

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup>**2583881** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
**G01V3/14** (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 27.05.2016 - действует  
Пошлина: учтена за 3 год с 01.01.2017 по 31.12.2017(21), (22) Заявка: **2015101792/28**, **31.12.2014**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**31.12.2014**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **31.12.2014**(45) Опубликовано: **10.05.2016**(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **US 5471140A**, **28.11.1995**. **US 5488342A**,  
**30.01.1996**. **US 5739687A**, **14.04.1998**. **RU 2230345C1**,  
**10.06.2004**. **RU 2495458C2**, **10.10.2013**. **RU 117648U1**,  
**27.06.2012**.

Адрес для переписки:

**420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, ФГАОУВПО  
КФУ, патентно-лицензионный отдел, И.А.  
Назмиеву**

(72) Автор(ы):

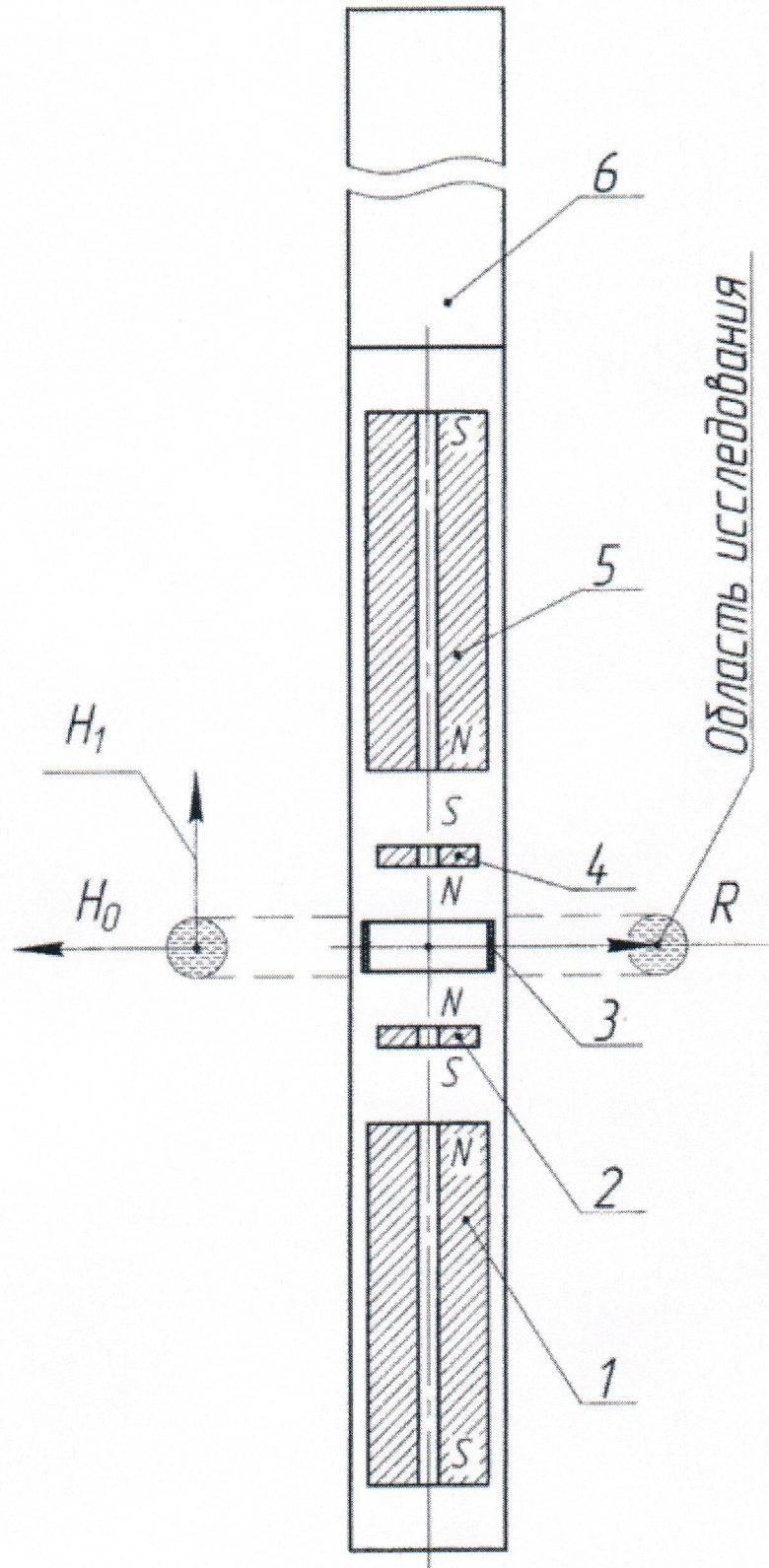
**Александров Артём Сергеевич (RU),  
Дорогиницкий Михаил Михайлович (RU),  
Гнездилов Олег Иванович (RU),  
Архипов Руслан Викторович (RU),  
Скирда Владимир Дмитриевич (RU),  
Тагиров Мурат Салихович (RU),  
Нургалиев Данис Карлович (RU),  
Мурзакаев Владислав Маркович (RU),  
Брагин Алексей Викторович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный  
университет" (ФГАОУ ВПО КФУ) (RU),  
Общество с ограниченной  
ответственностью "ТНГ-Групп" (ООО "ТНГ-  
Групп") (RU)**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО КАРОТАЖА В ПОЛЕ  
ПОСТОЯННОГО МАГНИТА

(57) Реферат:

Использование: для исследования материалов с помощью ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Сущность изобретения заключается в том, что в зазоре между двумя основными постоянными цилиндрическими магнитами (1, 5) помещают два дополнительных цилиндрических малых магнита (2, 4). Дополнительные магниты размещают так, чтобы радиус области исследования с однородным магнитным полем увеличился. Путем уменьшения зазора между двумя основными магнитами и регулировкой зазора между дополнительными малыми магнитами добиваются максимально возможного увеличения напряженности магнитного поля в области исследования заданного радиуса. Технический результат: увеличение радиуса области исследования и увеличение магнитной напряженности в области



исследования. 1 з.п. ф-лы, 3 ил.

Фиг. 1

Предлагаемое изобретение относится к области исследования и/или анализа материалов с помощью ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Может быть использовано преимущественно в устройствах, применяемых для ЯМР каротажа скважин.

Известно [1], что для наблюдения сигнала ядерного магнитного резонанса (ЯМР) необходимо в области исследования создать магнитное поле  $H_0$  и перпендикулярно ему переменное радиочастотное магнитное поле  $H_1$ . Причем частота переменного поля равна значению  $H_0$ , помноженному на значение гиромагнитного отношения атомного ядра. К основным факторам, влияющим на величину сигнала ЯМР, относятся: объем вещества, в котором возбуждается сигнал ЯМР, ограниченный требованием постоянства значения напряженности магнитного поля  $H_0$ , и само значение  $H_0$ , от которого уровень сигнала зависит, как минимум, квадратично.

Специфичность условий наблюдения сигнала в устройствах ЯМР каротажа скважин такова, что сигнал ЯМР требуется получить из пространственной зоны, удаленной от самого устройства на определенное расстояние - глубинность исследования. Это приводит к проблеме создания магнитных систем, способных обеспечить необходимые характеристики пространственного распределения магнитного поля  $H_0$  вокруг ствола скважины. Главной причиной возникновения указанной проблемы является значительное уменьшение напряженности магнитного поля, создаваемого одним или несколькими магнитами, входящими в состав устройства, по мере увеличения расстояния от оси устройства до зоны исследования. Таким образом, зоны исследования в устройствах ЯМР каротажа, как правило, характеризуются невысокими значениями  $H_0$  и наличием градиента  $H_0$ . Сигнал ЯМР в этих условиях наблюдают в виде серии сигналов эхо как результат воздействия на систему ядер специальных многоимпульсных последовательностей радиочастотных импульсов. Генерация последовательности импульсов, прием и обработка сигналов ЯМР осуществляется специальной системой электронных узлов.

Известно техническое решение по патенту USA № 4710713 [2], в котором намагниченность цилиндрического магнита направлена перпендикулярно оси цилиндра, а витки радиочастотной катушки лежат в плоскости перпендикулярной к направлению намагниченности. Такая система создает радиально неоднородное внешнее магнитное поле во всей области, предназначенной для исследования, что делает такую систему чувствительной к поперечным колебаниям устройства и вибрации, существенно снижает достоверность результатов исследований.

Известно другое техническое решение по патенту USA № 4350955 [3], в котором магнитная система, состоящая из соосных цилиндрических магнитов, намагниченных вдоль оси цилиндра, расположенных одноименными полюсами друг к другу, генерирует в удаленной тороидальной области пространства относительно однородное магнитное поле (фокусированное магнитное поле). Приемно-передающая антенна в форме солениода располагается между магнитами. Преимуществом этого типа магнитных систем является меньшая чувствительность ЯМР сигнала к колебаниям и вибрации. Недостатком рассматриваемой конструкции магнита является небольшое расстояние от оси системы до области однородности магнитного поля (глубинность), что существенно снижает достоверность результатов исследований, так как область исследования попадает в зону инфильтрации бурового раствора.

Наиболее близким по существу заявляемого изобретения, прототипом, является устройство [4]. Устройство содержит магнитную систему, состоящую из двух соосных постоянных магнитов, расположенных одноименными полюсами друг к другу, приемопередающую антенну и блок электроники для возбуждения и регистрации сигналов импульсного ядерного магнитного резонанса. Недостатком устройства является недостаточно высокое значение напряженности магнитного поля при требуемых для ядерного магнитного каротажа радиусах области исследования, что существенно ухудшает чувствительность измерительного устройства и достоверность результатов измерений. Глубинность исследования обеспечивают путем увеличения размеров магнитов и расстояния между ними, отсюда - сопутствующими недостатками прототипа являются большой вес и размеры зондовой части прибора, где расположены магниты и приемно-передающая антенна.

Целью предлагаемого изобретения является создание устройства для ЯМР каротажа, позволяющего увеличить глубинность области исследования без существенного изменения размеров магнитной системы, а также увеличить напряженности магнитного поля в заданной области исследования и повысить чувствительность измерительного устройства.

Цели достигаются тем, что в зазор между расположенными одноименными полюсами друг к другу основными цилиндрическими магнитами помещают два дополнительных цилиндрических магнита с относительно малыми размерами и имеющими, также как и основные, осевую намагниченность, причем два дополнительных цилиндрических магнита размещают так, чтобы каждый из них по отношению к ближайшему основному был ориентирован одноименными полюсами навстречу друг другу. Затем путем изменения зазора между дополнительными магнитами при сохранении зазора между основными магнитами увеличивают радиус области исследования (глубинность), а уменьшением зазора между основными магнитами и соответствующим изменением зазора между дополнительными магнитами увеличивают напряженность магнитного поля в области заданного радиуса, тем самым увеличивают чувствительность устройства.

Заявляемое техническое решение поясняется чертежами, где:

- На Фиг. 1 представлена блок-схема зонда устройства, показана область исследования, где  $R$  - радиус области исследования (глубинность);

- На Фиг. 2 представлены зависимости напряженности магнитного поля в радиальном направлении для магнитной системы прототипа [4] (сплошная серая кривая), состоящей из двух основных магнитов, отдельно для двух малых магнитов (пунктирная серая кривая), и суммарная кривая (сплошная черная) для магнитной системы (из четырех магнитов) заявляемого устройства. Фиг. 2 наглядно демонстрирует принцип, благодаря которому достигается увеличение глубинности исследования;

- На Фиг. 3 представлены зависимости напряженности магнитного поля в центре зоны исследования от радиуса  $R$  зоны исследования. Для обеих систем изменение радиуса зоны исследования осуществляют за счет изменения расстояния между основными магнитами. Для предлагаемой системы из четырех магнитов зазор между малыми магнитами зафиксирован. Фиг. 3 демонстрирует возможность существенного увеличения значения напряженности постоянного магнитного поля в области исследования. Такое увеличение достигается за счет меньшего зазора между основными магнитами, необходимого для формирования зоны определенного радиуса, чем для магнитной системы прототипа.

Кривые на Фиг. 2 и Фиг. 3 рассчитаны с помощью математической модели постоянных магнитов. Расчет производился для основных магнитов диаметром 120 мм и малых магнитов диаметром 100 мм, диаметр внутреннего отверстия всех магнитов 20 мм. Кривые на Фиг. 2 приведены для высоты основных магнитов 360 мм, зазора между основными магнитами 350 мм, высоты малых магнитов 20 мм, зазора между малыми магнитами 160 мм. Параметры модели нормированы реперными радиальными зависимостями напряженности магнитного поля, измеренными на созданном макете магнитной системы из сплава SmCo, диаметр магнитов - 120 мм.

Устройство ЯМР каротажа состоит из зонда, включающего в себя соосные цилиндрические основные магниты 1 и 5, сориентированные одноименными полюсами друг к другу, расположенные в зазоре между основными дополнительные магниты 2, 4 и расположенную в середине зазора между магнитами приемно-передающую антенну 3, а также блока электроники 6.

Суть заявленного изобретения состоит в следующем.

- Устройство для осуществления ядерного магнитного каротажа в поле постоянного магнита, содержащее систему из двух соосных магнитов, сориентированных одноименными полюсами друг к другу, создающих сфокусированное однородное магнитное поле в тороидальной области пространства, отличающееся тем, что с целью увеличения глубинности (радиуса исследуемой области) в зазор между двумя основными магнитами вводят два дополнительных магнита, расположенных одноименными полюсами друг к другу и каждый одноименным полюсом к ближайшему основному магниту, и путем регулировки зазора между дополнительными магнитами добиваются увеличения радиуса области исследования (глубинности) без изменения размеров и расположения основных магнитов;

- Устройство для осуществления ядерного магнитного каротажа в поле постоянного магнита, содержащее систему из двух соосных и двух дополнительных магнитов, сориентированных одноименными полюсами друг к другу, создающих сфокусированное однородное магнитное поле в тороидальной области пространства, отличающееся тем, что с целью увеличения значения напряженности постоянного магнитного поля в исследуемой области с сохранением радиуса этой области уменьшают зазор между основными магнитами, регулируют зазор между дополнительными магнитами и добиваются, тем самым, максимально возможного увеличения напряженности магнитного поля в заданной области пространства.

Используемая конфигурация магнитов создает магнитное поле в плоскости, проходящей через центр зазора между двумя магнитами перпендикулярно оси магнитов, силовые линии которого лежат в этой плоскости и распределены радиально. При этом радиальная зависимость напряженности магнитного поля такой системы имеет максимум. В области максимума создаются благоприятные условия для наблюдения ядерного магнитного резонанса, так как градиент магнитного поля близок к нулю. В трехмерном представлении указанная область максимума значений напряженности магнитного поля формирует тор, радиус которого зависит от геометрических параметров магнитной системы.

Дополнительные магниты создают магнитное поле с подобной радиальной зависимостью, но направленное в противоположную сторону по отношению к магнитному полю основных магнитов. За счет того, что величина зазора между дополнительными магнитами меньше, чем величина зазора между основными магнитами, магнитное поле дополнительных магнитов быстрее спадает с расстоянием. За счет разных направлений генерируемых магнитных полей в ближней области магнитные поля основных и дополнительных магнитов компенсируются и в результате максимум суммарного поля смещается в область с большим радиусом.

Задачу увеличения величины напряженности магнитного поля при фиксированном радиусе области исследования решают посредством уменьшения зазора между основными магнитами после введения в зазор дополнительных магнитов, и последующей регулировки зазора между дополнительными магнитами.

Устройство для осуществления ядерного магнитного каротажа в поле постоянного магнита работает следующим образом. Устройство в удаленной тороидальной области исследования в толще породы создает однородное магнитное поле. Устройство перемещают вдоль открытого ствола скважины. Радиочастотная приемопередающая антенна в

заданные импульсной последовательностью моменты времени формирует в виде радиочастотных импульсов переменное магнитное поле в этой же области, направленное перпендикулярно постоянному магнитному полю, тем самым возбуждая в исследуемой области систему ядер. Регистрируют сигнал ядерного магнитного резонанса в виде набора сигналов эхо. По сигналам рассчитывают спектр времен ядерной магнитной релаксации и определяют фильтрационно-емкостные свойства подземных формирований вдоль ствола скважины.

Результаты, представленные на Фиг. 2 и Фиг. 3, показывают и доказывают достижение цели заявляемого изобретения, а именно - достигнутое, по сравнению с прототипом [4], увеличение глубинности области исследования, увеличение напряженности магнитного поля в заданной области исследования, что повышает чувствительность измерительного устройства.

#### Источники информации

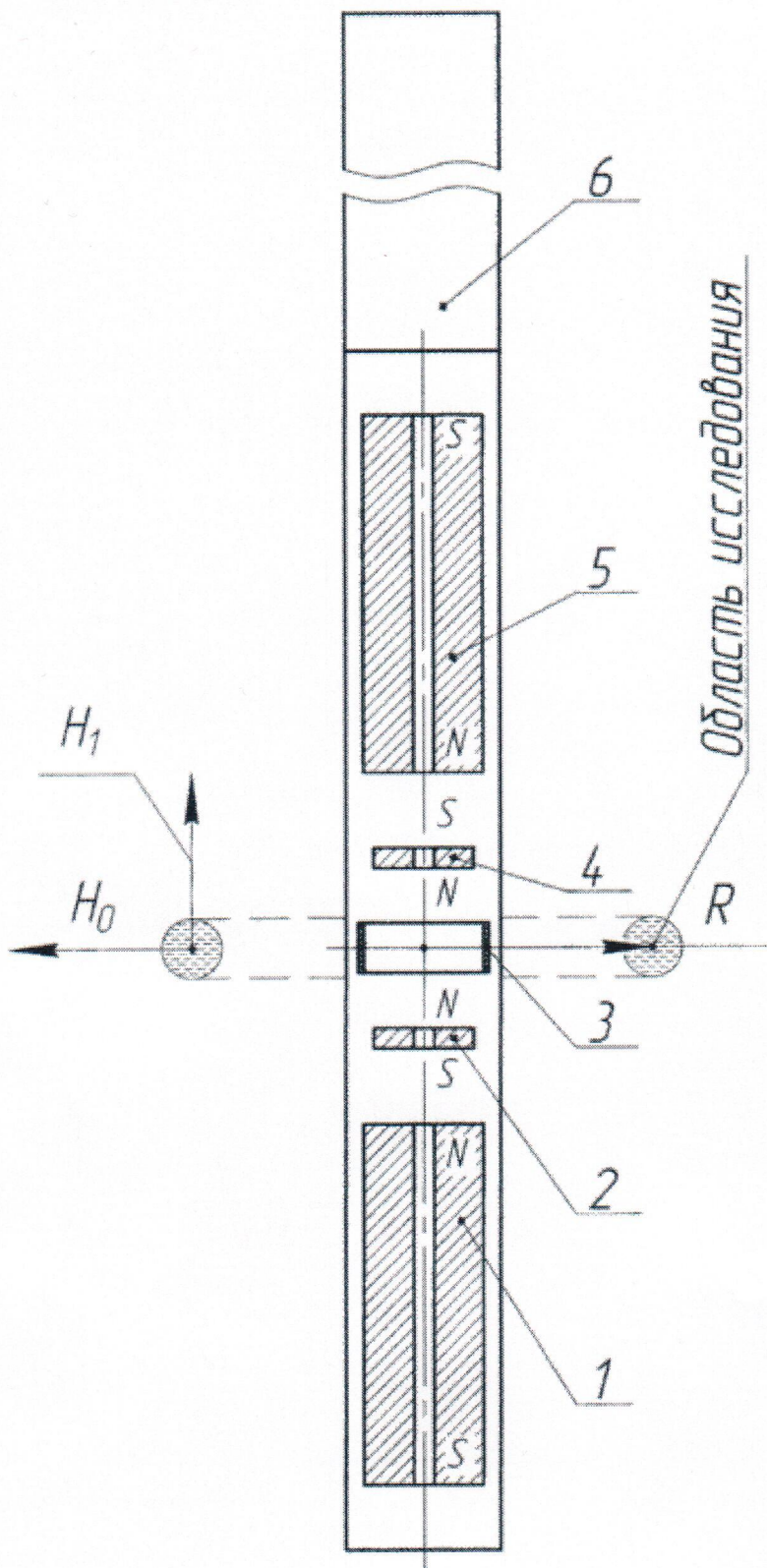
1. Абрагам, А. Ядерный магнетизм / Анатолий Абрагам; перевод с англ. под ред. Г.В. Скроцкого. - М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. - 552 с.
2. Патент USA № 4710713, кл. G01N 24/081, G01V 3/32, 11.03.1986.
3. Патент USA № 4350955, кл. G01R 33/3806, G01V 3/32, 10.10.1980.
4. Нургалиев Д.К., Косарев В.Е., Мурзакаев В.М., Тагиров М.С., Скирда В.Д. К вопросу о перспективах создания скважинной аппаратуры ядерного магнитного резонанса с повышенным значением глубинности исследования // Георесурсы, 4(46), 49-51, 2012.

#### Формула изобретения

1. Устройство для осуществления ядерного магнитного каротажа в поле постоянного магнита, содержащее систему из двух соосных магнитов, сориентированных одноименными полюсами друг к другу, создающих сфокусированное однородное магнитное поле в тороидальной области пространства, отличающееся тем, что с целью увеличения глубинности (радиуса исследуемой области) в зазор между двумя основными магнитами вводят два дополнительных магнита, расположенных одноименными полюсами друг к другу и каждый одноименным полюсом к ближайшему основному магниту, и путем регулировки зазора между дополнительными магнитами увеличивают радиус области исследования (глубинности) без изменения размеров и расположения основных магнитов;

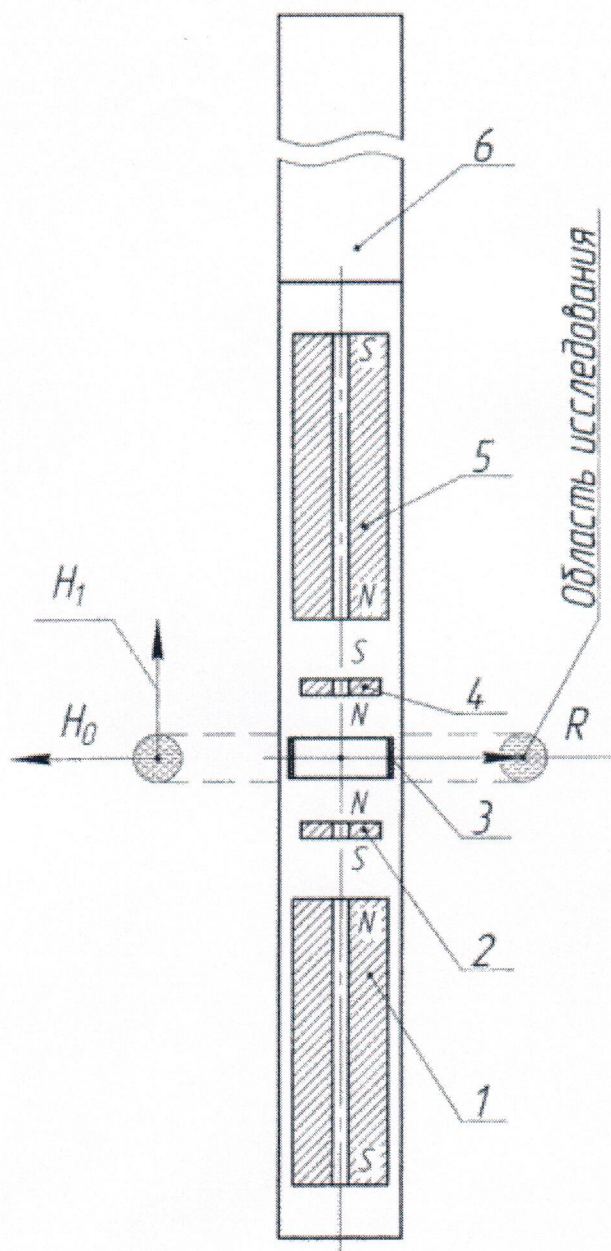
2. Устройство для осуществления ядерного магнитного каротажа в поле постоянного магнита по п. 1, отличающееся тем, что с целью увеличения значения напряженности постоянного магнитного поля в исследуемой области с сохранением радиуса этой области уменьшают зазор между основными магнитами, регулируют зазор между дополнительными магнитами, увеличивают напряженность магнитного поля в заданной области пространства устройства и повышают чувствительность устройства.

#### РИСУНКИ



Фиг. 1

7

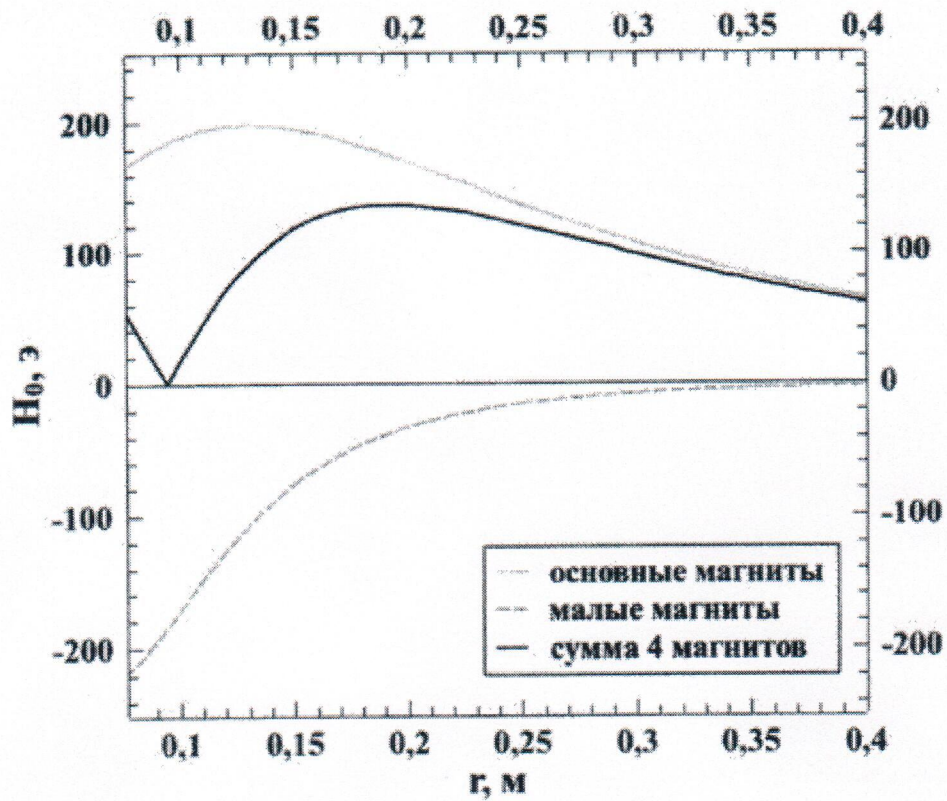


Устройство для осуществления ядерного магнитного каротажа в поле постоянного магнита. Блок схема устройства.

Фиг. 1.

8

Устройство для осуществления  
ядерного магнитного каротажа в поле  
постоянного магнита.  
Зависимость напряженности  
магнитного поля в радиальном  
направлении от оси устройства

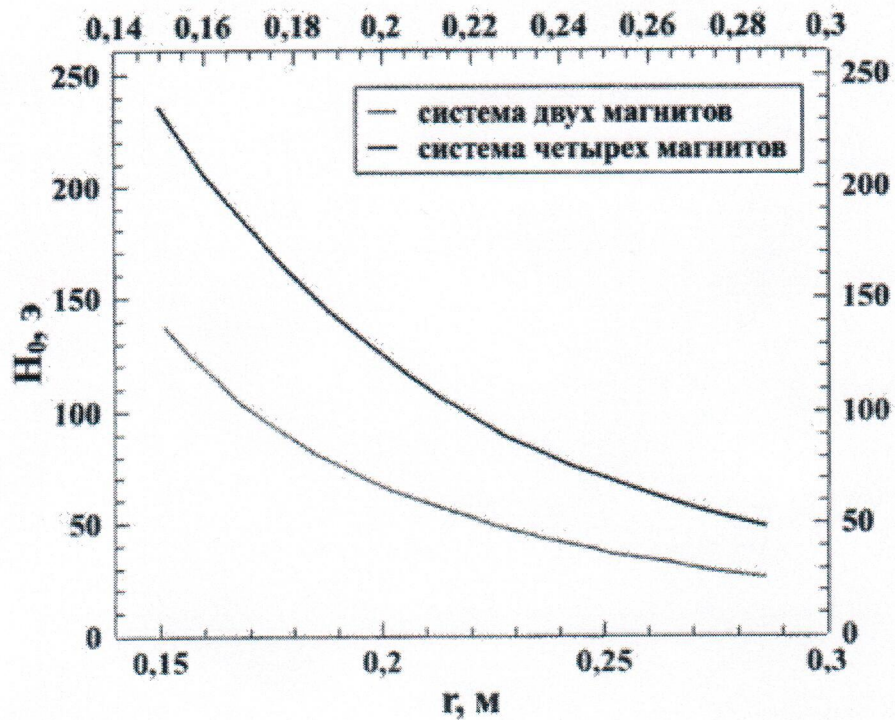


Фиг. 2.



9

Устройство для осуществления  
ядерного магнитного каротажа в поле  
постоянного магнита.  
Зависимость напряженности магнитного  
поля радиуса зоны исследования



Фиг. 3.