



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014124183, 13.11.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.11.2012Дата регистрации:
03.07.2017

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
16.11.2011 US 61/560,323;
16.11.2011 US 61/560,327;
21.06.2012 US 61/662,413;
21.06.2012 US 61/662,423

(43) Дата публикации заявки: 27.12.2015 Бюл. № 36

(45) Опубликовано: 03.07.2017 Бюл. № 19

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 16.06.2014(86) Заявка РСТ:
IV 2012/056376 (13.11.2012)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2013/072841 (23.05.2013)Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

БОНТУС Клаас (NL),
ШМАЛЕ Инго (NL),
ГЛЯЙХ Бернхард (NL)

(73) Патентообладатель(и):

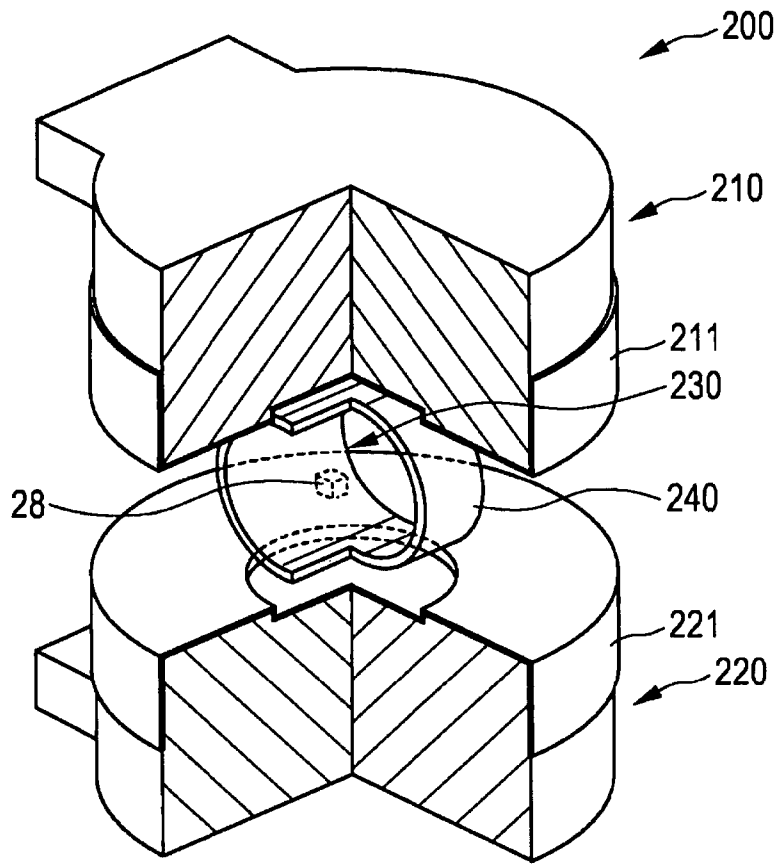
КОНИНКЛЕЙКЕ ФИЛИПС Н.В. (NL)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2010134006 A2, 25.11.2010. WO
2011095916 A1, 11.08.2011. Т. М. Buzug, Novel
Hardware Developments in Magnetic Particle
Imaging, Medical Imaging 2011: Biomedical
Applications in Molecular, Structural, and
Functional Imaging,; Proc. of SPIE, 2011-03-04,
Vol. 7965, 79650T1-T6. TF Sattel et al. Single-
sided device for magnetic particle imaging.
(см. прод.)(54) УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ОКАЗАНИЯ ВЛИЯНИЯ И ОБНАРУЖЕНИЯ МАГНИТНЫХ
ЧАСТИЦ, ИМЕЮЩИЕ БОЛЬШОЕ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к медицинской технике, а именно к устройству для обнаружения магнитных частиц в поле зрения, в частности, для обследования людей. Устройство содержит средство выбора и фокусировки для формирования магнитного поля выбора и фокусировки, имеющее по меньшей мере один набор катушек выбора и фокусировки, по меньшей мере, одну внутреннюю катушку, формируемую как замкнутый контур вокруг ее оси, группу из, по меньшей мере, двух внешних катушек, расположенных на большем расстоянии

от оси внутренней катушки, причем каждая из катушек формируется как замкнутый контур вокруг соответствующей оси внешней катушки, и возбуждающее средство, содержащее блок генератора сигнала возбуждающего поля и катушки для изменения положения в пространстве и размера двух субзон в области зрения посредством возбуждающего магнитного поля, так чтобы намагничивание магнитного материала изменялось локально. Использование изобретения позволяет проводить обследование для взрослых людей. 14 з.п. ф-лы, 29 ил.



Фиг.4А

(56) (продолжение):

FAST TRACK COMMUNICATION. Journal of Physics D: Applied Physics, 42,18.12.2008, pp.1-5. J Weizenecker et al. Three-dimensional real-time in vivo magnetic particle imaging. LETTER TO THE EDITOR, 10.02.2009, pp.L1-L10. RU 2189608 C2, 20.09.2002.

RU 2624315 C2

RU 2624315 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 624 315**⁽¹³⁾ **C2**(51) Int. Cl.
A61B 5/05 (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014124183, 13.11.2012**(24) Effective date for property rights:
13.11.2012Registration date:
03.07.2017

Priority:

(30) Convention priority:
16.11.2011 US 61/560,323;
16.11.2011 US 61/560,327;
21.06.2012 US 61/662,413;
21.06.2012 US 61/662,423(43) Application published: **27.12.2015** Bull. № 36(45) Date of publication: **03.07.2017** Bull. № 19(85) Commencement of national phase: **16.06.2014**(86) PCT application:
IB 2012/056376 (13.11.2012)(87) PCT publication:
WO 2013/072841 (23.05.2013)Mail address:
129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

BONTUS Klaas (NL),
SHMALE Ingo (NL),
GLYAJKH Bernkhard (NL)

(73) Proprietor(s):

KONINKLEJKE FILIPS N.V. (NL)**(54) DEVICE AND METHOD FOR INFLUENCING AND DETECTION OF MAGNETIC PARTICLES HAVING LARGE FIELD OF VIEW**

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

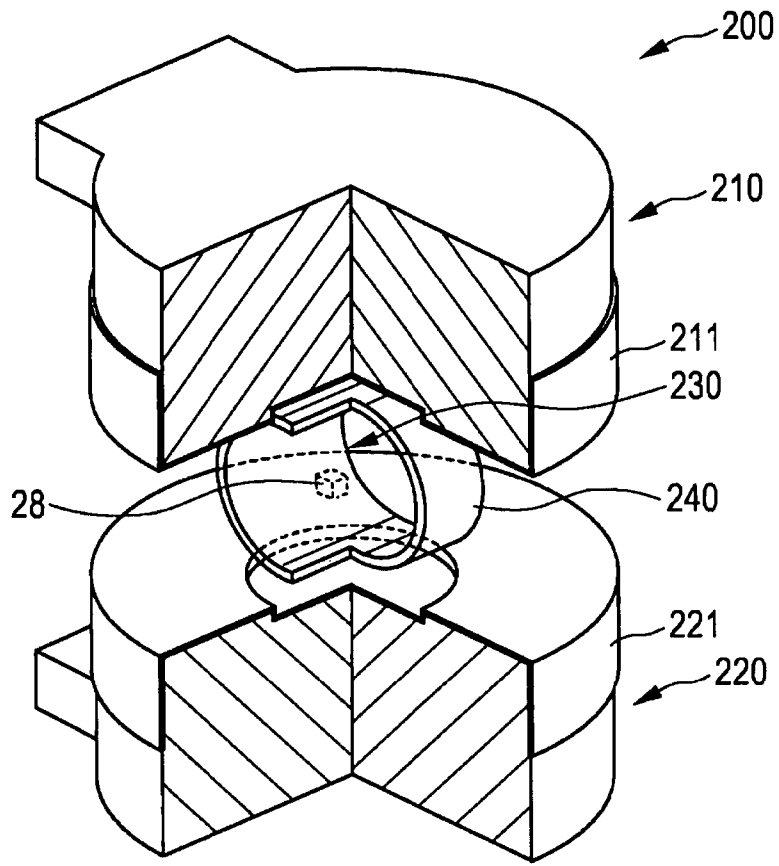
SUBSTANCE: device comprises means for selecting and focusing to form a magnetic field for selection and focusing having at least one set of selection and focusing coils, at least one inner coil formed as a closed loop around its axis, a group of at least two outer coils, located at a greater distance from the inner coil axis, wherein each of the coils is formed as a closed loop around the respective outer coil axis,

and an exciter comprising an excitation field signal generator unit and coils for changing the spatial position and size of the two sub-zones in the visible region using the excitation magnetic field so that magnetic material magnetization changed locally.

EFFECT: use of the invention allows to perform adults survey.

15 cl, 29 dwg

C 2
5
1
3
4
2
9
2
R UR U
2
6
2
4
3
1
5
C 2



Фиг.4А

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее изобретение относится к устройству и способу оказания влияния и/или обнаружения магнитных частиц в поле зрения. Дополнительно, настоящее изобретение относится к конструкции катушек и/или полюсному наконечнику. Настоящее
5 изобретение относится, в частности, к области томографии с использованием магнитных частиц.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Томография с использованием магнитных частиц (МРІ) является быстро развивающимся способом получения медицинских томографических изображений.

10 Первые варианты МРІ были двумерными, при которых создавались двумерные изображения. Более новые версии являются трехмерными (3D). Четырехмерное изображение движущегося объекта может быть создано объединением временной последовательности трехмерных изображений в кинофрагмент при условии, что объект не будет значительно изменяться во время сбора данных для одиночного трехмерного
15 изображения.

МРІ является способом получения изображений посредством реконструкции, подобным компьютерной томографии (СТ) или магнито-резонансной томографии (MRI). Соответственно, МРІ-изображение интересующего объема объекта создается в два этапа. Первый этап, относящийся к сбору данных, выполняется, используя сканер
20 МРІ. Сканер МРІ имеет средство для создания статического магнитного градиентного поля, называемого "полем выбора", которое обладает (единственной) точкой (FFP), свободной от поля, или линией (FFL), свободной от поля, в изоцентре сканера. Более того, FFP (или FFL) упоминается "FFP" в дальнейшем должно обычно пониматься как означающее FFP или FFL, окруженную первой субзоной с низкой напряженностью
25 магнитного поля, которая, в свою очередь, окружается второй субзоной с более высокой напряженностью магнитного поля. Кроме того, сканер имеет средство создания зависимого от времени, пространственно близкого к однородному магнитного поля. Фактически, это поле получается наложением быстро меняющегося поля с малой амплитудой, называемого "возбуждающее поле", и медленно меняющегося поля с
30 большой амплитудой, называемого "фокусирующее поле". Добавляя зависящее от времени и фокусирующее поля к статическому полю выбора, FFP может перемещаться вдоль заданной траектории FFP через "объем сканирования", окружающий изоцентр. Сканер также имеет конструкцию из одной или более, например, трех, приемных катушек и может регистрировать любые напряжения, наведенные в этих катушках. Для сбора
35 данных объект, изображение которого должно быть получено, помещается в сканер таким образом, что интересующий объем объекта попадает в поле зрения сканера, которое является субнабором объема сканирования.

Объект должен содержать магнитные наночастицы или другие магнитные нелинейные материалы; если объектом является животное или пациент, перед сканированием
40 животному или пациенту вводится контрастное вещество, содержащее такие частицы. Во время сбора данных сканер МРІ направляет точку FFP вдоль заранее выбранной траектории, которая намечает/охватывает объем сканирования или, по меньшей мере, поле зрения. Магнитные наночастицы внутри объекта испытывают воздействие изменяющегося магнитного поля и реагируют изменением своей намагниченности.

45 Изменяющаяся намагниченность наночастиц индуцирует зависящее от времени напряжение в каждой из приемных катушек. Это напряжение оцифровывается в приемнике, связанном с приемной катушкой. Выборки с выхода приемников регистрируются и образуют собранные данные. Параметры, управляющие

подробностями сбора данных, образуют "протокол сканирования".

На втором этапе формирования изображения, называемом реконструкцией изображения, из данных, собранных на первом этапе, вычисляется или реконструируется изображение. Изображение является дискретной трехмерной матрицей, представляющей дискретную аппроксимацию концентрации магнитных наночастиц в поле зрения, зависящей от положения. Реконструкция обычно выполняется компьютером, исполняющим соответствующую компьютерную программу. Компьютер и компьютерная программа реализуют алгоритм реконструкции. Алгоритм реконструкции основывается на математической модели сбора данных. Для всех способов получения изображений с помощью реконструкции эта модель формулируется как интегральный оператор, совершающий действия над собранными данными; алгоритм реконструкции старается, в возможной степени, раскрыть действие модели.

Такое устройство и способ МРІ обладают тем преимуществом, что они могут использоваться для изучения произвольных объектов исследования, например, человеческих тел, неразрушающим образом и с высоким пространственным разрешением как вблизи от поверхности, так и вдали от поверхности объекта исследования. Такое устройство и способ, в целом, известны и впервые были описаны в патенте DE 10151778 A1 и работе Gleich, В. и Weizenecker, J. (2005), "Tomographic imaging using the nonlinear response of magnetic particles", Nature, том 435, стр. 1214-1217, где также, в целом, описан принцип реконструкции. Устройство и способ получения изображений с использованием магнитных частиц (МРІ), описанные в этой публикации, используют преимущества, даваемые нелинейной кривой намагничивания малых магнитных частиц.

Конструкция устройства МРІ и способы, описанные выше, пока еще не являются оптимальными для людей.

Документ US 2008/309330 A1 раскрывает устройство получения изображений с использованием магнитных частиц, которое формирует изображение распределения магнитных частиц, основываясь на изменениях в магнитном потоке, сформированных посредством намагничивания магнитных частиц. Устройство содержит модуляционные катушки, намагничивающие магнитные частицы, присутствующие в области, свободной от поля, применяя модуляционное магнитное поле к области, свободной от поля, и катушки обнаружения, расположенные таким образом, чтобы подавлять влияние, вызванное магнитным потоком модуляционного магнитного поля, приложенного модуляционными катушками, и содержащееся в обнаруженном магнитном потоке.

Документ WO 2010/134006 A2 раскрывает устройство и способ оказания влияния и/или обнаружения магнитных частиц в области действия, в частности, для контроля внутримозгового или внутричерепного кровотечения, используя получение изображений с помощью магнитных частиц (МРІ). Общий соединительный блок на каждую катушку матрицы катушек обеспечивается для соединения всех сигналов, формирующих магнитные поля в наборе обычных катушек. Дополнительно, те же самые катушки используются для получения сигналов обнаружения. Таким образом может быть построен сканер меньшего размера, который может оставаться постоянно предоставленным или предоставляться пациенту периодически, в частности, для контроля кровотечений.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задача настоящего изобретения состоит в обеспечении устройства и способа оказания влияния и/или обнаружения магнитных частиц в поле зрения, которое позволяет проводить обследование более крупных объектов (людей, животных), в частности, взрослых людей.

В первом варианте настоящего изобретения представляется устройство для оказания влияния и/или обнаружения магнитных частиц в поле зрения, содержащее:

5 i) средство выбора и фокусировки для формирования магнитного поля выбора и фокусировки, имеющего диаграмму направленности в пространстве его напряженности магнитного поля, такую, что первая субзона имеет низкую напряженность магнитного поля, в котором намагничивание магнитных частиц не доходит до насыщения, и вторая субзона имеет повышенную напряженность магнитного поля, в котором намагничивание магнитных частиц доходит до насыщения, которые формируются в поле зрения и для изменения положения в пространстве поля зрения внутри области обследования, причем
10 упомянутое средство выбора и фокусировки содержит, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и блок генератора поля выбора и фокусировки для формирования токов поля выбора и фокусировки, которые должны обеспечиваться для упомянутого, по меньшей мере, одного набора катушек поля выбора и фокусировки для управления формированием упомянутого магнитного поля выбора и фокусировки,

15 в котором упомянутый, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки содержит

- по меньшей мере одну внутреннюю катушку поля выбора и фокусировки, формируемую как замкнутый контур вокруг оси внутренней катушки, и

20 - группу, по меньшей мере, из двух внешних катушек поля выбора и фокусировки, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси внутренней катушки, чем упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка поля выбора и фокусировки, и в разных угловых положениях, причем каждая из них формируется как замкнутый контур вокруг соответствующей оси внешней катушки, и

25 ii) средство возбуждения, содержащее блок генератора сигнала возбуждающего поля и катушки возбуждающего поля для изменения положения в пространстве и/или размера двух субзон в поле зрения посредством возбуждающего магнитного поля, так чтобы намагничивание магнитного материала локально изменялось.

В дополнительном варианте настоящего изобретения представляется соответствующий способ.

30 В еще одном дополнительном варианте настоящего изобретения представляется расположение катушек для использования в качестве расположения катушек поля выбора и фокусировки в устройстве для оказания влияния и/или обнаружения магнитных частиц в поле зрения, причем упомянутое расположение катушек содержит, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки, содержащий:

35 - по меньшей мере, одну внутреннюю катушку поля выбора и фокусировки, формируемую как замкнутый контур вокруг оси внутренней катушки, и

40 - группу, по меньшей мере, из двух внешних катушек поля выбора и фокусировки, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси внутренней катушки, чем упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка поля выбора и фокусировки, и в разных угловых положениях, причем каждая из них формируется как замкнутый контур вокруг соответствующей оси внешней катушки.

В варианте осуществления настоящего изобретения в устройстве оказания влияния и/или обнаружения магнитных частиц в поле зрения обеспечиваются, по меньшей мере, один полюсный наконечник, имеющий несколько сегментов полюсного наконечника,
45 и ярмо полюсного наконечника, соединяющее упомянутые сегменты полюсного наконечника. Они могут обеспечиваться для перемещения катушек набора катушек поля выбора и фокусировки, содержащего, по меньшей мере, одну внутреннюю катушку поля выбора и фокусировки, сформированную как замкнутый контур вокруг оси

внутренней катушки, и группу, по меньшей мере, из двух внешних катушек поля выбора и фокусировки, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси внутренней катушки, чем упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка поля выбора и фокусировки, и в различных угловых положениях, каждая из которых сформирована как замкнутый контур вокруг соответствующей оси внешней катушки,

причем упомянутый полюсный наконечник содержит

- по меньшей мере, один внутренний сегмент полюсного наконечника для перемещения упомянутой, по меньшей мере, одной катушки поля выбора и фокусировки,
- по меньшей мере, два внешних сегмента полюсных наконечников, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси внутренней катушки, причем каждый из них предназначен для перемещения одной из упомянутых, по меньшей мере, двух внешних катушек поля выбора и фокусировки, и
- ярмо полюсного наконечника, соединяющее упомянутые сегменты полюсного наконечника.

В варианте осуществления представляется компьютерная программа, содержащая средство управляющей программы, чтобы заставить компьютер управлять устройством в соответствии с настоящим изобретением для выполнения этапов способа, соответствующих настоящему изобретению, когда упомянутая компьютерная программа выполняется на компьютере.

Предпочтительные варианты осуществления изобретения определяются в зависимых пунктах формулы изобретения. Следует понимать, что заявленный способ и заявленное расположение катушек и полюсный наконечник имеют схожие и/или идентичные предпочтительные варианты осуществления заявленного устройства, определенные в зависимых пунктах формулы изобретения.

Настоящее изобретение основано на идее объединения катушек поля фокусировки и катушек поля выбора, которые в известных устройствах МРІ обычно обеспечиваются как отдельные катушки, в объединенный набор катушек поля выбора и фокусировки. Здесь, для каждой из упомянутых катушек обеспечивается единый ток, а не отдельные токи, которые традиционно обеспечивались для каждой катушки поля выбора и для каждой катушки поля фокусировки. Единые токи могут, таким образом, рассматриваться как два наложенных тока для формирования поля фокусировки и формирования поля выбора. Желаемое местоположение и перемещение поля зрения внутри области обследования легко могут изменяться, управляя токами в различных катушках. Не все катушки поля выбора и фокусировки должны, однако, всегда обеспечиваться управляющими токами, и некоторые катушки необходимы только для определенных перемещений поля зрения.

Предложенное устройство катушек дополнительно обеспечивает большую свободу того, как и где располагать катушки относительно области обследования в которой располагается объект. В частности, при такой конструкции возможно построить открытый сканер, который легко доступен как пациенту, так и врачам или медицинскому персоналу, например, хирургу во время операции.

В соответствии с настоящим изобретением, магнитное градиентное поле (то есть магнитное поле выбора) формируется с помощью пространственного распределения напряженности магнитного поля, так что поле зрения содержит первую субзону с пониженной напряженностью магнитного поля (например, FFP), причем пониженная напряженность магнитного поля адаптирована таким образом, что намагниченность магнитных частиц, расположенных в первой субзоне, не достигает насыщения, и вторую субзону с повышенной напряженностью магнитного поля, причем повышенная

напряженность магнитного поля адаптирована таким образом, что намагниченность магнитных частиц, расположенных во второй субзоне, находится в насыщении. Благодаря нелинейности кривой характеристики намагничивания магнитных частиц, намагниченность и тем самым магнитное поле, формируемое магнитными частицами, показывает повышенные гармонические составляющие, которые, например, могут обнаруживаться катушкой обнаружения. Оцененные сигналы (повышенные гармонические составляющие сигналов) содержат информацию о пространственном распределении магнитных частиц, которые снова могут использоваться, например, для получения медицинских изображений, для визуализации пространственного распределения магнитных частиц и/или других применений.

Таким образом, устройство и способ, соответствующие настоящему изобретению, основаны на новом физическом принципе (то есть принципе, упоминаемом как MPI), который отличается от других известных традиционных технологий получения медицинских изображений, таких как, например, ядерный магнитный резонанс (NMR). В частности, этот новый MPI-принцип, в отличие от NMR, не использует влияние материала на магнитные резонансные характеристики протонов, а напрямую обнаруживает намагниченность магнитного материала, используя нелинейность кривой характеристики намагничивания. В частности, MPI-технология использует высшие гармоники сформированных магнитных сигналов, полученные в результате нелинейности кривой характеристики намагничивания в области, где изменения намагничивания изменяются от состояния отсутствия насыщения в состояние насыщения.

В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления, упомянутые замкнутые контура внешних катушек поля выбора и фокусировки имеют контур в форме кольцевого сегмента. Другими словами, обмотки каждой из упомянутых внешних катушек поля выбора и фокусировки наматываются как замкнутый контур, который располагается вдоль угловой области вокруг упомянутой, по меньшей мере, одной катушки поля выбора и фокусировки, чья угловая область охватывает кольцевой сегмент, охватывающий, по меньшей мере, одну упомянутую внутреннюю катушку поля выбора и фокусировки.

Предпочтительно, упомянутый, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки содержит группу, по меньшей мере, из четырех внешних катушек поля выбора и фокусировки. В целом, могут обеспечиваться еще больше катушек поля выбора и фокусировки, которые предпочтительно располагаются на одном и том же расстоянии от оси внутренней катушки, но в разных угловых положениях вокруг упомянутой оси внутренней катушки.

Например, в варианте осуществления обеспечивается, что упомянутый, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки содержит группу из четырех внешних катушек поля выбора и фокусировки, располагающихся на одном и том же расстоянии от оси внутренней катушки, но под углом 90° относительно друг друга. В дополнительных вариантах осуществления используется больше групп внешних катушек поля выбора и фокусировки, причем катушки различных групп располагаются на разных расстояниях от оси внутренней катушки.

В другом варианте осуществления упомянутый, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки содержит первую внутреннюю катушку поля выбора и фокусировки и вторую внутреннюю катушку поля выбора и фокусировки, выполненные в виде замкнутого контура вокруг упомянутой оси внутренней катушки и имеющие больший диаметр, чем упомянутая первая внутренняя катушка поля выбора и фокусировки. Может обеспечиваться дополнительная внутренняя катушка поля выбора

и фокусировки, сформированная как замкнутые контуры вокруг оси внутренней катушки на разных расстояниях. Эти внутренние катушки поля выбора и фокусировки обычно более эффективны для формирования магнитных полей выбора и фокусировки и поэтому, в целом, обеспечиваются управляющими токами в любое время в течение работы устройства.

Предпочтительно, упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка поля выбора и фокусировки и/или упомянутые внешние катушки поля выбора и фокусировки разделяются, по меньшей мере, на две, в частности, по меньшей мере, на четыре сегмента катушки, причем сегменты катушки располагаются рядом друг с другом в направлении соответствующей оси катушек, и причем соседние сегменты катушки электрически соединяются. Таким образом, желаемая плотность тока может управляться, чтобы быть более высокой в определенных областях, в частности, ближе к области обследования, то есть упомянутые катушечные сегменты предпочтительно располагаются так, что в направлении соответствующей оси катушек получающаяся плотность тока возрастает с уменьшением расстояния от области обследования. Это дополнительно повышает эффективность формируемых магнитных полей.

С целью управления желаемой плотностью тока для сегментов катушек могут предприниматься различные меры. В частности, один или более сегментов катушки, расположенных ближе к области обследования, сравниваются с одним или более сегментами такой же катушки, расположенной дальше от области обследования, изготовлены ли они из другого материала, имеют ли более толстые обмотки, являются ли более компактными и/или имеют большую толщину в направлении соответствующей оси катушки.

В предпочтительном варианте осуществления упомянутое средство выбора и фокусировки дополнительно содержит, по меньшей мере, один полюсный наконечник, имеющий несколько сегментов полюсного наконечника, поддерживающих различные катушки поля выбора и фокусировки, и ярмо полюсного наконечника, соединяющее упомянутые сегменты полюсного наконечника. Такой полюсный наконечник не только служит в качестве механического опорного элемента для различных катушек, но также для повышения эффективности магнитных полей за счет проводимости магнитного потока.

Предпочтительно, упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник содержит один внутренний сегмент полюсного наконечника, поддерживающий упомянутую, по меньшей мере, одну внутреннюю катушку выбора и фокусировки и, по меньшей мере, два внешних сегмента полюсного наконечника, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси внутренней катушки, и каждый из которых поддерживает одну из, по меньшей мере, двух внешних катушек поля выбора и фокусировки. Таким образом, конструкция полюсного наконечника приспособлена к конструкции катушек поля выбора и фокусировки, чтобы оптимально поддерживать эффективность формирования магнитного поля.

Предпочтительно, упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник содержит, по меньшей мере, четыре внешних сегмента полюсного наконечника, каждый из которых поддерживает внешнюю катушку поля выбора и фокусировки. Таким образом, для внешней катушки поля выбора и фокусировки обеспечивается внешний сегмент полюсного наконечника для направления магнитного поля соответствующей катушки поля выбора и фокусировки. Таким образом, в варианте осуществления для соответствующей конструкции внешних катушек выбора и фокусировки упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник содержит четыре внешних сегмента

полюсного наконечника, каждый из которых поддерживает внешнюю катушку поля выбора и фокусировки, причем упомянутые внешние сегменты полюсного наконечника располагаются на одном и том же расстоянии от оси внутренней катушки, но под углом 90° относительно друг друга. И еще дополнительно, каждый внешний сегмент полюсного наконечника предпочтительно имеет поперечное сечение в форме кольцевого сегмента.

В еще одном другом варианте осуществления, в котором упомянутая катушка выбора и фокусировки содержит вторую внутреннюю катушку выбора и фокусировки, упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник содержит второй внутренний сегмент полюсного наконечника, причем упомянутый второй внутренний сегмент полюсного наконечника поддерживает упомянутую вторую внутреннюю катушку поля выбора и фокусировки.

В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере один внутренний сегмент полюсного наконечника и передние участки внешних сегментов полюсного наконечника, обращенные к области обследования, изготавливаются из магнитомягкого материала, имеющего высокую индукцию насыщения, в частности, из FeCo, FeSi, Fe, FeNi, Dy, Gd или их сплава, такого, как $Fe_{49}V_{1.9}Co_{49}$ - предпочтительно весь полюсный наконечник должен изготавливаться из наилучшего магнитомягкого материала, который наилучшим образом направляет магнитный поток. Однако по экономическим причинам только часть наконечника изготавливается из этого материала, чтобы иметь для него наилучшее намагничивание при насыщении. Остальные участки внешних сегментов полюсного наконечника, обращенные от области обследования, и ярмо полюсного наконечника изготавливаются из магнитомягкого материала, имеющего более низкую индукцию при насыщении, чем материал внутренних сегментов полюсного наконечника, в частности, из FeSi, FeNi, пермаллоя или их сплава, такого как $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$.

Дополнительно, в варианте осуществления полюсные наконечники изготавливаются из магнитопроводящих листов, причем листы, формирующие сегменты полюсных наконечников, и соседние передние участки ярма полюсных наконечников располагаются в направлении, параллельном оси внутренней катушки. Листы используются для подавления вихревых токов и располагаются так, чтобы проводить магнитный поток.

Предпочтительно, листы, формирующие остальной участок ярма полюсных наконечников, располагаются в направлении, перпендикулярном оси внутренней катушки. Это позволяет направлять магнитный поток, подавляя при этом вихревые токи.

В варианте осуществления упомянутое средство выбора и фокусировки дополнительно содержит опору полюсных наконечников, соединяющую упомянутые полюсные наконечники механически, причем упомянутая опора полюсных наконечников изготавливается из магнитопроводящего материала. Упомянутая опора полюсных наконечников предпочтительно также изготавливается из магнитопроводящих листов, располагающихся по соседству друг с другом, в том же самом направлении, что и листы, формирующие участок полюсного наконечника, к которому присоединяется опора полюсных наконечников. Опора полюсных наконечников должна обеспечивать как механическую устойчивость, так и хороший магнитный поток.

В предпочтительном варианте осуществления упомянутый, по меньшей мере, один внутренний сегмент полюсного наконечника и упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка поля выбора и фокусировки располагаются на большем расстоянии от области обследования, чем упомянутые внешние сегменты полюсных наконечников и упомянутые внешние катушки поля выбора и фокусировки. Это обеспечивает то

преимущество, что существует больше пространства для расположения катушек возбуждающего поля, в частности, в случае устройства, содержащего два противоположно расположенных набора катушек поля выбора и фокусировки и два противоположно расположенных полюсных наконечника, поскольку катушки возбуждающего поля предпочтительно не располагаются рядом с внешними сегментами полюсных наконечников.

Поперечное сечение, перпендикулярное упомянутой оси внутренней катушки, проходящей через передний участок упомянутого второго внутреннего сегмента полюсного наконечника, обращенного к упомянутой области обследования, предпочтительно охватывает меньшую область, чем параллельное поперечное сечение, проходящее через задний участок упомянутого второго внутреннего сегмента полюсного наконечника, обращенного от упомянутой области обследования. Это увеличивает напряженность градиентного поля, которая может быть получена для заданной силы электрического тока.

В другом варианте осуществления внешний диаметр упомянутого переднего участка внутреннего сегмента полюсного наконечника уменьшается в направлении оси внутренней катушки с уменьшением расстояния от области обследования. Это обеспечивает более высокую плотность магнитного потока на поверхности, обращенной к области обследования, и, таким образом, позволяет обеспечить более высокие градиенты магнитного поля внутри области обследования.

Дополнительно, в варианте осуществления поперечное сечение, перпендикулярное упомянутой оси внутренней катушки, проходящей через передний участок упомянутых внешних сегментов полюсного наконечника, обращенных к упомянутой области обследования, охватывает большую область, чем параллельное поперечное сечение, проходящее через задний участок упомянутых внешних сегментов полюсного наконечника, обращенных от упомянутой области обследования. Эта мера также способствует достижению более высокой плотности магнитного потока на поверхности, обращенной к области обследования.

Другой мерой, способствующей достижению более высокой плотности магнитного потока на поверхности, обращенной к области обследования, является то, что длина внутреннего диаметра упомянутого переднего участка внешних сегментов полюсных наконечников от оси внутренней катушки уменьшается в направлении оси внутренней катушки с уменьшением расстояния от области обследования.

Предпочтительно, расположение катушек набора катушек поля выбора и фокусировки является скорее плоским, при котором упомянутые оси внешних катушек параллельны друг другу и оси внутренней катушки. Такое расположение катушек экономит пространство, относительно просто для изготовления и позволяет легче вычислять и/или моделировать достижимые магнитные поля.

В варианте осуществления средство выбора и фокусировки содержит

- i1) первый набор катушек поля выбора и фокусировки,
- i2) по меньшей мере, один второй набор катушек поля выбора и фокусировки, и
- i3) блок генератора поля выбора и фокусировки для формирования токов поля выбора и фокусировки, которые должны обеспечиваться для упомянутых первого и второго наборов катушек поля выбора и фокусировки для управления формированием упомянутого магнитного поля выбора и фокусировки. Предпочтительно, используется один второй набор катушек поля выбора и фокусировки, расположенный на стороне области обследования, противоположной упомянутому первому набору катушек поля выбора и фокусировки, приводя в результате к устройству, в котором область

обследования доступна, по меньшей мере, с одной стороны. Это позволяет легко располагать пациента внутри области обследования, например, просто поднимая пациента с перевозочного средства на стол для пациента, расположенный в области обследования. При этом можно также избежать необходимости иметь много катушек, расположенных коаксиально вокруг области обследования, так чтобы область обследования имела форму туннеля, внутри которого должен перемещаться пациент, подобно традиционным MRI-сканерам. Пациенты, таким образом, будут чувствовать себя более комфортно, чем в традиционных MRI-сканерах.

В других вариантах осуществления обеспечиваются более двух наборов катушек поля выбора и фокусировки, которые располагаются в различных угловых положениях вокруг области обследования. Например, в случае трех наборов, они предпочтительно располагаются под углом 120° относительно друг друга.

Предпочтительно, катушки поля выбора и фокусировки первого набора идентичны катушкам поля выбора и фокусировки, по меньшей мере, одного второго набора. Дополнительно, в случае двух наборов, различные катушки одного набора предпочтительно располагаются напротив каждого соответствующих катушек другого набора, что также поддерживает более простое вычисление достижимых магнитных полей.

В варианте осуществления упомянутый блок генератора поля выбора и фокусировки выполнен с возможностью формирования токов поля выбора и фокусировки индивидуально для каждой катушки поля выбора и фокусировки упомянутого, по меньшей мере, одного из наборов катушек поля выбора и фокусировки. Это обеспечивает наивысшую гибкость для формирования желаемых магнитных полей, но также требует наибольшего количества блоков генераторов/каналов.

Чтобы уменьшить количество блоков генераторов/каналов в предпочтительном варианте осуществления, предлагается, чтобы упомянутый блок генератора поля выбора и фокусировки был выполнен с возможностью формирования токов полей выбора и фокусировки индивидуально для каждой пары катушек поля выбора и фокусировки упомянутых первого и второго наборов катушек полей выбора и фокусировки, где пара содержит противоположно расположенные катушки поля выбора и фокусировки из двух наборов.

Другое предложение по уменьшению количества блоков генераторов/каналов обеспечивает, чтобы упомянутый блок генератора поля выбора и фокусировки был выполнен с возможностью формирования токов полей выбора и фокусировки индивидуально для каждой пары внешних катушек поля выбора и фокусировки упомянутого, по меньшей мере, одного набора катушек поля выбора и фокусировки, в котором пара содержит две противоположно расположенные внешние катушки поля выбора и фокусировки из одного и того же набора катушек поля выбора и фокусировки.

Предпочтительно, как кратко упомянуто выше, устройство содержит, по меньшей мере, два полюсных наконечника, расположенных по разным сторонам упомянутой области обследования, причем каждый полюсный наконечник имеет множество сегментов полюсных наконечников, поддерживающих различные катушки поля выбора и фокусировки, и ярмо, соединяющее упомянутые сегменты полюсных наконечников.

Чтобы экранировать, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки от магнитных полей, создаваемых катушками возбуждающего поля, внутренняя поверхность упомянутого, по меньшей мере, одного набора катушек поля выбора и фокусировки, обращенных к упомянутой области обследования, покрывается экраном. Эта экранировка, в частности, предотвращает помехи для сигнала измерения,

которые должны возникать, если возбуждающее поле взаимодействует с магнитомягким материалом.

Как упомянуто выше, упомянутые катушки возбуждающего поля размещаются в области между упомянутыми первыми внутренними катушками поля выбора и фокусировки двух наборов катушек поля выбора и фокусировки. Катушки возбуждающего поля могут быть разработаны таким образом, что они (постоянно или с возможностью перемещения) располагаются между двумя наборами катушек поля выбора и фокусировки. В других вариантах осуществления катушки возбуждающего поля отчасти являются гибкими и могут располагаться на желаемом участке тела пациента перед тем, как пациент помещается внутри области обследования.

Предпочтительно, упомянутые катушки возбуждающего поля расположены на расстоянии, меньшем в направлении, перпендикулярном к оси внутренней катушки, чем расстояние в упомянутом направлении между противоположными внешними катушками поля вывода и фокусировки. Дополнительно, предпочтительно, упомянутые катушки возбуждающего поля содержат две пары седловидных катушек, расположенных вокруг центральной оси симметрии, перпендикулярной упомянутой оси внутренней катушки, и катушку соленоида, расположенную вокруг упомянутой центральной оси симметрии.

В другом предпочтительном варианте осуществления упомянутый блок генератора сигнала возбуждающего поля выполнен с возможностью формирования и обеспечения индивидуальных токов возбуждающего поля для одной или более упомянутых катушек возбуждающего поля. Дополнительно, в варианте осуществления упомянутый блок генератора сигнала возбуждающего поля выполнен с возможностью формирования тока возбуждающего поля в зависимости от чувствительности и/или положения первой субзоны или поля зрения внутри области обследования. Эти меры позволяют снизить SAR (специфическая норма поглощения) и PNS (стимуляция периферийных нервов), которые особенно важны для устройства размером с человека, и уменьшить рассеиваемую среднюю мощность в катушках возбуждающего поля, что ведет к экономии затрат.

Для приема сигналов обнаружения, необходимых для обнаружения распределения магнитных частиц внутри области обследования и, таким образом, для формирования изображений области обследования, например, области сердца пациента, устройство дополнительно содержит приемное средство, содержащее, по меньшей мере, один блок приема сигналов и, по меньшей мере, одну приемную катушку для сбора данных обнаружения, причем сигналы обнаружения зависят от намагничивания в поле зрения и на намагничивание оказывает влияние изменение положения в пространстве первой и второй субзоны.

В предпочтительном варианте осуществления один или более внутренних сегментов полюсных наконечников и/или один или более внешних сегментов полюсных наконечников содержат две или более части, имеющие различные поперечные сечения, в частности, различные формы (например, цилиндрические, эллиптические, прямоугольные и т.п.), различные диаметры и/или различные оси симметрии.

В предпочтительном варианте осуществления внутренний сегмент полюсных наконечников (предпочтительно, все внутренние сегменты полюсных сегментов) содержит внутренний цилиндр и внешнее кольцо, расположенные вокруг внутреннего цилиндра. Предпочтительно, первая катушка располагается между внутренним цилиндром и внешним кольцом и вторая катушка располагается вокруг внешнего кольца.

Дополнительно, в варианте осуществления внешнее кольцо содержит две или более частей, причем у нижней части, обращенной от противоположного полюсного наконечника, внешний диаметр больше, чем у верхней части, обращенной к противоположному полюсному наконечнику.

5 В предпочтительном варианте осуществления внешний сегмент полюсного наконечника (предпочтительно, все внешние сегменты полюсных наконечников) содержит нижнюю часть, обращенную от противоположного полюсного наконечника, имеющую другое поперечное сечение, чем верхняя часть, обращенная к
10 противоположному полюсному наконечнику. Предпочтительно, нижняя часть имеет круглое поперечное сечение, тогда как верхняя часть имеет эллиптическое поперечное сечение. Дополнительно, в варианте осуществления нижняя часть расположена на большем расстоянии от внутреннего сегмента полюсного наконечника, чем верхняя часть.

Предпочтительно, одиночная катушка или две или более катушек, соединенных
15 последовательно, располагаются вокруг верхней и нижней частей внешнего сегмента полюсного наконечника. В другом варианте осуществления катушка располагается только вокруг нижнего сегмента полюсного наконечника.

В предпочтительном варианте осуществления полюсный наконечник содержит группу внутренних сегментов полюсных наконечников, в частности, три или четыре
20 внутренних сегмента полюсных наконечников, предпочтительно расположенных в виде матрицы (например, треугольной или квадратной).

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Эти и другие аспекты изобретения станут очевидны и будут объяснены со ссылкой на вариант(ы) осуществления, описанный здесь далее. На приведенных чертежах:

25 Фиг. 1 - первый вариант осуществления устройства МРІ,

Фиг. 2 - пример структуры поля выбора, создаваемой устройством, показанным на фиг. 1,

Фиг. 3 - второй вариант осуществления устройства МРІ,

30 Фиг. 4 - два варианта осуществления обобщенной внешней планировки устройства МРІ, соответствующего настоящему изобретению,

Фиг. 5 - блок-схема устройства МРІ, соответствующего настоящему изобретению,

Фиг. 6 - два перпендикулярных поперечных сечения для варианта осуществления расположения катушек поля выбора и фокусировки в соответствии с настоящим изобретением,

35 Фиг. 7 - два перпендикулярных поперечных сечения для варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 8 - вид в перспективе варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением, показанным на фиг. 7,

40 Фиг. 9 - два перпендикулярных поперечных сечения для варианта осуществления расположения катушек поля выбора и фокусировки в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 10 - увеличенное одно из поперечных сечений для варианта осуществления одного набора катушек поля выбора и фокусировки при расположении катушек поля выбора и фокусировки, показанном на фиг. 9,

45 Фиг. 11 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 12 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения катушек поля выбора и фокусировки в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 13 - вид в перспективе еще одного другого варианта осуществления расположения катушек поля выбора и фокусировки в соответствии с настоящим изобретением,

5 Фиг. 14 - напряженность градиентного поля как функция электрической мощности для устройства МРІ, соответствующего настоящему изобретению,

Фиг. 15 - вариант осуществления катушек возбуждающего поля,

Фиг. 16 - магнитное поле в катушке соленоида,

Фиг. 17 - напряженности поля вдоль двух ортогональных осей,

10 Фиг. 18 - две копланарные катушки возбуждающего поля для объяснения другого варианта осуществления,

Фиг. 19 - магнитные поля, сформированные копланарными катушками, показанными на фиг. 18, при обеспечении различными токами катушки,

Фиг. 20 - чувствительности катушек для копланарных катушек, показанных на фиг. 18,

15 Фиг. 21 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 22 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения катушек поля выбора и фокусировки в соответствии с настоящим изобретением, использующим расположение полюсных наконечников, показанное на фиг. 21,

20 Фиг. 23 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 24 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением,

25 Фиг. 25 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 26 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения катушек поля выбора и фокусировки в соответствии с настоящим изобретением, использующим расположение полюсных наконечников, показанное на фиг. 25,

30 Фиг. 27 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением,

Фиг. 28 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением, и

Фиг. 29 - вид в перспективе другого варианта осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением.

35 ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Перед тем, как будут объяснены подробности настоящего изобретения, основы получения изображения с помощью использования магнитных частиц будут объяснены подробно со ссылкой на фиг. 1-3. В частности, будут описаны два варианта осуществления сканера МРІ для медицинской диагностики. Приводится также свободное
40 описание сбора данных. Будут указаны сходства и различия между двумя вариантами осуществления.

Первый вариант 10 осуществления сканера МРІ, показанного на фиг. 1, имеет три явно видимых пары 12, 14, 16 коаксиальных параллельных круговых катушек, причем каждая пара расположена так, как показано на фиг. 1.

45 Эти три пары катушек 12, 14, 16 служат для создания поля выбора, а также возбуждающего и фокусирующего полей. Оси 18, 20, 22 трех пар катушек 12, 14, 16 взаимно ортогональны и сходятся в одной точке, обозначенной как изоцентр 24 сканера 10 МРІ.

Кроме того, эти оси 18, 20, 22 служат в качестве осей трехмерной декартовой системы координат x - y - z , привязанной к изоцентру 24.

Вертикальная ось 20 обозначается как ось y , а оси x и z являются горизонтальными осями. Пары катушек 12, 14, 16 именуются в соответствии со своими осями. Например, пара 14 y -катушек образуется катушками наверху и внизу сканера. Кроме того, катушка с положительной (отрицательной) y -координатой называется y -катушкой (y -катушка) и аналогично называются остальные катушки. Когда это более удобно, оси координат и катушки маркируются как x_1 , x_2 и x_3 , а не x , y и z .

Сканер 10 может быть установлен так, чтобы направлять заданный, зависящий от времени электрический ток через каждую из этих катушек 12, 14, 16 в любом направлении. Если ток проходит по катушке в направлении по часовой стрелке, если смотреть вдоль оси этой катушки, он будет считаться положительным, в противном случае - отрицательным. Для создания статического поля выбора создается постоянный положительный ток I^S , чтобы проходить через z^+ -катушку, и ток $-I^S$, чтобы проходить через z -катушку. Пара 16 z -катушек затем действует как встречно-параллельная пара круговых катушек.

Следует заметить, что расположение осей и условных обозначений, присвоенных осям в настоящем варианте осуществления, является просто примером и в других вариантах осуществления может быть другим. Например, в практических вариантах осуществления вертикальная ось часто считается как ось z , а не ось y , как в настоящем варианте осуществления. Это, однако, в целом, не меняет функцию и работу устройства и эффект настоящего изобретения.

Магнитное поле выбора, которое обычно является градиентным магнитным полем, представлено на фиг. 2 с помощью силовых линий 50. Оно имеет, по существу, постоянный градиент в направлении (например, горизонтальной) z -оси 22 пары 16 z -катушек, создавая поле выбора, и достигает нулевого значения в изоцентре 24 на этой оси 22.

Начиная с этой точки, свободной от поля (не показана отдельно на фиг. 2), напряженность поля магнитного поля 50 выбора увеличивается во всех трех пространственных направлениях по мере увеличения расстояния от точки, свободной от поля. В первой субзоне 52 или области 52, которая обозначается пунктирной линией вокруг изоцентра 24, напряженность поля настолько мала, что намагничивание частиц, присутствующих в этой первой субзоне 52, не достигает насыщения, тогда как намагничивание частиц, присутствующих во второй субзоне 54 (за пределами области 52), соответствует состоянию насыщения. Во второй субзоне 54 (то есть в остаточной части поля 28 зрения сканера за пределами первой субзоны 52) напряженность магнитного поля выбора достаточно велика, чтобы поддерживать магнитные частицы в состоянии насыщения.

Изменяя положение двух субзон 52, 54 (содержащих точку, свободную от поля) в поле 28 зрения, (общее) намагничивание в поле 28 зрения изменяется. Определяя намагничивание в поле 28 зрения или физические параметры под действием намагничивания, можно получить информацию о пространственном распределении магнитных частиц в поле 28 зрения. Чтобы изменить относительное пространственное положение двух субзон 52, 54 (содержащих точку, свободную от поля) в поле 28 зрения, дополнительные магнитные поля, то есть возбуждающее магнитное поле и, если применяется, магнитное поле фокусировки накладываются на поле 50 выбора.

Чтобы создать возбуждающее поле, создаются зависящий от времени ток I^D_1 , который

проходит через обе x-катушки 12, зависящий от времени ток I_2^D через обе y-катушки 14 и зависящий от времени ток I_3^D через обе z-катушки 16.

Таким образом, каждая из трех пар катушек действует как параллельная пара круговых катушек. Аналогично, чтобы создать фокусирующее поле, создаются зависящий от времени ток I_1^F , который проходит через обе x-катушки 12, зависящий от времени ток I_2^F через обе y-катушки 14 и зависящий от времени ток I_3^F через обе z-катушки 16.

Следует заметить, что пара 16 z-катушек является особенной: Она формирует не только свою долю возбуждающего и фокусирующего полей, но также и поле выбора (конечно, в других вариантах осуществления могут обеспечиваться и отдельные катушки). Ток, проходящий через катушку z^+ , равен $I_3^D + I_3^F + I^S$. Ток, проходящий через остальные две пары 12, 14 катушек, равен $I_k^D + I_k^F$, $k = 1, 2$. Благодаря их геометрии и симметрии, три пары 12, 14, 16 катушек хорошо развязаны. Это является желательным.

Создаваемое встречно-параллельной парой круговых катушек поле выбора является вращательно симметричным относительно z-оси и его z-составляющая является примерно линейной по z и независимой от x и y в значительном объеме вокруг изоцентра 24.

В частности, поле выбора имеет единую свободную от поля точку (FFP) в изоцентре. Напротив, вклады, вносимые в возбуждающее и фокусирующее поля, которые создаются параллельными парами круговых катушек, являются пространственно почти однородными в значительном объеме вокруг изоцентра и параллельны оси соответствующей пары катушек. Возбуждающие и фокусирующие поля, совместно создаваемые всеми тремя параллельными парами круговых катушек, пространственно почти однородны и могут создавать любого направления и напряженности, вплоть до некоторой максимальной напряженности. Возбуждающие и фокусирующие поля также зависят от времени. Разница между фокусирующим полем и возбуждающим полем состоит в том, что фокусирующее поле изменяется медленно во времени и имеет большую амплитуду, тогда как возбуждающее поле изменяется быстро и имеет малую амплитуду. Существуют физические и биомедицинские причины по-разному обращаться в этими полями. Быстро изменяющееся поле с большой амплитудой может иметь трудности при его создании и быть потенциально опасным для пациента.

В практическом варианте осуществления FFP может рассматриваться как математическая точка, в которой магнитное поле предполагается равным нулю. Напряженность магнитного поля увеличивается с увеличением расстояния от FFP, в которой скорость увеличения может быть различной для различных направлений (в зависимости, например, от конкретной планировки устройства). Пока напряженность магнитного поля ниже напряженности поля, требующейся для приведения магнитных частиц в состояние насыщения, частицы активно содействуют формированию сигнала, измеряемого устройством; в противном случае, частицы входят в насыщение и не формируют никакого сигнала.

Вариант 10 осуществления сканера МРІ, показанного на фиг. 1, имеет цилиндрическое отверстие 26 вдоль z-оси 22, то есть вдоль оси поля выбора. Все катушки располагаются снаружи этого отверстия 26. Для сбора данных пациент (или объект), изображение которого должно быть получено, помещается в отверстие 26 так, чтобы интересующий объем пациента - тот объем пациента (или объекта), изображение которого должно

быть получено - ограничивался полем 28 зрения сканера, то есть тем объемом сканера, изображение содержания которого сканер может получить. Пациент (или объект) помещается, например, на стол для пациента. Поле 28 зрения является геометрически простым, изоцентрическим объемом внутри отверстия 26, таким как куб, шар или цилиндр или произвольной формы. Кубическое поле 28 зрения показано на фиг. 1.

Перед диагностическим получением изображения, например, опухоли, магнитные частицы располагаются в интересующем объеме, например, посредством жидкости, содержащей магнитные частицы, которая инъецируется в тело пациента (объекта) или вводится пациенту как-либо иначе, например, орально.

В целом, существуют различные способы введения магнитных частиц в поле зрения. В частности, в случае, пациента, в тело которого должны вводиться частицы, магнитные частицы могут вводиться, используя хирургические и нехирургические способы, и существуют как способы, которые требуют опыта (такого, который имеется у медико-практика) так и способы, не требующие опыта, например, введение может осуществляться с помощью непрофессионалов или лиц с небольшим навыком или самим пациентом. Среди хирургических способов существуют потенциально безрисковые и/или безопасные вмешательства, например, введение инвазивного этапа, такого как инъекция контрастного вещества в кровеносный сосуд (если такая инъекция вообще может рассматриваться как хирургический способ), то есть вмешательства, которые для выполнения не требуют значительного профессионального медицинского опыта и которые не создают серьезных рисков для здоровья. Дополнительно могут применяться нехирургические способы, такие как глотание и ингаляция.

В целом, магнитные частицы заранее вводятся или заранее назначаются перед фактическим выполнением сбора данных. В вариантах осуществления, однако, также возможно, чтобы дополнительные магнитные частицы вводились/назначались в поле зрения.

Вариант осуществления магнитных частиц содержит, например, сферический субстрат, например, стекло, который покрывается слоем магнитомягкого материала, имеющего толщину, например, 5 нм и состоящего, например, из железо-никелевого сплава (например, пермаллоя). Этот слой может быть покрыт, например, посредством нанесения слоя покрытия, который защищает частицу от химически и/или физически агрессивных сред, например, от кислот.

Напряженность магнитного поля для магнитного поля 50 выбора, требующаяся для насыщения при намагничивании таких частиц, зависит от различных параметров, например, от диаметра частиц, используемого магнитного материала для магнитного слоя и других параметров.

В случае, например, диаметра магнитных частиц 10 мкн требуется магнитное поле приблизительно 800 А/м (приблизительно соответствующее магнитной индукции 1 мТ), тогда как в случае диаметра 100 мкн достаточно магнитное поле 80 А/м. Еще меньшие значения получаются, когда выбирается покрытие материалом, имеющим более низкое намагничивание насыщения или когда уменьшается толщина слоя.

На практике магнитные частицы, коммерчески доступные под торговым названием Resovist (или подобные магнитные частицы), часто используются, которые имеют ядро магнитного материала или формируются как массивная сфера и которые имеют диаметр в диапазоне нанометров, например 40 или 60 нм.

Дополнительные подробности обычных используемых магнитных частиц и смесей частиц упоминаются здесь как соответствующие части документов EP 1304542, WO 2004/091386, WO 2004/091390, WO 2004/091394, WO 2004/091395, WO 2004/091396, WO

2004/091397, WO 2004/091398, WO 2004/091408, которые введены сюда посредством ссылки. В этих документах можно также найти больше подробностей по способу МРІ.

Во время сбора данных пары 12, 14, 16 x-, y-, z-катушек создают зависящее от положения и от времени магнитное поле, то есть, прикладываемое поле. Это достигается соответственно направленными токами, проходящими через катушки, формирующие поле. Фактически, возбуждающее и фокусирующее поля преобладают над полем выбора, так что FFP движется вдоль заранее выбранной траектории FFP, которая очерчивает объем сканирования - супернабор поля зрения. Приложенное поле ориентирует магнитные наночастицы в пациенте. По мере того, как приложенное поле изменяется, также изменяется результирующее намагничивание, хотя оно реагирует на приложенное поле нелинейно. Совокупность изменяющегося приложенного поля и изменяющегося намагничивания индуцирует зависящее от времени напряжение V_k на выводах пары приемных катушек вдоль x_k -оси. Соответствующий приемник преобразует это напряжение в сигнал $S_k(t)$, который он обрабатывает дополнительно.

Подобно первому варианту 10 осуществления, показанному на фиг. 1, второй вариант 30 осуществления сканера МРІ, показанный на фиг. 3, имеет три круговые и взаимно ортогональные пары 32, 34, 36 катушек, но эти пары 32, 34, 36 катушек создают только поле выбора и фокусирующее поле. Z-катушки 36, которые опять же создают поле выбора, заполнены ферромагнитным материалом 37. Z-ось 42 в этом варианте 30 осуществления ориентируется вертикально, тогда как x- и y-оси 38, 40 ориентируются горизонтально. Ось отверстия 46 сканера параллельна x-оси 38 и, таким образом, перпендикулярна оси 42 поля выбора. Возбуждающее поле создается соленоидом (не показан) вдоль x-оси 38 и парами седловидных катушек (не показаны) вдоль двух остальных осей 40, 42.

Эти катушки наматываются вокруг трубки, которая формирует отверстие. Катушки возбуждающего поля также служат в качестве приемных катушек.

Приведем несколько типичных примеров такого варианта осуществления: Z-градиент поля выбора, G , имеет напряженность $G/\mu_0 = 2,5$ Т/м, где μ_0 - магнитная проницаемость в вакууме. Временной частотный спектр возбуждающего поля сосредоточен в узкой полосе вокруг 25 кГц (до приблизительно 150 кГц). Полезный частотный спектр принятого сигнала лежит между 50 кГц и 1 МГц (в конечном счете, до приблизительно 15 МГц). Отверстие имеет диаметр 120 мм. Наибольший куб 28, который входит в отверстие 46, имеет длину ребра $120 \text{ мм} / \sqrt{2} \approx 84 \text{ мм}$.

Поскольку конструкция катушек формирования поля обычно известна в технике, например, из области получения магнито-резонансных изображений, этот объект не требуется описывать здесь дополнительно.

В альтернативном варианте осуществления для создания поля выбора могут использоваться постоянные магниты (не показаны). В пространстве между двумя полюсами таких (противоположных) постоянных магнитов (не показаны) формируется магнитное поле, подобное показанному на фиг. 2, то есть в котором противоположные полюса имеют одну и ту же полярность. В другом альтернативном варианте осуществления поле выбора может создаваться комбинацией, по меньшей мере, одного постоянного магнита и, по меньшей мере, одной катушки.

На фиг. 4 показаны два варианта осуществления обобщенной внешней планировки устройства 200, 300 МРІ, соответствующего настоящему изобретению. На фиг. 4А показан вариант осуществления предложенного устройства 200 МРІ, содержащего два блока 210, 220 катушек опля выбора и фокусировки, которые, в основном, идентичны

и расположены на противоположных сторонах области 230 обследования, сформированной между ними. Дополнительно, блок 240 катушек возбуждающего поля расположен между блоками 210, 220 катушек поля выбора и фокусировки, которые располагаются вокруг интересующей области пациента (не показана). Блоки 210, 220 катушек поля выбора и фокусировки содержат несколько катушек поля выбора и фокусировки для формирования объединенного магнитного поля, представляющего объясненные выше магнитное поле выбора и магнитное поле фокусировки. В частности, каждый блок 210, 220 катушек поля выбора и фокусировки содержит, предпочтительно идентичный, набор катушек поля выбора и фокусировки. Подробности упомянутых катушек поля выбора и фокусировки будут объяснены ниже.

Блок 240 катушек возбуждающего поля содержит несколько катушек возбуждающего поля для формирования магнитного возбуждающего поля. Эти катушки возбуждающего поля могут содержать несколько пар катушек возбуждающего поля, в частности, одну пару катушек возбуждающего поля для формирования магнитного поля в каждом из трех направлений в пространстве. В варианте осуществления блок 240 катушек возбуждающего поля содержит две пары седлообразных катушек для двух различных направлений в пространстве и одну катушку соленоида для формирования магнитного поля в направлении продольной оси пациента.

Блоки 210, 220 катушек поля выбора и фокусировки обычно монтируются в блок крепления (не показан) или на стену помещения. Предпочтительно, в случае катушек поля выбора и фокусировки, блоки 210, 220 содержат полюсные наконечники для поддержки соответствующих катушек, блок крепления не только механически удерживает блок 210, 220 поля выбора и фокусировки, но также обеспечивает путь прохождения магнитного потока, который соединяет полюсные наконечники двух блоков 210, 220 катушек поля выбора и фокусировки.

Как показано на фиг. 4А, каждый из двух блоков 210, 220 катушек поля выбора и фокусировки содержит экранирующий слой 211, 221 для экранирования катушек поля выбора и фокусировки от магнитных полей, создаваемых катушками возбуждающего поля блока 240 катушек возбуждающего поля.

В варианте осуществления устройства 201 МРІ, показанного на фиг. 4В, обеспечивается только один блок 220 катушек поля выбора и фокусировки, а также блок 240 катушек возбуждающего поля. В целом, одиночный блок катушек поля выбора и фокусировки достаточен для формирования требуемого магнитного поля выбора и фокусировки. Упомянутый блок 220 катушек поля выбора и фокусировки может, таким образом, интегрироваться в стол для пациента (не показан), на который помещается пациент во время обследования. Предпочтительно, катушки возбуждающего поля блока 240 катушек возбуждающего поля может располагаться вокруг тела пациента уже заранее, например, как гибкие элементы катушек. В другом варианте осуществления блок 240 катушек возбуждающего поля может быть разомкнут, например, разделяться в осевом направлении на два субблока 241, 242, как показано разделительными линиями 243, 244 на фиг. 4В, так что пациент может помещаться между субблоками 241, 242 катушек возбуждающего поля, которые затем могут соединяться вместе.

В других вариантах осуществления устройства МРІ может обеспечиваться еще больше катушек поля выбора и фокусировки, которые предпочтительно расположены в соответствии с равномерным распределением вокруг области 230 обследования. Однако, чем больше используется блоков катушек поля выбора и фокусировки, тем больше должна быть ограничена доступность области обследования для расположения в ней пациента и для доступа самого пациента во время обследования медицинским

персоналом или врачами.

На фиг. 5 представлена обобщенная блок-схема устройства 100 МРІ, соответствующего настоящему изобретению. Общие принципы получения изображения с использованием магнитных частиц, объясненные выше, остаются верными и также применимы к этому варианту осуществления, если не указано что-либо другое.

Вариант устройства 100, показанный на фиг. 5, содержит различные катушки для создания желаемых магнитных полей. Сначала должны быть объяснены катушки и их функции в режиме МРІ.

Для формирования объединенного поля выбора и фокусировки обеспечивается средство 110 выбора и фокусировки. Магнитное поле выбора и фокусировки имеет структуру в пространстве его напряженности магнитного поля, такую что в поле зрения 28 формируются первая субзона (52 на фиг. 2), которая имеет низкую напряженность магнитного поля, при которой намагничивание магнитных частиц не достигает насыщения, и вторая субзона (54 на фиг. 4), имеющая повышенную напряженность магнитного поля, при которой намагниченность магнитных частиц достигает насыщения, причем такое поле 28 зрения является малой частью области 230 обследования, которая традиционно достигается использованием магнитного поля выбора. Дополнительно, используя магнитное поле выбора и фокусировки, положение в пространстве поля 28 зрения внутри области 230 обследования может меняться, как это традиционно делается при использовании магнитного поля фокусировки.

Средство 110 выбора и фокусировки содержит, по меньшей мере, один набор катушек 114 поля выбора и фокусировки и блок 112 генератора поля выбора и фокусировки для формирования токов поля выбора и фокусировки, которые должны обеспечиваться для упомянутого, по меньшей мере, одного набора катушек 114 поля выбора и фокусировки (представляющего один из блоков 210, 220 катушек поля выбора и фокусировки, показанного на фиг. 4А, 4В) для управления формированием упомянутого магнитного поля выбора и фокусировки. Предпочтительно, для каждого элемента катушки (или каждой пары элементов катушек), по меньшей мере, одного набора катушек 116 поля выбора обеспечивается отдельный субблок генератора.

Упомянутый блок 112 генератора сигнала поля выбора и фокусировки содержит управляемый источник тока поля (обычно содержащий усилитель) и блок фильтра, которые обеспечивает соответствующий элемент катушки током создания поля, чтобы индивидуально установить градиентную напряженность и напряженность поля для способствования созданию каждой катушкой магнитного поля выбора и фокусировки. Следует заметить, что блок 114 фильтра также может отсутствовать.

Для формирования возбуждающего магнитного поля устройство 100 дополнительно содержит средство 120 возбуждения, содержащее блок 122 генератора сигнала возбуждающего поля и набор катушек 124 возбуждающего поля (представляющий блок 240 возбуждающих катушек, показанный на фиг. 4А, 4В) для изменения положения в пространстве и/или размера двух субзон в поле зрения посредством возбуждающего магнитного поля, так чтобы намагничивание магнитного материала локально изменялось. Как упомянуто выше, упомянутые катушки 124 возбуждающего поля предпочтительно содержат две пары 125, 126 противоположно установленных седловидных катушек и одну катушку 127 соленоида. Также возможны другие реализации, например, три пары элементов катушек.

Блок 122 генератора сигнала возбуждающего поля предпочтительно содержит отдельный субблок формирования сигнала возбуждающего поля для каждого элемента катушки (или, по меньшей мере, для каждой пары элементов катушек) упомянутого

набора катушек 124 возбуждающего поля.

Упомянутый блок 122 генератора сигнала возбуждающего поля содержит источник тока возбуждающего поля (предпочтительно, содержащий усилитель тока) и блок фильтра (который может также отсутствовать в настоящем изобретении) для обеспечения подачи зависящего от времени тока возбуждающего поля в соответствующую катушку возбуждающего поля.

Блок 112 генератора сигнала поля выбора и фокусировки и блок 122 генератора сигнала возбуждающего поля предпочтительно управляются блоком 150 управления, который предпочтительно управляет блоком 112 генератора сигнала поля выбора и фокусировки, так чтобы сумма градиентных напряженностей полей и сумма градиентных напряженностей всех пространственных точек поля выбора устанавливались на заданном уровне. С этой целью блок 150 управления может также обеспечиваться командами управления от пользователя, соответствующими желаемому применению устройства МРІ, которые, однако, предпочтительно отсутствуют в соответствии с настоящим изобретением.

Для использования устройства МРІ 100 с целью определения пространственного распределения магнитных частиц в области обследования (или интересующей области в области обследования), в частности, для получения изображений упомянутой интересующей области обеспечиваются средство 148 приема для обнаружения сигнала, в частности, приемная катушка, и блок 140 приема сигнала, который принимает сигналы, обнаруженные упомянутым средством 148 приема. Предпочтительно, три приемные катушки 148 и три приемных блока 140 - по одному на каждую приемную катушку - обеспечиваются на практике, но могут также использоваться более трех приемных катушек и приемных блоков, и в таком случае полученные сигналы обнаружения являются не трехмерными, а К-мерными, где К - количество приемных катушек.

Упомянутый блок 140 приема сигнала содержит блок 142 фильтра для фильтрации принятых сигналов обнаружения. Цель этой фильтрации состоит в том, чтобы отделить измеренные значения, которые вызваны намагничиванием в области исследования, на которые влияют изменения в положении этих двух частей-областей (52, 54), от других, помеховых сигналов. С этой целью, блок 142 фильтра может быть разработан, например, так, чтобы сигналы, имеющие временные частоты, которые меньше, чем временные частоты, с которыми работает приемная катушка 148, или меньшие, чем удвоенные эти временные частоты, не проходили через блок 142 фильтра. Сигналы затем проходят через блок 144 усилителя на аналогово-цифровой преобразователь 146 (ADC).

Оцифрованные сигналы, созданные аналогово-цифровым преобразователем 146, подаются на блок 152 обработки изображений (также называемый средством реконструкции), который реконструирует пространственное распределение магнитных частиц из этих сигналов и соответствующее положение, которое первая часть - область 52 первого магнитного поля в области обследования, предполагаемой во время приема соответствующего сигнала и которую блок 152 обработки изображений получает от блока 150 управления. Реконструированное пространственное распределение магнитных частиц, наконец, передается через средство 150 управления на компьютер 154, который отображает его на мониторе 156. Таким образом, изображение может отображаться, показывая распределение магнитных частиц в поле зрения области исследования.

В других применениях устройства 100 МРІ, например, для оказания воздействия на магнитные частицы (например, для гипертермического лечения) или для перемещения магнитных частиц (например, прикрепленных к катетеру для перемещения с катетером или прикрепленных к лекарственному средству для перемещения с лекарственным

средством в определенное место), приемное средство также может отсутствовать или просто не использоваться.

Дополнительно, как вариант, может обеспечиваться блок 158 ввода, например, клавиатура. Пользователь поэтому способен установить желаемое направление с самой 5 высокой разрешающей способностью и, в свою очередь, принимать соответствующее изображение области действия на мониторе 156. Если критическое направление, в котором необходима самая высокая разрешающая способность, отклоняется от направления, установленного сначала пользователем, пользователь все еще может изменить направление вручную, чтобы создать дополнительное изображение с 10 повышенной разрешающей способностью. Этот процесс повышения разрешающей способности может также управляться автоматически с помощью блока 150 управления и компьютера 154. Блок 70 управления в этом варианте осуществления устанавливает градиентное поле в первом направлении, которое автоматически оценивается или устанавливается пользователем в качестве начального значения. Направление 15 градиентного поля затем ступенчатое изменяется, пока разрешающая способность полученных таким образом изображений, которые сравниваются компьютером 154, не станет максимальной, соответственно, больше не улучшаясь. Самое критическое направление может поэтому быть найдено автоматически посредством соответствующей адаптации, чтобы получить максимально возможную разрешающую способность.

В соответствии с настоящим изобретением, упомянутые катушки 114 выбора и 20 фокусировки содержат, по меньшей мере, одну внутреннюю катушку 115 поля выбора и фокусировки, сформированную как замкнутый контур вокруг оси 115а внутренней катушки, и группу, по меньшей мере, из двух внешних катушек 116, 117 поля выбора и фокусировки, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси 115а 25 внутренней катушки, чем упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка 115 поля выбора и фокусировки, и в других угловых положениях, каждая из которых формируется как замкнутый контур вокруг соответствующей оси 116а, 117а внешней катушки, как показано на фиг. 6А и 6В, где представлены перпендикулярные поперечные сечения. Предпочтительно, как показано пунктирными линиями на фиг. 6В, 30 обеспечиваются две дополнительные внешние катушки 118, 119 поля выбора и фокусировки, каждая из которых формируется как замкнутый контур вокруг соответствующей оси 118а, 119а внешних катушек.

В целом, возможно, в соответствии с настоящим изобретением, что средство поля 35 выбора и фокусировки содержит только различные катушки, как показано на фиг. 6. Однако, в соответствии с настоящим изобретением, предпочтительно, что средства поля выбора и фокусировки являются объединением магнитного материала в форме одного или более полюсных наконечников, в частности, магнитомягкого материала, и электромагнитных катушек, по меньшей мере, один полюсный наконечник служит для проводимости магнитного потока и, таким образом, для улучшения формирования 40 требуемых магнитных полей.

Вариант осуществления расположения полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением показан на фиг. 7 и 8, где на фиг. 7А и 7В показаны два перпендикулярных поперечных сечения через расположение 300 полюсных наконечников и на фиг. 8 показан вид в перспективе расположения 300 полюсных наконечников. В 45 этом варианте осуществления расположения 300 полюсных наконечников обеспечиваются два полюсных наконечника, соединяемых через опору 330 полюсных наконечников, механически поддерживающую и механически соединяющую два полюсных наконечника 310, 320. Хотя полюсные наконечники 310, 320, показанные

на этих чертежах, в данном варианте осуществления будут иметь показанные здесь геометрические свойства, конкретная форма опоры 330 полюсных наконечников показана здесь только в качестве простого примера, в то время как конкретная форма для практического применения будет определяться конструктивными параметрами, такими как требуемая устойчивость.

Как показано на фиг. 7 и 8, каждый полюсный наконечник 310, 320 содержит, по меньшей мере, один, здесь в этом варианте осуществления два внутренних сегмента 311, 312 и 321, 322 полюсных наконечников, соответственно, и, по меньшей мере, два, здесь в этом варианте осуществления четыре внешних сегмента 313-316 и 323-326 полюсных наконечников, соответственно. Дополнительно, каждый полюсный наконечник 310, 320 содержит ярмо 317 и 327 полюсного наконечника, соединяющее различные сегменты полюсного наконечника для одного и того же полюсного наконечника.

Все сегменты полюсных наконечников общего полюсного наконечника располагаются коаксиально вокруг оси 115а внутренней катушки, в которой вторые внутренние сегменты 312, 322 полюсных наконечников располагаются как кольца вокруг соответствующего внутреннего сегмента 311, 321 полюсных наконечников. Каждый из внешних сегментов 313-316 и 323-326 полюсных наконечников, соответственно, выполнен в форме кольцевого сегмента, расположенного на одинаковом расстоянии вокруг оси 115а внутренней катушки, но имеющего различные угловые положения, как показано на фиг. 7В.

Такое расположение полюсных наконечников, на которых расположены различные катушки из числа катушек поля выбора и фокусировки, как будет показано и объяснено ниже, является предпочтительным для достижения желаемого перемещения катушки поля выбора и фокусировки (первая субзона 52). Сегментация внешних сегментов полюсных наконечников, здесь на два-четыре сегмента (обычно, по меньшей мере, двух сегментов, но возможны также и больше сегментов), особенно предпочтительна для перемещения FFP вдоль направлений x и y .

В практической реализации расстояние d_i между внутренними сегментами 311, 321 полюсного наконечника (в направлении z) является, по меньшей мере, настолько большим, что пациент, а также катушки возбуждающего поля могут находиться между ними. Это означает, что расстояние d_i должно быть, по меньшей мере, 40 см, предпочтительно, по меньшей мере, 45 см. Расстояния d_0 между внешними сегментами b полюсных наконечников может быть несколько меньше, поскольку между ними обычно никакие катушки возбуждающего поля не располагаются. Следовательно, расстояние d_0 должно быть, по меньшей мере, 25 см, предпочтительно, по меньшей мере, 40 см.

Полюсные наконечники обычно изготавливаются из магнитомягкого материала. Предпочтительно, два внутренних сегмента 311, 312 и 321, 322, соответственно полюсных наконечников, и передние участки 313h-314h и 323h-324h (смотрите фиг. 7А; передние участки других внешних сегментов полюсных наконечников показаны на этом чертеже неточно) изготавливаются из магнитомягкого материала и имеют высокую индуктивность насыщения, в частности, FeCo, Fe, Dy, Gd или их сплава, такого как $Fe_{49}V_{1.9}Co_{49}$ (такого как материал, известный под торговым названием Vacoflux48).

Альтернативно, может использоваться FeNi, но этот материал имеет более низкую индукцию насыщения. Предпочтительно, задние участки 313t, 314t и 323t, 324t внешних сегментов полюсных наконечников (задние участки внешних сегментов 315 или 316, 325, 326 полюсных наконечников точно не показаны), обращенные от области

обследования, и ярмо полюсных наконечников изготавливаются из одного и того же материала. Однако по причинам стоимости возможно изготавливать их из магнитомягкого материала, имеющего более низкую индукцию насыщения, чем материал внутренних сегментов передних полюсных наконечников, в частности, из FeSi, FeNi, пермаллой или его сплав, такой как $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ (обычно называемый наноперм, Nanoperm).

На фиг. 9 показаны два перпендикулярных поперечных сечения для варианта осуществления расположения 400 катушек поля выбора и фокусировки, соответствующего настоящему изобретению, в котором различные катушки поля выбора и фокусировки монтируются в месте 300 расположения полюсных наконечников, как показано на фиг. 7 и 8.

На фиг. 10 показан увеличенный вид единого субблока 410 катушек поля выбора и фокусировки, который будет использоваться для объяснения его дополнительных подробностей. Первый внутренний сегмент 311 полюсного наконечника поддерживает первую внутреннюю катушку 115 поля выбора и фокусировки, которая формируется как кольцо вокруг первого внутреннего сегмента 311 полюсного наконечника. Вторая внутренняя катушка 113 поля выбора и фокусировки формируется как другая кольцевая катушка, которая поддерживается вторым внутренним сегментом 312 полюсного наконечника, который сам формируется в виде кольца вокруг упомянутой первой внутренней катушки 115 поля выбора и фокусировки. Четыре внешних катушки 115, 117 поля выбора и фокусировки (на фиг. 9 и 10 показаны только две внешние катушки поля выбора и фокусировки; другие две внешние катушки поля выбора и фокусировки не показаны на фиг. 9 и 10) поддерживаются соответствующими внешними сегментами 313, 314, 315, 316 полюсных наконечников. Каждая из упомянутых внешних катушек 116, 117 поля выбора и фокусировки наматывается вокруг своего соответствующего внешнего сегмента 313, 314, 315, 316 полюсного наконечника, так что ток протекает вокруг соответствующего внешнего сегмента полюсного наконечника. Каждый внешний сегмент 313, 314, 315, 316 полюсного наконечника имеет форму кольцевого сегмента, расположенного в разных угловых положениях вокруг оси 115а внутренней катушки.

Таким образом, расположение 400 катушек поля выбора и фокусировки, показанное на фиг. 9А, содержит, целом, двенадцать катушек поля выбора и фокусировки, шесть катушек (катушки 113, 115-119) в верхнем субблоке 410 катушек поля выбора и фокусировки, и шесть катушек (катушки 133, 135, 136; остальные две катушки не видны на фиг. 9А) в нижнем субблоке 420 катушек поля выбора и фокусировки. Следует, однако, понимать, что это количество указано в качестве примера. Возможны также и другие количества. В целом, желательны, по меньшей мере, шесть, предпочтительно, по меньшей мере, восемь блоков катушек поля выбора и фокусировки.

Предпочтительно, для каждой катушки поля выбора и фокусировки обеспечивается отдельный субблок генератора поля выбора и фокусировки, так что каждая катушка поля выбора и фокусировки может индивидуально управляться, обеспечивая индивидуальный ток в катушке поля выбора и фокусировки. Однако также возможно соединить катушки поля выбора и фокусировки вместе и обеспечивать для них общий ток, так чтобы количество субблоков генераторов поля выбора и фокусировки могло быть уменьшено. Например, в варианте осуществления в две катушки 116 и 117 поля выбора и фокусировки обеспечивается общий ток. Аналогично, другие две внешние катушки поля выбора и фокусировки соединяются вместе. Это означает, что для такого расположения катушек поля выбора и фокусировки, в целом, требуются восемь субблоков генераторов поля выбора и фокусировки.

В другом варианте осуществления две противоположно размещенные катушки поля выбора и фокусировки двух различных субблоков 410, 420 катушек поля выбора и фокусировки соединяются вместе и обеспечиваются общим током. Например, две (на фиг. 9) внешние катушки поля выбора и фокусировки на правой стороне могут соединяться вместе и обеспечиваться идентичным током. То же самое относится к другим внешним катушкам поля выбора и фокусировки.

Предпочтительно, в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения одна или более катушек поля выбора и фокусировки разделяются, по меньшей мере, на две, в частности, по меньшей мере, на четыре сегмента катушек, где сегменты катушек размещаются по соседству друг с другом в направлении соответствующей оси катушек (то есть в направлении оси 115а внутренних катушек, если все оси катушек параллельны, как в показанном варианте осуществления) и где соседние сегменты катушек электрически соединяются. Как показано на фиг. 9 и 10, все катушки поля выбора и фокусировки разделяются на несколько сегментов катушек, как указано многочисленными линиями примерного деления катушек на фиг. 9А и 10.

Например, первая внутренняя катушка 115 поля выбора и фокусировки разделяется на четыре сегмента катушки, указанные буквами А, В, С, D на фиг. 10.

Аналогично, вторая внутренняя катушка 113 поля выбора и фокусировки и различные внешние катушки 116, 117 поля выбора и фокусировки разделяются на множество сегментов катушек, указанных буквами А, В, С и т.д.

Это разделение катушек поля выбора и фокусировки на несколько сегментов позволяет реализовать различные плотности тока вдоль соответствующей катушки поля выбора и фокусировки. В последующей таблице обобщаются, в качестве примера варианта осуществления, максимальные плотности тока для каждого сегмента катушки. Эти приведенные для примера значения плотностей тока получаются из проведения моделирования, учитывающего, что различные места расположения катушки поля выбора и фокусировки требуют больших токов в различных катушках. Помимо этого, общая электрическая мощность составляла 100 кВт. Максимальная мощность в первой внутренней катушке поля выбора и фокусировки составляла 49 кВт, в то время во второй внутренней катушке поля выбора и фокусировки для токов использовались не более 38 кВт. В каждой из внешних катушек поля выбора и фокусировки рассеивалось не более 20 кВт.

	Плотность тока [А/м ²]	Плотность тока [А/мм ²]
113А	3,9104E+07	39,1042
113В	3,0290E+07	30,2900
113С	1,4279E+07	14,2788
113D	1,2366E+07	12,3658
115А	1,4485E+07	14,4853
115В	1,3682E+07	13,6820
115С	1,2966E+07	12,9664
115D	1,2250E+07	12,2499
115Е	1,1529E+07	11,5291
115F	1,0699E+07	10,6994
115G	9,9520E+06	9,9520
115H	8,9570E+06	8,9570
115I	1,0142E+07	10,1418
115J	7,8558E+06	7,8558
115K	4,5355E+06	4,5355
115L	4,7809E+06	4,7809
117А	7,0403E+06	7,0403

117B	7,0148E+06	7,0148
117C	6,9895E+06	6,9895
117D	6,9645E+06	6,9645
117E	6,9398E+06	6,9398
117F	6,9153E+06	6,9153
117G	6,8911E+06	6,8911
117H	6,8671E+06	6,8671
117I	6,8434E+06	6,8434
117J	6,8199E+06	6,8199

Предпочтительно, сегменты катушки располагаются так, что в направлении соответствующей оси катушки полученные плотности тока увеличиваются с уменьшением расстояния от области обследования. Это получается для различных оцененных вариантов осуществления. Предпочтительные варианты осуществления содержат то, что один или более сегментов катушки для катушки, расположенной ближе к области обследования, сравниваются с одним или более сегментами катушки для такой же катушки, расположенной дальше от области обследования, изготавливаются ли они из другого материала, имеют ли более толстые обмотки, являются ли более компактными и/или имеют ли большую толщину в направлении соответствующей оси катушки. Например, отношения плотностей тока в различных сегментах катушки используются для определения, как поперечные сечения проводов должны варьироваться внутри каждой катушки. На практике, однако, требуются, конечно, отклонения от теоретических значений, так как производители проводов обычно обеспечивают только ограниченное количество значений поперечного сечения.

Дополнительно, на фиг. 9 и 10 можно видеть, что в этом предпочтительном варианте осуществления поперечное сечение, перпендикулярное к оси 115а внутренней катушки через передний участок 312h второго сегмента 312 внутреннего полюсного наконечника, обращенного к области обследования, то есть поперечное сечение вдоль линии X, показанной на фиг. 10, покрывает меньшую площадь, чем параллельное поперечное сечение через задний участок 312t упомянутого второго внутреннего сегмента 312 полюсного наконечника, обращенного от упомянутой области обследования, то есть вдоль линии Y, показанной на фиг. 10.

Предпочтительно, внешний диаметр упомянутого переднего участка 312h второго внутреннего сегмента 312 полюсного наконечника уменьшается в направлении оси 315а внутренней катушки с уменьшением расстояния от области 230 исследования. Другими словами, внешние края переднего участка 312h наклонены в направлении оси 315а внутренней катушки.

Также, дополнительно, поперечное сечение, перпендикулярное оси 315а внутренней катушки через передний участок 313h, 314h внешних сегментов 313, 314 на полюсных наконечников (то же самое относится к другим внешним сегментам на полюсных наконечников, не показанным точно на фиг. 10), обращенных к упомянутой области обследования, то есть вдоль линии X, покрывает большую площадь, чем параллельное поперечное сечение через задний участок 313t, 314t упомянутых сегментов 313, 314 на полюсных наконечников, обращенных от области обследования, то есть поперечное сечение вдоль линии Y.

Также, дополнительно, длина внутреннего диаметра упомянутых головных участков 313h, 314h внешних сегментов 313, 314 полюсных наконечников (то же самое относится к другим, не показанным внешним сегментам полюсных наконечников) от оси 315а внутренней катушки уменьшается в направлении оси 115а внутренней катушки с уменьшением расстояния от области 330 обследования. Другими словами, внутренние

края головных участков 313h, 314h наклонены в направлении оси 115a внутренней катушки.

5 Как показано на чертеже, вторая внутренняя катушка 113 поля выбора и фокусировки и внешние катушки 116, 117 поля выбора и фокусировки (то же самое относится к другим, не показанным внешним катушкам поля выбора и фокусировки) перемещаются вокруг соответствующего сегмента полюсного наконечника, собираясь в такую же внешнюю форму, как и соответствующий сегмент полюсного наконечника, что, однако, не требуется обязательно.

10 Эти меры обеспечиваются для наивысшей плотности потока на поверхности внутренних сегментов 311, 312 полюсных наконечников и внутренних катушек 113, 115 поля выбора и фокусировки, обращенной к области обследования, в частности, чтобы получить высокий градиент магнитного поля. Следует заметить, что также внешние края внешних сегментов полюсных наконечников могут быть наклонены в направлении оси 115a внутренней катушки, чтобы дополнительно повысить этот эффект.

15 Для перемещения поля 28 зрения через область обследования, которое традиционно достигалось использованием фокусирующего магнитного поля, в целом, не требуется обеспечивать все катушки поля выбора и фокусировки токами. В частности, для перемещения поля зрения 28 в верхнем или нижнем направлении, то есть вдоль внутреннего направления оси 115a внутренней катушки, главным образом, используются 20 две внутренние катушки 115, 113 поля выбора и фокусировки. Например, если движение поля 28 зрения желательно от верхнего субблока 410 катушек поля выбора и фокусировки в направлении нижнего субблока 420 катушек поля выбора и фокусировки, ток, обеспечиваемый для первой внутренней катушки поля выбора и фокусировки нижнего субблока 420 катушек поля выбора и фокусировки, и ток, обеспечиваемый 25 для второй внутренней катушки поля выбора и фокусировки верхнего субблока 410 катушек поля выбора и фокусировки, увеличиваются. Альтернативно или в дополнение, ток, обеспечиваемый для первой внутренней катушки поля выбора и фокусировки верхнего субблока 410 катушек поля выбора и фокусировки, и ток, обеспечиваемый для второй внутренней катушки поля выбора и фокусировки нижнего субблока 420 катушек поля 30 выбора и фокусировки, уменьшаются. Нет необходимости, чтобы для такого движения использовались внешние катушки поля выбора и фокусировки.

Если перемещение поля 28 зрения желательно в направлении, перпендикулярном оси 115a внутренней катушки, внешние катушки поля выбора и фокусировки 35 дополнительно обеспечиваются токами. В частности, с помощью упомянутых внешних катушек поля выбора и фокусировки формируется дополнительное магнитное поле в направлении вдоль желаемого направления движения и перпендикулярно оси 115a внутренней катушки. Например, если на фиг. 9A желательно движение слева направо, дополнительно формируется магнитное поле, имеющее северный полюс на левой 40 стороне и южный полюс на правой стороне (или наоборот). Посредством амплитуды тока, обеспечиваемого во внешних катушках выбора и фокусировки, можно затем контролировать, насколько далеко поле 28 зрения может быть передвинуто в этом направлении.

Приведенное выше объяснение представляет только краткую общую идею, как, в целом, может быть достигнуто перемещение поля зрения. На практике, конечно, токами 45 необходимо очень точно управлять, что, однако, является вопросом реализации, которая сильно зависит от точной планировки общего размещения.

Что касается полюсных наконечников, то следует заметить, что они предпочтительно изготавливаются из магнитопроводящих листов, причем листы, формирующие

внутренние сегменты 311, 312 полюсных наконечников, и соседний передний участок 317h ярма 317 полюсных наконечников полюсного наконечника 310 (то же самое относится к внутренним сегментам полюсных наконечников и к ярму полюсных наконечников на другом полюсном наконечнике 320) расположены вдоль направления, параллельного оси 315а внутренней катушки. Листы, формирующие задний участок 317t ярма 317 полюсных наконечников, (то же самое относится к другому ярму 327 полюсных наконечников) предпочтительно располагаются в направлении, по существу, перпендикулярном оси 315а внутренней катушки. Это обеспечивает оптимальную связь по магнитному потоку.

В случае использования двух или более полюсных наконечников, которые соединяются посредством опоры 330 полюсных наконечников, как показано на фиг. 8, предпочтительно также, чтобы опора полюсных наконечников изготавливалась из магнитопроводящих листов, располагающихся по соседству друг с другом в том же самом направлении, что и листы, формирующие участок полюсного наконечника, к которому присоединяется опора полюсных наконечников. Например, если опора полюсных наконечников соединяется с передним участком ярма полюсных наконечников, листы опоры полюсных наконечников предпочтительно располагаются в направлении, перпендикулярном оси внутренней катушки. Листы, формирующие опору полюсных наконечников, также располагаются в направлении, перпендикулярном оси 315а внутренней катушки, по меньшей мере, в месте соединения с ярмами полюсных наконечников. В целом, листы должны располагаться таким образом, чтобы достигалась наилучшая связь по магнитному потоку.

На фиг. 11 представлен вид в перспективе варианта осуществления расположения 500 полюсных наконечников в соответствии с настоящим изобретением. По сравнению с расположением 300 полюсных наконечников, показанным на фиг. 8, внешние сегменты полюсных наконечников не формируются в настоящем варианте осуществления как сегменты кольцевой формы, а внешние сегменты 512-517 полюсных наконечников (первого полюсного наконечника 510) и 522-527 (второго полюсного наконечника 520) формируются как цилиндры в виде стержня, предпочтительно той же самой формы, что и внутренние сегменты 511, 521 полюсных наконечников.

Преимущества такого расположения состоят, в первую очередь, в экономии расходов, поскольку необходимо изготавливать всего один или два вида полюсных наконечников. Основное преимущество реализуется, если, по меньшей мере, второе кольцо полюсных наконечников (не показано на фиг. 11) располагается вокруг центрального полюсного наконечника. В других вариантах осуществления могут также использоваться дополнительные формы сегментов полюсных наконечников, в частности, внешних сегментов полюсных наконечников.

На фиг. 12 представлен вид в перспективе другого варианта осуществления расположения 600 катушек поля выбора и фокусировки в соответствии с настоящим изобретением. В этом варианте осуществления используется расположение 500 полюсных наконечников, показанное на фиг. 11, в котором каждый сегмент полюсных наконечников снабжен индивидуальной катушкой поля выбора и фокусировки, намотанной вокруг катушки 611-617 кольцеобразной формы (для верхнего субблока 610 катушек поля выбора и фокусировки; то же самое относится к нижнему субблоку 620 катушек поля выбора и фокусировки).

Существуют дополнительные варианты осуществления расположений катушек поля выбора и фокусировки. Например, в еще одном другом варианте осуществления расположения 600 катушек поля выбора и фокусировки, соответствующем настоящему

варианту осуществления, показанному на фиг. 13, большая цилиндрическая катушка 631, 632 магнитного поля располагается поверх и вокруг каждого субблока 610, 620 катушек поля выбора и фокусировки. Дополнительно, возможно расположить одну или более дополнительных катушек 640 магнитного поля вокруг магнитной опоры 5 630, чтобы дополнительно усилить магнитное поле.

Следует заметить, что в дополнение к различным катушкам поля выбора и фокусировки может в каждом субблоке катушек поля выбора и фокусировки может дополнительно обеспечиваться постоянный магнит, чтобы дополнительно усилить формирование магнитного поля выбора для формирования катушки поля выбора и 10 фокусировки. Этот постоянный магнит предпочтительно должен располагаться вблизи зоны обследования, заменяя собой части из магнитомягкого материала.

Дополнительно, следует заметить, что для охлаждения некоторых или всех катушек предпочтительно обеспечивается охлаждающее средство. Охлаждающее средство может использовать хладагент, такой как вода или масло. Катушки могут 15 изготавливаться из меди или алюминия, но также можно изготавливать их из сверхпроводящего материала, который должен затем охлаждаться, используя соответствующий хладагент, такой как гелий. В случае высокотемпературных сверхпроводящих проводников охлаждение может достигаться использованием газообразного гелия. В случае низкотемпературных сверхпроводящих проводников 20 охлаждение может достигаться использованием жидкого гелия.

Используя описанную выше геометрию, были выполнены различные режимы моделирования. Результаты, полученные таким способом, в обобщенном виде представлены ниже.

Для FFP, расположенной в центре геометрии, напряженность градиентного поля 2,5 25 Т/м была получена при мощности электропитания 30 кВт. При использовании 90 кВт электрической мощности напряженность градиентного поля увеличилась до 3,3 Т/м. На фиг. 14 показано, как напряженность градиентного поля увеличивается с увеличением электрической мощности. Для этих моделирований учитывались только внутренние катушки поля выбора и фокусировки. Во внешних катушках поля выбора и фокусировки 30 никакой ток не протекал. В частности, электрическая мощность во второй внутренней катушке поля выбора и фокусировки была в четыре раза больше, чем в первой внутренней катушке поля выбора и фокусировки.

Что касается перемещения в направлении z, то используя внутренние катушки поля выбора и фокусировки, FFP может быть помещена на ось на расстоянии 10 см от начала 35 координат. При общем потреблении мощности 92 кВт получена напряженность градиентного поля 2,5 Т/м. Электрическая мощность распределялась между катушками. Для полюсного наконечника в направлении, в котором перемещается FFP, первая внутренняя катушка поля выбора и фокусировки рассеивала 49 кВт при отсутствии протекания тока во второй внутренней катушке поля выбора и фокусировки. Для 40 полюсного наконечника в другом направлении, первая внутренняя катушка поля выбора и фокусировки рассеивала 5 кВт, в то время, как для второй внутренней катушки поля выбора и фокусировки было необходимо 38 кВт.

Что касается перемещения в направлении x или y, то используя внешние катушки поля выбора и фокусировки, FFP могла перемещаться вдоль оси x или y. Например, 45 при одном из моделирований FFP была помещена на ось x на расстоянии 10,1 см от начала координат. Здесь использовалась общая электрическая мощность 100 кВт. Мощность 40 кВт рассеивалась в четырех внешних катушках поля выбора и фокусировки, тогда как остальные 60 кВт использовались во внутренних катушках

поля выбора и фокусировки. Напряженность градиентного поля составляла 2,2 Т/м. Тем не менее, градиент был весьма неоднородным. Используя общие способы вычислений, полученные значения составили $G_x = -0,69$ Т/м и $G_y = -1,51$ Т/м. Для определенных применений (MR) желательно формировать магнитное поле, которое не имеет FFR, но является достаточно однородным. Поэтому выполнялись моделирования, при которых направление тока в одном из внутренних полюсных наконечников менялось на обратное. Используя все катушки и различные распределения доступной мощности (100 кВт), максимальная полученная напряженность поля в начале координат равнялась 0,45 Т. Напряженность поля увеличивается вдоль оси z и уменьшается вдоль осей x/y.

Для вычисления энергии, хранящейся в магнитном поле, интеграл

$$E = \frac{1}{2} \int_V \mathbf{B} \cdot \mathbf{H} dV$$

вычисляется в объеме V.

В рамках наших моделирований максимальная наблюдаемая энергия, хранящаяся в магнитном поле, была ниже 40 кДж. Максимум наблюдался при моделировании, пытающемся получить однородное (MR) поле.

Специфическая норма поглощения (SAR) является мерой качественной оценки импортируемой теплоты в (человеческое) тело во время медицинского обследования. Существуют определенные пределы и руководства, которые обычно содержат краткосрочные и долгосрочные пределы, а также ограничения для частей тела и всего тела. Периферийная нервная стимуляция (PNS) является действием, при котором нервы и мышцы внутри (человеческого) тела стимулируются посредством электрического поля, наведенного внутри человеческого тела. Электрическое поле является следствием изменения магнитного поля, поэтому оно пропорционально напряженности магнитного поля и ее производной во времени (обычно dB/dt для синусоидального возбуждения в пространстве Фурье: ωB).

В сканерах MRI для малоразмерных объектов SAR и PNS еще не составляют ограничения, поскольку объект (например, небольшое животное) мал. Настоящее изобретение обеспечивает решение для построения сканера под размеры человека. Здесь SAR и PNS могут становиться потенциально ограничивающими факторами.

В известных сканерах MRI ток для возбуждающего магнитного поля поддерживался постоянным во время обследования, независимо от положения точки, свободной от поля. Это не может продолжаться в сканерах под размер человека по причинам SAR и PNS. Фактически, ток был выбран таким, что, например, формировалась пиковая амплитуда 20 мТ в самом центре области обследования (обычно образующей отверстие). Из-за неоднородности магнитного поля, это означает, что более высокие амплитуды возбуждающего магнитного поля формировались в других положениях.

На фиг. 15А и 15В показаны катушки, используемые для формирования возбуждающего магнитного поля вокруг области 230 обследования, в которую помещен пациент. Для поля вдоль оси 250 используется соленоид 260 (фиг. 15А), для двух ортогональных осей используются седлообразные катушки 261, 262 (фиг. 15В). Следует заметить, что, в целом, существует другая (не показанная) пара седловидных катушек, ортогональных седловидным катушкам 261, 262.

На фиг. 16 показаны силовые линии магнитного поля внутри отверстия в катушке 260 соленоида. На основе этого типа катушки будет получена следующая аргументация. Аргументация для седлообразных катушек, в целом, должна быть такой же.

На фиг. 16 отмечены три точки: P1, P2 и P3. В середине отверстия для точки P1

напряженность возбуждающего поля составляет 20 мТрк/ μ_0 . В известных сканерах МРІ ток через катушку 260 соленоида выбирается таким, что достигнуть этих 20 мТрк/ μ_0 в центральной точке P1. Этот ток поддерживается одинаковым на протяжении всего эксперимента, независимо от местоположения поля зрения (FOV).

5 Внутри сканеров для размеров человека поле зрения делается увеличенным посредством дополнительных перемещений поля фокусировки. Поле фокусировки переносит центр поля зрения (то есть объем, из которого берется выборка при быстром перемещении точки, свободной от поля, посредством возбуждающего поля) в любое
10 желаемое место внутри отверстия. Например, поле зрения смещается в положение P3. Если ток поддерживается постоянным, напряженность поля в этом положении P3 составит только 15 мТрк/ μ_0 (как показано на фиг. 17B). Поэтому качество изображения/ разрешающая способность/реакция частиц в этом месте ухудшаются. С другой стороны, если поле зрения смещается (посредством фокусирующего поля) в положение P2, то
15 тогда напряженность поля в этом месте будет выше, например, 30 мТ (как показано на фиг. 17A). Недостатком теперь является то, что амплитуда возбуждающего поля выше, чем требуется для процесса получения изображений. На деле, изображение может дополнительно не улучшаться, а в тело пациента при этом подается, по существу, ненужная мощность, то есть SAR. Кроме того, если применяется PNS, этот эффект
20 будет более жестким.

20 Первое требование к достижению правильного решения для сканеров под размеры человека приходит из точки P3. Здесь требуется, чтобы в этой точке со слабой чувствительностью (то есть формируемой напряженностью поля, поделенной на ток, протекающий через катушку) напряженность поля была 20 мТрк/ μ_0 , как требуется для
25 получения соответствующего качества изображения. Эти 20 мТрк/ μ_0 могут быть достигнуты только при повышенном токе.

30 Теперь это должно быть необходимым решением, если этот повышенный ток поддерживается постоянным в течение всего эксперимента, то есть для всех позиций, которые будут сканироваться. Поэтому предложенное решение должно снизить ток, когда чувствительность в заданной точке повышена. В частности, P2 потребует "нормального" тока, тогда как P3 потребует дополнительно пониженного тока.

35 В целом, это правило для тока предпочтительно в нескольких аспектах, то есть оно обеспечивает снижение SAR, снижение PNS и уменьшение рассеиваемой средней мощности в катушках (это непосредственно переходит в экономию затрат на аппаратурное обеспечение).

40 В дополнительном варианте осуществления ток, обеспечиваемый для одной или более катушек возбуждающего поля, адаптируется как функция местоположения FFP (или поля зрения). Чтобы сформировать, например, пиковую амплитуду 20 мТ, в некотором месте, ток выбирается как функция чувствительности (в терминах (Ампер/метр) на Ампер) для катушки в этом месте. При условии, что градиент поля выбора и фокусировки является однородным (то есть, независимым от местоположения) это правило формирует отклонение (расстояние перемещения поля FFP под влиянием возбуждающего поля), которое должно быть однородным (то есть независимым от местоположения).

45 Дополнительно, поскольку в реальности поле выбора и фокусировки не является однородным, оно также должно рассматриваться в правиле для выбора тока возбуждающего поля. Таким образом, например, может формироваться поле зрения с постоянным объемом, которое не искажается неоднородностями поля выбора и

фокусировки.

В соответствии с другим вариантом осуществления, пары седловидных катушек (одна пара показана на фиг. 15В) разделяются (скорее на три катушки, окружающие объект обследования), чтобы обеспечить снижение SAR, снижение PNS и уменьшение рассеиваемой средней мощности в катушках (это напрямую переводится в экономию затрат на аппаратное обеспечение).

В известном сканере МРІ две седловидные катушки 261, 262 создают одну пару, которая электрически соединяется последовательно, то есть обе седловидные катушки 261, 262 имеют одинаковые токи, протекающие через них. В соответствии с предложенным здесь усовершенствованием, седловидные катушки 261, 262 разделены и обеспечиваются независимыми и обычно неодинаковыми токами. Преимущества этого состоят в том, что несмотря на необходимость двойного оборудования обеспечения мощности и фильтрации мощности, все компоненты имеют только половинный ток, то есть они могут быть реализованы как компоненты меньшего размера, поддерживая затраты почти незатронутыми. Дополнительно, две седловидные катушки могут использоваться одновременно как две отдельные приемные катушки. Вместе с другим приемником, два приемника образуют два независимых средства, на которые влияет независимый тепловой шум (шум тела, шум катушки, шум приемника). При соответствующей реконструкции дополнительным преимуществом является отношение сигнал-шум системы, при котором улучшается качество изображения.

Для упрощения, должна быть рассмотрена структура, подобная структуре Гельмгольца, как показано на фиг. 18, из двух плоских катушек 270, 271 (вместо более сложных седловидных катушек, показанных на фиг. 15В). Когда FFP находится в середине, обе катушки 270, 271 имеют одинаковые чувствительности в направлении этой точки, как показано в точке P1 на фиг. 19В. Чтобы минимизировать индуцированное магнитное поле, обе катушки 270, 271 должны в одинаковой степени способствовать формированию тока, то есть иметь один и тот же ток. Далее, магнитное поле, вносящее свой вклад в SAR и PNS, индуцируется одинаково вблизи обеих катушек 270, 271.

Если FFP не находится в середине (например, точка P4 на фиг. 19В), то тогда катушка 270 (то есть катушка, находящаяся ближе к FFP) будет иметь лучшую чувствительность, чем другая катушка 271. По тем же самым причинам, что и выше, обычно будет предпочтительным иметь ближнюю катушку, создающую большее возбуждающее магнитное поле (при условии, что обе катушки имеют одинаковую чувствительность в медицинском смысле). Для сравнения, на фиг. 19В показано магнитное поле, когда только катушка 270 обеспечивается током.

На фиг. 20В показано поле, сформированное одинаковыми токами в обеих катушках 270, 271, пропорциональные соответствующим чувствительностям S270, S271 (с точки зрения напряженности магнитного поля на единицу создаваемого тока; совокупная чувствительность указывается с помощью S272). Например, в положении P4 чувствительность S270 катушки 270 выше, чем чувствительность S271 катушки 271. Поэтому катушка 270 будет больше способствовать минимизации SAR, PNS и потерь мощности в катушках. Однако, по причинам непрерывности, распределение токов будет не таким, при котором "победитель получает все", а плавный переход между катушками. Как в положении P4, не будет причины, по которой катушка имеет весь ток, а катушка 271 будет выключена, как показано на фиг. 20А.

Предпочтительно, алгоритм будет учитывать как SAR, так и PNS, и как "глобальный" масштаб, так и локальный масштаб. Поэтому, обычно будет типичным иметь все

доступные генераторы поля участвующими в минимизации избыточного поля вблизи проводников.

Если одна часть поля пациента более чувствительна к магнитным полям, чем другая, ток может распределяться в пользу менее чувствительной части тела.

5 На фиг. 21 показан вид в перспективе другого варианта осуществления расположения 700 полюсных наконечников, соответствующего настоящему изобретению, и на фиг. 22 показан вид в перспективе соответствующего варианта осуществления расположения 800 катушек поля выбора и фокусировки, соответствующего настоящему изобретению, использующему расположение 700, показанное на фиг. 21. В этом варианте
10 осуществления каждый полюсный наконечник 710, 720 содержит центральный внутренний сегмент 721 полюсного наконечника 721, окруженный внешними сегментами 722-729 полюсных наконечников (на фиг. 21 явно показаны и объясняются ниже только сегменты полюсных наконечников для нижнего полюсного наконечника 720; верхний полюсный наконечник 710 предпочтительно сконструирован таким же образом.) В
15 этом примерном варианте осуществления обеспечиваются восемь сегментов полюсных наконечников, но возможны также другие количества внешних сегментов полюсных наконечников. Расположение 800 катушек поля выбора и фокусировки содержит верхний субнабор 810 катушек поля выбора и фокусировки и нижний субнабор 820 катушек поля выбора и фокусировки, каждый из которых содержит множество катушек 821-830
20 (опять, только катушки для нижнего субблока 820 катушек поля выбора и фокусировки явно показаны на фиг. 22 и объясняются ниже; верхний субблок 810 катушек выбора и фокусировки предпочтительно сконструирован таким же способом).

В этом варианте осуществления внутренний сегмент 721 полюсного наконечника содержит внутренний цилиндр 721a, изготовленный из магнитомягкого материала,
25 окруженного катушкой 821 в форме, похожей на трубку. Внутренний цилиндр 721a внутреннего сегмента 721 полюсного наконечника окружен кольцом 721b из магнитомягкого материала, который сам окружен другой катушкой 830. Кольцо 721b из магнитомягкого материала имеет одну (или более) ступеней 730, как показано на
фиг. 21, то есть внешний диаметр в нижней секции 721b1 кольца 721b, обращенной от
30 противоположного полюсного наконечника 710, больше, чем внешний диаметр в верхней секции 721b2 кольца 721b, обращенной к противоположному полюсному наконечнику 710. Альтернативно, ступеньки реализуются как скошенная кромка.

Предпочтительно, ступенька также существует во внешнем диаметре катушки 830, то есть эта катушка предпочтительно имеет постоянную толщину, так что внешний
35 диаметр в нижней секции катушки 830 больше, чем в верхней секции катушки 830.

Каждая катушка 821, 830 предпочтительно покрывает ее соответствующий сегмент 721, 721b полюсного наконечника полностью, то есть она проходит от места
присоединения к конструкции 740 С-образного кронштейна (то есть опоры полюсного наконечника) к концу сегмента полюсного наконечника. Альтернативно, не требуется,
40 чтобы каждая катушка была присоединена к С-образной конструкции 740, так что остается некоторое пространство. Преимущества пространства 840 заключаются в том, что оно может использоваться для монтажа устройств и питающего оборудования и что катушки могут изготавливаться легче.

Дополнительно, каждая катушка 821, 830 предпочтительно содержит другие сегменты
45 катушки, соединенные последовательно. Каждый сегмент имеет специальную обмотку, так что плотности тока варьируются вдоль полюсных наконечников. Модификации катушек, объясненные выше в отношении других чертежей, могут, таким образом, также здесь использоваться.

В этом варианте осуществления каждый из внешних сегментов 722-729 полюсных наконечников содержит нижнюю часть 722a и верхнюю часть 722b, соединенные друг с другом (указывается ссылочными позициями только для внешнего сегмента 722 полюсного наконечника), причем нижняя часть 722a соединяется с С-образной конструкцией 740. Как верхняя, так и нижняя части 722a, 722b окружены катушками 822a, 822b, соединенными последовательно. Верхние части 722b смещены в направлении внутреннего сегмента 721 полюсного наконечника относительно нижних частей 722a и предпочтительно имеют больший диаметр, чем нижние части 722a. Такое смещение возможно, поскольку, благодаря ступеньке 730 на внутреннем сегменте 721 полюсного наконечника, имеется требуемое пространство.

Каждая катушка 822-829 может покрывать весь соответствующий сегмент 722-729 полюсного наконечника, то есть она может располагаться от места присоединения к С-образной конструкции 740 к концу соответствующего сегмента 722-729 полюсного наконечника. Альтернативно, не требуется, чтобы каждая катушка 822-829 была присоединена к С-образной конструкции 740, так чтобы оставалось некоторое пространство, как показано на фиг. 22.

В предпочтительном варианте осуществления каждая катушка 822-829 содержит различные сегменты, соединенные последовательно. Каждый сегмент имеет специальную обмотку, так что плотности тока варьируются вдоль сегмента полюсного наконечника.

Внутренний сегмент 721 полюсного наконечника вместе с соответствующими катушками 821, 830 в первую очередь формирует магнитное поле с FFP. Изменение токов в катушках 821, 830 позволяет перемещение FFP вдоль вертикальной оси. Внешние сегменты 722-729 полюсных наконечников вместе с их соответствующими катушками 822-829, в первую очередь, позволяют перемещение FFP в направлениях горизонтальных осей.

В вариантах осуществления, обсуждавшихся выше и далее сегменты полюсных наконечников обычно используют цилиндрические формы с круговыми площадями основания. Также могут реализовываться другие формы. Например, цилиндры с эллипсами в качестве площади основания могут быть полезны в других вариантах осуществления.

Верхние и нижние полюсные наконечники не обязательно должны присоединяться через конструкцию С-образного кронштейна. Соединение может также осуществляться, используя другие несущие конструкции, например, используя, к примеру, четыре бруска, изготовленных из магнитомягкого материала, по одному в каждом углу.

На фиг. 23 показан другой вариант осуществления расположения 900 полюсных наконечников, в котором верхние части 922b внешних сегментов 922 полюсных наконечников имеют эллиптическое поперечное сечение (это, предпочтительно, относится ко всем внешним сегментам полюсных наконечников обоих полюсных наконечников 910, 920), причем нижние части 922a имеют круглое или эллиптическое поперечное сечение. Это отклонение от круглой формы позволяет лучше использовать доступное пространство. Конечно, в целом, также возможны другие поперечные сечения, такие как прямоугольные или подобные прямоугольным поперечные сечения.

На фиг. 24 показан другой вариант осуществления расположения 1000 полюсных наконечников, в котором сегменты полюсных наконечников имеют простейшую возможную форму. Не существует ступеньки во внутреннем сегменте 1021 полюсного наконечника и внешние сегменты 1022 полюсных наконечников не разделены на нижнюю и верхнюю части. Это предпочтительно также относится к обоим полюсным наконечникам 1010, 1020. Преимущество такого размещения заключается в минимизации

производственных затрат. Альтернативно, реализация, показанная на фиг. 24, может также быть реализована со ступенькой на внешнем сегменте полюсного наконечника, как показано на фиг. 21 и 23.

На фиг. 25 показан вид в перспективе другого варианта осуществления расположения 5 1100 полюсных наконечников, соответствующего настоящему изобретению, и на фиг. 26 показан вид в перспективе соответствующего варианта осуществления расположения 1200 катушек поля выбора и фокусировки, соответствующего настоящему изобретению, использующему расположение 1100, показанное на фиг. 25.

В этом варианте осуществления каждый из внешних сегментов 1122 полюсных 10 наконечников содержит небольшую верхнюю часть 1122b (похожую на небольшую шапку) изготовленную из магнитомягкого материала, предназначенную для направления магнитного поля. Эти "шапки" 1122b предпочтительно имеют эллиптическое поперечное сечение, но не окружены электромагнитными катушками, как можно видеть на фиг. 26. Только нижняя часть 1122a (предпочтительно имеющая круглое поперечное сечение) 15 внешних сегментов 1122 полюсных наконечников окружается катушкой 1222. Этот вариант осуществления является альтернативой с приемлемыми характеристиками магнитного поля при приемлемых затратах. Внутренний сегмент полюсного наконечника и соответствующие катушки предпочтительно выполнены как в варианте осуществления, показанном на фиг. 22 или 24.

На фиг. 27 и 28 показаны варианты осуществления расположения 20 полюсных наконечников, в которых одиночный внутренний сегмент полюсного наконечника заменяется на три внутренних сегмента 1331, 1332, 1333 (на фиг. 27) и 1431, 1432, 1433 (на фиг. 28) полюсных наконечников, установленных в углах треугольника. При расположении 1300 полюсных наконечников, показанном на фиг. 27, сегменты 25 полюсных наконечников являются цилиндрами с постоянным наружным диаметром, тогда как в расположении 1400 полюсных наконечников, показанном на фиг. 28, сегменты полюсных наконечников являются цилиндрами, имеющими ступеньки 1440 на их концах. Как альтернатива этим ступенькам, возможны также сегменты полюсных наконечников со скосом.

На фиг. 29 показан еще один другой вариант осуществления расположения 30 полюсных наконечников. Здесь одиночный внутренний сегмент полюсного наконечника меняется на четыре внутренних сегмента 1531-1534 полюсных наконечников, устанавливаемых в углах квадрата. Аналогично, внешние сегменты 1522-1529 полюсных наконечников располагаются вдоль краев внешнего квадрата.

В варианте осуществления, показанном и объясненном выше, в частности, на фиг. 35 21-29, одно кольцо внешних сегментов полюсных наконечников окружает внутренний сегмент полюсного наконечника для каждого полюсного наконечника. Альтернативно, могут обеспечиваться более одного кольца внешних сегментов полюсных наконечников. Дополнительно, в верхних и нижних полюсных наконечниках обеспечиваются равные 40 количества сегментов полюсных наконечников. Альтернативно, количество сегментов полюсных наконечников может различаться для двух полюсных наконечников. Также, дополнительно, каждый сегмент полюсного наконечника в полюсном наконечнике располагается напротив соответствующего сегмента полюсного наконечника на другом полюсном наконечнике. Альтернативно, сегменты полюсных наконечников двух 45 полюсных наконечников могут устанавливаться смещенными относительно друг друга. Также, дополнительно, может быть предпочтительным, если сегменты полюсных наконечников выполняются не точно одинаковыми. Например, изменение высоты на большую для внешних сегментов полюсных наконечников обеспечивает лучшие

признаки в отношении достижимой напряженности градиентного поля и подвижности FFP. Также, могут реализовываться различные диаметры. Наконец, положение сегментов полюсных наконечников относительно конструкции С-образного кронштейна может выбираться иначе, чем расположение, показанное на чертежах, например, сегменты полюсных наконечников могут монтироваться в положениях, повернутых вокруг оси, параллельной внутреннему сегменту полюсного наконечника.

Хотя изобретение было представлено и подробно описано на чертежах и в предшествующем описании, такое представление и описание следует считать иллюстративными или примерным, не создающими ограничений; изобретение не ограничивается раскрытыми вариантами осуществления. При осуществлении заявленного изобретения, исходя из изучения чертежей, раскрытия, и приложенной формулы изобретения, специалистами в данной области техники в дополнение к раскрытым вариантам осуществления могут быть поняты и осуществлены другие варианты.

В формуле изобретения слово "содержащее" не исключает другие элементы или этапы, и единственное число не исключает множественное число. Одиночный элемент или другой модуль могут выполнять функции нескольких позиций, упомянутых в формуле изобретения. Простой факт, что определенные критерии повторяются во взаимно зависимых разных пунктах формулы изобретения, не указывает, что объединение этих критериев не может использоваться для достижения преимущества.

Любые ссылочные позиции в формуле изобретения не должны рассматриваться как ограничение ее объема.

(57) Формула изобретения

1. Устройство (100) для оказания влияния и/или обнаружения магнитных частиц в поле (28) зрения, причем устройство содержит:

i) средство (120) выбора и фокусировки для формирования магнитного поля (50) выбора и фокусировки, имеющего диаграмму направленности в пространстве напряженности его магнитного поля, так что формируются в поле (28) зрения и служат для изменения положения в пространстве поля (28) зрения внутри области (230) обследования первая субзона (52), которая имеет низкую напряженность магнитного поля, в котором намагничивание магнитных частиц не доходит до насыщения, и вторая субзона (54), которая имеет повышенную напряженность магнитного поля, в котором намагничивание магнитных частиц доходит до насыщения, причем упомянутое средство выбора и фокусировки содержит, по меньшей мере, один набор катушек (114; 113, 115-119) поля выбора и блок (112) генератора поля выбора и фокусировки для формирования токов поля выбора и фокусировки, которые должны обеспечиваться для упомянутого, по меньшей мере, одного набора катушек (114; 113, 115-119) поля выбора и фокусировки для управления формированием упомянутого магнитного поля выбора и фокусировки, в котором упомянутый, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки содержит:

- по меньшей мере одну внутреннюю катушку (113, 115) поля выбора и фокусировки, формируемую как замкнутый контур вокруг оси (115а) внутренней катушки, первую внутреннюю катушку (115) поля выбора и фокусировки,

- группу из, по меньшей мере, двух внешних катушек (116-119) поля выбора и фокусировки, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси (115а) внутренней катушки, чем упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка (113, 115) поля выбора и фокусировки, и в разных угловых положениях, причем каждая из

них формируется как замкнутый контур вокруг соответствующей оси (116а-119а) внешней катушки, и

ii) средство (120) возбуждения, содержащее блок (122) генератора сигнала возбуждающего поля и катушки (124, 125, 126, 127) возбуждающего поля для изменения 5 положения в пространстве и/или размера двух субзон (52, 54) в поле (28) зрения посредством возбуждающего магнитного поля, так что намагничивание магнитного материала локально изменяется.

2. Устройство (100) по п. 1, в котором упомянутый, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки содержит первую внутреннюю катушку (115) 10 поля выбора и фокусировки и вторую внутреннюю катушку (113) поля выбора и фокусировки, выполненные в виде замкнутого контура вокруг упомянутой оси (115а) внутренней катушки и имеющие больший диаметр, чем упомянутая первая внутренняя катушка (115) поля выбора и фокусировки и вторая внутренняя катушка (113) поля выбора и фокусировки.

3. Устройство (100) по п. 1, в котором упомянутая, по меньшей мере, одна внутренняя катушка (113, 115) поля выбора и фокусировки и/или упомянутые внешние катушки 15 (116-119) поля выбора и фокусировки разделены, по меньшей мере, на две, в частности, по меньшей мере, на четыре сегмента катушки, причем сегменты катушки располагаются по соседству друг с другом в направлении соответствующей оси (115а-119а) катушки, 20 и причем соседние сегменты катушки электрически соединены.

4. Устройство (100) по п. 1, в котором упомянутые катушки возбуждающего поля содержат две пары седловидных катушек (125, 126), расположенных вокруг центральной 25 оси (250) симметрии, перпендикулярной упомянутой оси (115а) внутренней катушки, и катушку (127) соленоида, расположенную вокруг упомянутой центральной оси (250) симметрии.

5. Устройство (100) по п. 1, в котором упомянутый блок (122) генератора сигнала возбуждающего поля выполнен с возможностью формирования и обеспечения 30 индивидуальных токов возбуждающего поля в одной или более из упомянутых катушек (124; 125, 126, 127) возбуждающего поля и/или формирования токов возбуждающего поля в зависимости от чувствительности и/или положения первой субзоны или поля (28) зрения внутри области (230) обследования.

6. Устройство (100) по п. 1, в котором упомянутый, по меньшей мере, один набор катушек поля выбора и фокусировки дополнительно содержит, по меньшей мере, один полюсный наконечник (310, 320; 510, 520), имеющий некоторое количество сегментов 35 (311-316) полюсных наконечников, поддерживающих различные катушки поля выбора и фокусировки и ярмо (317) полюсных наконечников, соединяющее упомянутые сегменты (311-316) полюсных наконечников.

7. Устройство (100) по п. 6, в котором упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник (310, 320) содержит, по меньшей мере, один внутренний сегмент (311, 312) 40 полюсного наконечника, поддерживающий упомянутую, по меньшей мере, одну внутреннюю катушку (113, 115) поля выбора и фокусировки, и, по меньшей мере, два внешних сегмента (116-119) полюсных наконечников, расположенных на большем расстоянии от упомянутой оси (115а) внутренней катушки, и каждый из которых поддерживает одну из упомянутых, по меньшей мере, двух внешних катушек (116-119) 45 поля выбора и фокусировки.

8. Устройство (100) по п. 6, в котором упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник (310, 320) содержит, по меньшей мере, четыре внешних сегмента (313-316) полюсных наконечников, каждый из которых поддерживает внешнюю катушку (116-

119) поля выбора и фокусировки.

9. Устройство (100) по п. 6, в котором упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник содержит четыре внешних сегмента полюсных наконечников, каждый из которых поддерживает внешнюю катушку (116-119) поля выбора и фокусировки, причем упомянутые внешние сегменты (313-316) полюсного наконечника располагаются на одном и том же расстоянии от оси (115а) внутренней катушки, но под углом 90° относительно друг друга.

10. Устройство (100) по п. 6, в котором упомянутый, по меньшей мере, один полюсный наконечник (310, 320) содержит второй внутренний сегмент (312) полюсного наконечника в форме замкнутого кольца вокруг упомянутого первого внутреннего сегмента (311) полюсного наконечника, причем упомянутый второй сегмент (312) полюсного наконечника поддерживает упомянутую вторую внутреннюю катушку (113) поля выбора и фокусировки.

11. Устройство (100) по п. 6, в котором, по меньшей мере, один внутренний сегмент (311, 312) полюсного наконечника и передние участки (313h, 314h) внешних сегментов (313, 314) полюсных наконечников, обращенные к области (230) обследования, выполнены из магнитомягкого материала, имеющего высокую индукцию насыщения, в частности FeCo, Fe, FeNi, Dy, Gd или их сплава, такого как $Fe_{49}V_{1.9}Co_{49}$.

12. Устройство (100) по п. 6, в котором задние участки (313t, 314t) внешних сегментов (311, 314) полюсных наконечников, обращенные от области (230) обследования, и ярмо (317) полюсных наконечников выполнены из магнитомягкого материала, имеющего пониженную индукцию насыщения, по сравнению с материалом внутренних сегментов (311, 312) полюсных наконечников, в частности из FeSi, FeNi, пермаллоя или их сплава, такого как $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$.

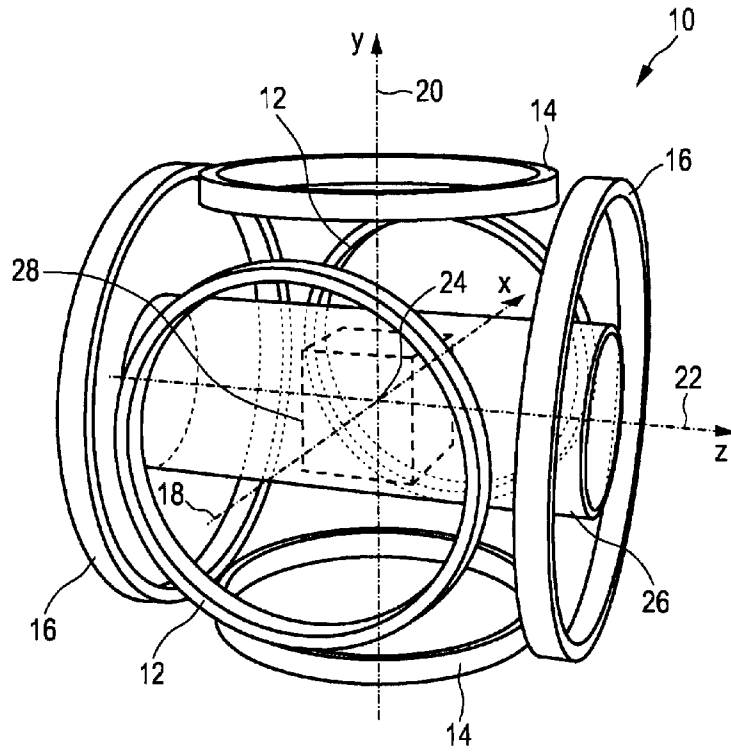
13. Устройство (100) по п. 6, в котором полюсные наконечники выполнены из магнитопроводящих листов, причем листы, образующие внутренние сегменты (311, 312) полюсных наконечников, и соседний передний участок (317h) ярма (317) полюсных наконечников расположены в направлении, параллельном оси (115а) внутренней катушки.

14. Устройство (100) по п. 6, в котором поперечное сечение, перпендикулярное упомянутой оси (115а) внутренней катушки, проходящее через передний участок (313h, 314h) упомянутых внешних сегментов (313, 314) полюсных наконечников, обращенных к упомянутой области (230) обследования, охватывает большую область, чем параллельное поперечное сечение, проходящее через задний участок (313t, 314t) упомянутых внешних сегментов (313, 314) полюсных наконечников, обращенных от упомянутой области (230) обследования.

15. Устройство (100) по п. 6, содержащее, по меньшей мере, два полюсных наконечника (310, 320), расположенных по разным сторонам упомянутой области обследования, причем каждый полюсный наконечник (310, 320) имеет множество сегментов (311-316) полюсных наконечников, поддерживающих различные катушки поля выбора и фокусировки и ярмо (317) полюсных наконечников, соединяющее упомянутые сегменты (311-316) полюсных наконечников.

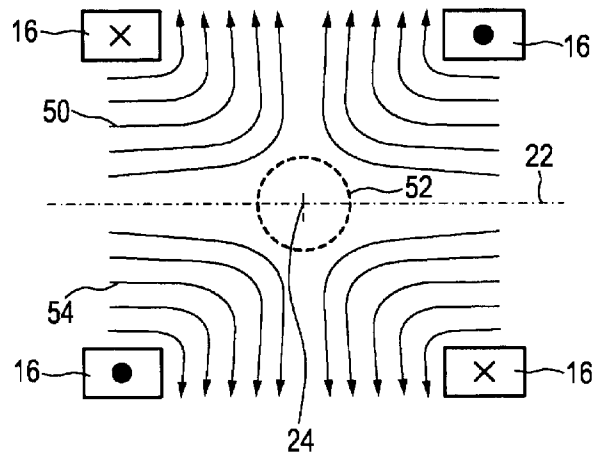
45

1/25



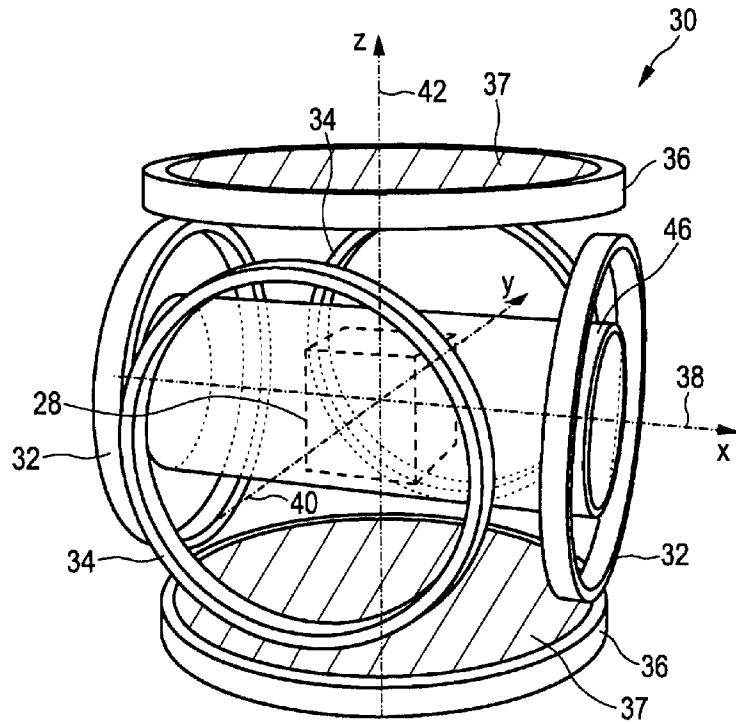
ФИГ. 1

2/25



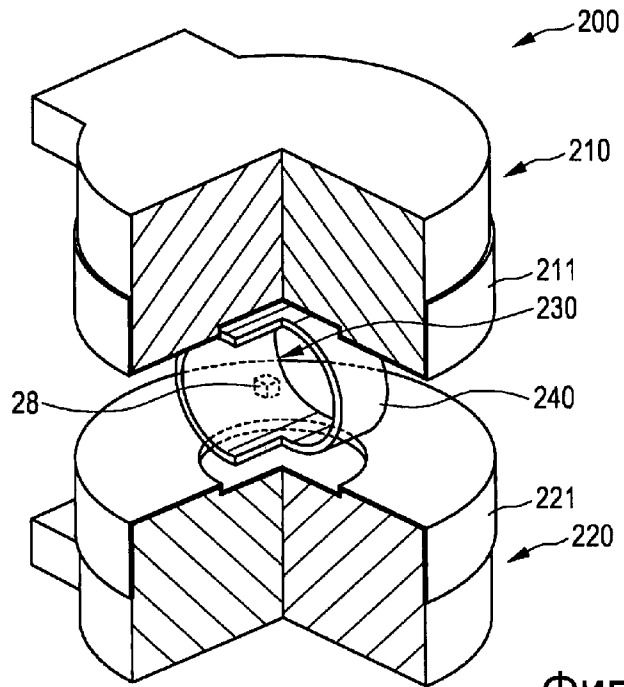
Фиг.2

3/25

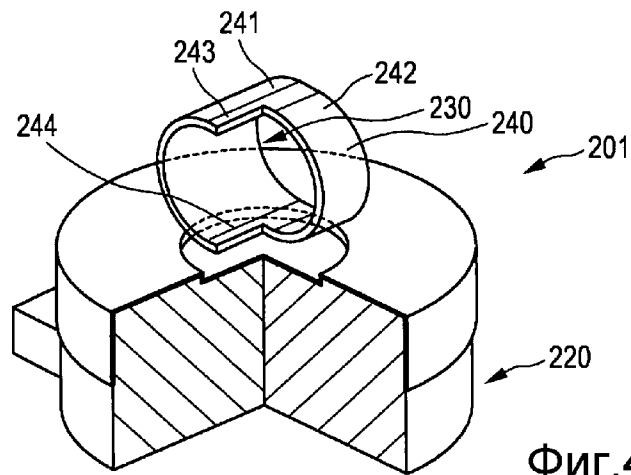


Фиг.3

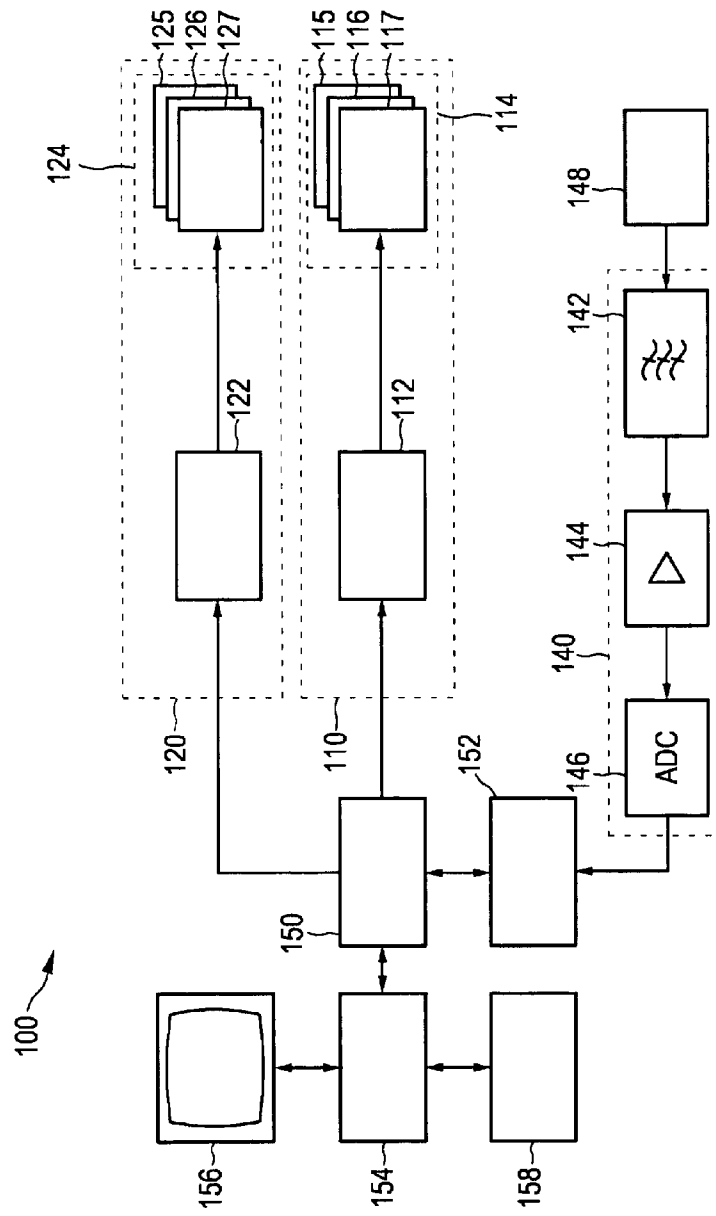
4/25



Фиг.4А

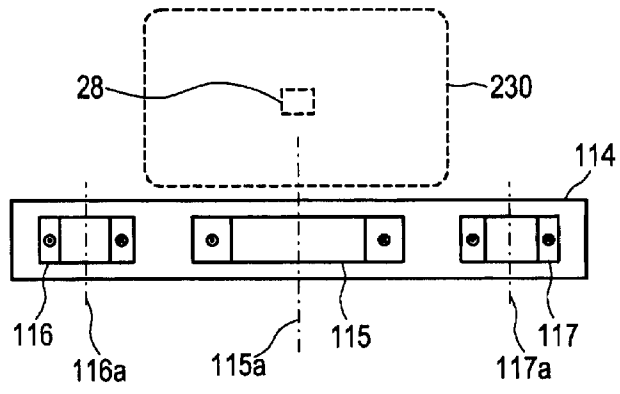


Фиг.4В

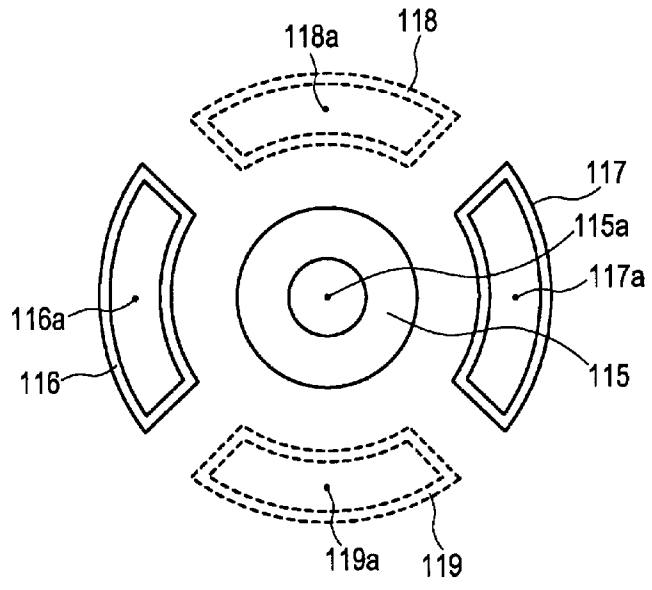


ФИГ.5

6/25

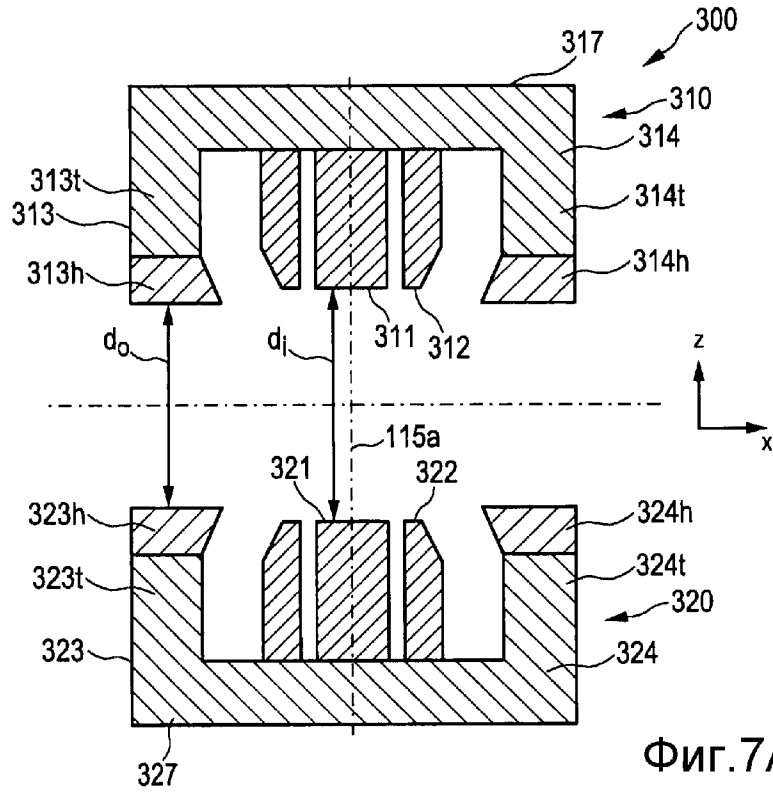


Фиг.6А

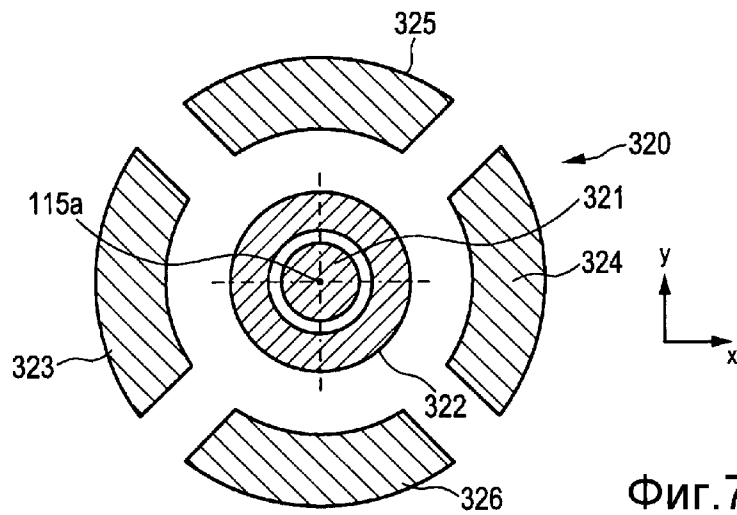


Фиг.6В

7/25

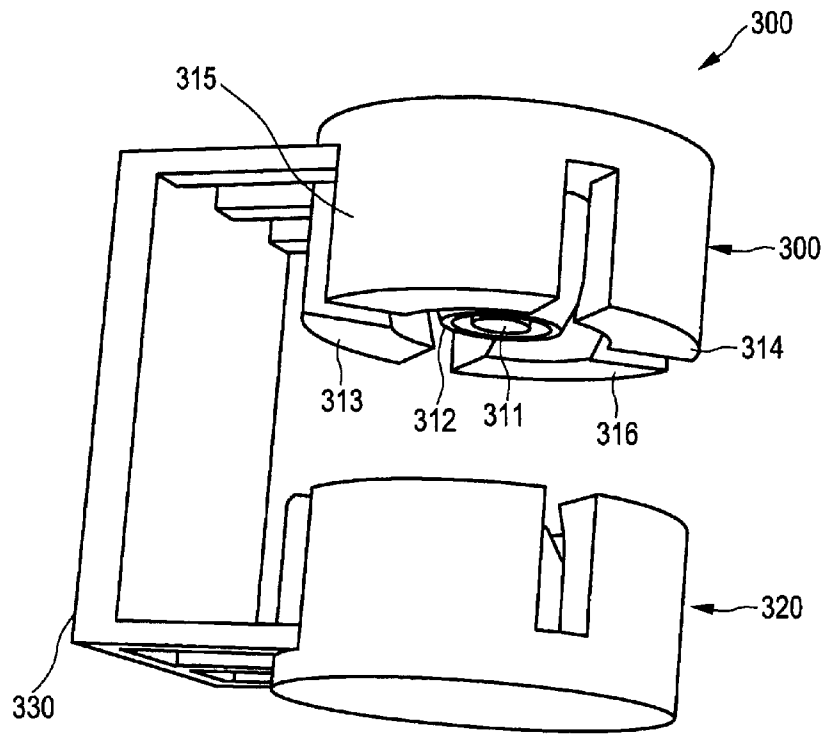


Фиг.7А



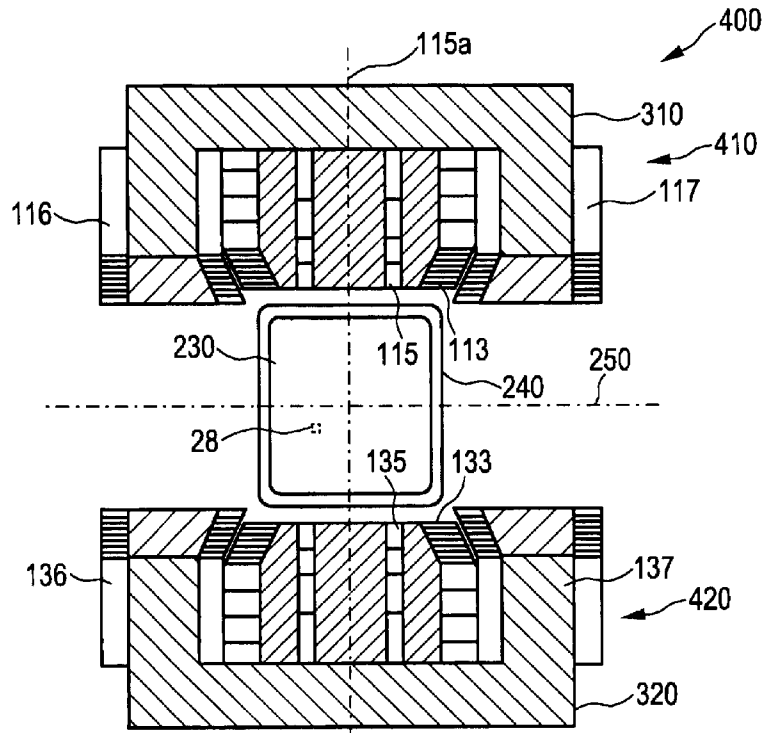
Фиг.7В

8/25

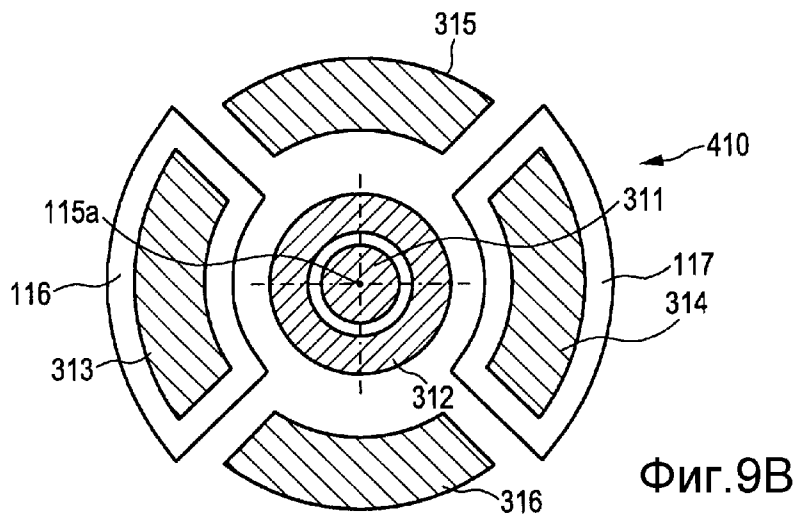


Фиг.8

9/25

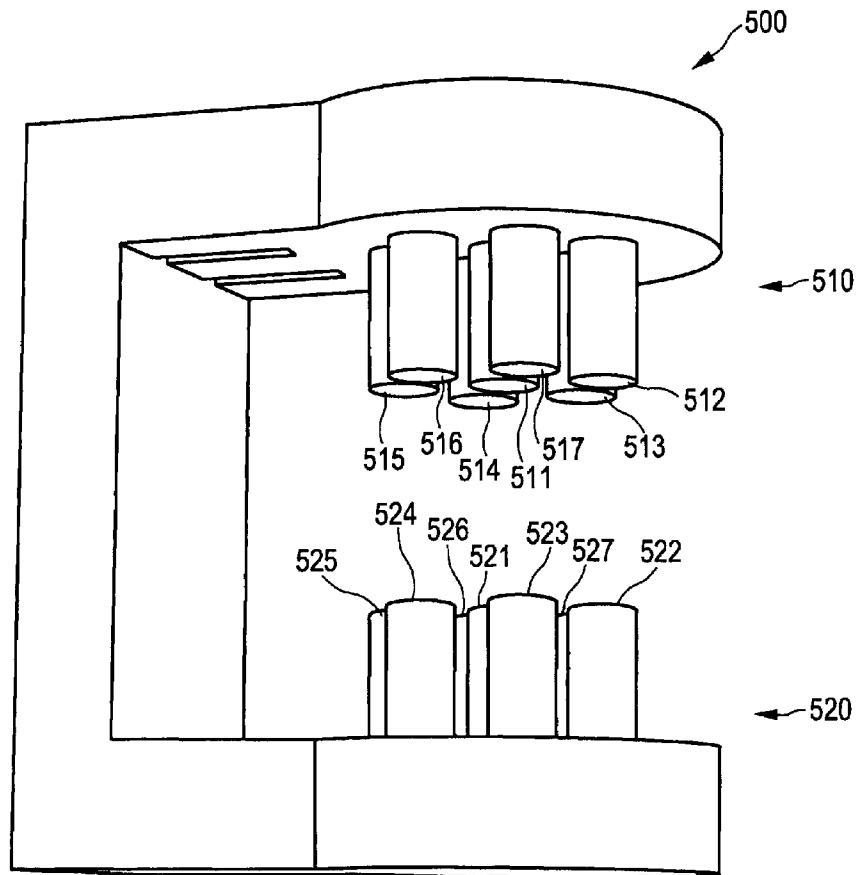


Фиг.9А



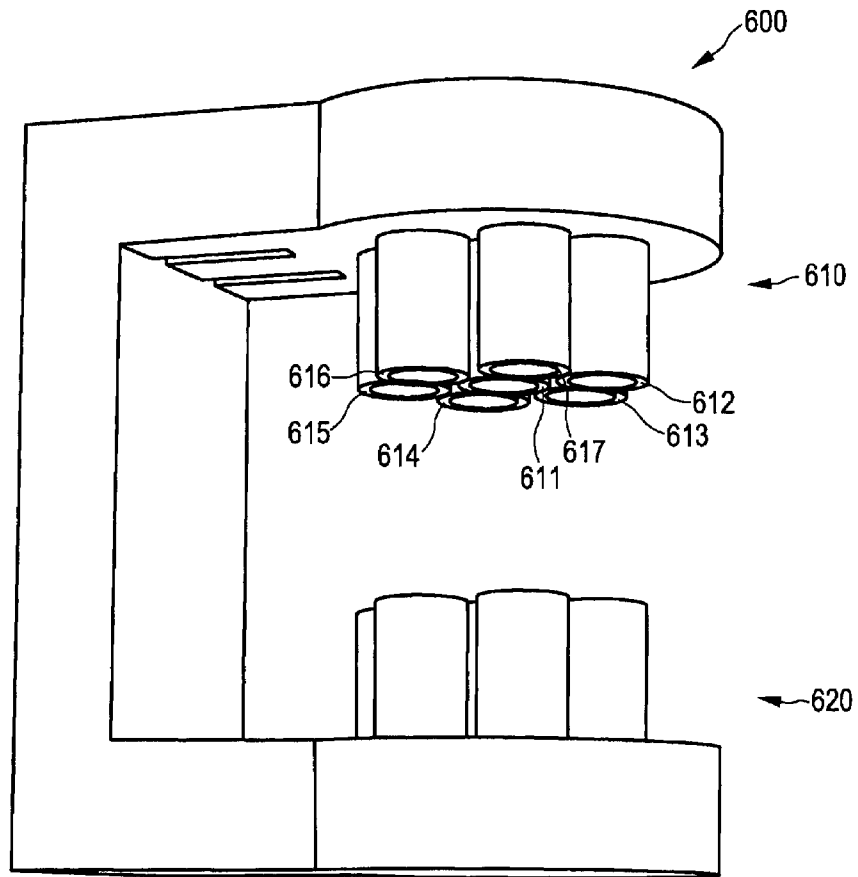
Фиг.9В

11/25



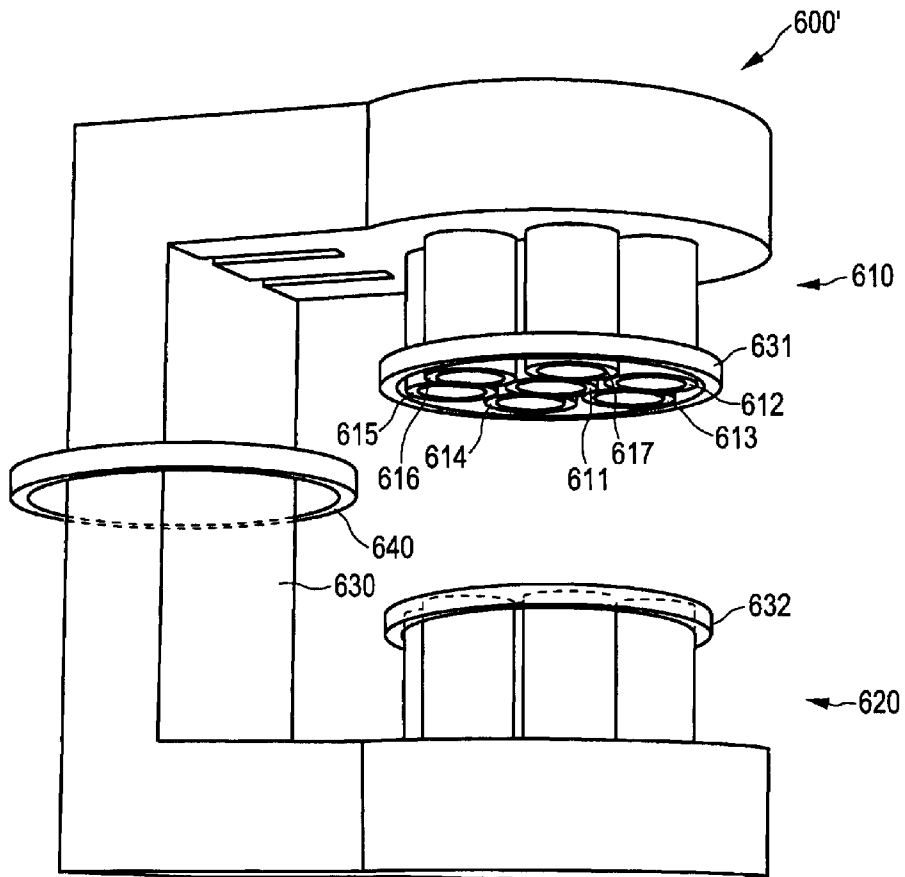
Фиг.11

12/25



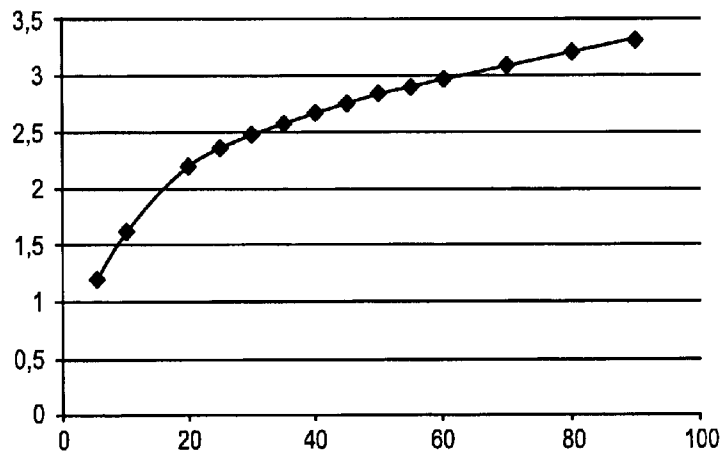
Фиг.12

13/25



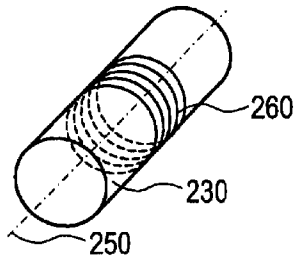
Фиг.13

14/25

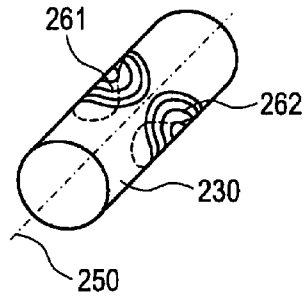


Фиг.14

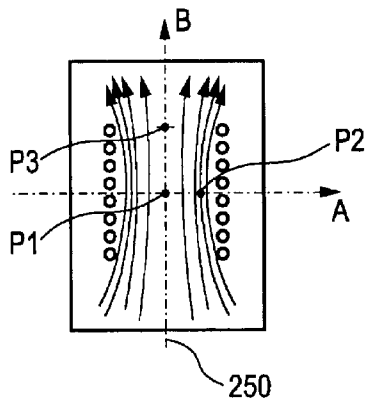
15/25



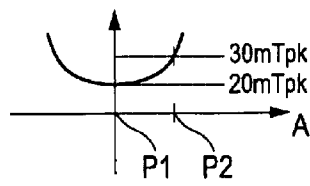
Фиг.15А



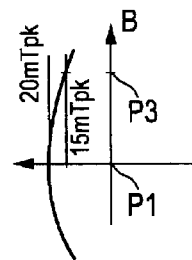
Фиг.15В



Фиг.16

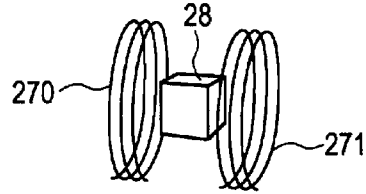


Фиг.17А

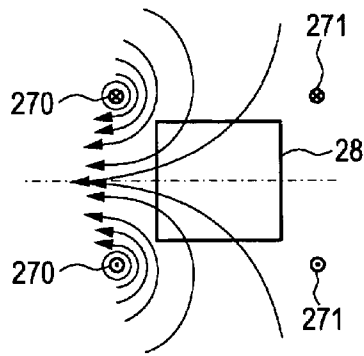


Фиг.17А

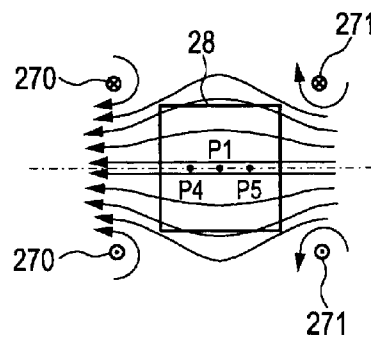
16/25



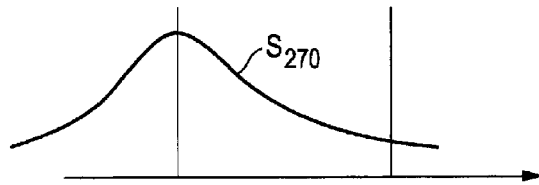
Фиг.18



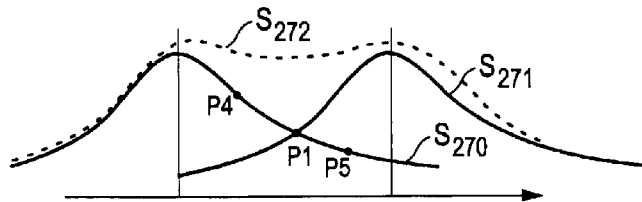
Фиг.19А



Фиг.19В

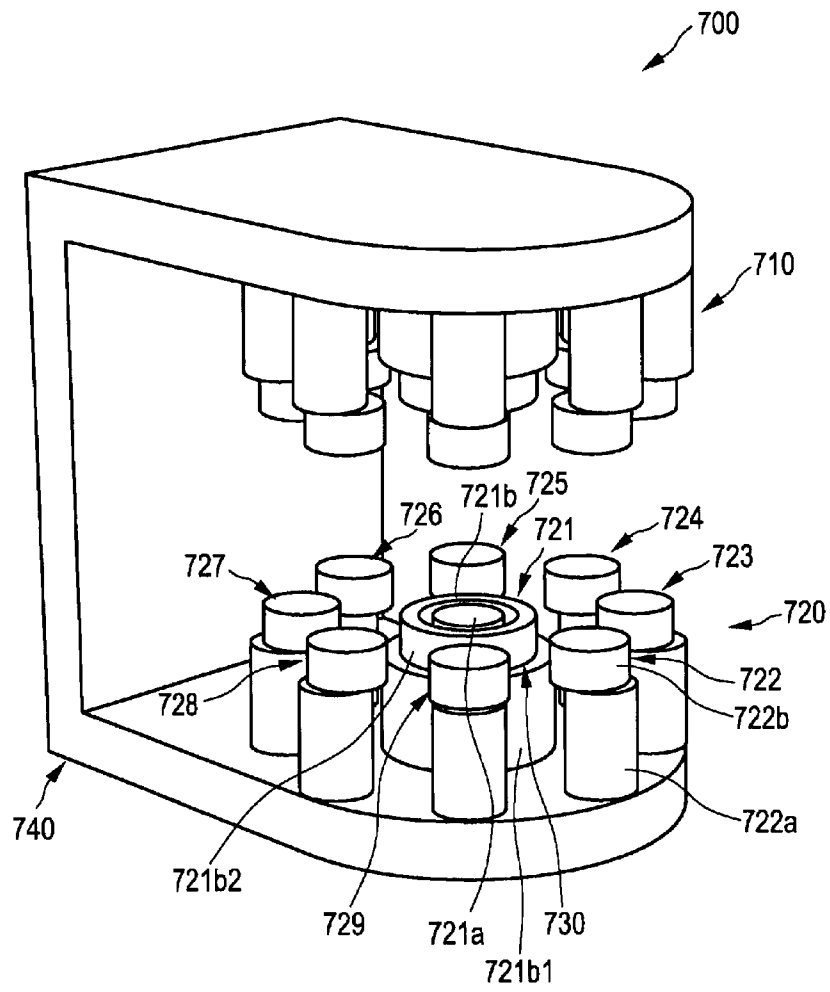


Фиг.20А



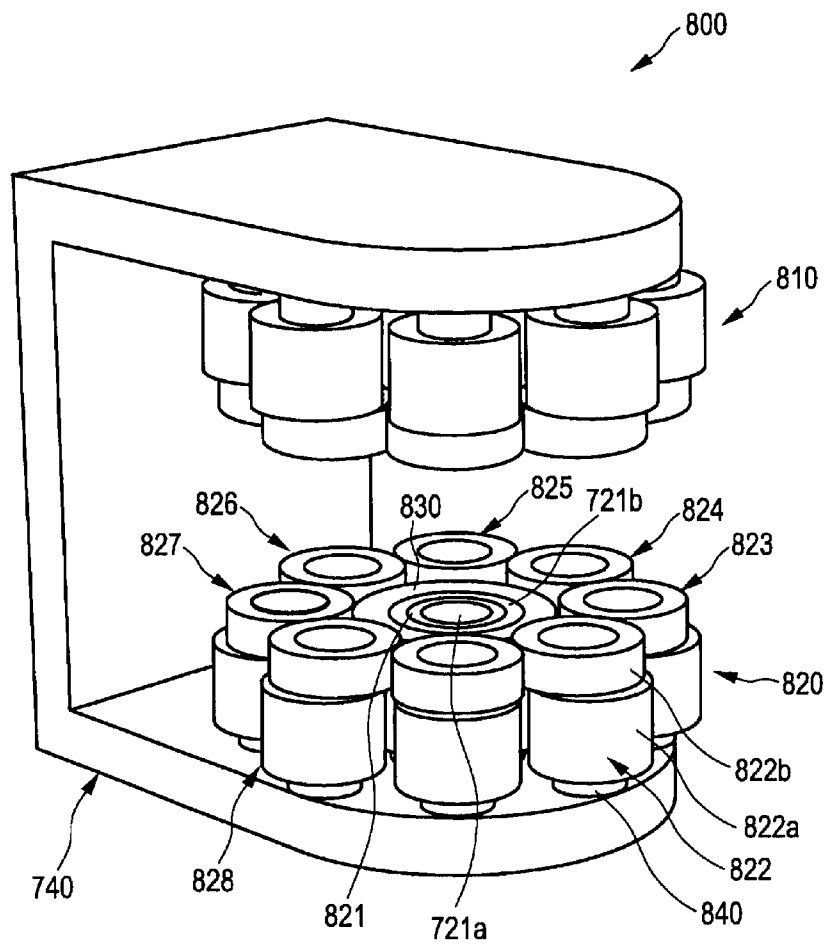
Фиг.20В

17/25



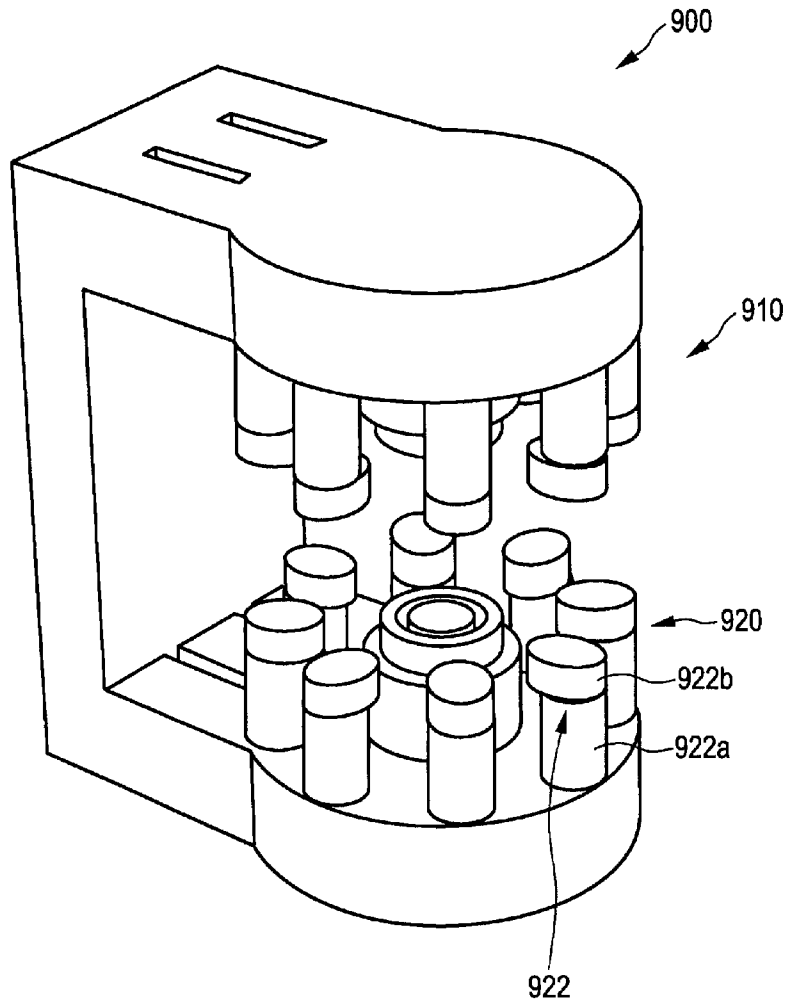
Фиг.21

18/25



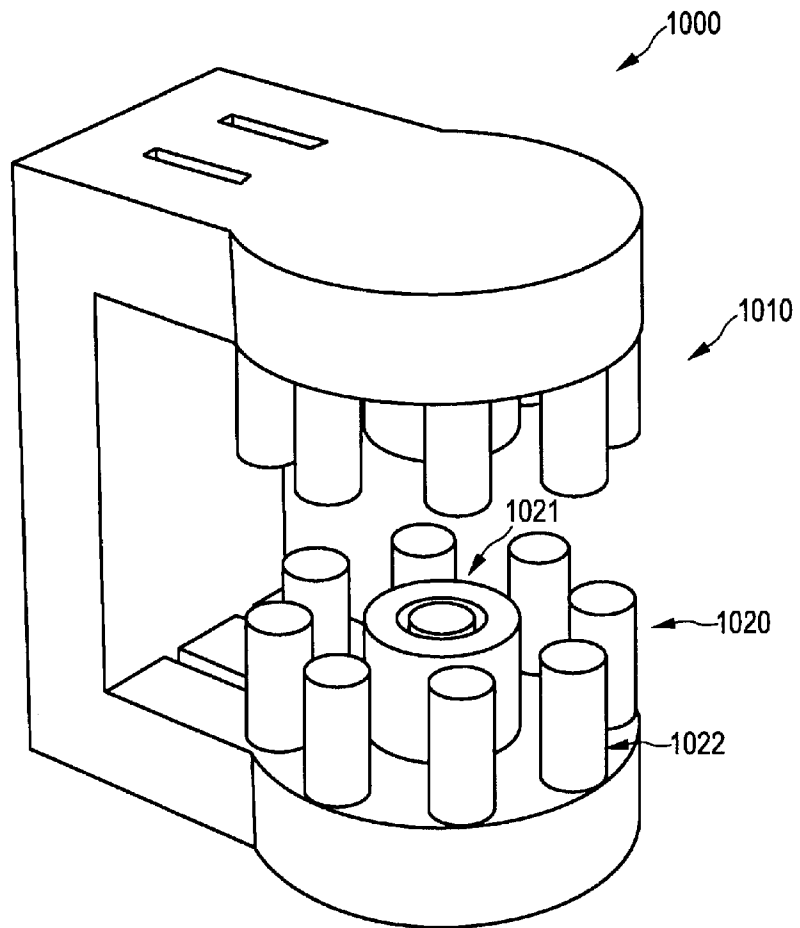
Фиг.22

19/25



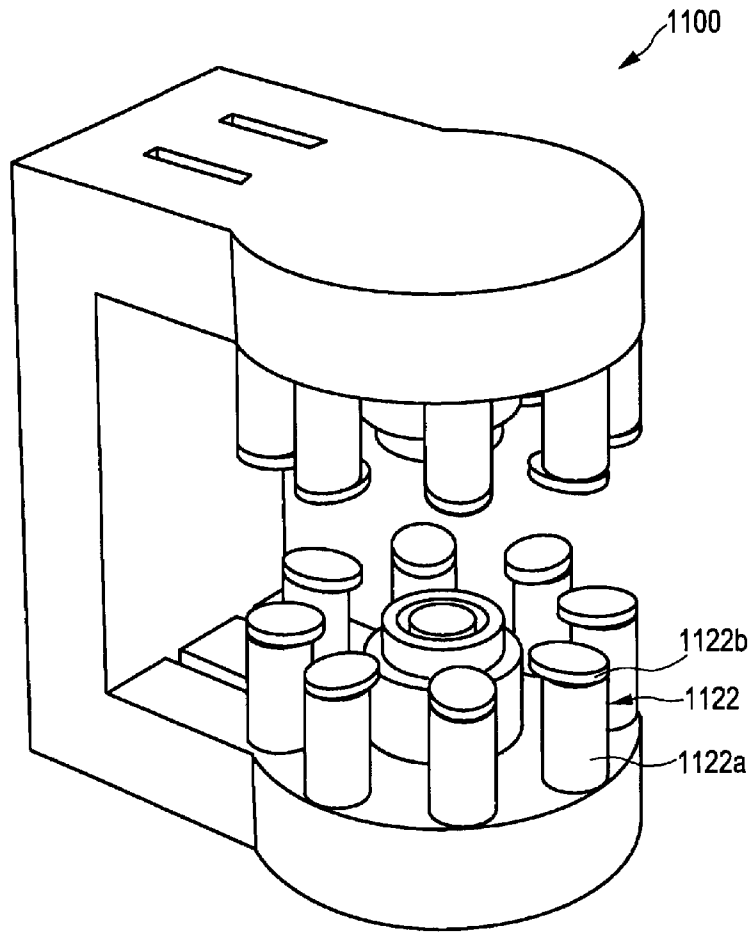
Фиг.23

20/25



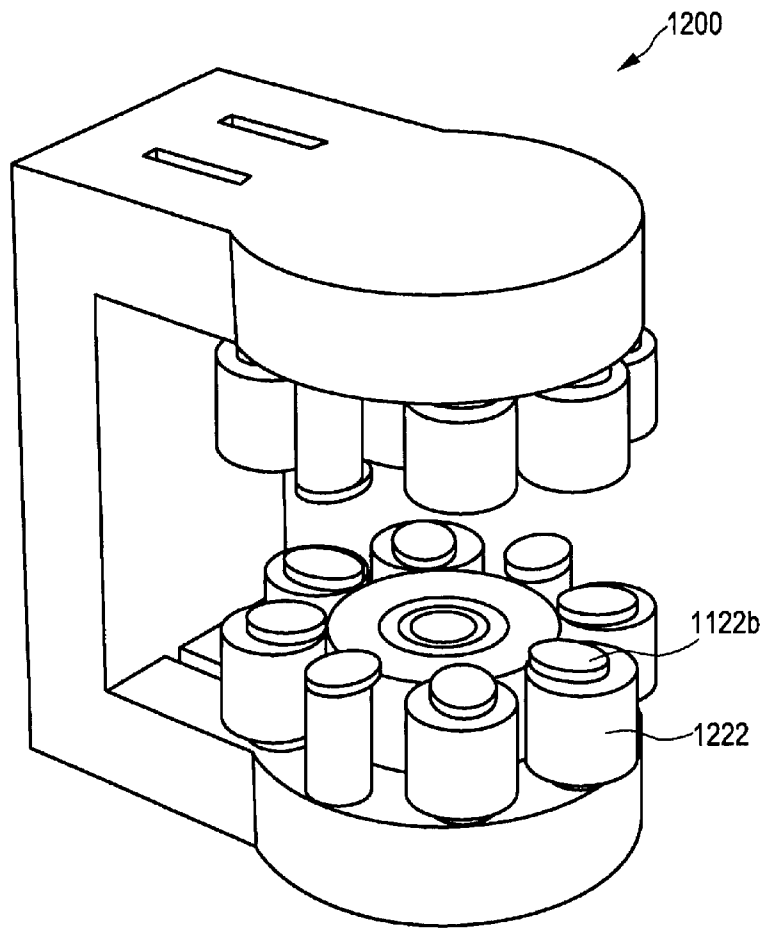
Фиг.24

21/25



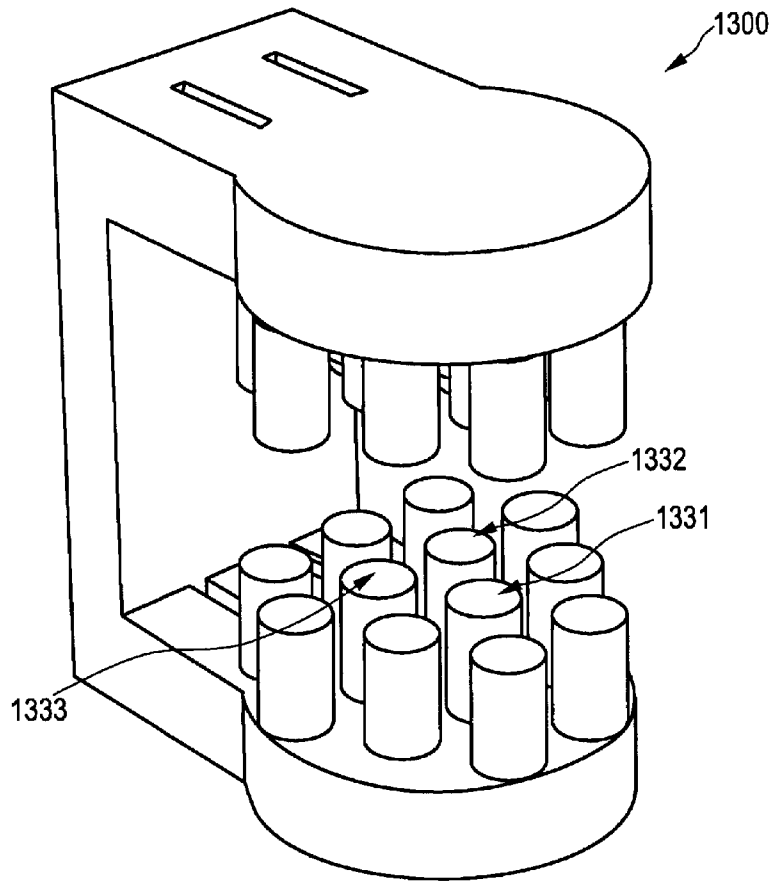
Фиг.25

22/25



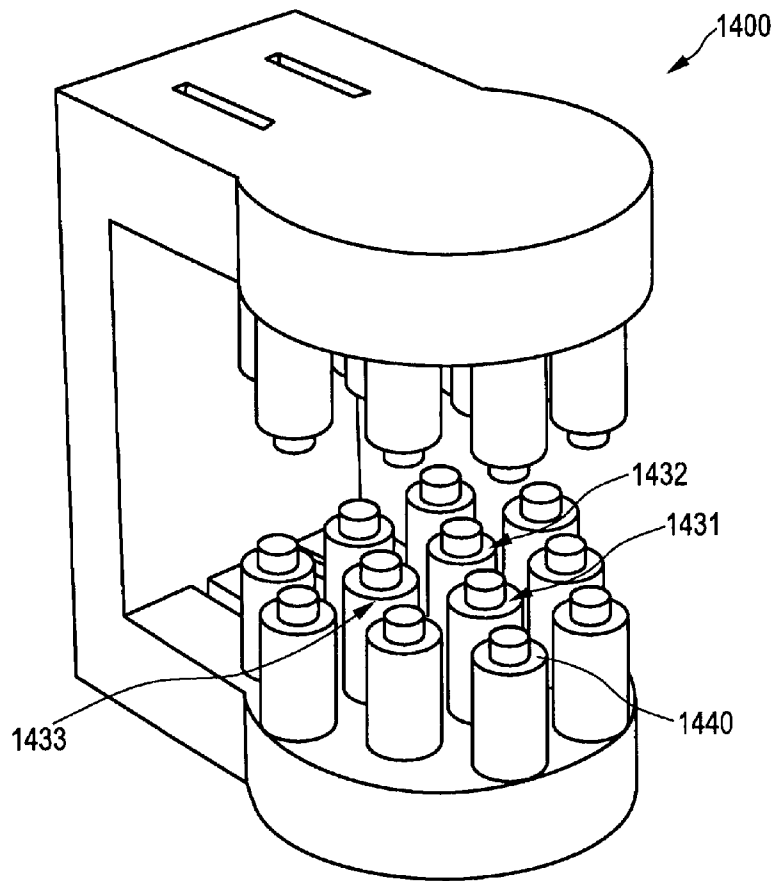
Фиг.26

23/25



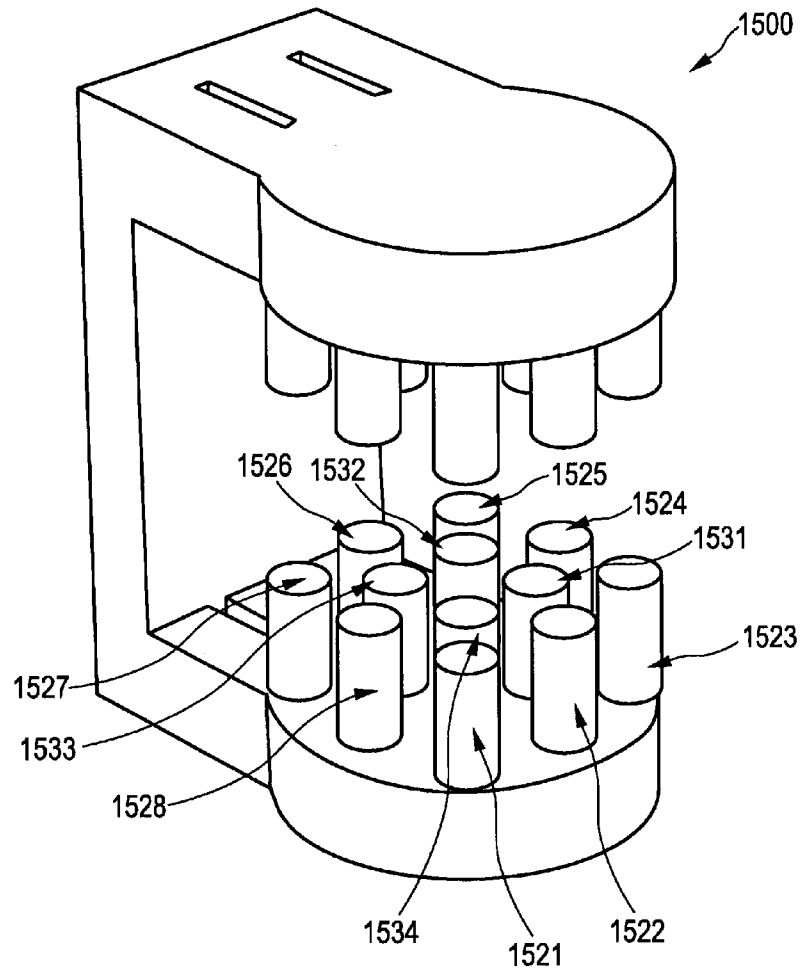
Фиг.27

24/25



Фиг.28

25/25



Фиг.29