может быть осуществлено путем вычитания сигналов, полученных при двух измерениях, одно из которых производят с наличием π -импульса для углерода (то есть, J-модуляция), а другое - без него. Пренебрегая влиянием неоднородности поля, амплитуда первого эхо-сигнала $S(\tau)$ после вычитания определяется следующим уравнением:

$$S(\tau) = \frac{0,011 \cdot S_0^h}{\sum_i A_i n_i} \sum_i A_i n_i (1 - \cos 2\pi J_i \tau) \quad (3)$$

где: коэффициент 0,011 представляет собой относительное содержание ^{13}C в природе; S_0^h - амплитуда спинового эха протонов без J-модуляции; члены A_i , J_i и n_i тем же, что и в уравнении (1).

В способах регистрации углерода, показанных на Фиг.2 и на Фиг.4-Фиг.6, n_i изменяет частоту J-модуляции потому, что на каждый атом углерода одновременно оказывают воздействие n_i протонов, непосредственно соединенных с ним. В отличие от этого, в способе регистрации протонов, показанном на Фиг.7, n_i не изменяет частоту J-модуляции, поскольку на каждый протон оказывает воздействие только один атом углерода, непосредственно соединенный с ним. В результате, способ корректировки по J с регистрацией протонов не может обеспечить различение различных

углеродных групп на основании их различий по n_i . Однако, этот способ, тем не менее, может обеспечить различение различных углеродных групп в том случае, если они имеют различные константы J-взаимодействия, например, константа взаимодействия между углеродом и протоном (C-H) для ароматического ряда приблизительно равна 160 Гц, а константа взаимодействия между углеродом и протоном (C-H) для алифатического ряда приблизительно равна 125 Гц. Следовательно, этот способ корректировки по J с регистрацией протонов может быть использован для различения алифатических углеводородов и ароматических углеводородов на основании различных значений J.

Из уравнения (3) следует, что вклад определенной углеродной группы в сигнал достигает своего максимального значения в том случае, когда

$$\tau = 1/2J_i \quad (4)$$

Также известно, что константы J-взаимодействия изменяются незначительно для различных углеродных групп в пробах нефти, содержащих, в основном, алифатические углеводороды. Поэтому, чтобы вклады всех углеродных групп в сигнал достигали уровней, близких к их максимальным значениям, может быть использовано надлежащим образом выбранное (среднее) значение τ .

Одним из преимуществ этого подхода является то, что измеренная амплитуда $S(\tau)$ сигнала является хорошим показателем, характеризующим водородный индекс углеводородов даже при наличии воды в пробе. Для удобного способа вычисления водонефтяного фактора в пробе может быть использована измеренная амплитуда $S(\tau)$

сигнала, полученная с использованием последовательности импульсов (Фиг.7), совместно с обыкновенным измерением протонов.

5 Соответственно, этот подход обеспечивает хороший способ определения типа флюида.

На Фиг.7 показан только один пример последовательности импульсов для регистрации протонов, основанной на последовательности импульсов, показанной на Фиг.2. Специалисту в данной области техники понятно, что для корректировки по J с регистрацией протонов также могут быть использованы иные последовательности импульсов, подобные последовательностям импульсов, показанным на Фиг.4-Фиг.6. В частности, последовательность импульсов для способа регистрации протонов с различным интервалом между эхо-сигналами может быть получена путем взаимной замены каналов ^1H и ^{13}C (Фиг.4). Аналогичным образом, последовательности импульсов корректировки по J с регистрацией протонов и стробируемой развязкой могут быть получены путем взаимной замены каналов ^1H и ^{13}C , показанных на Фиг.5 и Фиг.6.

35 СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ СИГНАЛА

Повышение уровня сигнала за счет ядерного эффекта

40 Оверхаузера

Как указано выше, при регистрации углерода чувствительность является низкой. В некоторых случаях последовательности импульсов для регистрации углерода могут быть объединены с импульсами, обеспечивающими повышение уровня сигнала. В данной области техники известны различные способы повышения амплитуды сигнала, поступающего от ядер, обладающих низкой

чувствительностью. Этими способами являются, например, ядерные эффекты Оверхаузера (Overhauser) (ЯЭО) (NOE) и перенос поляризации (намагниченности).

В способах повышение уровня сигнала за счет ЯЭО значения амплитуды сигнала в способах корректировки по J с регистрацией углерода могут быть повышены путем применения широкополосной развязки от протонов перед выполнением экспериментов по регистрации углерода. Такой способ повышения уровня сигнала за счет ЯЭО может обеспечить повышение уровня сигнала вплоть до трехкратного, поскольку гиромагнитное отношение протона, приблизительно, в четыре раза превышает гиромагнитное отношение углерода. Широкополосная развязка может быть реализована посредством РЧ-передатчика с шумовой модуляцией. В альтернативном варианте она может быть реализована путем использования последовательности импульсов с очень короткими интервалами. Для генерации широкополосной развязки длительность и фаза каждого импульса в последовательности могут быть различными.

На Фиг.8 изображена последовательность импульсов из Фиг.2, объединенная с последовательностью импульсов ЯЭО, а на Фиг.9 показана последовательность импульсов корректировки по J со стробируемой развязкой (показанная на Фиг.5 или на Фиг.6), объединенная с последовательностью импульсов ЯЭО. Эти последовательности импульсов приведены в качестве примеров. Специалисту в данной области техники понятно, что развязка/последовательности импульсов на основе ЯЭО могут быть применены для всех способов корректировки по J с регистрацией

углерода. Как показано на Фиг.8 и Фиг.9, последовательность импульсов повышения уровня сигнала (импульсов ЯЭО) вместе с последовательностью импульсов корректировки по J именуют' здесь последовательностью импульсов предварительной подготовки. Используемый термин "последовательность импульсов предварительной подготовки" относится к последовательностям импульсов, подаваемым до детектирующей последовательности. Следовательно, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения последовательность импульсов предварительной подготовки может содержать только лишь последовательность импульсов корректировки по J (Фиг.7), а в других вариантах осуществления последовательность импульсов предварительной подготовки может содержать как последовательность импульсов повышения уровня сигнала, так и последовательность импульсов корректировки по J (Фиг.8 и Фиг.9).

В другом варианте воплощения для повышения уровня сигнала используют перенос поляризации (или перенос намагниченности). Например, последовательности импульсов переноса гетероядерной намагниченности могут быть включены в состав способов корректировки по J с регистрацией углерода для повышения ОСШ. Направление переноса намагниченности может быть следующим: $^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{C}$, $^{13}\text{C} \rightarrow ^1\text{H}$ и $^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{C} \rightarrow ^1\text{H}$. ОСШ зарегистрированного сигнала в экспериментах по определению ЯМР определяется следующим уравнением:

$$\text{ОСШ} \propto \gamma_{\text{исходное}} (\gamma_{\text{наблюдаемое}})^{3/2} \quad (5)$$

где: $\gamma_{\text{исходное}}$ - гиромагнитное отношение исходных спинов;

$\gamma_{\text{наблюдаемое}}$ – гиромагнитное отношение регистрируемых спинов.

Гиромагнитное отношение γ_{H} протона в 4 раза больше, чем гиромагнитное отношение углерода-13. Протон и углерод имеют различные значения T_1 и T_2 , которые также влияют на ОСШ при эксперименте. Максимальные достижимые значения ОСШ для обычных способов корректировки по J и способов корректировки по J с повышением уровня сигнала приведены в Таблице 2. В способах корректировки по J с переносом намагниченности используют большее количество импульсов на этапе наращивания J-модуляции, чем в обычных способах регистрации углерода. В неоднородном поле большее количество импульсов может привести к большим погрешностям и к потере сигнала вследствие неидеальности импульсов. Значения, перечисленные в Таблице 2, представляют собой максимальные достижимые значения чувствительности при идеальных условиях.

Таблица 2

Относительная чувствительность способов корректировки по J с переносом намагниченности и без него

Способы корректировки по J	Относительная чувствительность (ОСШ)
Корректировка по J с регистрацией углерода	$(\gamma_{\text{C}})^{5/2}=1$
Корректировка по J с регистрацией протонов	$(\gamma_{\text{H}})^{5/2}=32$
Корректировка по J с переносом намагниченности $^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{C}$	$\gamma_{\text{H}} (\gamma_{\text{C}})^{3/2}=4$
Корректировка по J с переносом намагниченности $^{13}\text{C} \rightarrow ^1\text{H}$	$\gamma_{\text{C}} (\gamma_{\text{H}})^{3/2}=8$

Корректировка по J с переносом намагниченности $^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{C} \rightarrow ^1\text{H}$	$(\gamma_{\text{H}})^{5/2}=32$
---	--------------------------------

5 Двумя обычными способами переноса намагниченности являются
 способ усиления нечувствительного ядра за счет переноса
 10 поляризации (INEPT) и способ кросс-поляризации Хартмана-Хана
 (Hartman-Hahn). Способ INEPT обеспечивает перенос
 намагниченности спина протона, находящегося в противофазе, в
 15 намагниченность спина углерода, находящегося в противофазе, или
 наоборот. См. публикацию Morris, G. A. and Freeman, R., J. Am.
 Chem. Soc, 101, 760, 1979. Этот перенос осуществляют путем
 20 подачи $\pi/2$ -импульса для протона и $\pi/2$ -импульса для углерода.
 Используя операторы произведения спинов, перенос намагниченности
 25 может быть представлен в следующем виде:

$$2I_xS_z - (\pi/2)I_y \rightarrow -2I_zS_z - (\pi/2)S_x \rightarrow 2I_zS_y.$$

В другом способе используют кросс-поляризацию Хартмана-Хана
 30 (CP). См. публикацию Hartmann, S. R. and Hahn, E. L., Phys.
 Rev., 128, 2042, 1962. Осуществляют спин-блокировку спинов
 протонов и углерода за счет РЧ полей, удовлетворяющих условиям
 35 равенства скоростей прецессии в соответствующих вращающихся
 системах координат

$$40 \quad \gamma^h V_1^h = \gamma^c V_1^c \quad (6)$$

где: γ^h и γ^c - соответствующие гироманнитные отношения для протона
 45 и углерода; V_1^h и V_1^c представляют собой напряженность РЧ поля
 для протона и углерода. Перенос намагниченности происходит на
 50 половинной частоте J-взаимодействия. Это может быть использовано
 для переноса намагниченности от протона к углероду или от

углерода к протону.

Для использования усовершенствованных способов при
 5 коррективке по J необходимо создать последовательность
 импульсов, состоящую из трех частей: поляризация, J-модуляция и
 регистрация. Как указано выше, последовательности импульсов,
 10 используемые в течение интервалов поляризации и J-модуляции,
 могут именоваться последовательностью импульсов предварительной
 подготовки. В вариантах осуществления настоящего изобретения
 15 могут быть использованы различные усовершенствованные способы
 (например, ЯЭО (NOE), INEPT, CP) в частях, соответствующих
 20 регистрации и/или поляризации. Описание усовершенствованных
 способов с использованием импульсов ЯЭО было приведено выше со
 ссылкой на Фиг.8 и на Фиг.9.

Ниже приведено описание нескольких последовательностей
 импульсов, которые объединяют способы коррективки по J с
 30 регистрацией углерода со способами переноса намагниченности.

На Фиг.10 показан один из вариантов осуществления
 настоящего изобретения, в котором используют последовательность
 35 импульсов для коррективки по J с переносом намагниченности
 $^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{C}$. Последовательность импульсов состоит из трех частей. В
 40 первой части (^1H : $(\pi/2)_x - \tau_0 - (\pi) - \tau_0 - (\pi/2)_y$, ^{13}C : $(\pi) - \tau_0 - (\pi/2)$)
 осуществляют преобразование намагниченности протонов в
 противофазную намагниченность протонов за счет эффекта
 45 J-взаимодействия, а затем осуществляют ее перенос с
 преобразованием в противофазную намагниченность углерода
 50 посредством $(\pi/2)_y$ -импульса для протонов и $\pi/2$ -импульса для

углерода. Длительность τ_0 по времени в предпочтительном варианте
 равна $1/4J$ для обеспечения максимального переноса
 намагниченности, где J представляет собой среднее значение
 константы J -взаимодействия для пробы. Во второй части (^1H : $\tau-(\pi)$,
 ^{13}C : $T-(\pi)-T$) противофазную намагниченность углерода
 перенаправляют на намагниченность углерода за счет эффекта
 J -взаимодействия. Путем сдвига τ получают различное
 количественное влияние J -взаимодействия на намагниченность
 углерода. В третьей части используют импульсы, подобные CPMG.
 Регистрацию намагниченности углерода осуществляют в виде
 последовательности эхо-сигналов CPMG. Как описано выше, для
 вычисления относительного содержания углеродных групп может быть
 осуществлен сбор множества результатов сканирования при
 различных значениях τ .

На Фиг.11 показан другой вариант осуществления изобретения,
 в котором используют последовательность импульсов для
 корректировки по J с переносом намагниченности $^{13}\text{C} \rightarrow ^1\text{H}$. Эта
 последовательность импульсов также состоит из трех частей. В
 первой части (^{13}C : $(\pi/2)_x-T-(\pi)-T$, ^1H : $\tau-(\pi)$) осуществляют
 преобразование намагниченности углерода в противофазную
 намагниченность углерода за счет J -взаимодействия. Величина
 противофазной намагниченности углерода изменяется при изменении
 τ . Во второй части (^{13}C : $(\pi/2)_y-\tau_1-(\pi)$, ^1H : $(\pi/2)-\tau_1-(\pi)-\tau_1$)
 осуществляют перенос противофазной намагниченности углерода с
 преобразованием в противофазную намагниченность протонов, а
 затем ее перенаправляют на намагниченность протонов. Величина

длительности τ_1 по времени в предпочтительном варианте является компромиссной, поскольку углеродные группы с различным количеством протонов ведут себя по-разному. Третья часть последовательности импульсов представляет собой импульсы, подобные CPMG, в течение которых осуществляют регистрацию сигнала спинового эха от протонов. J-модуляция оказывает различное влияние на сигнал спинового эха от протонов при различных значениях τ .

На Фиг.12 показана последовательность импульсов для корректировки по J с переносом намагниченности $^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{C} \rightarrow ^1\text{H}$. Эта последовательность импульсов состоит из четырех частей. В первой части (^1H : $(\pi/2)_x - \tau_0 - (\pi) - \tau_0 - (\pi/2)_y$, ^{13}C : $(\pi) - \tau_0 - (\pi/2)_x$) осуществляют перенос намагниченности протонов с преобразованием в противофазную намагниченность углерода. Во второй части (^1H : $\tau - (\pi)$, ^{13}C : $T - (\pi) - T$) осуществляют модуляцию противофазной намагниченности углерода с коэффициентом модуляции, зависящим от τ . В третьей части (^1H : $(\pi/2) - \tau_1 - (\pi) - \tau_1$, ^{13}C : $(\pi/2)_x - \tau_1 - (\pi)$) осуществляют перенос противофазной намагниченности углерода с преобразованием в намагниченность протонов. В четвертой части осуществляют регистрацию намагниченности протонов в виде последовательности эхо-сигналов CPMG.

Во всех вышеописанных примерах переноса намагниченности вместо π -импульса, подаваемого после временной задержки τ , может быть использован импульс стробируемой развязки, описание которого было приведено выше в способах корректировки по J со стробируемой развязкой. Стробируемая развязка также разрушает

нежелательную когерентность спинов. Следовательно, подобные последовательности импульсов с использованием стробируемой развязки явно подпадают под объем патентных притязаний настоящего изобретения.

Влияние неоднородных статических и РЧ полей

При выводе приведенных выше уравнений (1-3) влияние неоднородности полей не учитывали. Однако, в том случае, когда импульсы являются неточными, или когда неоднородность статического поля сопоставима с напряженностью РЧ поля, эти уравнения становятся неправильными, что часто имеет место в реальных условиях, в особенности, в условиях скважины. С учетом влияния неоднородности полей уравнение (1) становится следующим:

$$S(\tau) = \frac{S_0^c}{jV_0} \sum_i A_i \int_{L_{0,-}^c, \Lambda_{-,+}^c} \left[\frac{1}{2}(1 + \Lambda_{0,0}^h) + \frac{1}{2}(1 - \Lambda_{0,0}^h) \cos 2\pi J_i \tau \right]^{n_i} dv \quad (7)$$

где: j - мнимая единица; V_0 - общий объем пробы; $L_{0,-}^c$, $\Lambda_{-,+}^c$ и $\Lambda_{0,0}^h$ представляют собой элементы матрицы для операций поворота вследствие РЧ импульсов.

Используя условные обозначения для сферической системы координат, вектор намагниченности задают следующим образом:

$$\begin{aligned} M_+ &= M_x + iM_y \\ M_- &= M_x - iM_y \\ M_0 &= M_z \end{aligned} \quad (8)$$

Поворот вектора намагниченности вследствие РЧ импульса отображают посредством матрицы R :

$$\begin{pmatrix} M_+(t_p) \\ M_-(t_p) \\ M_0(t_p) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{+,+} & R_{-,+} & R_{0,+} \\ R_{+,-} & R_{-,-} & R_{0,-} \\ R_{+,0} & R_{-,0} & R_{0,0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_+(0) \\ M_-(0) \\ M_0(0) \end{pmatrix} \quad (9)$$

5

где: t_p - длительность импульса; матрицу \mathbf{R} обозначают как \mathbf{L} для $\pi/2$ -импульса и как $\mathbf{\Lambda}$ для π -импульса; матрицы для $\pi/2$ -импульсов и π -импульсов для углерода обозначены, соответственно, как \mathbf{L}^c и $\mathbf{\Lambda}^c$, а матрицы для $\pi/2$ -импульсов и π -импульсов для протонов обозначены, соответственно, как \mathbf{L}^h и $\mathbf{\Lambda}^h$. Матричные элементы $L_{0,-}^c$, $\Lambda_{-,+}^c$ и $\Lambda_{0,0}^h$ из уравнения (7) определяются следующими уравнениями:

10

15

20

$$L_{0,-}^c = \frac{\omega_1^c}{\Omega^c} \left\{ \frac{\Delta\omega_0^c}{\Omega^c} [1 - \cos(\Omega^c t_{\pi/2}^c)] + j \sin(\Omega^c t_{\pi/2}^c) \right\} \exp(j\varphi_{\pi/2}^c) \quad (10)$$

25

$$\Lambda_{-,+}^c = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_1^c}{\Omega^c} \right)^2 [1 - \cos(\Omega^c t_{\pi}^c)] \exp(-j2\varphi_{\pi}^c) \quad (11)$$

30

$$\Lambda_{0,0}^h = \left(\frac{\Delta\omega_0^h}{\Omega^h} \right)^2 + \left(\frac{\omega_1^h}{\Omega^h} \right)^2 \cos(\Omega^h t_{\pi}^h) \quad (12)$$

Смещение $\Delta\omega_0^c$ ларморовской частоты углерода определяется уравнением: $\Delta\omega_0^c = \gamma^c B_0 - \omega_{\text{PC}}^c$, где γ^c - гиромагнитное отношение ^{13}C , B_0 напряженность статического магнитного поля, а ω_{PC}^c - круговая частота РЧ диапазона для углерода. Член ω_1^c определяют как $\omega_1^c = \gamma^c B_1^c / 2$, где B_1^c - напряженность РЧ поля для углерода. Частота нутации углерода определяется уравнением: $\Omega^c = \sqrt{(\Delta\omega_0^c)^2 + (\omega_1^c)^2}$.

35

40

45

50

Длительность $\pi/2$ -импульсов и π -импульсов для углерода обозначена, соответственно, как $t_{\pi/2}^c$ и t_{π}^c , а фазы этих импульсов обозначены, соответственно, как $\varphi_{\pi/2}^c$ и φ_{π}^c . Члены $\Delta\omega_0^h$, ω_1^h , Ω^h и t_{π}^h ,

относящиеся к протонам, заданы аналогично соответствующим членам для углерода. Интеграл в уравнении (7) подразумевает интегрирование по всему объему пробы.

Матричные элементы $L_{0,-}^c$, $\Lambda_{-,+}^c$ и $\Lambda_{0,0}^h$ могут быть теоретически вычислены после тщательного отображения статического поля и РЧ поля. В альтернативном варианте эти параметры могут быть найдены посредством калибровки с использованием нескольких проб нефти, состав которых уже известен. В общем случае, посредством калибровки должны быть найдены пять параметров, которыми являются следующие: $\int L_{0,-}^c \Lambda_{-,+}^c dv$, $\int L_{0,-}^c \Lambda_{-,+}^c \Lambda_{0,0}^h dv$, $\int L_{0,-}^c \Lambda_{-,+}^c (\Lambda_{0,0}^h)^2 dv$, $\int L_{0,-}^c \Lambda_{-,+}^c (\Lambda_{0,0}^h)^3 dv$ и $\int L_{0,-}^c \Lambda_{-,+}^c (\Lambda_{0,0}^h)^4 dv$. После того, как определены эти пять параметров, $S(\tau)$ становится полиномом 4-го порядка от $\cos 2\pi J_i \tau$. Затем может быть получено решение для относительного содержания различных углеродных групп с использованием вышеописанных средств, применяемых для решения уравнения (1).

Уравнение (7) выглядит сложным. Однако, источником всех сложностей является член $\Lambda_{0,0}^h$. Если π -импульс для протонов является идеальным в любом месте пробы, то значение $\Lambda_{0,0}^h$ становится равным -1. Член $\left[\frac{1}{2}(1 + \Lambda_{0,0}^h) + \frac{1}{2}(1 - \Lambda_{0,0}^h) \cos 2\pi J_i \tau \right]^{n_i}$ в уравнении (7) может быть затем упрощен до $[\cos 2\pi J_i \tau]^{n_i}$, а затем может быть выведен за знак интеграла, поскольку он является пространственно независимым. При таком упрощении уравнение (7) становится эквивалентным уравнению (1), за исключением постоянного коэффициента $\int L_{0,-}^c \Lambda_{-,+}^c dv$, который может быть получен из

результатов калибровки.

Несмотря на сложность создания идеального π -импульса для
 5 протонов во всей пробе при наличии неоднородных полей, можно
 предотвратить/минимизировать наращивание J -модуляции после
 неидеального π -импульса для протонов, например, путем
 10 использования последовательности импульсов регистрации углерода
 со стробируемой развязкой. Импульсы развязки должны обеспечить
 15 полную развязку от J -взаимодействия углерода и протонов, поэтому
 уравнение (2) остается справедливым даже в неоднородных полях.
 Полная развязка достижима за счет использования надлежащих
 20 импульсов развязки или РЧ передатчика, соединенного с шумовым
 модулятором, для создания широкополосного импульса развязки.

Для варианта корректировки по J с регистрацией протонов и
 25 переворотом ориентации спина углерода учет влияния
 неоднородности поля приводит к изменению уравнения (3), которое
 30 приобретает следующий вид:

$$S(\tau) = \frac{1}{2} \int L_{0,-}^h \Lambda_{-,+}^h (1 - \Lambda_{0,0}^c) dv \frac{0,011 S_0^h}{\sum_i A_i n_i} \sum_i A_i n_i (1 - \cos 2\pi J_i \tau) \quad (13)$$

35 Член $\frac{1}{2} \int L_{0,-}^h \Lambda_{-,+}^h (1 - \Lambda_{0,0}^c) dv$ представляет собой постоянный
 40 коэффициент, который может быть легко откалиброван. Матричные
 элементы $L_{0,-}^h$, $\Lambda_{-,+}^h$ и $\Lambda_{0,0}^c$ являются аналогичными элементам $L_{0,-}^c$, $\Lambda_{-,+}^c$
 45 и $\Lambda_{0,0}^h$ из уравнений (10-12).

На Фиг.13 показан способ получения информации о
 J -взаимодействия с использованием корректировки по J согласно
 50 одному из вариантов осуществления настоящего изобретения. Как

показано на чертеже, при выполнении операции 1301, осуществляют сбор результатов серии измерений ЯМР с корректировкой по J при различных значениях времени задержки τ развития J модуляции. Эти измерения могут быть выполнены с использованием любой из последовательностей импульсов, продемонстрированных в настоящем изобретении, или с использованием видоизмененных последовательностей, которые являются аналогичными этим продемонстрированным последовательностям импульсов. Типичная используемая для этой цели последовательность импульсов может содержать две части: первой частью является "последовательность импульсов предварительной подготовки", которая может содержать только лишь последовательность импульсов корректировки по J или может дополнительно содержать последовательность импульсов, обеспечивающую повышение уровня сигнала, а второй частью является "последовательность, применяемая для регистрации". Последовательность импульсов корректировки по J обеспечивает возможность развития J -взаимодействия в течение выбранного времени задержки τ для модуляции амплитуды зарегистрированного сигнала. Последовательность импульсов корректировки по J может содержать импульс или составной импульс, обеспечивающий переворот ориентации взаимодействующих ядерных спинов, либо импульс развязки, обеспечивающий развязку взаимодействующих ядерных спинов. Как указано выше, последовательность корректировки по J может быть использована для развития J -модуляции первого эхо-сигнала или нескольких первых эхо-сигналов. Детектирующая последовательность, может представлять собой просто время ожидания (то есть, не содержать какой-либо

последовательности импульсов) датчика перед получением первого эхо-сигнала, возникающего вследствие последовательности импульсов предварительной подготовки. В альтернативном варианте детектирующая последовательность может содержать один или большее количество π -импульсов для создания дополнительных эхо-сигналов. В том случае, когда детектирующая последовательность содержит множество π -импульсов, полная последовательность, в состав которой входит детектирующая последовательность импульсов подобна последовательности импульсов CPMG. Такая последовательность, подобная CPMG, (то есть, множество π -импульсов) может быть использована для сбора большого количества сигналов спинового эха за относительный короткий промежуток времени для улучшения ОСШ.

Как показано на чертеже, при операции 1302 результаты серии измерений ЯМР затем используют для извлечения информации о J-взаимодействии и/или об относительном содержании углеродных групп. Это извлечение информации может быть выполнено путем решения системы линейных уравнений, определяющих зависимость значений амплитуды сигнала от времени задержки τ . В альтернативном варианте это может быть выполнено с использованием преобразования Фурье в том случае, если различные значения τ получены путем приращения на одинаковую величину. Операция извлечения информации содержит операцию определения взаимосвязи значений амплитуды сигнала с временем задержки τ с использованием функции, выбранной исходя из последовательности импульсов, используемой при сборе данных, например,

уравнений (1)-(3), (7) и (13).

Вышеописанные способы обеспечивают получение информации о
5 J-взаимодействии для получения данных об относительном
содержании углеродных групп. В альтернативном варианте может
быть осуществлено обращение свертки спектра пластового флюида,
10 полученного путем корректировки по J (или диаграммы зависимости
J-модуляции от времени задержки τ) с разложением по взвешенному
вкладу от базисного набора спектров корректировки по J (или по
15 графику J-модуляции), зарегистрированных с использованием
эталонных проб, состав которых является известным, например,
20 метан, тяжелые фракции нефти, фракции нефти средней плотности,
легкие фракции нефти, и буровой раствор на нефтяной основе.
Обращение свертки может быть осуществлено путем выполнения
25 анализа собственных значений по базисному набору спектров
корректировки по J или графиков J-модуляции. Относительные
30 весовые коэффициенты базисного набора отражают относительное
содержание эталонных типов флюидов в пластовом флюиде. Этот
альтернативный вариант не содержит операции извлечения
35 информации о J-взаимодействии. Вместо этого, он обеспечивает
непосредственное получение значений относительного содержания
различных флюидов в пробе пластового флюида. Этот вариант
40 является нечувствительным к неоднородности магнитного поля и,
следовательно, не требует введения поправок на неоднородность
45 поля.

В некоторых вариантах осуществления изобретения способ
может содержать дополнительную операцию определения типа
50 углеводорода на основании полученных констант J-взаимодействия и

значений (A_i) относительного содержания углеродных групп (показанную как операция 1303). Например, если константы J -взаимодействия содержат константы, равные 160 Гц, то проба содержит ароматические соединения. Аналогичным образом, наличие константы J -взаимодействия, равной 125 Гц, означает наличие алифатических углеводородов. Может быть осуществлена дополнительная классификация относительного содержания различных углеводородов на основании относительного содержания A_i и n_i .

На Фиг.14 показан способ определения типа флюида согласно настоящему изобретению. При выполнении операции 1401 путем регистрации протонов получают набор разностных данных. Разность определяют между результатами двух измерений, одного с наличием J -модуляции, а другого - без нее. Набор разностных данных содержит данные только о тех протонах, которые связаны с ядрами ^{13}C . Происходит удаление сигналов от протонов, возникающих вследствие наличия протонов, не связанных с ядрами ^{13}C , в том числе, сигналов от воды.

При выполнении операции 1402 из набора разностных данных получают содержание (индекс) углеводородов. При получении индекса углеводородов необходимо учитывать, что изотопом углерод-13 является всего лишь 1,1% углерода, встречающегося в природе.

При выполнении операции 1403 получают суммарный водородный индекс посредством обычного измерения ЯМР, при котором осуществляют измерение всех сигналов от изотопов водорода вне зависимости от того, исходят ли они от воды или от углеводородов. Этот суммарный водородный индекс вместе с

индексом углеводородов может быть затем использован для вычисления содержания воды и углеводородов в пробе флюида. Затем, исходя из значений относительного содержания воды и углеводородов, можно вычислить водонефтяной фактор или использовать их для определения типа флюида (что показано как операция 1404).

Варианты осуществления настоящего изобретения представляют удобные способы определения относительного содержания и типов различных углеродных групп, в том числе, четвертичного углерода (C), ароматических групп CH, алифатических групп CH, CH₂, CH₃ и CH₄. Способы согласно настоящему изобретению основаны на J-взаимодействии и менее чувствительны к неоднородности магнитного поля по сравнению с известными способами. Поскольку эти способы являются менее чувствительными к неоднородности магнитного поля, то изобретение может быть использовано в лабораторных условиях или в тех условиях, в которых сложно получить однородность магнитного поля, например, в стволе скважины.

Информация об углеродных группах, полученная заявленным способом, может быть использована во многих областях, т.е.: для измерения водородного индекса углеводородов при наличии воды; обнаружения газообразного метана по относительному содержанию CH₄; оценки соотношения CH₂/CH₃, которое является хорошим показателем средней длины цепочки молекул; для определения соотношения ароматических/алифатических соединений; для определения относительного содержания алифатических групп CH, которое связано с ветвлением и влияет на образование парафина; и

наличия асфальтена. Кроме того, определенные таким способом значения относительного содержания углеродных групп могут
5 предоставить полезные исходные данные для анализа молекулярной массы по распределениям диффузии или T_2 .

Формула изобретения

- 10 1. Способ получения результатов измерения ядерного магнитного резонанса, заключающийся в том, что индуцируют в пробе флюида статическое магнитное поле, прикладывают к упомянутой пробе флюида осциллирующее магнитное поле в соответствии с последовательностью импульсов предварительной подготовки, содержащей
15 последовательность импульсов корректировки по J для создания J-модуляции, осуществляют сбор результатов измерений ядерного магнитного резонанса с использованием детектирующей последовательности, при этом детектирующая последовательность содержит, по меньшей мере, один 180-градусный импульс.
- 20 2. Способ по п.1, отличающийся тем, что упомянутая J-модуляция основана на гетероядерном взаимодействии.
3. Способ по п.2, отличающийся тем, что упомянутым гетероядерным взаимодействием является взаимодействие между протоном и углеродом.
4. Способ по п.3, отличающийся тем, что упомянутая последовательность импульсов
25 корректировки по J содержит регулируемую задержку, а операции приложения поля и сбора результатов выполняют многократно для получения множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса, каждое из которых выполняют при ином значении регулируемой задержки.
5. Способ по п.4, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют анализ
30 зависимости амплитуд множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса от регулируемой задержки для получения информации о J-взаимодействии или относительного содержания углеродных групп.
6. Способ по п.5, отличающийся тем, что для анализа осуществляют решение системы линейных уравнений или выполнение преобразования Фурье.
- 35 7. Способ по п.5, отличающийся тем, что дополнительно определяют типы углеводородов, содержащихся в пробе флюида.
8. Способ по п.4, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют анализ амплитуд множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса для получения данных о составе пробы флюида, при этом анализ выполняют с использованием базисного набора
40 результатов измерений, полученных посредством эталонных проб известного состава.
9. Способ по п.4, отличающийся тем, что дополнительно получают диаграмму J-модуляции, описывающую зависимость амплитуд множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса от регулируемой задержки, и осуществляют сравнение диаграммы J-модуляции с базисным набором эталонных диаграмм J-модуляции для
45 получения состава пробы флюида, причем базисный набор эталонных диаграмм J-модуляции получают с использованием эталонных проб известного состава.
10. Способ по п.1, отличающийся тем, что пробу флюида извлекают из геологического пласта посредством зонда пласта.
11. Способ по п.1, отличающийся тем, что последовательность импульсов
50 предварительной подготовки дополнительно содержит последовательность импульсов, обеспечивающую повышение уровня сигнала.
12. Способ по п.11, отличающийся тем, что последовательность импульсов, обеспечивающая повышение уровня сигнала, представляет собой последовательность

импульсов, обеспечивающую повышение уровня сигнала за счет ядерного эффекта Оверхаузера (Overhauser), или последовательность импульсов, обеспечивающую перенос намагниченности.

5 13. Способ по п.1, отличающийся тем, что последовательность импульсов корректировки по J содержит импульс стробируемой развязки.

14. Способ получения характеристик пластовых флюидов, заключающийся в том, что размещают в буровой скважине средство измерения ядерного магнитного резонанса, индуцируют статическое магнитное поле в пробе флюида, расположенной в исследуемой области,

10 прикладывают осциллирующее магнитное поле к пробе флюида в соответствии с последовательностью импульсов предварительной подготовки, содержащей последовательность импульсов корректировки по J, для создания J-модуляции, осуществляют сбор результатов измерений ядерного магнитного резонанса с использованием детектирующей последовательности, которая содержит, по меньшей мере, 15 один 180-градусный импульс.

15 15. Способ по п.14, отличающийся тем, что исследуемая область расположена внутри средства измерения ядерного магнитного резонанса.

16. Способ по п.14, отличающийся тем, что последовательность импульсов корректировки по J содержит регулируемую задержку, а операции приложения поля и сбора 20 результатов выполняют многократно для получения множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса, каждое из которых выполняют при ином значении регулируемой задержки.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют анализ зависимости амплитуд множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса 25 от регулируемой задержки для получения информации о J-взаимодействии или относительного содержания углеродных групп.

18. Способ по п.16, отличающийся тем, что дополнительно определяют типы углеводородов, содержащихся в пробе флюида.

19. Способ по п.16, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют анализ 30 амплитуд множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса для получения данных о составе пробы флюида, причем анализ выполняют с использованием базисного набора результатов измерений, полученных посредством эталонных проб, имеющих известный состав.

20. Способ по п.16, отличающийся тем, что дополнительно получают диаграмму J- 35 модуляции, описывающую зависимость амплитуд множества результатов измерений ядерного магнитного резонанса от регулируемой задержки, и производят сравнение диаграммы J-модуляции с базисным набором эталонных диаграмм J-модуляции для получения состава пробы флюида, при этом базисный набор эталонных диаграмм J-модуляции получают с использованием эталонных проб известного состава.

40 21. Способ определения водонефтяного соотношения в пробе флюида, заключающийся в том, что

получают набор данных о ядерном магнитном резонансе, характеризующих протоны, связанные с углеродом-13, содержащимся в пробе флюида,

45 определяют содержание углеводородов, исходя из набора данных о ядерном магнитном резонансе с учетом относительного содержания углерода-13 в природе,

определяют суммарный ядерный магнитный резонанс всех протонов, содержащихся в пробе флюида,

определяют суммарный водородный индекс, исходя из результатов измерения суммарного ядерного магнитного резонанса,

50 определяют соотношение воды и нефти в пробе флюида, исходя из содержания углеводородов и суммарного водородного индекса.

22. Способ по п.21, отличающийся тем, что набор данных о ядерном магнитном резонансе получают путем вычитания результата первого измерения ядерного магнитного

резонанса протонов, полученного с использованием последовательности импульсов корректировки по J, из результата второго измерения ядерного магнитного резонанса протонов, полученного без последовательности импульсов корректировки по J.

5 23. Средство измерения ядерного магнитного резонанса, содержащее корпус, выполненный с возможностью перемещения в стволе скважины, магнит, размещенный в корпусе и предназначенный для индуцирования статического магнитного поля в исследуемой зоне, антенный блок, расположенный в корпусе и выполненный с возможностью индуцирования осциллирующего магнитного поля в исследуемой зоне, и приема сигналов 10 ядерного магнитного резонанса, электронный модуль, содержащий запоминающее устройство для запоминания команд, обеспечивающих реализацию последовательности импульсов корректировки по J.

24. Средство измерения по п.23, отличающееся тем, что корпус образует часть прибора для отбора проб пластовых флюидов.

15

20

25

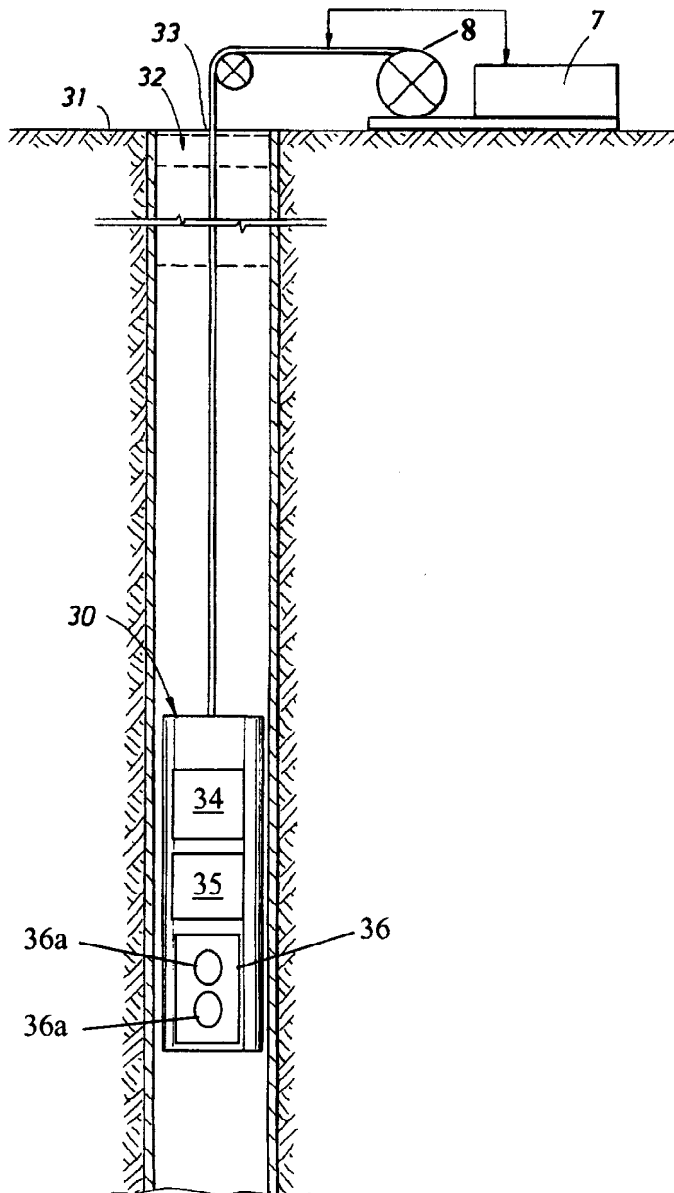
30

35

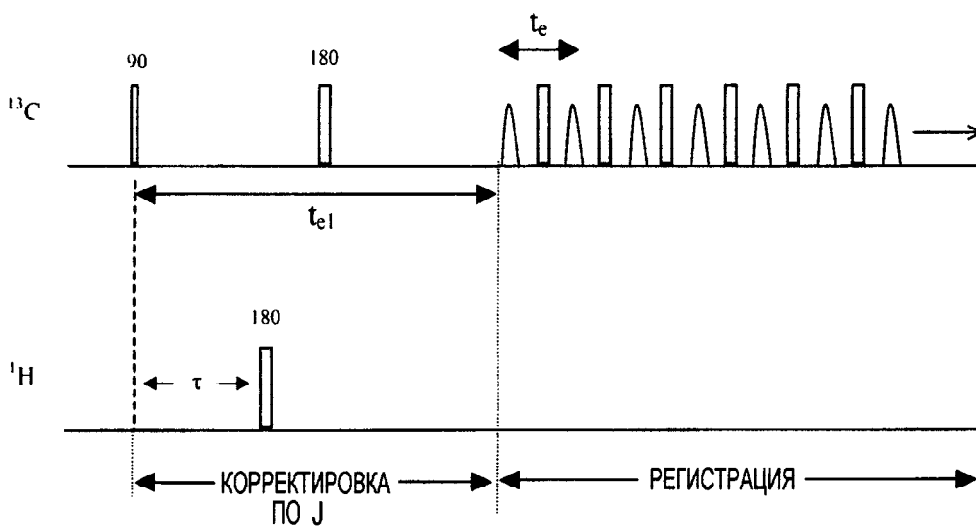
40

45

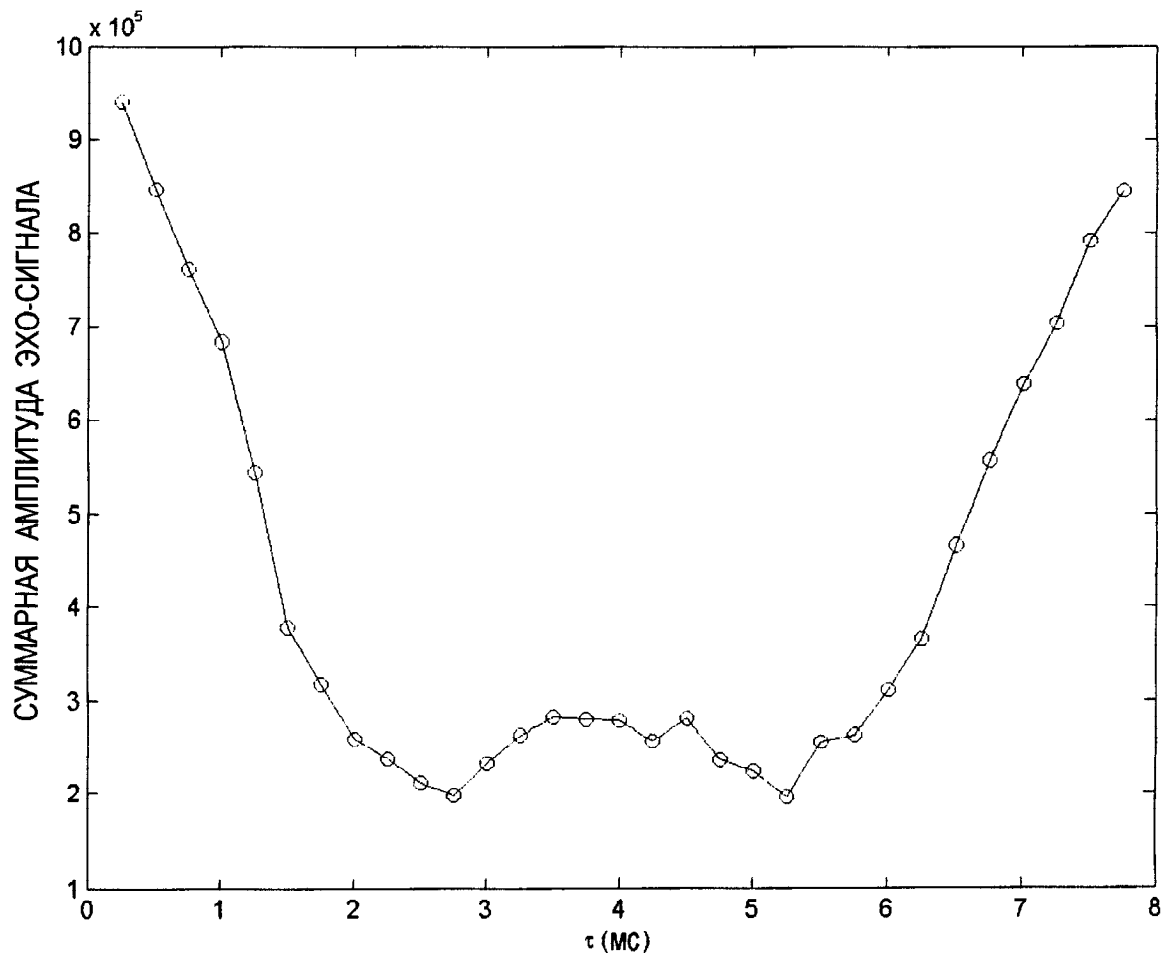
50



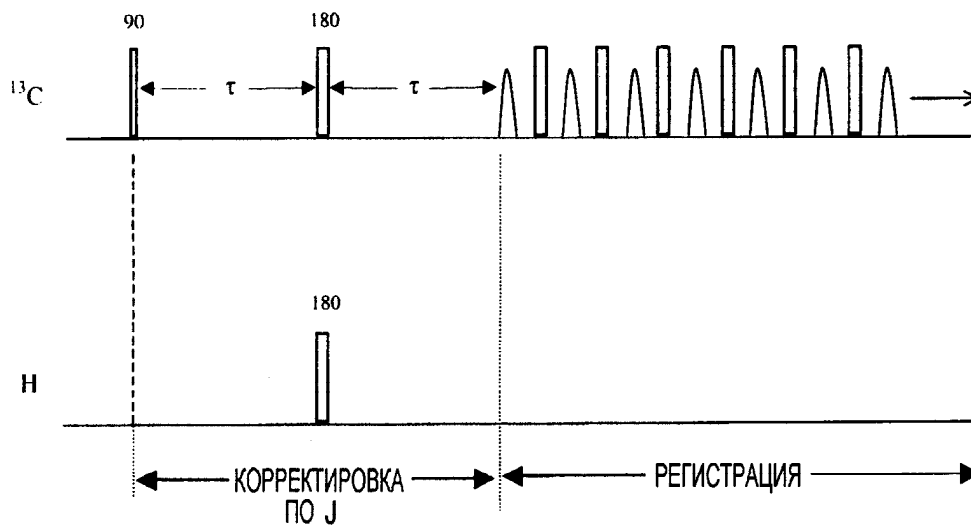
Фиг. 1



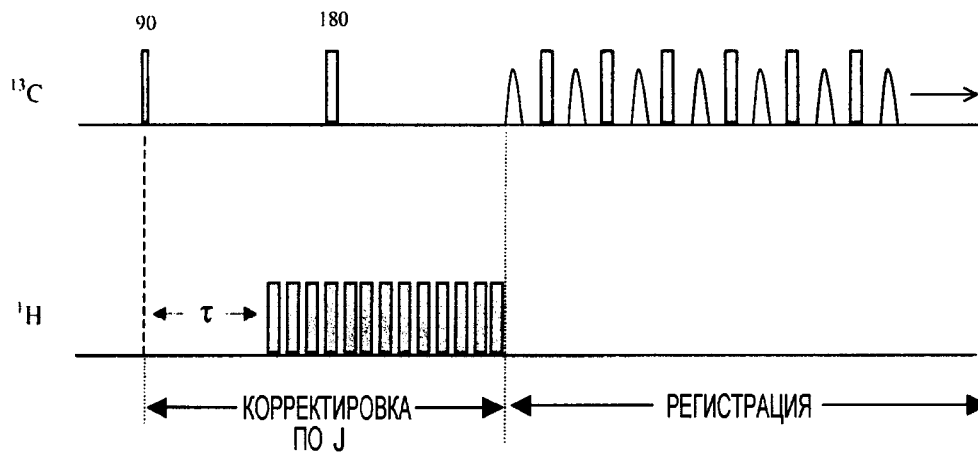
Фиг. 2



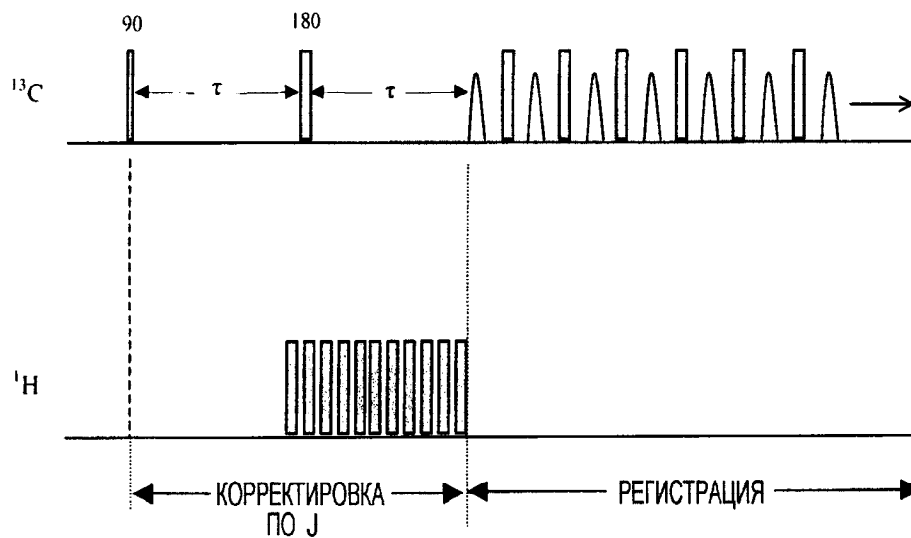
Фиг. 3



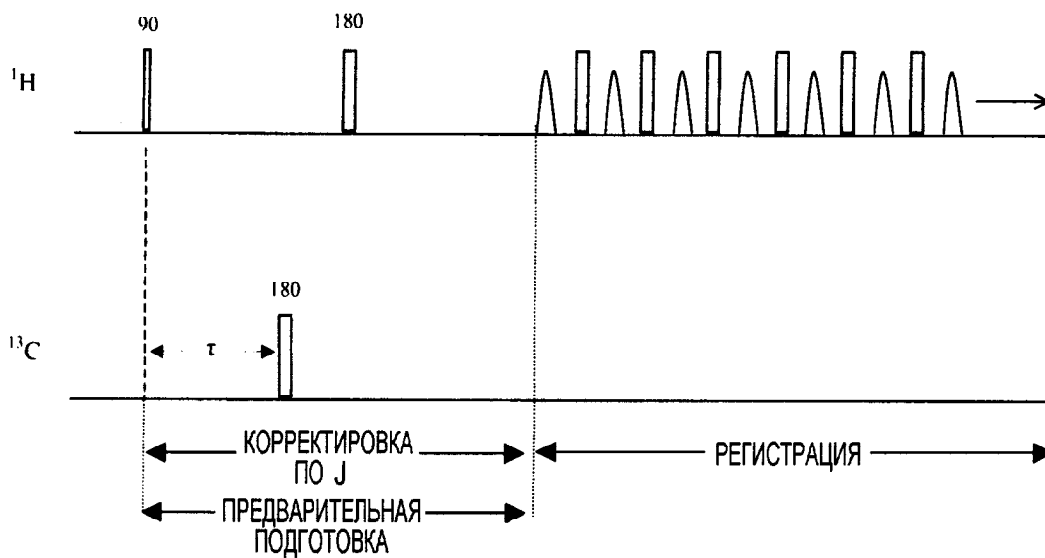
Фиг. 4



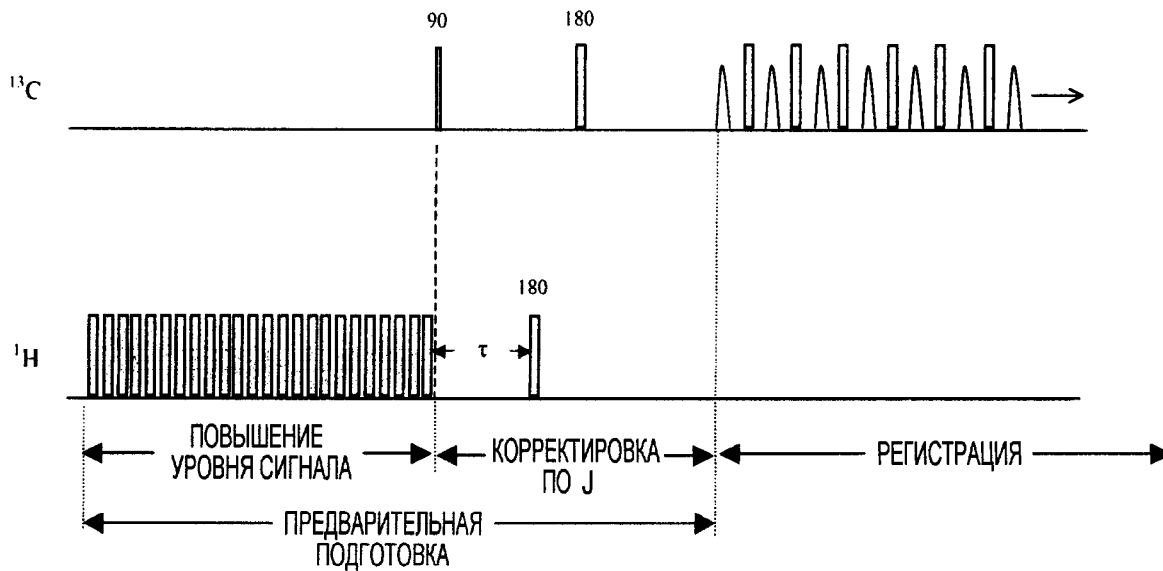
Фиг. 5



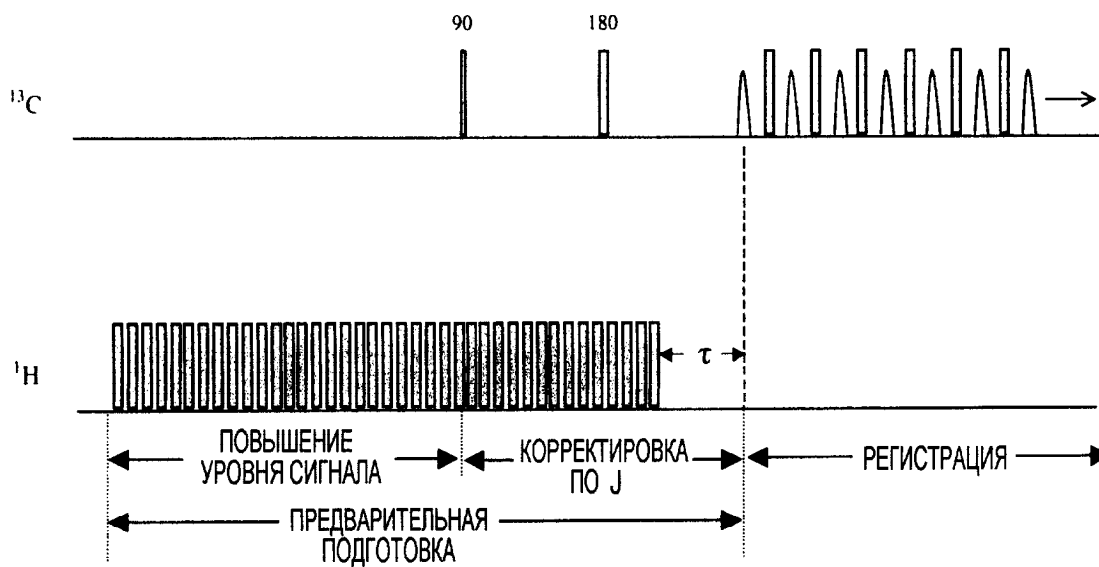
Фиг. 6



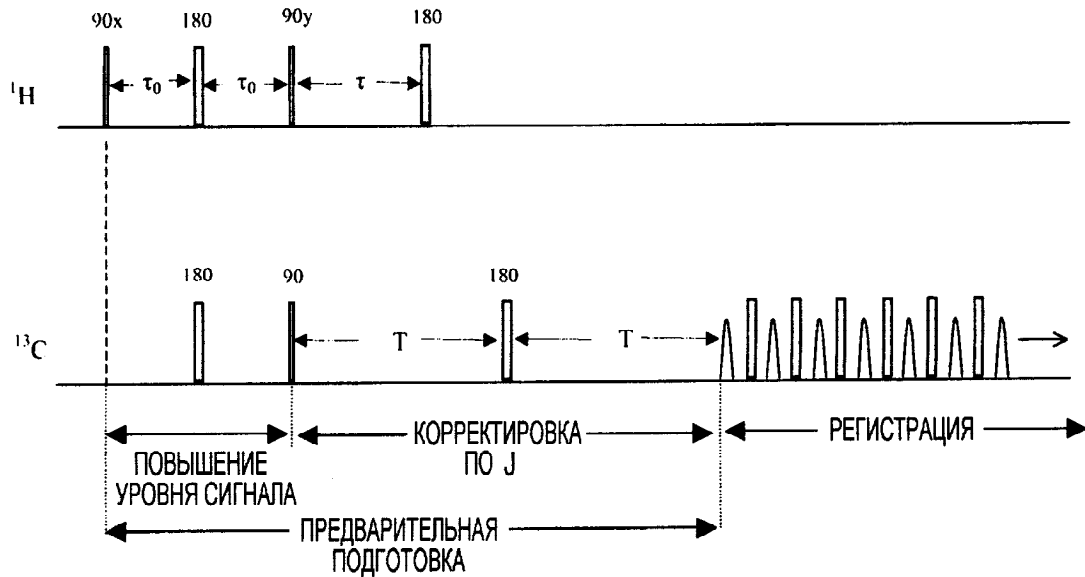
Фиг. 7



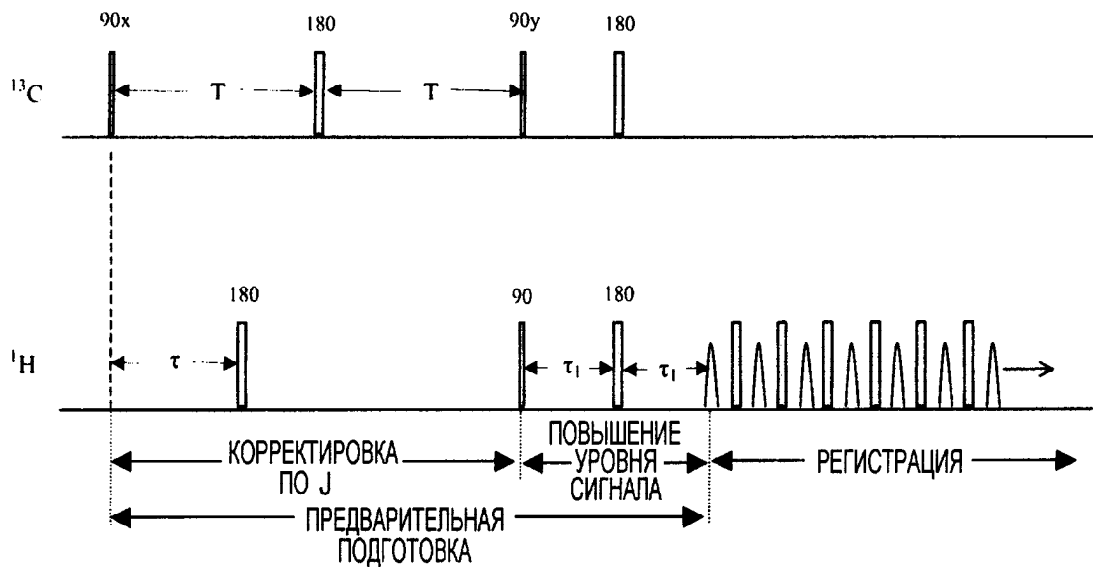
Фиг. 8



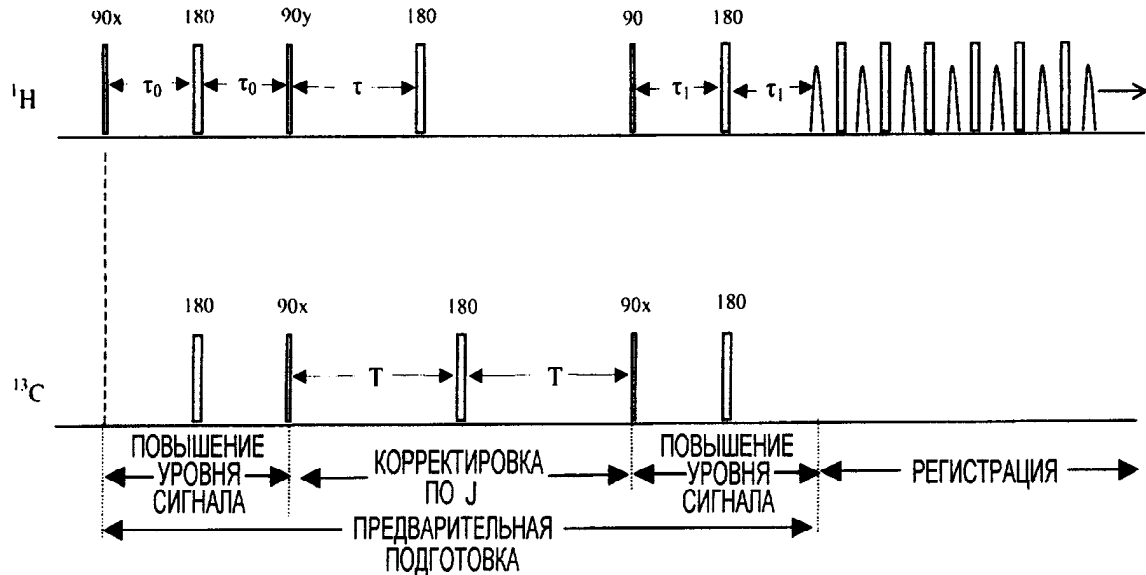
Фиг. 9



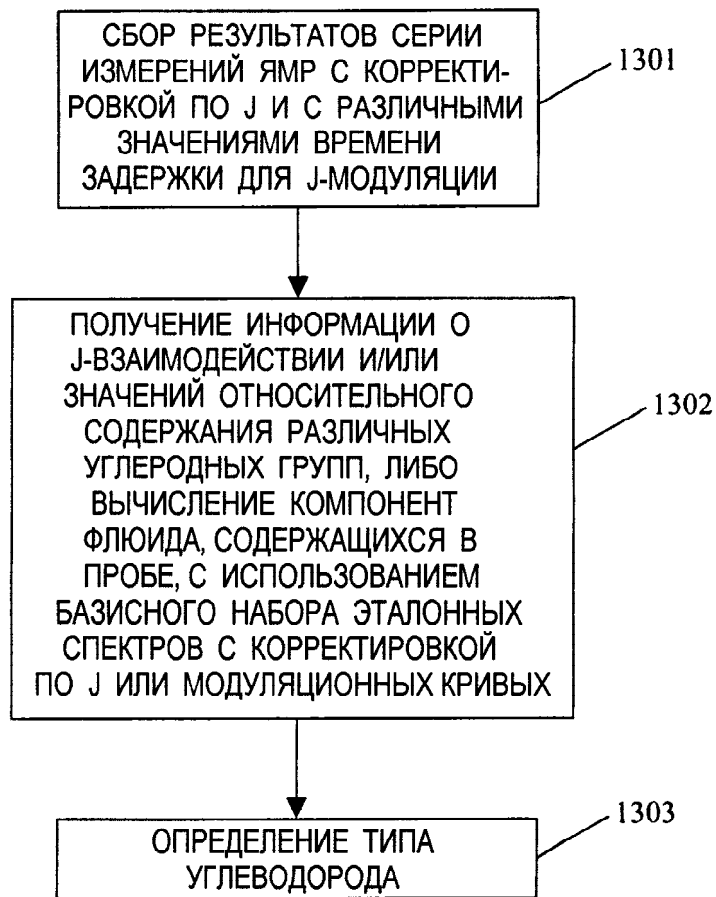
Фиг. 10



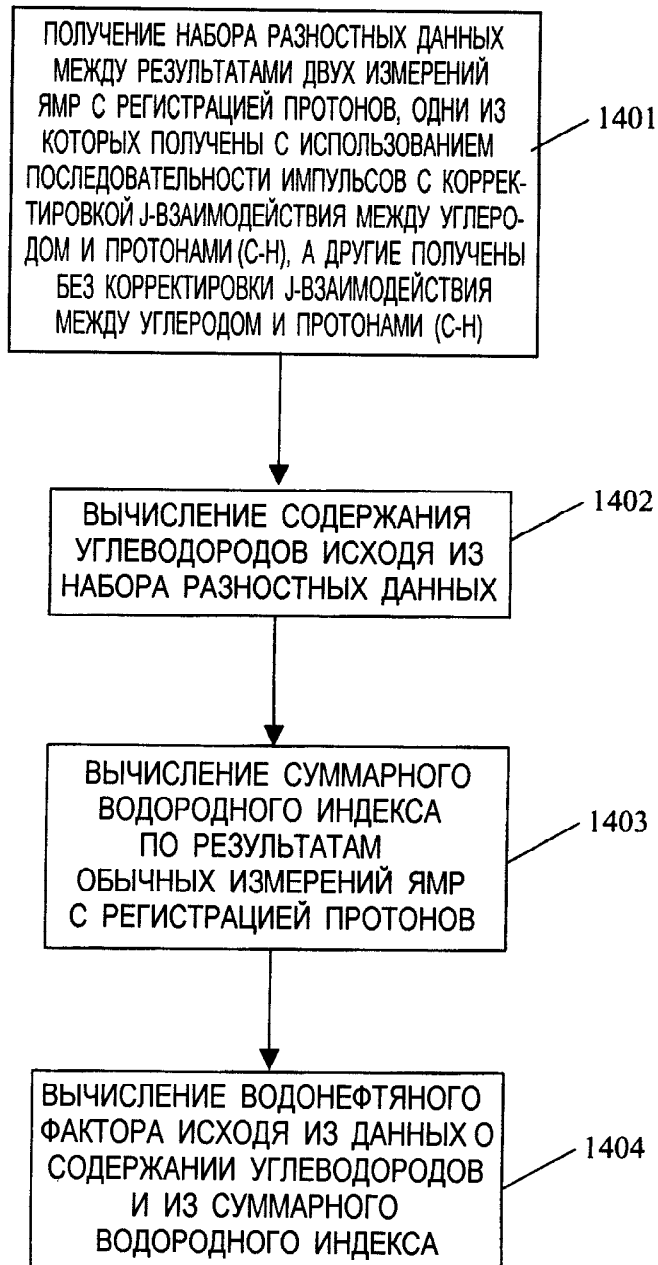
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14