

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038605**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.09.22

(51) Int. Cl. **G01V 3/10** (2006.01)

(21) Номер заявки
201892574

(22) Дата подачи заявки
2017.05.15

**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ
ОБЪЕКТОВ ПОД ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

(31) **10 2016 108 988.5**

(32) **2016.05.13**

(33) **DE**

(43) **2019.06.28**

(86) **PCT/EP2017/061629**

(87) **WO 2017/194788 2017.11.16**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ХАЙНРИХ ХИРДЕС ГМБХ (DE)

(72) Изобретатель:
Кёльбель Ян (DE)

(74) Представитель:
**Веселицкая И.А., Веселицкий М.Б.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) Anonymous: "Test report: demonstration of BLU-26 detection systems for UXO Lao", Geneva International Centre for Humanitarian Demining July 2015 (2015-07), pages 1-84, XP002772795, Retrieved from the Internet: URL:https://www.gichd.org/fileadmin/GICHD-resources/rec-documents/UXO_Lao_Detection_Trial-Test_Report-Bold.pdf [retrieved on 2017-08-04] page 44 page 59 - page 61

Anonymous: "Gap EOD Explosive Ordnance Detection", GapEOD, 2015, pages 1-2, XP002772796, Retrieved from the Internet: URL:http://www.gapgeo.com/media/18166/eod-uxo-deep-bombs_v2.pdf [retrieved on 2017-08-04] the whole document

US-A1-2002030492
WO-A1-02067015
US-A1-2003034778
WO-A1-2014159126
WO-A1-2012129654

(57) В изобретении описано устройство для обнаружения электропроводящих объектов под земной поверхностью, и в частности для обнаружения неразорвавшихся боеприпасов, а также описан соответствующий способ. С целью создания устройства и способа для получения более детальных характеристик металлического объекта предусматривается, что первичное электромагнитное поле, ориентированное только в направлении z, генерируется катушкой (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения, простирающейся в плоскости x-y, для передачи электромагнитных импульсов в какую-либо область (F, f) грунта, точно определяемую с помощью географических координат или координат местоположения, причем используется приемник (2) для измерения ответного электромагнитного импульса, испускаемого в качестве реакции на поступление электромагнитных импульсов и обусловленного вихревыми токами, возникающими в металлическом объекте (S), а в качестве приемников (2) используется группа приемных кубических 3D-катушек (5), распределенных по существу в плоскости x-y катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения и предназначенных для регистрации каждого локального ответного импульса в месте расположения каждой приемной 3D-катушки (5), причем катушка (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения и приемные 3D-катушки (5) перемещаются как единый узел (7), а ответные импульсы сохраняются и/или оцениваются с определением точных координат текущего местоположения.

038605 B1

038605 B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу обнаружения электропроводящих объектов под земной поверхностью, и в частности к способу обнаружения неразорвавшихся боеприпасов и к соответствующему устройству.

Уровень техники

Из уровня техники известны различные принципы обнаружения электропроводящих объектов, скрытно лежащих под земной поверхностью. Чрезвычайно важную область применения способов и устройств, основанных на этих принципах, представляет собой обнаружение неразорвавшихся боеприпасов. В контексте настоящего описания под неразорвавшимися боеприпасами понимаются в первую очередь неразорвавшиеся снаряды и разрушившиеся бомбы или так называемые частично детонировавшие фугасные снаряды и авиационные бомбы; все вышеупомянутые группы могут представлять собой серьезную опасность для людей и окружающей среды даже спустя многие десятилетия.

Способы, основанные на индуцировании электромагнитных импульсов, доказали свою полезность, среди прочего в качестве средства локализации металлических и наряду с этим даже неферромагнитных объектов, поскольку эти способы существенно превосходят чисто магнитное зондирование. В процессе такого обнаружения неразорвавшихся боеприпасов электромагнитные импульсы передаются посредством катушки возбуждения в какую-либо область грунта, точно определяемую, как правило, с помощью географических координат. Приемная катушка измеряет ответный электромагнитный импульс, обусловленный вихревыми токами, возникающими в металлических объектах в качестве реакции на поступление возбуждающего электромагнитного импульса. По этому ответному импульсу можно, в принципе, определить размер, положение и глубину залегания металлического объекта. Характеристика затухания (кривая спада) ответного импульса со временем может быть использована, кроме прочего, в качестве критерия при определении толщины металлического слоя (см., кроме прочего, Дж.Д. Макнил (J.D. McNeill), Техническое примечание TN-7 "Применение методов, основанных на нестационарных электромагнитных процессах", компания Geonics Ltd., Онтарио, Канада).

Сущность изобретения

Задачей настоящего изобретения является создание устройства и способа для дальнейшего повышения возможностей обнаружения с целью получения более детальных характеристик электропроводящего объекта при меньших трудовых затратах.

Эта задача решается в соответствии с признаками, указанными в п.1 формулы изобретения, с помощью способа обнаружения электропроводящих объектов под земной поверхностью, и в частности обнаружения неразорвавшихся боеприпасов путем использования катушки возбуждения для передачи электромагнитных импульсов в какую-либо область грунта, точно определяемую с помощью географических координат или координат местоположения, и измерения приемником ответного электромагнитного импульса, обусловленного вихревыми токами, возникающими в металлическом объекте в качестве реакции на поступление электромагнитных импульсов, причем первичное электромагнитное поле имеет главную магнитную ось, ориентированную по существу вдоль направления z прямоугольной системы координат, и генерируется путем возбуждения катушки возбуждения, простирающейся, или расположенной, в плоскости x - y , причем группа приемных 3D-катушек, распределенных по существу в плоскости x - y катушки возбуждения, используется для одновременной и взаимно независимой электрической регистрации каждого локального ответного импульса в месте расположения каждой приемной 3D-катушки, катушка возбуждения и приемные 3D-катушки перемещаются как единое устройство, а ответные импульсы и характеристики (кривые) их затухания по трем осям пространственной системы координат сохраняются и/или оцениваются с определением точных координат текущего местоположения. Следовательно, согласно изобретению возбуждение только одной передающей катушки приводит к генерированию в исследуемой области грунта электромагнитного поля, ориентированного в этой области только в направлении z . С этой целью передающую катушку располагают в плоскости x - y . Как известно, магнитное поле характеризуется замкнутыми силовыми линиями существенно эллиптической формы и, кроме того, напряженность этого поля убывает пропорционально кубу расстояния. Данное поле оказывает возмущающее воздействие на металлический объект в грунте, причем компоненты этого воздействия по направлениям x , y и/или z зависят от расстояния и положения относительно передающей катушки. Поэтому ответный импульс металлического объекта-препятствия тоже содержит, как правило, компоненты во всех трех пространственных направлениях, даже если возбуждающее воздействие оказывается на него только в направлении z . В приемной 3D-катушке, называемой также трехосной приемной кубической катушкой, три компоненты ответного импульса можно измерить независимо и отдельно друг от друга по кривым их затухания. На основе этих измерений компонент ответного импульса и их соответствующей интенсивности в трех пространственных направлениях или по осям прямоугольной системы координат, а также соответствующих кривых затухания, можно вывести заключение о трехмерной форме металлического объекта и его положении в пространстве. Трехмерные приемные катушки, располагаемые для измерений в разных положениях, выдают существенно отличающиеся ответные импульсы на один и тот же переданный импульс. Таким образом, за один проход с возбуждением посредством только одного импульса из передающей катушки в целом выполняется столько параллельных измерений, сколь-

ко имеется приемных 3D-катушек, распределенных в данной области плоскости $x-y$. Это значительно экономит время и энергию, требуемые для размещения единственной приемной катушки в новом положении и повторной посылки передаваемого импульса.

Исходя из ряда таких трехмерных оценок, основанных на регистрации соответствующих ответных импульсов группой приемных 3D-катушек, распределенных в данной области плоскости $x-y$, получают в одном интервале измерения большое число ответных импульсов, соответствующих разным точкам в охватываемой области. Таким образом, больший масштаб изображения, получаемого для каждого интервала измерения, соответствующего одному местоположению, и показывающего возможное нахождение в ней неразорвавшихся боеприпасов и других металлических объектов, обусловлен добавлением не одного-единственного "мозаичного элемента", а, напротив, целого ряда таких элементов, содержащих блоки информации, получаемой немедленно в результате всего лишь единственного измерения с увеличенным разрешением для данного местоположения, причем число этих "мозаичных элементов" соответствует числу приемных 3D-катушек, распределенных в данной области, где используется группа таких приемных 3D-катушек, размещенных в плоскости $x-y$ упомянутой катушки возбуждения внутри и снаружи последней. Так, в качестве одной из составных частей оценки этих блоков информации можно с большей достоверностью определить трехмерную форму металлического объекта. В этом случае в дополнение к информации о глубине залегания и положении в пространстве или в грунте данные о цилиндрическом или усеченно-коническом внешнем контуре при определенном соотношении длины и диаметра представляют собой очень важное указание на присутствие неразорвавшегося снаряда, тогда как отклонение от вращательной симметрии указывает на присутствие частично детонировавших взрывчатых веществ или разрушившихся бомб, а существенное нарушение симметрии - на присутствие металлических объектов, которые могут быть признаны неопасными. Следовательно, сделан важный шаг вперед от методики чистого прощупывания с целью поиска неразорвавшихся боеприпасов в каком-либо районе к методике, позволяющей обнаружить и охарактеризовать металлические объекты-препятствия как возможно являющиеся неразорвавшимися боеприпасами.

В одном варианте осуществления изобретения в качестве приемников используются компактные приемные узлы в форме кубических приемных 3D-катушек, каждый из которых оснащен тремя катушками, имеющими главные магнитные оси, взаимно ортогональные друг другу.

В другом варианте осуществления изобретения несколько катушек возбуждения расположено таким образом, что эти катушки смещены друг относительно друга с лишь частичным перекрытием в плоскости $x-y$ и предпочтительно активируются последовательно со сдвигом во времени друг относительно друга.

Поскольку приемные 3D-катушки распределены преимущественно в плоскости $x-y$ катушки возбуждения, эта конструкция перемещается как механически скомпонованное устройство. В процессе этого перемещения реакция на возбуждающее воздействие сохраняется и/или оценивается в форме трех импульсов с точной регистрацией координат текущего местоположения для каждой приемной 3D-катушки. Как более подробно описано ниже применительно к одному из примеров осуществления изобретения, возбуждение в течение сравнительно короткого времени первичным полем передающей катушки с получением измеряемых ответных импульсов позволяет реализовать квазистационарный метод измерения. Другими словами, в процессе измерения устройство, состоящее из катушки возбуждения и приемных 3D-катушек, распределенных в плоскости $x-y$ катушки возбуждения, движется, или перемещается, как целостная, механически скомпонованная система (в частности, как жесткая конструкция) со скоростью приблизительно 0,5 м/с и даже выше.

Таким образом, для решения указанной задачи устройство, предназначенное для обнаружения неразорвавшихся боеприпасов, содержит

катушку возбуждения, расположенную в плоскости $x-y$ и предусмотренную для генерирования первичного электромагнитного поля только в направлении z с целью передачи электромагнитных импульсов в какую-либо область грунта, точно определяемую на основе географических координат или координат местоположения,

группу приемных 3D-катушек, распределенных по существу в плоскости $x-y$ катушки возбуждения и предусмотренных для одновременной и взаимно независимой электрической регистрации трех пространственных компонент каждого локального ответного импульса в форме отдельных сигналов и соответствующих характеристик их затухания со временем,

причем катушка возбуждения и приемные 3D-катушки образуют вместе с устройством для точного определения координат местоположения подвижного или перемещаемого узла, соединенного с устройством для сохранения и/или оценки ответных импульсов.

Для повышения эффективности плоскость $x-y$ передающей катушки располагают, по мере возможности, на земной поверхности, причем плоскость $x-y$, в которой расположены приемные 3D-катушки, по существу соответствует плоскости $x-y$ передающей катушки. Из-за окончательных размеров вышеуказанных составных частей представляется практически сложным, хотя и возможным, расположить все эти составные части (которые к тому же еще и совершают движение) в общей плоскости $x-y$ на земной поверхности. Обсуждение этого вопроса с дополнительными пояснениями приведено ниже в описании

примера осуществления изобретения.

Полезные модификации приведены в зависимых пунктах формулы изобретения. В соответствии с этим в предпочтительном варианте осуществления изобретения используется группа приемных 3D-катушек, расположенных в плоскости x-y внутри и снаружи катушки возбуждения и/или области, охватываемой катушкой возбуждения. Это расширяет область, которую можно использовать для оценки ответного импульса, за пределы размеров соответствующей катушки возбуждения, передающей импульсы в направлении z. Эффективно увеличивая исследуемую область, измерения в этих дополнительных точках позволяют улучшить результат и, следовательно, вносят свой вклад в уточнение трехмерной формы металлического объекта и получение более достоверных характеристик уже в ходе оценки единственного возбуждающего импульса.

Для улучшения покрытия и более тщательного исследования какой-либо конкретной области несколько катушек возбуждения расположено со смещением друг относительно друга в плоскости x-y, причем эти катушки предпочтительно активируются последовательно со сдвигом во времени друг относительно друга. Интервалы времени используются для исключения взаимного влияния или искажения результатов измерений пространственно-разнесенными возбуждающими импульсами. В контексте вышеупомянутого квазистационарного метода один проход в рамках цикла измерений, включающий передачу первичного импульса и регистрацию ответного импульса, является столь непродолжительным, что немедленно после него может быть выполнено по меньшей мере еще одно возбуждение, покрывающее по существу ту же область и осуществляемое катушкой возбуждения, смещенной относительно соответствующей области исследования. Приемные 3D-катушки, расположенные в области, остаются "квазисмещенными" относительно предыдущего измерения с тем, чтобы затем зарегистрировать новые ответные импульсы при измененном возбуждении.

Несколько катушек возбуждения предпочтительно расположено с частичным перекрытием в плоскости x-y. Особенно предпочтительной в данном случае является хронологически последовательная активация нескольких катушек возбуждения в плоскости x-y, выполняемая, в частности, с учетом времени, требуемого для измерения соответствующих ответных импульсов. Система преимущественно состоит из нескольких катушек возбуждения и группы приемных катушек, позволяющих выполнять измерения в движении как квазистатическую измерительную операцию. В результате осуществляется квазистатическое возбуждение (особым образом и под разными углами) грунта, находящегося под соответствующей исследуемой областью. В этом случае взаимодействие всех катушек возбуждения без учета соответствующих ответных импульсов все еще остается быстрым по сравнению с изменением местоположения или скоростью, превышающей приблизительно 0,5 м/с. Поэтому получаемые результаты характеризуются достаточно высокой точностью в отношении соответственно определенного местоположения (геопозиции).

Катушки возбуждения и приемные 3D-катушки образуют электромеханический узел, который обладает компактностью и малым весом, несмотря на его площадь охвата и механическую устойчивость. В одной из своих модификаций в виде модуля такой модуль также используется для установки на устройство, предлагаемое в изобретении, с целью увеличения его рабочей ширины путем увеличения числа соответствующих электрических соединений и улучшения механической стабилизации. В этом смысле описанная выше система имеет модульную конструкцию, как один узел/блок. В частности, на этой основе можно сконструировать (с использованием приспособлений для разборки и складывания) систему, переводимую в компактное транспортное положение в период неиспользования.

Система описанного выше типа предпочтительно применима для использования на суше, на воде или под водой, непосредственно на грунте или с воздуха. Дополнительно к бомбам или минам, ее можно также использовать для обнаружения морских мин или торпед. Кроме того, с ее помощью можно выполнять измерения на определенном расстоянии без какого-либо контакта с грунтом.

Краткое описание чертежей

Прочие отличительные признаки и преимущества изобретения более подробно описаны ниже со ссылками на чертежи. На чертежах схематически показано:

фиг. 1 - вид сбоку распределения силовых линий поля катушки возбуждения, ориентированной в направлении z в двух положениях относительно металлического объекта-препятствия, расположенного в исследуемой области под земной поверхностью;

фиг. 2 - абстрактное изображение (вид сверху) системы/компоновки, включающей катушки возбуждения и приемные 3D-катушки;

фиг. 3А-Г - система (вид сверху), включающая катушки возбуждения и приемные 3D-катушки и соответствующая первому варианту осуществления изобретения (фиг. 3А), система, показанная на фиг. 3А, с добавленными приемными 3D-катушками (фиг. 3Б), вид сбоку системы, показанной на фиг. 3Б (фиг. 3В), и изометрическое изображение системы, показанной на фиг. 3Б и В (фиг. 3Г);

фиг. 4 - система (вид сверху), включающая катушки возбуждения и приемные 3D-катушки и соответствующая одной из модификаций показанного на фиг. 3Б варианта осуществления изобретения, используемой в качестве базового модуля в исполнении с увеличенной рабочей шириной;

фиг. 5 - вид сверху устройства, содержащего стационарную передающую катушку и подвижную приемную катушку и обеспечивающего реализацию способа, известного из уровня техники.

На всех чертежах для схожих элементов использованы одни и те же численные ссылочные обозначения.

Подробное описание осуществления изобретения

Приведенное ниже описание сосредоточено лишь на поиске неразорвавшихся боеприпасов, что обусловлено упомянутым выше очень высоким потенциальным риском и почти невообразимым количеством потенциально опасных мест. Нельзя, однако, в принципе исключать и альтернативные возможности использования способов и устройств, предлагаемых в изобретении, в таких областях применения как археология, разведка полезных ископаемых и определение местоположения кабелей или подземных магистральных трубопроводов.

На фиг. 5 представлен вид сверху устройства, предназначенного для реализации индукционного способа, известного из уровня техники и служащего для обнаружения объектов, состоящих из электропроводящего материала (в форме объекта-препятствия S). В предположении, что объект-препятствие S присутствует в грунте под земной поверхностью F, требуется обнаружить его или, по меньшей мере, исследовать более тщательно до начала земляных работ, чтобы надежно исключить возможную опасность. Данный способ существенно превосходит известное магнитное зондирование в том, что он в принципе позволяет обнаружить неферромагнитные объекты, такие как "магнитно-невидимые" бомбы, мины с корпусом из алюминия или гранаты и другие взрывчатые изделия с наружными корпусами, состоящими из латуни и т.п.

Большая передающая катушка 1, обеспечивающая покрытие области f, устанавливается стационарным образом на поверхности зоны F грунта, подлежащей исследованию на всем ее протяжении. Затем передающая катушка 1 генерирует магнитное поле B с главной магнитной осью, ориентированной в направлении z - строго перпендикулярно к земной поверхности, образующей поверхность измерения, лежащую в плоскости x-y (в прямоугольной системе координат). Такая начальная установка, использованная на всех чертежах и во всех вариантах осуществления изобретения, представленных ниже в настоящем описании, является базовой, даже несмотря на то, что на практике нельзя гарантировать соблюдение такой перпендикулярности. Гашение магнитного поля B выполняют по возможности резко, чтобы в электропроводящих объектах в грунте образовались вихревые токи. Эти вихревые токи, индуцированные в электропроводящих объектах, в свою очередь приводят к образованию электромагнитных полей, обозначенных на фиг. 5 через B' и могущих быть измеренными в виде ответного импульса с помощью приемной катушки 2, главная магнитная ось которой тоже ориентирована в направлении z.

Область f, окруженная передающей катушкой 1, представляет собой подзону зоны F грунта, подлежащей исследованию на всем ее протяжении. Исследование нижележащего грунта в пределах этой подзоны f протекает таким образом, что приемную катушку 2, покрывающую значительно меньшую область Δ, перемещают в процессе отдельных измерений (в каждом из которых передающая катушка 1 посылает отдельный возбуждающий импульс) в пределах подзоны f из одного положения в следующее, пока не будут охвачены все положения в пределах подзоны f, ограниченной передающей катушкой 1. Чем меньше расстояние от электропроводящего объекта-препятствия S до приемной катушки 2, тем сильнее ответный импульс. Путем точной привязки интенсивности измеренных ответных импульсов к соответствующим географическим координатам можно, таким образом, определить положения минимального удаления от возможного объекта-препятствия S или потенциально опасного места, которое характеризуется явным усилением ответного импульса в ходе оценки. Затем в данном месте проводят дополнительные исследования.

Для обеспечения возможности проведения вышеописанных многочисленных операций позиционирования приемную катушку 2 встраивают в жесткую рамную конструкцию 3, выполненную указанным образом и предназначенную для механической стабилизации этой катушки. Эта рамная конструкция 3 переносится по меньшей мере одним человеком или перемещается вручную в виде маленькой тележки 4, как показано на чертеже. Для получения требуемых результатов измерений, точно привязанных к соответствующему положению, подключают тележку 4 (не показано подробно на чертеже) к очень точной глобальной системе позиционирования, в частности через канал связи с GPS. После этого отдельные результаты измерений оценивают путем регистрации точных географических данных с целью локализации участков грунта, могущих скрывать металлические объекты или объекты-препятствия S. После охвата всей области f, определяемой передающей катушкой 1, последнюю перемещают и устанавливают в соответствующем смещенном положении, как это лишь схематически показано на чертеже, причем новая область f, определяемая передающей катушкой 1, характеризуется как дополнительная часть всей исследуемой области F. Затем эту новую область f также проверяют с помощью приемной катушки 2 с привязкой к положению, как описано выше.

Ниже гораздо более подробно описаны в качестве примера варианты осуществления изобретения, позволяющие уменьшить затраты труда и времени при одновременном увеличении возможностей и улучшении результатов. На фиг. 1 представлено, с целью иллюстрации основных принципов изобретения, перспективное изображение распределения поля B катушки 1 возбуждения, ориентированной в направлении z и получающей питание от генератора с электронным управлением или другого источника питания, не показанного в деталях, относительно металлического объекта-препятствия S, расположенно-

го под поверхностью зоны F грунта, подлежащей исследованию. Подзона f , расположенная внутри передающей катушки 1, меньше соответствующей подзоны, показанной на фиг. 5. Поскольку силовые линии магнитного поля имеют эллиптическую форму, магнитное поле B , создаваемое катушкой 1 возбуждения, ориентировано только в плоскости подзоны f , по существу вдоль оси z прямоугольной системы координат. За пределами средней зоны в пространстве отчетливо наблюдаются, наряду с z -компонентой, x -и/или y -компоненты силовых линий магнитного поля. Следовательно, возбуждение в предположительно присутствующем металлическом объекте-препятствии S возникает в виде компонент вдоль всех трех осей пространственной системы координат, то есть, как правило, даже в случае возбуждения посредством электромагнитного импульса, передаваемого только в направлении z . В результате ответный импульс, требуемый для обнаружения металлического объекта-препятствия S , обычно тоже содержит компоненты вдоль всех трех осей пространственной системы координат (x , y и z), каждая из которых характеризуется соответствующим спадом со временем. Если измерение выполняется посредством приемной катушки 2, обладающей чувствительностью только вдоль оси z , то эта ценная информация теряется. С другой стороны, эти составляющие ответного импульса можно благоприятным образом использовать, если применить в качестве приемной системы вместо приемной катушки 2, обладающей чувствительностью только вдоль оси z , так называемую трехкоординатную кубическую приемную катушку 5, как показано на фиг. 1.

Если распределить группу трехкоординатных кубических приемных катушек 5 в подзоне f , окруженной катушкой 1 возбуждения, то вследствие их разных положений относительно предполагаемого объекта-препятствия S (фиг. 1) они, как правило, измеряют составляющие ответного импульса по всем трем осям пространственной системы координат, отличающиеся одна от другой.

Увеличение количества трехкоординатных кубических приемных катушек 5 в подзоне f , окруженной катушкой 1 возбуждения, до числа N дает поэтому (всего для одного электромагнитного импульса, переданного катушкой 1 возбуждения) N значений измерения, полученных от этих трехкоординатных кубических приемных катушек 5 с составляющими сигнала по трем осям x , y и z прямоугольной пространственной системы координат.

Несмотря на то, что напряженность магнитного поля убывает с кубом расстояния, соответствующий ответный импульс может быть, тем не менее, измерен трехкоординатной кубической приемной катушкой 5 даже за пределами передающей, или возбуждающей, катушки 1. В зависимости от смещения двух трехкоординатных кубических приемных катушек 5 друг относительно друга в плоскости зоны F , и в этом случае, эти трехкоординатные кубические приемные катушки 5 регистрируют ответные импульсы, отличающиеся друг от друга и полученные в соответствующих положениях этих катушек в ответ на один и тот же возбуждающий импульс, переданный катушкой 1 возбуждения. Другими словами, целесообразно расположить группу трехкоординатных кубических приемных катушек 5 как внутри, так и снаружи катушки 1 возбуждения. Тогда результаты измерений во всех положениях трехкоординатных кубических приемных катушек 5 можно получить за один проход (характеризуемый передачей одного импульса катушкой 1 возбуждения), без дополнительного изменения положений.

Сформировав комплект трехкоординатных кубических приемных катушек 5, можно также затем разместить над ними несколько катушек 11, 21, 31, ... возбуждения. На фиг. 1 показана в качестве примера вторая катушка 11 возбуждения, находящаяся над подзоной f и занимающая положение, заметно смещенное относительно предполагаемого объекта-препятствия S . Измененное положение катушки 11 возбуждения относительно объекта-препятствия S обуславливает отличающееся распределение поля и, следовательно, отличающееся возбуждение металлического объекта-препятствия S . Это приводит к поступлению соответственно отличающихся ответных импульсов. Следовательно, в случае когда вторая катушка 11 возбуждения посылает идентичный возбуждающий импульс в направлении объекта-препятствия S , обычно каждая из трехкоординатных кубических приемных катушек 5 обеспечивает получение соответствующих значений измерения применительно к компонентам ответного импульса по всем осям пространственной системы координат, причем эти значения отличаются от значений, полученных при возбуждении посредством катушки 1 возбуждения. При условии, что катушки 1 и 11 возбуждения являются структурно-идентичными и всегда передают одни и те же возбуждающие импульсы, можно немедленно выполнить другое измерение, используя результаты всех трехкоординатных кубических приемных катушек 5 и не затрачивая усилий на смещение катушек 1, 11 возбуждения (которые затем необходимо активировать) и воспроизведение такой же схемы размещения группы трехкоординатных кубических приемных катушек 5.

На фиг. 2 показан вид сверху системы/компоновки, включающей катушки возбуждения и группу равномерно распределенных приемных 3D-катушек и соответствующей первому примеру осуществления изобретения. Более конкретно, данная система конструктивно выполнена в виде механического узла/блока 7 в механически устойчивой раме 6 из неэлектропроводящего материала и включает три катушки 1, 11, 21 возбуждения и $N=17$ приемных кубических 3D-катушек 5, по существу совместно расположенных в плоскости x - y в качестве точек измерения непосредственно над земной поверхностью. В ходе единственной операции позиционирования каждая из катушек 1, 11, 21 возбуждения передает в хронологической последовательности возбуждающий импульс в грунт. При успешной активации отдельных ка-

тушек 1, 11, 21 возбуждения импульс распространяется в направлении, показанном на фиг. 2 штриховой стрелкой, даже в случае нахождения рамы 6 в статическом положении. В этом случае для каждого возбуждающего импульса 17 приемных кубических 3D-катушек 5 регистрируют 17*3 кривых измерения. Характерной особенностью системы, показанной на фиг. 2, является такое расположение катушек 1, 11, 21 возбуждения, при котором катушка 11 заметно перекрывает катушки 1 и 21. Тем самым достигается более высокое разрешение, обусловленное получением дополнительных данных измерений при небольшом смещении катушки, вызывающем возбуждение.

В точках измерения, представленных тесно расположенными приемными кубическими 3D-катушками 5, измеряемые сигналы, соответственно распространяющиеся вдоль трех осей пространственной системы координат, затем оцениваются по их силе, а также по интенсивности ответного импульса. Поэтому отклонения, полученные при измерениях в множестве этих точек, могут указывать не только на присутствие объекта-препятствия S. Изменения по трем осям пространственной системы координат позволяют даже получить ясное представление о трехмерной форме и положении объектов-препятствий S и о материале, из которого они состоят. Следовательно, наряду с обнаружением эти данные позволяют получить характеристики объекта-препятствия S на основе приблизительной информации о его геометрической форме. Поскольку неразорвавшиеся снаряды обычно имеют цилиндрический или усеченно-конический внешний контур, их можно идентифицировать с высокой степенью достоверности на основе компьютерной модели и множества значений измерений по трем осям пространственной системы координат. Напротив, отклонения от вращательной симметрии указывают на присутствие разрушившихся бомб или частично детонировавших взрывчатых веществ, что, очевидно, сопряжено с большой потенциальной опасностью. Операции по извлечению и в этом случае должны проводиться с чрезвычайной осторожностью, но благодаря предлагаемому в изобретении способу глубина залегания и положение в грунте определяются сравнительно точно по координатам, полученным на основе результатов измерений. В отсутствие достаточной вращательной симметрии и при небольших размерах или массе можно, однако, предположить, что обнаруженные объекты представляют собой неопасные металлические обломки, то есть обычные отходы производства и бытовой металлолом, которые, как правило, не подлежат извлечению.

Передача возбуждающих импульсов в грунт занимает лишь небольшой промежуток времени t_1 . После передачи каждого возбуждающего импульса из грунта поступают, даже с глубины в несколько метров, ответные импульсы в течение времени t_2 (с необходимым учетом характеристической кривой затухания ответных импульсов со временем). Предельный уровень регистрации сравнительно слабых ответных импульсов после затухания определяется, в частности, уровнем электронного шума и может быть измерен и отрегулирован для каждого конкретного применения. В данном случае даже при последовательном соединении трех катушек 1, 11, 21 возбуждения сумма t_1+t_2 составляет лишь несколько миллисекунд с учетом хронологического резерва - времени до передачи другого возбуждающего импульса следующей катушкой возбуждения. Таким образом, передача всех трех возбуждающих импульсов с соответствующей регистрацией ответных импульсов может занять значительно меньше 1 с. Как следствие, описанное выше устройство может быть перемещено как один механический узел 7 (даже во время измерения) со скоростью v , превышающей приблизительно 0,5 м/с, без возникновения значительных погрешностей благодаря высокой скорости измерения. При этом привязка результатов измерений к соответствующим приемным кубическим 3D-катушкам и их текущим географическим координатам всегда обеспечивается известными средствами, уже упоминавшимися выше применительно к фиг. 5.

На фиг. 3А показан вид сверху конструкции из пяти катушек 1, 11, 21, 31, 41 возбуждения, выполненной в соответствии с другим вариантом осуществления изобретения в виде единого механического узла 7, закрепленного в раме 6. В отличие от примера осуществления изобретения, показанного на фиг. 2, катушки 1, 11, 21 расположены с непосредственным примыканием друг к другу и частично перекрываются катушками 31 и 41. В этом случае катушки 31, 41 возбуждения тоже расположены с непосредственным примыканием друг к другу.

На фиг. 3Б представлен вид сверху системы, показанной на фиг. 3А, с добавленными $N=28$ приемными кубическими 3D-катушками. Вследствие последовательной активации катушек 1, 11, 21, 31, 41 в данном случае в ходе регулярно протекающей измерительной операции имеет место почти круговое движение возбуждающих импульсов на протяжении почти всей области, охватываемой рамой 6. Таким образом, без какого-либо перегруппирования в пределах этого механического узла 7 для каждого возбуждающего импульса каждая из 28 приемных 3D-катушек 5 регистрирует в общей сложности 84 кривые измерения по трем осям пространственной системы координат. Эти данные обрабатываются в устройствах обработки и анализа информации (не показанных подробно) вместе с соответствующими текущими данными о географическом местоположении (геоданными) с целью получения на основе распределения измеренных ответных импульсов трехмерной модели электропроводности для все исследуемой области.

На фиг. 3В представлен вид сбоку системы, показанной на фиг. 3Б. Здесь показано, что в этом варианте осуществления изобретения катушки возбуждения, в частности перекрывающиеся катушки 1, 41, не лежат, строго говоря, в одной общей плоскости, а образуют вместо этого плоскости в направлениях x-y, расположенные параллельно и слегка смещенные друг относительно друга. Приемные 3D-катушки 5,

расположенные поочередно идущими рядами по шесть и пять катушек, тоже вертикально смещены друг относительно друга и, следовательно, образуют две плоскости в направлениях x-y, расположенные параллельно, слегка смещенные друг относительно друга и не совмещающиеся с плоскостями катушек 1, 11, 21, 31, 41 возбуждения. Этими минимальными отклонениями, однако, можно пренебречь с хорошим приближением, равно как и расстоянием от указанных элементов до земной поверхности ВО, которое на практике всегда колеблется от 5 до 20 см из-за неровностей и/или растительности. Таким образом, главная магнитная ось катушки 1, 11, 21, 31, 41 возбуждения считается перпендикулярной земной поверхности ВО, определяющей плоскость x-y в прямоугольной системе координат. Поскольку сама земная поверхность ВО не может представлять собой идеальную плоскость из-за того простого факта, что она обычно покрыта растительностью, а механический узел 7, перемещаясь по ней, обычно испытывает механические колебания, всеми этими отклонениями можно пренебречь с хорошим приближением.

Наконец, в том же примере осуществления изобретения на фиг. 3Г представлено изометрическое изображение конструкции, показанной на фиг. 3Б и В, в виде единого механического узла 7, составленного из катушек 1, 11, 21, 31, 41 возбуждения и приемных 3D-катушек 5, окруженных с наружной стороны и поддерживаемых механически устойчивой рамой 6. Движение этого узла 7 в данном случае указывается вектором скорости v , направленным вдоль центральной оси узла 7, показанной штрихпунктирной линией.

На фиг. 4 представлен вид сверху другой системы, включающей катушки возбуждения и приемные 3D-катушки. Этот случай соответствует одной из модификаций показанного на фиг. 3Б варианта осуществления изобретения, включающей пять перекрывающихся катушек 1, 11, 21, 31, 41 возбуждения, образующих своего рода базовый модуль. Этот базовый модуль содержит узлы 7' и 7'' со схожей структурой, добавленные к нему путем зеркального отображения данной конструкции со стороны узких концов узла 7. Внутренняя намотка и взаимные соединения описанных выше катушек (не показаны подробно) выполнены таким образом, что источник питания и устройство обработки сигналов системы, включающей теперь узлы 7, 7' и 7'', можно расположить по существу только с одной стороны этой системы на расстоянии, исключающем помехи.

Руководствуясь описанными выше принципами и сохраняя перекрытие всех катушек 1, 11, 21, 31, ... возбуждения на всем протяжении узлов 7, 7' и 7'', можно реализовать вариант осуществления изобретения с почти утроенной, то есть значительно увеличенной, рабочей шириной и соответственно увеличенным числом по-прежнему равномерно расположенных приемных 3D-катушек 5. Удвоенная концентрация приемных 3D-катушек 5 имеет место только в зонах а и б, обведенных пунктиром, что можно устранить путем выборочного удаления отдельных приемных 3D-катушек 5.

Кроме того, предусмотрены оси 8 вращения, проходящие через упомянутые зоны а и б, с целью обеспечения возможности поворота в обе стороны по меньшей мере части добавленных узлов 7' и 7'' с образованием их перегиба на 90° и даже почти на 180°. Это позволяет достичь большей компактности конструкции, благоприятной применительно к транспортировке, экономии пространства при хранении и в других пассивных положениях. При этом в процессе работы 15 катушек возбуждения и 68 приемных 3D-катушек, например соответствующих описанному выше способу, активируются по всей области или независимо активируются в каждом из трех узлов 7, 7', 7'', а сигналы измерения поступают в компьютеры соответствующих размеров, где подвергаются обработке и сохранению.

Таким образом, выше описаны варианты осуществления изобретения в виде способов и соответствующих устройств, в которых путем использования интенсивных первичных электромагнитных импульсов, ориентированных в направлении z и служащих для индуцирования вихревых токов в металлических объектах под земной поверхностью, а также путем измерений с получением кривой затухания со временем по трем осям пространственной системы координат с помощью так называемых кубических приемных 3D-катушек, параллельно расположенных в многочисленных точках измерения в плоскости x-y, обеспечивается, кроме собственно обнаружения и точного позиционирования, получение информации, позволяющей охарактеризовать соответствующий металлический объект. Благодаря высокой скорости измерений в соответствующем положении устройства, позволяющей охватывать большую площадь, каждая из передающих катушек, при их последовательной активации со сдвигом во времени друг относительно друга, может излучать соответствующий электромагнитный импульс с последующей регистрацией и оценкой соответствующих ответных импульсов всеми предусмотренными кубическими приемными 3D-катушками. Способ, кроме того, является настолько быстрореализуемым, что устройства могут динамически перемещаться в качестве единого механического узла, выполняя квазистационарные измерительные операции с минимальным числом циклов.

Ссылочные обозначения:

- 1 - передающая катушка/катушка возбуждения;
- 2 - приемная катушка в плоскости x-y;
- 3 - рамная конструкция;
- 4 - тележка;
- 5 - (кубическая) приемная 3D-катушка;
- 6 - рама из неэлектропроводящего материала;

7 - механический узел/блок;
 7', 7'' - узлы с зеркально-симметричной конструкцией;
 8 - оси вращения/складывания;
 11, 21, 31, 41 - дополнительные передающие катушки/катушки возбуждения;
 a, b - зона в области перекрытия узлов 7, 7', 7'';
 В - магнитное поле, создаваемое катушкой 1 возбуждения;
 В' - индуцированное поле;
 ВО - земная поверхность;
 S - электропроводящий материал/объект-препятствие;
 F - исследуемая область грунта;
 f - подзона, окруженная катушкой 1 возбуждения;
 f' - подзона, окруженная катушкой 11 возбуждения;
 Δ - небольшая область приемной катушки 2/кубической приемной 3D-катушки 5;
 N - число кубических приемных 3D-катушек 5;
 t1 - время передачи возбуждающего импульса в грунт;
 t2 - время характеристического затухания ответного импульса;
 V - скорость движения/перемещения узла 7.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обнаружения электропроводящих объектов под земной поверхностью, предназначенный для обнаружения неразорвавшихся боеприпасов путем использования катушки (1) возбуждения для передачи электромагнитных импульсов в область (F, f) грунта, точно определяемую с помощью географических координат или координат местоположения, и использования приемника (2) для измерения ответного электромагнитного импульса, испускаемого в качестве реакции на поступление электромагнитных импульсов и обусловленного вихревыми токами, возникающими в металлическом объекте (S), характеризующийся тем, что генерируют первичное электромагнитное поле, главная магнитная ось которого ориентирована по существу вдоль оси z прямоугольной системы координат, посредством катушки (1) возбуждения, простирающейся в плоскости x-y упомянутой прямоугольной системы координат, причем в качестве приемников (2) используют группу приемных 3D-катушек (5), распределенных по существу в плоскости x-y катушки (1) возбуждения и предназначенных для одновременной и взаимно независимой электрической регистрации каждого локального ответного импульса в месте расположения каждой приемной 3D-катушки (5), и соответствующие ответные импульсы и характеристики их затухания по трем осям (x, y, z) пространственной системы координат сохраняют и/или оценивают с определением точных координат текущего местоположения, отличающийся тем, что используют несколько катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения, расположенных со смещением друг относительно друга и лишь с частичным перекрытием в плоскости x-y и активируемых последовательно со сдвигом во времени друг относительно друга, и катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения и приемные 3D-катушки (5) перемещают как один узел (7), причем используют группу приемных 3D-катушек (5), расположенных в плоскости x-y внутри и снаружи катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения.

2. Способ по предыдущему пункту, отличающийся тем, что в качестве приемников используют компактные приемные узлы в форме кубических приемных 3D-катушек (5), каждый из которых оснащен тремя катушками, имеющими главные магнитные оси, взаимно ортогональные друг другу.

3. Способ по одному из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что используют катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения, расположенные в два ряда, причем катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения в каждом ряду расположены с непосредственным примыканием друг к другу, а эти ряды расположены таким образом, что они лишь частично перекрываются в плоскости x-y.

4. Способ по одному из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что в процессе измерения устройство, состоящее из катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения и приемных 3D-катушек (5), распределенных в плоскости x-y катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения, перемещают как один механический узел (7) со скоростью (v), превышающей приблизительно 0,5 м/с.

5. Способ по одному из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что вследствие последовательной активации катушек (1, 11, 21, 31, 41) в ходе регулярно протекающей измерительной операции имеет место почти круговое движение возбуждающих импульсов на протяжении почти всей области, охватываемой рамой (6).

6. Устройство для обнаружения неразорвавшихся боеприпасов, содержащее катушку (1) возбуждения, позиционируемую для передачи электромагнитного импульса в грунт на протяжении области (F), точно определяемой на основе географических координат или координат местоположения, и приемник (2) для измерения ответного электромагнитного импульса, соединенный с устройством для сохранения и/или оценки ответных импульсов, причем катушка (1) возбуждения расположена в плоскости x-y и предназначена для генерирования первичного электромагнитного поля, главная магнитная ось которого ориентирована по существу вдоль оси z прямоугольной системы координат, и по существу в плоскости

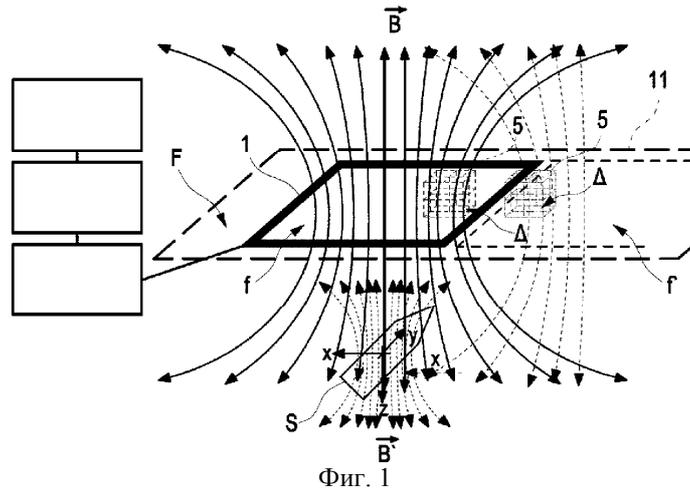
х-у катушки (1) возбуждения распределена группа приемников (2) в форме приемных 3D-катушек (5), предназначенных для одновременной и взаимно независимой электрической регистрации пространственных компонент соответствующего локального ответного импульса и соответствующих характеристик их затухания со временем, отличающееся тем, что оно содержит несколько катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения, расположенных со смещением друг относительно друга и лишь с частичным перекрытием в плоскости х-у, и генератор, выполненный с возможностью последовательной активации катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения со сдвигом во времени друг относительно друга, причем катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения и приемные 3D-катушки (5) образуют один узел (7), перемещаемый вместе с устройством для точного определения координат местоположения, и группа приемных 3D-катушек (5) расположена в плоскости х-у внутри и снаружи катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения.

7. Устройство по предыдущему пункту, отличающееся тем, что катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения расположены в два ряда, причем катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения в каждом ряду расположены с непосредственным примыканием друг к другу, а эти ряды расположены таким образом, что они лишь частично перекрываются в плоскости х-у.

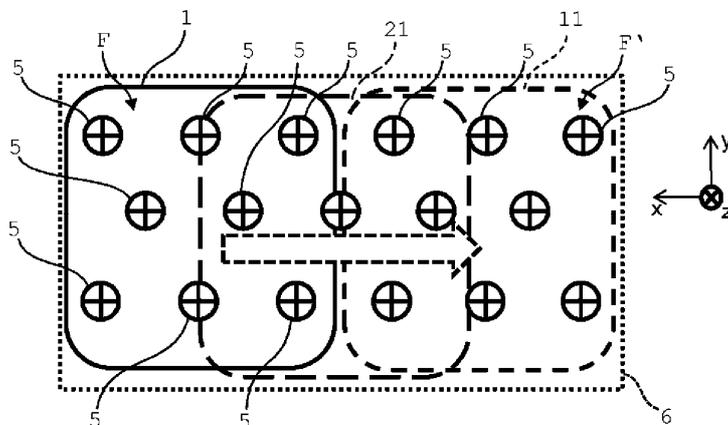
8. Устройство по предыдущему пункту, отличающееся тем, что катушки (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения и группа приемных 3D-катушек (5) жестко закреплены друг относительно друга и образуют узел (7), обладающий компактностью и малым весом, несмотря на ее площадь охвата.

9. Устройство по одному из пп.6-8, отличающееся тем, что система, составленная из катушек (1, 11, 21, 31 и 41) возбуждения и группы приемных 3D-катушек (5), выполнена в виде узла (7, 7', 7'') с модульной конструкцией, образующего базовый модуль, приспособленный для переоборудования и расширения путем добавления таких же модулей.

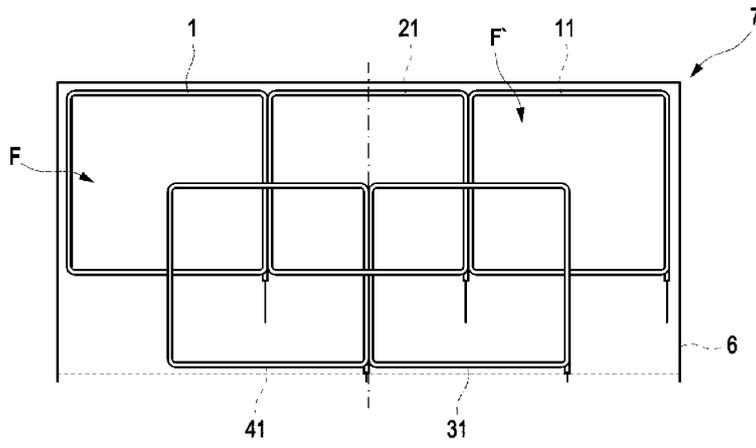
10. Устройство по одному из пп.6-9, отличающееся тем, что оно имеет оси (8) вращения для обеспечения возможности поворота в обе стороны по меньшей мере части добавленных узлов (7' и 7'') с образованием их перегиба на 90° и даже почти на 180° .



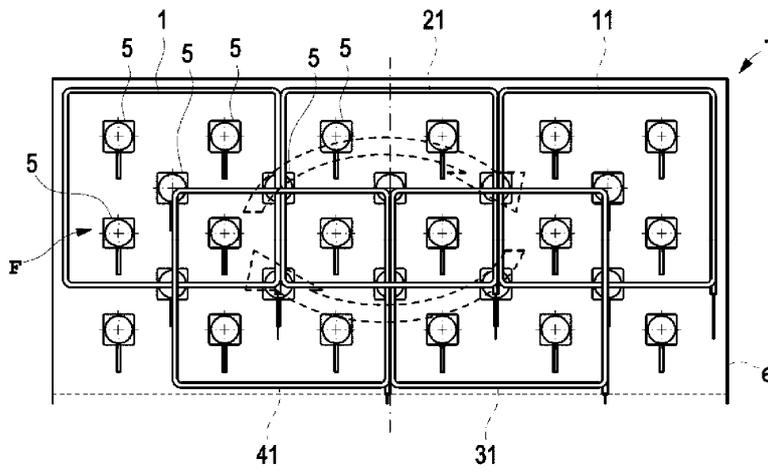
Фиг. 1



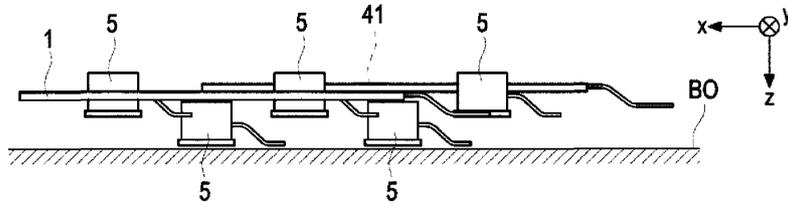
Фиг. 2



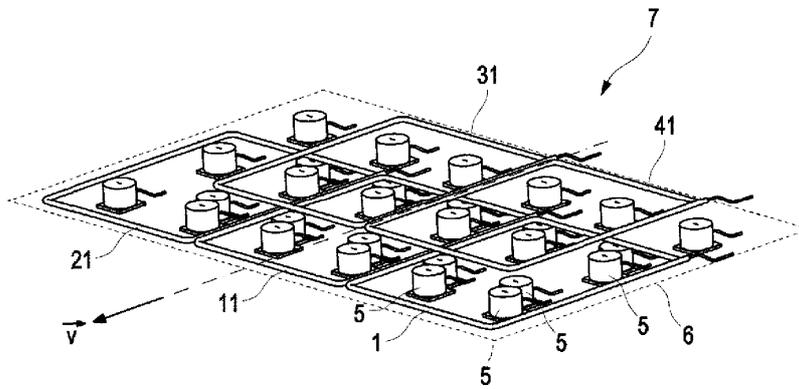
Фиг. 3А



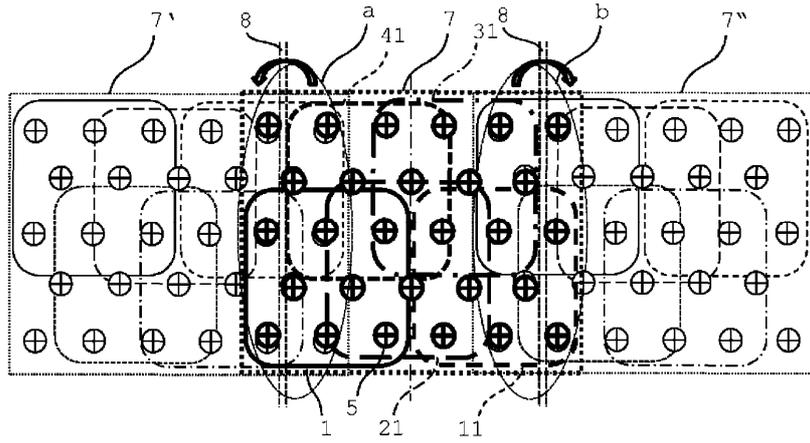
Фиг. 3Б



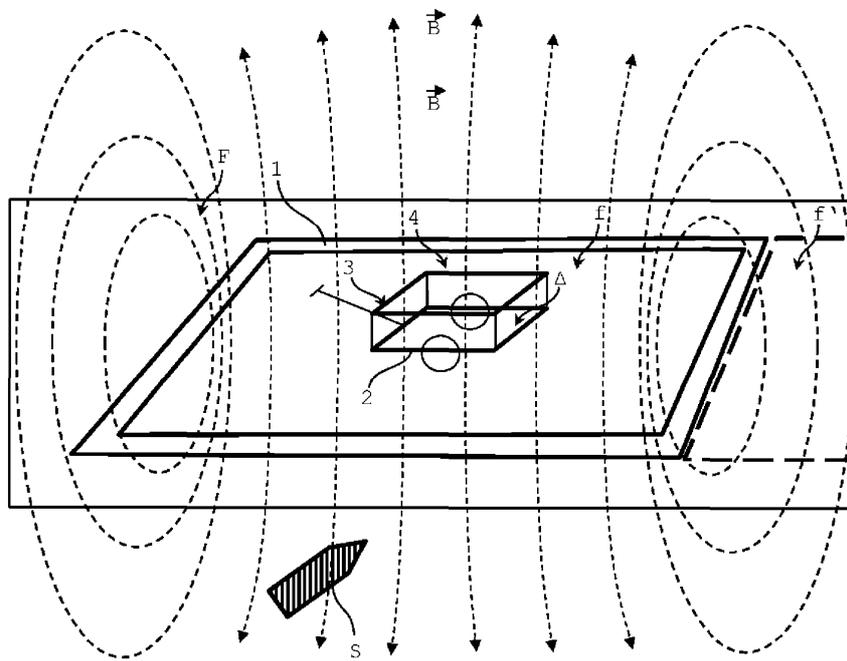
Фиг. 3В



Фиг. 3Г



Фиг. 4



Фиг. 5

