

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202391944 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.02.07

(51) Int. Cl. G01S 7/41 (2006.01)  
F41H 11/136 (2011.01)  
G01S 13/88 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2022.01.11

(54) СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

(31) 63/136,923

(71) Заявитель:

(32) 2021.01.13

ХАРИДИМ МОТТИ; ЗЕМАХ  
РЕУВЕН (IL); ПОРТА САБЕР ЛДА  
(PT)

(33) US

(86) PCT/IL2022/050042

(87) WO 2022/153297 2022.07.21

(72) Изобретатель:

Харидим Мотти, Земах Реувен (IL)

(88) 2022.08.25

(74) Представитель:

Суюндуков М.Ж. (KZ)

(57) Настоящее изобретение предоставляет системы и способы для обнаружения подземных объектов, при этом способ включает применение РЛС подповерхностного зондирования/сигналов электромагнитных волн к местоположению, представляющему интерес, в поверхность грунта, обнаружение исходящих сигналов электромагнитных волн во времени и пространстве из местоположения, представляющего интерес, обработку сигналов электромагнитных волн по времени и пространству для получения выходных необработанных данных, управление необработанными данными для обнаружения объекта.



A1

202391944

202391944

A1

# **СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ**

## **ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Настоящее изобретение преимущественно относится к способам и системам обнаружения и локализации объектов, и, в частности, к способам и устройствам для обнаружения и локализации подземных объектов по местоположению (пространственное расположение) и глубине (посредством времени распространения электромагнитных волн в среде передачи).

## **УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

РЛС подповерхностного зондирования (GPR) применяется во многих сферах подземного картографирования и исследованиях в различных отраслях, таких как геология, разработка полезных ископаемых, археология, сельское хозяйство, гражданская инженерия, военное дело и т.д. GPR широко применяется для определения местонахождения подземных металлических и неметаллических объектов, например, твердых пород, артефактов, гражданских сооружений, мин, почвенных вод, руд, минералов и прочего, и предоставляет подземное картографирование. Для повышения его эффективности разработаны многочисленные способы, эксперименты и вычисления.

В различных областях применения, требующих высокой чувствительности и высокого разрешения, во многих способах результаты являются неопределенными или могут давать неточные результаты, которые требуют улучшения результативности, или, в определенных случаях, они дают полностью неудовлетворительные результаты при обнаружении целевых объектов. Таким образом, остается нерешенной необходимостью предоставления улучшенных GPR систем и GPR способов подземного картографирования с целью обеспечения универсальных инструментов для результатов локализации объектов с высоким уровнем результативности.

## **СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Предметом некоторых аспектов в соответствии с настоящим изобретением является предоставление улучшенных систем и GPR способов применения GPR для обнаружения подземных объектов.

В некоторых вариантах реализации настоящего изобретения предоставлены улучшенные способы и устройства для обнаружения подземных или подводных объектов.

В других вариантах реализации настоящего изобретения описаны способы и устройства для определения местоположения подземных или подводных объектов.

В дополнительных вариантах реализации настоящего изобретения описаны способы и системы для определения типа подземных или подводных объектов, например, рудных пластов.

В дополнительных вариантах реализации настоящего изобретения предоставлена новейшая система и способ для обработки сигналов GPR для обнаружения и определения местоположения подземных объектов.

Настоящее изобретение предоставляет системы и способы для обнаружения подземных объектов, при этом способ включает применение РЛС подповерхностного зондирования, которая излучает сигналы электромагнитных волн (короткие импульсы) в подземные слои в местоположениях, представляющих интерес, принимает сигналы электромагнитных волн, отраженные от различных объектов (как от желательных, так и от нежелательных (ложные сигналы)), записывает полученные сигналы во времени и пространстве для формирования необработанных выходных данных, и анализирует и обрабатывает необработанные выходные данные для обнаружения и определения местоположения объектов. Передатчик и приемник (включая антенны) может перемещаться по поверхности заданной области для сканирования желаемой области (по прямой линии в одном измерении, известном как В-сканирование, или в двумерной области посредством множественного В-сканирования, известном как С-сканирование). В этом случае записанные данные соответствуют сигналам, собранным в пространстве и времени. В случае измерения посредством одиночного А-сканирования передатчик и приемник размещаются стационарно таким образом, что записанные данные представляют собой функцию от времени только для заданного местоположения.

Используя способы, представленные в данном изобретении, значительно улучшается подземное картографирование, обнаружение/выявление и локализация подземных объектов в контексте вероятности и точности локализации.

Настоящее изобретение предоставляет системы и способы для обнаружения подземных объектов (включая выявление местоположения каждого объекта) в жестких условиях. Другими словами, в условиях, когда целевой объект небольшого размера, неметаллический, а GPR не размещено непосредственно на поверхности земли или в комплексе под землей, например, при сканировании туннелей, пещер и тому подобного,

или установлена на беспилотном летательном аппарате. Способы согласно настоящему изобретению могут использоваться как для гражданского, так и для военного применения.

Системы, устройства и способы согласно настоящему изобретению позволяют GPR предоставлять по меньшей мере одно или все следующие преимущества:

- a) Высокую обнаруживающую способность;
- b) Низкую частоту ложных сигналов;
- c) Высокое горизонтальное разрешение;
- d) Высокое вертикальное разрешение;
- e) Способность обнаруживать небольшие объекты;
- f) Способность обнаружения неметаллических (например, пластиковых) объектов;

и

g) Способность работать с земли, под землей и над землей (например, на беспилотном летательном аппарате).

Некоторые из систем, устройств и способов согласно настоящему изобретению позволяют GPR предоставлять все следующие преимущества:

- a) Более высокую обнаруживающую способность;
- b) Более низкую частоту ложных сигналов;
- c) Более высокое горизонтальное разрешение;
- d) Способность обнаружения неметаллических (например, пластиковых) объектов;

и

e) Способность работать с земли, под землей и над землей (например, на беспилотном летательном аппарате).

Другими словами, в соответствии с настоящим изобретением предоставлена система для обнаружения подземных объектов, содержащая:

- a) генератор сигнала (электромагнитного (EM) импульса);
- b) передатчик и передающую (Tx) антенну для передачи сигнала с оптимальной частотой, с различными режимами, формами, способами модуляции, волнами малой амплитуды и другими способами, направляемый в целевой грунт;
- c) приемник и приемную (Rx) антенну;
- d) устройство сбора данных для сбора входящих сигналов от приемной антенны, содержащих по меньшей мере одни из необработанных данных В-сканирования и С-сканирования в пространстве и времени; и
- e) процессор, выполненный с возможностью выполнять по меньшей мере одно или все из следующего:

- i. организовывать ввод необработанных данных в статистические пространственные ансамбли и временные ансамбли;
- ii. формулировать и создавать корреляционные функции пространственных (SECFs) и временных (TECFs) ансамблей соответственно;
- iii. вычислять корреляционные функции пространственных ансамблей (SECFs) и корреляционные функции временных ансамблей (TECFs);
- iv. обрабатывать SECFs и SECFs для получения выходных матриц смежных векторов, то есть данных при  $n=1$  отстоящему вектору;
- v. повторять для нескольких  $n>1$  отстоящих векторов, и
- vi. проверять результаты SECFs и SECFs матриц посредством тестирования изменения их функций, применяя несколько различных отстоящих векторов в расчетах корреляции, наблюдая за изменением уровней падений на их графиках (или иным образом), которые выполняют роль инструмента чувствительности при обнаружении объектов. Это свойство далее определено как способ изменения чувствительности функций (FCSM).
- vii. строить графики SEFF и TECF как функции пространства и времени соответственно, чтобы исследовать уменьшение/падение/провалы (локальные минимумы) в этих функциях, свидетельствующие о наличии каких-либо разрывов в подземной части из-за присутствия объекта или изменения в составе слоя (например, песок, глина, ил, гранит, известняк, сланец, руда, минералы и т. д.), при этом система выполнена с возможностью обнаружения подземного объекта/слоев (например, песка, глины, ила, гранита, известняка, сланца, руды и др.).

Таким образом, в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения предложена система GPR сканирования и способ обнаружения подземного объекта, при этом система содержит:

- a) генератор сигналов;
- b) передатчик и передающую (Tx) антенну для генерации электромагнитных (EM) волн на частотах по выбору, в различных режимах, формах, волнах малой амплитуды и других формах, передаваемых в целевой грунт;
- c) приемную (Rx) антенну и приемник; и
- d) устройство сбора данных для сбора входящих сигналов электромагнитных (EM) волн, содержащих по меньшей мере одно из необработанных данных В-сканирования и С-сканирования в зависимости от пространства и времени; при этом средняя точка между

указанной передающей антенной и указанной приемной антенной сканирующей системы остается неизменным.

Таким образом, в соответствии с другим вариантом реализации настоящего изобретения предложена система GPR сканирования для обнаружения подземного объекта, при этом система содержит:

а) генератор сигналов;

б) передающую (Tx) антенну для формирования электромагнитных (EM) волн на частотах по выбору, в различных режимах, формах, волнах малой амплитуды и других формах, передаваемых в целевой грунт;

с) приемную (Rx) антенну и приемник; и

д) устройство сбора данных для сбора входящих сигналов электромагнитных (EM) волн, содержащих по меньшей мере одно из необработанных данных В-сканирования и С-сканирования в зависимости от пространства и времени; при этом расстояние между указанной передающей антенной и указанной приемной антенной сканирующей системы остается неизменным.

Таким образом, в соответствии с другим вариантом реализации настоящего изобретения предложена система для определения типа подземного объекта, при этом система содержит:

а) генератор сигналов;

б) передающую (Tx) антенну для формирования электромагнитных (EM) волн на частотах по выбору, в различных режимах, формах, волнах малой амплитуды и других формах, передаваемых в целевую землю;

с) приемную (Rx) антенну и приемник; и

д) устройство сбора данных для сбора входящих сигналов электромагнитных (EM) волн, содержащих по меньшей мере одно из необработанных данных В-сканирования и С-сканирования в зависимости от пространства и времени; при этом расстояние между указанной передающей антенной и указанной приемной антенной сканирующей системы изменяется в соответствии с предварительно заданным требуемым параметром.

Таким образом, в соответствии с другим вариантом реализации настоящего изобретения предложен способ обнаружения по меньшей мере одного подземного объекта, включающий:

а) применение сигнала РЛС подповерхностного зондирования (электромагнитной волны) к местоположению, представляющему интерес, в поверхность грунта;

b) регистрацию выходных сигналов электромагнитных волн во времени и пространстве из указанного местоположения, представляющего интерес; то есть, сигналов, отраженных от различных подземных объектов и разрывов, и принятых Rx антенной;

c) обработку указанных сигналов электромагнитных волн во времени и пространстве, включающую по меньшей мере одно из: -

i. организацию ввода исходных данных в статистические пространственные ансамбли и временные ансамбли;

ii. формулирование корреляционных функций пространственных и временных ансамблей, называемых соответственно SECF и TECF;

iii. вычисление корреляционных функций пространственных и временных ансамблей SECF и TECF;

iv. обработку SECF и TECF для создания выходных матриц для смежных векторов, то есть одного отстоящего вектора данных  $n=1$

v. обработку SECF и TECF для создания выходных матриц для нескольких  $n>1$  отстоящих векторов между смежными векторами; и

vi. проверку результатов матриц SECF и TECF за счет применения способа изменения чувствительности к FCSM, включающему увеличение количества  $n$  отстоящих векторов, для получения увеличенного вывода обработанных данных,

тем самым обеспечивая обнаружение по меньшей мере одного объекта.

Кроме того, в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения, настоящее изобретение будет более понятным из последующего подробного описания преимущественных вариантов его реализации, вместе с прилагаемыми графическими материалами.

## **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Теперь изобретение будет описано в отношении определенных вариантов реализации изобретения со ссылкой на приведенные ниже иллюстративные графические материалы для более полного его понимания.

Обращаясь теперь к подробностям графических материалов, следует подчеркнуть, что показанные подробности приведены исключительно для иллюстративного пояснения отдельных вариантов реализации настоящего изобретения, и представлены для того, чтобы обеспечить наиболее полезное и понятное описание принципов и концептуальных

аспектов изобретения. Таким образом, отсутствует стремление показать конструктивные особенности изобретения более подробно, чем это необходимо для фундаментального понимания изобретения, использование описания вместе с графическими материалами делает очевидным, для специалистов в данной области техники, какие множественные формы изобретения могут быть осуществлены на практике.

На графических материалах:

Фиг. 1А представляет собой упрощенную графическую иллюстрацию системы для обнаружения подземного объекта в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 1В представляет собой упрощенную блок-схему способа обнаружения подземного объекта в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 1С представляет собой график обобщенного результата способа по предыдущему уровню техники, измеренного, смоделированного, рассчитанного, теоретизированного или иного способа обработки необработанных данных для обнаружения подземных объектов;

Фиг. 2 представляет собой упрощенную блок-схему способа обработки принятых входных данных в способе, проиллюстрированном на Фиг. 1В, в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 3 представляет собой упрощенную схематическую иллюстрацию способа создания статистических ансамблей в способе, проиллюстрированном на Фиг. 1В, в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 4 содержит серию иллюстративных графиков SE (пространственных ансамблей) и временных ансамблей (TE) полученной силы поля сигнала в зависимости от времени в способе, проиллюстрированном на Фиг. 1В, в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 5 представляет собой график выходных данных TECFs (корреляционные функции временных ансамблей) для серии подземных объектов в примере модели с отстоящим 1 вектором в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 6А-6F содержит серию графиков выходных данных TECFs (корреляционных функций временных ансамблей) для всех локализованных подземных объектов в примере модели с отстоящими от 1 до 6 векторов между смежными векторами в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 7А представляет собой график выходных результатов SECF (корреляционных функций пространственных ансамблей) для примера модели с 1 отстоящим вектором, определяющей время распространения электромагнитных волн на пути Tx-объект-Rx для



корреляций SE с 1 отстоящим вектором в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 7B представляет собой график выходных результатов SECF (корреляционных функций пространственных ансамблей) для примера базовой модели с 3 отстоящими векторами, определяющей время распространения электромагнитных волн на пути Tx-объект-Rx для улучшения обнаружения SE по сравнению с 1 отстоящим вектором, в частности, улучшения элемента 707 на Фиг. 7A до элемента 757 на Фиг. 7B при 3 отстоящих векторах в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 8A представляет собой упрощенный график стохастического расположения выходных данных временных ансамблей (SC-TE) при первом уровне помех и при втором уровне помех для обнаружения подземных объектов с координатой глубины (м), при этом источник зашумленных необработанных данных сформирован с учетом помех в сканирующей системе или помех в носителе сканирующей системы, или неизвестным свойствам земли в симуляции необработанных данных GPR, вычислениям, теоретизации или другим факторам в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 8B представляет собой упрощенный график стохастического расположения выходных данных пространственных ансамблей (SC-SE) при первом уровне помех и при втором уровне помех для обнаружения подземных объектов с временной координатой (наносекунды) для вычисления глубины объекта, при этом источник зашумленных необработанных данных сформирован с учетом помех в сканирующей системе или помех в носителе сканирующей системы, или неизвестным свойствам земли в симуляции необработанных данных GPR, вычислениям, теоретизации или другим факторам в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 9A представляет собой выходные данные TECF между перемещающимися сканированиями с одним отстоящим вектором, используемыми для обнаружения экспериментально измеренных физических неметаллических подземных объектов в пространстве/времени в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Фиг. 9B представляет собой выходные данные TECF между перемещающимися сканированиями с двумя отстоящими векторами, используемыми для обнаружения экспериментально измеренных физических металлических подземных объектов в пространстве/времени в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения; и

Фиг. 9C представляет собой упрощенную схематическую иллюстрацию объектов, размещенных под землей, при использовании в эксперименте, проиллюстрированном на Фиг. 9B, в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В следующем подробном описании изложено множество конкретных подробностей для обеспечения полного понимания изобретения. Тем не менее, специалистам в данной области техники будет понятно, что данные примеры представляют собой конкретные варианты реализации изобретения, и настоящее изобретение может быть реализовано иными способами, которые также включают характерные особенности изобретения, описанные и указанные в данном документе.

В общем смысле, настоящее изобретение относится к антеннам подповерхностного зондирования и, в частности, использования статистических способов GPR для обнаружения, локализации и идентификации подземных объектов или основного содержимого и структур грунта.

Система GPR представляет собой способ локализации для всех типов подземных объектов или структур при измерении или моделировании. GPR объединяет А-сканирования, известные как В-сканирование, выполняемые физически машинами или посредством имитационного моделирования.

Машинное или имитационное моделирование, или теоретические вычисления, или другие способы в 1-размерности включает:

(a) Две антенны:

(1) генератор сигнала и Tx антенна генерируют и передают электромагнитные (EM) волны с частотой по выбору в целевой грунт, и

(2) приемная антенна Rx и устройство сбора данных регистрируют входящие сигналы электромагнитных (EM) волн.

(3) собираются необработанные данные (В-сканирования или С-сканирования). Эти необработанные данные используются в способах в соответствии с настоящим изобретением.

Машинное или имитационное моделирование, или теоретические вычисления, или другие способы в 2 размерностях (или как сбор из 1-размерности) включают:

(a) Две антенны:

(1) генератор сигнала и передающая (Tx) антенна генерируют электромагнитные (EM) волны с частотой по выбору в различных режимах, формах, способах модуляции, волнах малой амплитуды и другими способами, передаваемые в целевой грунт,

(2) приемная (Rx) антенна и устройство сбора данных регистрируют входящие сигналы электромагнитных (EM) волн.

(3) необработанные данные В-сканирования и С-сканирования собираются в виде функции от времени и пространства. Необработанные данные используются в предлагаемом способе; и

(4) Устройства для перемещения антенн или всей системы, либо одновременно, при сохранении постоянного расстояния между Tx-Rx антеннами, или при перемещении одной из них по направлению к другой таким образом, чтобы средняя точка между 2 антеннами оставалась неподвижной, и блок записи и обработки сигнала, или при любом выборе формы сканирования относительного позиционирования Tx-Rx в (1)-до-(4) элементов.

Сейчас выполняется ссылка на Фиг. 1А, которая представляет собой упрощенную графическую иллюстрацию системы 101 для обнаружения подземного объекта 115 в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения. Система 101 содержит передатчик 103 сигнала (например, короткого импульса или другого сигнала), состоящий из генератора сигнала и элемента антенны (не проиллюстрирован) на поверхности 105 земли. Оператор перемещает всю систему вдоль пути, представляющего интерес, по поверхности земли. Передающий элемент 103 (не проиллюстрирован) передает импульсы в грунт 105, например, в виде коротких импульсов с частотой по выбору в зависимости от свойств грунта, цели обнаружения, глубины обнаружения и так далее, при этом частота по выбору может находиться в диапазоне 10МГц - 4ГГц или другом диапазоне, при продолжительности в пикосекундах, наносекундах или другой продолжительности (в зависимости от свойств среды), или в непрерывном режиме, в грунт 117 с углом падения в градусах  $\theta$  (0-45 градусов относительно вертикали). Система 101 дополнительно содержит принимающий элемент 107, выполненный с возможностью принимать отраженные импульсы 113 и отраженный (горизонтальный) сигнал 109 от земли в течение определенного времени. Затем, полученные элементом 107 данные записываются и передаются в устройство обработки. Полученные сигналы сопоставляются с сигналами, отраженными от объектов и разрывов грунта.

Эти примеры предназначены для иллюстрации систем и способов в соответствии с настоящим изобретением и их не следует рассматривать как ограничивающие. Дополнительные примеры приведены в списке ссылок на публикации, перечисленных в данном документе и включенных в данный документ посредством ссылок.

Некоторые из способов согласно настоящему изобретению описаны более детально в публикации Haridim, M., & Zeman, R. (2021). Stochastic Processes Approach in GPR Applications. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. А также в публикации Zeman, R., & Haridim, M. (2021). Stochastic collocation introduction into correlation functions

method applied for underground objects detection. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, обе публикации включены в данный документ посредством ссылки.

На Фиг. 1В проиллюстрирована упрощенная блок-схема 100 способа обнаружения подземного объекта в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

На этапе 102 формирования сигнала радаром передатчик 103 на Фиг.1А функционирует для формирования и передачи импульсов радара с частотой, интенсивностью и продолжительностью в зависимости от параметров грунта, типа обнаружения и глубины сканируемых целей.

Пользователь управляет системой 101 с помощью устройства удаленной связи и контроллера (в некоторых случаях контроллер встроен в систему) для установки передающего элемента под заданным углом к земле и фокусировки радара на поверхности/земле на этапе 104 фокусировки радара радиолокации в начальный момент времени ноль ( $t_0$ ), и при начальном нулевом расстоянии ( $X_0$ ).

Через определенное время  $t_i$  и/или расстояние  $X_i$  от начальных заданных точек пользователь использует систему 101 для обнаружения отраженных импульсов/сигналов, поступающих из-под поверхности/земли, на этапе 106 обнаружения.

Затем пользователь применяет систему 101 для обработки отраженных импульсов/сигналов на этапе 108 обработки сигналов. Более детально этот этап обработки сигнала проиллюстрирован на Фиг. 2 и в его описании.

После обработки сигналов с помощью статистического анализа и/или любого другого алгоритма анализа генерируются выходные данные и/или графические выходные данные, ведущие к обнаружению объектов на этапе 110 обнаружения объекта(ов). Один пример обнаружения объекта, не имеющий ограничительного характера, проиллюстрирован на Фиг. 9А-9С в данном документе ниже.

Фиг. 1С представляет собой график обобщенного результата способа по предыдущему уровню техники, измеренного, смоделированного, рассчитанного, теоретизированного или полученного с помощью иного способа обработки необработанных данных для обнаружения подземных объектов.

Теперь ссылка выполняется на Фиг. 2, которая представляет собой упрощенную блок-схему способа 200 обработки полученных и записанных необработанных входных данных системой на Фиг. 1А в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

На этапе 202 формирования необработанных данных необработанные данные формируются в статистические пространственные ансамбли и статистические временные

ансамбли. Записанные необработанные данные из приемной антенны теперь формируются в виде статистических векторов (случайных значений) двух типов последовательностей, называемых (1) пространственные последовательности (SE), соответствующие времени до встречи с объектом, что позволяет вычислить глубину объекта, от которого отражается сигнал (импульс) и (2) временные последовательности (TE), соответствующие расстоянию вдоль прямой линии В-сканирования в местоположении под землей, в котором сигнал отражается объектом.

На этапе 204 создания корреляционных функций пространственных и временных ансамблей формулируются корреляционные функции пространственных и временных ансамблей (SECFs и TECFs).

Корреляционные функции определяются с использованием временных/пространственных последовательностей этапа 202. Используя статистику, строятся группы SE и TE из полученных необработанных матричных данных; перенормируются значения квадратичной амплитуды электромагнитных компонентов (EM) для получения обобщенных SE и TE векторов  $S_q(t_i)$ . Каждая строка из необработанных матричных данных перенормируется для получения обобщенного вектора в ансамбле SE векторов. Другими словами, формирование пространственного ансамбля (SE) выполняется посредством группировки всех обобщенных электромагнитных амплитуд при  $(x_j, z_j)$   $j \in N$  (1, 2, для некоторых фиксированных  $t_i$ , следующей формулой:

$$\{S_q^N[(j, j); t_1]\} = \{S_q^N[(j = 1, j = 1); t_1], S_q^N[(j = 2, j = 2); t_1], \\ = S_q^N[(j = m, j = m); t_1]\}$$

Каждый столбец из необработанных матричных данных перенормируется для получения обобщенного вектора в ансамбле TE векторов. Таким образом, формирование временного ансамбля (TE) выполняется посредством группировки всех  $t_i$ ;  $i \in N(1, 2, bn)$  в виде следующей формулы:

$$\{S_q^N[(j, j); t_i]\} = \{S_q^N[(j, j); t_1], S_q^N[(j, j); t_2], \dots, S_q^N[(j, j); t_n]\}$$

На этапе 206 вычисления корреляционных функций пространственных и временных ансамблей вычисляются корреляционные функции пространственных и временных ансамблей (SECFs и TECFs).

Используются SE и TE векторы ансамблей из этапа 204 для вычисления статистических функций из взвешенных обобщенных векторов: вычисляются

математические ожидания,  $E_j\{S_q^N[(j, j); i]\}$ ; оптимальные квадратичные отклонения  $\sigma_s(j, j; i)$  и  $\sigma_T(j, j; i)$ ; ковариантные функции  $Cov_s[S_q^N(j, j; i), S_q^N(j, j; i + 1)]$  и  $Cov_T[S_q^N(j, j; i), S_q^N(j + p, j + p; i)]$ , из которых вычисляются корреляционные функции SECFs  $\rho_s((j, j; i): (j, j; i + 1))$  и TECFs  $\rho_T((j, j; i): (j + p, j + p; i))$ . Эти корреляции могут быть вычислены между ближайшими смежными векторами в каждом ансамбле (то есть одним отстоящим вектором), или между несколькими отстоящими векторами, если это необходимо для анализа полученных необработанных данных.

На этапе 208 обработки SECFs и TECFs для получения выходных матриц SECFs и TECFs обрабатываются для получения выходных матриц для  $n=1$  отстоящего вектора между смежными векторами. Применяя способ этапа 206, вычисление SECFs и TECFs выполняется с использованием необработанных входных данных GPR из любых доступных источников: например, но не ограничиваясь этими, экспериментальных, смоделированных или теоретизированных данных для создания перенормированных групповых векторов пространственных ансамблей (SE), и для создания перенормированных групповых векторов временных ансамблей (TE), определенных на этапе 204.

Формирование подходящих вычислительных алгоритмов, которые могут применяться в вычислительных программных/аппаратных машинах, настраивается и создается для выполнения вычислений SECFs и TECFs.

Затем они могут быть представлены в виде выходных форм, графиков, таблиц, документов для других машин, устройств и тому подобного для анализа наблюдателем. На этом этапе вычисления выполняются между каждыми двумя смежными отстоящими векторами (то есть, для одного отстоящего вектора) в группе SE векторов и в группе TE векторов.

На этапе 210 проверки результатов, вычисления матриц SECFs и TECFs начинаются с 1 отстоящего вектора ( $n=1$ ). Затем, если необходимо, вычисления повторяются с увеличивающимся количеством отстоящих векторов до  $n$  отстоящих векторов с применением способа изменения чувствительности функций (FCSM).

Применяя этап 208, вычисления для SECFs и TECFs, полученных для режима с одним отстоящим вектором, выполняются между любыми двумя несмежными отстоящими  $n$ -векторами (то есть для  $n=2, 3, \dots$  отстоящими векторами), в группах SE векторов и группах TE векторов в качестве инструмента чувствительности для улучшения признаков локализации объекта. На этапе 210 проверки результатов, за счет расширения

вычислительных алгоритмов на этапе 208, используются вычислительные программные/аппаратные машины, которые могут выполнять вычисления SECFs и TECFs для включения инструмента анализа чувствительности, который может быть представлен в выходных формах, графиках, таблицах, документах для других машин, устройств и тому подобного, для анализа наблюдателем.

Фиг. 3 представляет собой упрощенную схематическую иллюстрацию способа создания статистических ансамблей – пространственных ансамблей SE и временных ансамблей TE – в способе, проиллюстрированном на Фиг. 1B, в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения. TECFs и SECFs созданы из полученных сигналов множественных А-сканирований, образующих В-сканирование. Полученные импульсы регулярно индексируются как последовательности времени и пространства.

В этой схеме (300), GPR машина покрывает над землей линию А-сканирования, выполняя замеры для сбора необработанных GPR данных. На данном А-сканировании электромагнитные волны излучаются в грунт в виде последовательных точек отбора проб с помощью 111, передатчика Tx, в точках 302 (пример j выборки), 302, 306, 308, 310, 312 (пример j+r выборки) и так далее, при этом 113 представляет собой приемник Rx, который собирает эти выборки, отраженные от грунта в соответствующих точках 324, 326, 328, 330, 332 и так далее. Tx (111) распространяет электромагнитные волны выборок через 305, 309, 311 и 313 и так далее в грунт, а 307, 315, 317, 319 и т. д. – отраженные от земли EM волны, собранные Rx (113) в соответствующих точках. Схематический рассеивающий объект представлен под номером 315, который приводит к потенциальному изменению значений TECFs и SECFs. Схематические нижние уровни земли, в которых отражаются электромагнитные волны, на этом А-сканировании обозначены цифрами 314, 316, 318, 320, 320, 322 и так далее в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

Фиг. 4 содержит набор графиков, иллюстрирующих как сигналы, передаваемые и принимаемые из одной и той же позиции (вертикальные столбцы с одинаковым значением j), принимаются в разное время, соответствующее разным значениям i, являются выборками и записываются для построения TE-временного ансамбля, позволяя локализовать объекты вдоль линии сканирования в А-сканировании, и как формируется SE по горизонтальным рядам, каждый из которых соответствует разным позициям (обозначенным j) в одно и то же время выборки, отмеченное индексом i, для построения пространственного ансамбля SE, обеспечивая событие обнаружения объекта во времени, что дает глубину объекта при вычислении в каждой точке линии сканирования в А-сканировании.

В этой схеме (400) необработанные GPR данные, собранные машиной GPR на этапе 300, или сформированные при моделировании, теоретических расчетах или полученные иным образом, обозначенные здесь как  $m \times n$   $M(GPR)$ , структурируются для создания пространственного ансамбля (SE) и временного ансамбля (TE).

#### Создание SE:

Последовательность подграфиков 400a, 400b, 400c представляет 1-ю строку SE в матрице необработанных данных  $M(GPR)$ , которая представляет собой набор всех значений выборки 1-го А-сканирования  $i=1$ , со всеми  $j$   $M(GPR[1, 1 \dots p..m])$ , то есть 1-й SE-вектор  $M(GPR)$ ;

Последовательность подграфиков 400d, 400e, 400f представляет SE в промежуточной некоторой  $l$ -й строке в матрице необработанных данных  $M(GPR)$ , которая представляет собой набор всех  $i=l$  значений выборки А-сканирования со всеми  $M(GPR[l, 1 \dots p..m])$ , то есть  $l$ -й SE-вектор  $M(GPR)$ ;

Последовательность подграфиков 400g, 400h, 400j представляет SE в последней  $n$ -й строке матрицы необработанных данных  $M(GPR)$ , которая представляет собой набор всех  $n$ -х выборок А-сканирования со всеми  $M(GPR[n, 1 \dots p..m])$ , то есть  $n$ -й SE-вектор  $M(GPR)$ ;

#### Создание TE:

Последовательность подграфиков 400a, 400d, 400g представляет 1-й столбец TE в матрице необработанных данных  $M(GPR)$ , который представляет собой набор всех значений выборки 1-го А-сканирования  $j=1$ , со всеми  $i$   $M(GPR[1..l..n, 1])$ , то есть 1-й TE-вектор  $M(GPR)$ ;

Последовательность подграфиков 400b, 400e, 400h представляет TE в промежуточном некотором  $p$ -столбце в матрице необработанных данных  $M(GPR)$ , который представляет собой набор всех  $j=p$  значений выборки А-сканирования со всеми  $M(GPR[1..l..n, p])$ , то есть  $p$ -й TE-вектор  $M(GPR)$ ;

Последовательность подграфиков 400c, 400f, 400j представляет SE в последнем  $n$ -ом столбце матрицы необработанных данных  $M(GPR)$ , который представляет собой набор всех  $n$ -х выборок А-сканирования со всеми  $M(GPR[1..l..n, m])$ , то есть  $m$ -й SE-вектор  $M(GPR)$ ;

Фиг. 5 представляет собой график 500 типичной формы TECFs (корреляционных функций временных ансамблей) для набора подземных объектов (металлических или



вакуумных цилиндров), расположенных вдоль прямой линии на расстояниях 2 (вакуум, радиус  $r=0,08$  м), 4 (идеальный металл,  $r=0,05$  м), 6 (идеальный металл,  $r=0,055$  м) и 8 м (идеальный металл,  $r=0,08$  м) от начала координат. Присутствие, местоположение и размер каждого объекта обнаруживается посредством изменений ТЕСФ в этом месте (по оси X). Этот пример соответствует вычислениям, основанным на выборках данных для 1 отстоящего вектора в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения. На обнаружение наличия пустотелого цилиндра с радиусом  $r=0,08$  м при  $x=2$  м указывают изменения 502 в ТЕСФ.

На обнаружение наличия идеального металлического цилиндра с радиусом  $r=0,05$  м при  $x=2$  м указывает изменение 504 в ТЕСФ. На обнаружение наличия идеального металлического цилиндра с радиусом  $r=0,055$  м при  $x=6$  м указывает изменение 506 в ТЕСФ. На обнаружение наличия идеального металлического цилиндра с радиусом  $r=0,08$  м при  $x=8$  м указывает изменение 508 в ТЕСФ.

Фиг. 6А-6F содержит серию графиков выходных данных ТЕСФs (корреляционные функции временных ансамблей) для серии подземных объектов в примере модели с отстоящими от 1 до 6 векторов между последовательными векторами в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

На Фиг. 6А – 6F графики соответствуют ТЕСФs с 1 - 6 отстоящими векторами соответственно. Все они обнаруживают одни и те же 4 объекта. Таким образом, падение 601 ТЕСФ на Фиг. 6А указывает на обнаружение объекта, расположенного в районе  $x=2$  м, и, таким же образом, падения 609, 617, 625, 633 и 641 на серии графиков В-F соответственно, указывают на обнаружение таких же объектов в тех же местах. То же справедливо и для других 3 объектов, расположенных на расстоянии (приблизительно) 4, 6, 1 и 8 метров.

Эти результаты показывают, как в настоящем изобретении можно использовать комбинацию ТЕСФ с различным количеством пропущенных векторов (количество векторов, отстоящих на  $n$ ), чтобы улучшить способность к обнаружению и разрешению (горизонтальное и вертикальное) системы. В частности, это конструктивная особенность очень полезна для обнаружения небольших неметаллических объектов в жестких условиях при малом соотношении сигнал/шум. Местоположение объекта может быть приблизительно определено, скажем, при ТЕСФ с 1 отстоящим вектором, но может быть четко обнаружено при нескольких отстоящих векторах. Например, объект 607 на Фиг. 6А имеет провал в ТЕСФs со значением более 0,996, а на Фиг. 6Е для того же объекта с пометкой 639 ТЕСФs глубже со значением менее 0,995. В других случаях, это свойство является решающим при обнаружении объектов в среде с высоким уровнем помех.

Фиг. 7А и 7В иллюстрируют 2 графика 700, 750 для обычных инструментов корреляционных функций пространственных ансамблей (SECFs) для времени локализации рассеянных от объекта электромагнитных волн с двумя значениями смежных отстоящих векторов SE. Фиг. 7А иллюстрирует корреляции SE SECFs, вычисленные при 1 отстоящем векторе, а Фиг. 7В иллюстрирует SECFs, вычисленные при 3 отстоящих векторах.

Об обнаружении пустотелого цилиндра 701, расположенного на расстоянии 2 м, свидетельствует/указывает падение SECFs (Фиг. 7А) при около 3,4 нсек. Это также видно на Фиг. 7В (751) при том же значении времени.

Об обнаружении цилиндра, являющегося PEC (идеальным проводником) 703, расположенного на расстоянии 8 м, свидетельствует/указывает падение SECFs (Фиг. 7А) при около 4,2 нсек. Это также видно на Фиг. 7В (753) при том же значении времени.

Об обнаружении PEC цилиндра 705, расположенного на расстоянии 6 м, свидетельствует/указывает падение SECFs (Фиг. 7А) при около 5,05 нсек. Это также видно на Фиг. 7В (755) при том же значении времени.

Небольшое падение SECFs 709 при около 5,7 сек является неточным указанием на наличие PEC цилиндра на 4 м. Этот цилиндр обнаруживается более явно с использованием SECF с большим количеством отстоящих векторов (Фиг. 7В). Наличие PEC цилиндра 757 на 4 м видно/обнаружено при 5,7 сек.

Применение вычислений времени прохождения электромагнитных волн для пути Tx-Объект-Rx обеспечивает результаты пиковых сигналов SE, подтверждая эффективность инструментов вычислений SE. Эти результаты иллюстрируют эффективность способов согласно настоящему описанию, так как они предоставляют высокий уровень обнаружения, а также и высокое вертикальное разрешение, также обусловленное изменением количества пропущенных векторов.

Два графика выходных SECFs (корреляционных функций пространственных ансамблей) аналогичны Фиг. 5 с SE результатами вместо TE, для примера базовой модели от 1 отстоящего вектора до 3 отстоящих векторов, определяющей время прохождения электромагнитных волн на пути Tx-объект-Rx для корреляций пространственных ансамблей в диапазоне от 1 отстоящего вектора до 3 отстоящих векторов в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

Наличие пустоты при  $x=2$  м наблюдается в виде резкого падения 701 и обнаруживается при 3,4 наносекундах (нсек). Наличие цилиндра, выполненного из идеального проводника, при  $x=8$  м выглядит в виде падения 703 как указано/обнаружено

при 4,2 нсек. Наличие цилиндра, выполненного из идеального проводника, при  $x=6$  м выглядит в виде падения 705 как указано/обнаружено при 5,05 нсек. Дополнительно, слабый сигнал для цилиндра в виде идеального электрического проводника обнаруживается при 5,7 нсек в виде минорного минимума 707 на 4 м, лучше выявляемый при большем количестве отстоящих векторов корреляции SE.

На Фиг. 7В небольшой минимум 709 наблюдается при около  $\sim 5,7$  нсек в виде сигнала для PЕС цилиндра на 6 м с 3 отстоящими векторами корреляции SE, соответствующими минорному минимуму 707, наблюдаемому на Фиг. 7А. Таким образом, использование нескольких отстоящих векторов обеспечивает лучшее обнаружение на Фиг. 7В по сравнению с использованием 1 отстоящего вектора, как видно на Фиг. 7А. Таким образом, лучшее разрешение и обнаружение подземных объектов возможно при использовании большего количества отстоящих векторов. Такие данные результатов исследования являются важной составляющей новейшего способа в соответствии с настоящим изобретением.

На Фиг. 7В способ 750 построенный для применения вычислений времени прохождения электромагнитных волн на пути Tx-Объект-Rx обеспечивает результаты пиковых сигналов SE, подтверждая эффективность инструментов вычислений SE.

Фиг. 8А представляет собой упрощенный график 800 стохастической коллокации при вычислениях временных ансамблей с различными случайными величинами (RVs) SCTEs. Корреляции с наличием помех введены намеренно, чтобы показать, насколько хорошо способ работает в жестких условиях, связанных с наличием помех. Помехи обусловлены рассеиванием и отражением передаваемых импульсов GPR различными рассеивающими объектами (нежелательными), расположенными под землей (слои почвы над и под целевыми объектами). Воздействие двух уровней помех проиллюстрировано при первом уровне помех и при втором уровне помех для обнаружения подземных объектов на координате глубины (м) в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения;

Падение (спад) 801 в SCTE при около  $x=2$  м иллюстрирует обнаружение пустотелого цилиндра поблизости (глубина 0,3 м от поверхности земли).

Падение 803 в SCTE при около  $x=4$  м иллюстрирует обнаружение PЕС цилиндра поблизости (глубина 0,45 м от поверхности земли).

Спад 805 в диапазоне 4,5 - 5 м в SCTE иллюстрирует множественное рассеивание (помехи).

Падение 807 в SCTE при около  $x=6$  м иллюстрирует обнаружение PEC цилиндра поблизости (глубина 0,4 м от поверхности земли), (отдельно на графике 750).

Падение 809 в SCTE при около  $x=8$  м иллюстрирует обнаружение PEC цилиндра поблизости (глубина 0,35 м от поверхности земли).

[811] Стохастическая коллокация (SC) в способе TE применяет уравнения (23)-(24) RV1- $U$ :  $\varepsilon()$ ; RV2- $U$ :  $\sigma()$ ; RV3- $U$ : $f()$ ; RV123.

[813] Стохастическая коллокация (SC) TE при уровне помех1: RV1- $U$ : $[\varepsilon(5,6:5,7)]$ ; RV2- $U$ : $\sigma(1e-6:2e-6)$ ; RV3- $U$ : $[f(498MHz:500MHz)]$  и

[815] Стохастическая коллокация (SC) TE при уровне помех2: RV1- $U$ : $[\varepsilon(5,6:5,9)]$ ; RV2- $U$ : $\sigma(1e-6:5e-6)$ ; RV3- $U$ : $[f(495MHz:500MHz)]$ .

Фиг. 8B представляет собой упрощенный график 850 стохастической коллокации в вычислениях пространственных ансамблей с различными случайными величинами - корреляции SCSEs, при первом уровне помех и при втором уровне помех для обнаружения подземных объектов с временной координатой (наносекунды) в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

Падение (снижение) 851 в SCTE при около 3,4 нсек указывает на наличие пустотелого цилиндра при  $x=2$  м.

Падение (снижение) 853 в SCTE при около 4,2 нсек указывает на наличие PEC цилиндра при  $x=8$  м.

Падение (снижение) 855 в SCTE при около 5,05 нсек указывает на наличие PEC цилиндра при  $x=6$  м.

Падение (снижение) 857 в SCTE при около 5,7 нсек указывает на наличие PEC цилиндра при  $x=4$  м.

Рассеивание 859 видно с краев пустых клеток 1 и 2.

Наблюдается большее рассеивание [861].

Способ 863 стохастической коллокации (SC) применяет уравнения (23)-(24) RV1- $U$ : (23)-(24) RV1- $U$ :  $\varepsilon()$ ; RV2-17:  $\sigma()$ ; RV3- $U$ : $f()$ ; RV12.

Стохастическая коллокация (SC) SE при уровне помех1: RV1- $U$ : $[\varepsilon(5,6:5,7)]$  RV2- $U$ : $\sigma(1e-6:2e-6)$  RV3- $U$ : $[f(498MHz:500MHz)]$ .

Стохастическая коллокация 867 SE при уровне помех2: RV1- $U$ : $[\varepsilon(5,6:5,9)]$  RV2- $U$ : $\sigma(1e-6:5e-6)$  RV3- $U$ : $[f(495MHz:500MHz)]$ .

Фиг. 9A представляет собой экспериментальные результаты для TECFs между перемещениями А-сканирования с 1 отстоящим вектором, используемые для неметаллических отслеживаемых объектов. Применение способа TECFs – обнаружение 6 скрытых в земле различных пластиковых (нематаллических) объектов и другие 2 эффекта

являются результатом нахождения поблизости металлических объектов, расположенных на одной линии параллельно пластиковым объектам.

Глубокий и резкий спад 901 иллюстрирует начало ложного сигнала GPR машины. Спады 903 в TЕСF при около  $x=1,7$  м указывают на обнаружение и локализацию объекта 1 (пластиковый мешок размером 20 см).

Пластиковый контейнер 2905 встречен/обнаружен на около 2,5 м от начала.

Пластиковый контейнер 3907 встречен/обнаружен на около 3,6 м от начала.

Эффект 909 от нахождения рядом металлического объекта, скрытого параллельно линии пластиковых контейнеров, как описано выше.

Пластиковый контейнер 4 911 обнаружен на около 5,3 м от начала.

Пластиковый контейнер 5, 913 обнаружен на около 8 м от начала.

Пластиковый контейнер 6, 915 встречен/обнаружен на около 8,5 м от начала.

Эффект 917 обнаружен из второй линии объектов, скрытых параллельно линии пластиковых контейнеров. В соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения. Фиг. 9В представляет собой результат для TЕСFs между перемещением А-сканирования с 2 отстоящими векторами для отслеживания металлических объектов. Применение способа TЕСF – обнаружение 7 скрытых различных металлических объектов. Металлические объекты обнаружены на определенном расстоянии от начальной точки и на следующих глубинах:

Металлический объект1 расположен на глубине 10 см и обнаружен на 2,5 м от исходной точки (951)

Металлический объект2 расположен на глубине 15 см и обнаружен на 4,3 м от исходной точки (953)

Металлический объект3 расположен на глубине 20 см и обнаружен на 5,7 м от исходной точки (955)

Металлический объект4 расположен на глубине 10 см и обнаружен на 7,3 м от исходной точки (957)

Металлический объект5 расположен на глубине 15 см и обнаружен при 9,4 м от исходной точки (959)

Металлический объект6 расположен на глубине 10 см и обнаружен на 10,6 м от исходной точки (961).

Металлический объект7 расположен на глубине 25 см и обнаружен на 12 м от исходной точки (963), в соответствии с вариантом реализации настоящего изобретения.

На Фиг. 9А и Фиг. 9В результаты эксперимента показывают, что импульсы GPR на частоте 3200Мгц были переданы во время теста из системы на Фиг. 1А в область грунта. Было получено и записано множество отраженных импульсов/сигналов. Следующие данные об измерительном устройстве и информации о сборе данных: временное окно: 68,75 нсек, разнос антенны: 0,18 м, интервал расстояния отбора: 0,008651 м, длина сканирования: 12,5 м, количество отборов для каждого А-сканирования: 220, количество трассировок: 1446. Была создана выходная матрица, как было пояснено в отношении этапа 202 (Фиг. 2). Был выполнен способ по Фиг. 2. На этапе 206 из TECFs был сформирован график. Это видно на Фиг. 9А и 9В (один или множество (два)) отстоящих вектора. Как видно на Фиг. 9В при обнаружении металлических объектов, на расстоянии 2,4 - 2,5 м TECFs иллюстрируют резкое неложное падение (951), указывающее на наличие объекта, и так далее. Фиг. 9С схематически иллюстрирует металлические объекты (и их расположение Фиг. 9В) 971 (951), 973 (953), 975 (955), 977 (957), 979 (959), 981 (961) и 983 (963), скрытые под землей (на глубине от 10 см до 25 см).

#### I (a) Примеры систем измерений

Разнообразные измерительные GPR системы могут использовать предложенный способ либо в составе системы в качестве надстройки, либо в качестве прикрепленного специального внешнего дополнительного инструмента. Эти типы машин удовлетворяют требованиям в таких секторах, как те, которые перечислены в таблицах 1-4, приведенных ниже в ссылках (1):

#### I (b) Примеры имитационных систем

Разнообразные платформы моделирования GPR могут использовать предложенный способ либо в составе системного программного алгоритма в качестве внутреннего дополнительного инструмента, либо в качестве непосредственного дополнительного внешнего вспомогательного инструмента. Такие типы программных пакетов работают в качестве сопутствующих измерений в полевых измерениях экспериментальных лабораторных систем для различных потребностей. Некоторые из них покрывают широкую область применения, например, grtMax в ссылках (2), другие используются для многоцелевого GPR контроля в ссылках (3), другие направлены на специализированное применение, например, дорожные сканеры для подземных дорожных структур в ссылках (4), или программного обеспечения для обучающих GPR систем в ссылках (5),

программных пакетов, которые используются другими математическими платформами, например, Matlab, в качестве основы в ссылках (6), и так далее.

Система GPR 1 в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения проиллюстрирована на Фиг. 1А.

Соответственно, целью настоящего изобретения является предоставление эффективного способа, включающего статистические инструменты, обнаруживающие расположение скрытых объектов под землей с высокой достоверностью, направленного на маскирование позиций с неточным обнаружением в пространстве и времени.

Данное изобретение иллюстрирует, как использовать сформированные необработанные GPR данные, полученные парными антеннами передатчик-приемник нескольких А-сканирований подземной части, известные как выполнение В-сканирования, что позволяет точно определять подземные объекты, как в пространстве, так и во времени с высокой точностью.

В соответствии с дополнительными характерными признаками настоящего изобретения были разработаны следующие этапы реализации предлагаемого инновационного решения:

1. Установить математическую формалистическую компоновку для создания статистических ансамблей на основе любых исходных GPR данных, измеренных или смоделированных; (а) Пространственные ансамбли (SE), (b) Временные ансамбли (TE) и охарактеризовать их как Стохастические процессы (SP) SE и TE. В то время как TE отражает причинную последовательность событий SP, SE изображает беспричинные SP, расширенные в пространстве в выбранные моменты времени.

2. Сформировать формулы для SE и TE с необходимыми статистическими ансамблями переменных, которые дают понимание процессов прохождения электромагнитных (EM) полей. Эти электромагнитные поля испускаются из передающей антенны  $T_x$ , распространяясь повсюду в целевую подземную среду, наталкиваясь на рассеивающие объекты или другие разрывы и границы целевого участка, отражаясь обратно к приемнику  $R_x$ .

3. Извлечь статистические уравнения SE-SP и TE-SP для их нормализованных переменных электромагнитных полей; (1) Ожидаемые значения (средние значения), (2) Стандартные отклонения (типовые), (3) Дисперсии, (4) Корреляционные функции.

4. Создать две группы корреляционных функций; корреляционные функции пространственных ансамблей (SECFs) и корреляционные функции временных ансамблей (TECFs). Эти SECFs и TECFs играют инновационную роль в определении подземных

объектов с высокой точностью как в пространстве посредством TECFs вдоль нижней стороны В-сканирования, так и во времени посредством SECFs , указывающих точное время событий рассеивания электромагнитных полей, рассеянных объектами.

5. SECFs и TECFs берутся между их внутренними взаимными парами ансамблей векторов, между близко примыкающими парами на один отстоящий вектор (то есть между вектором и ближайшим к нему) или между близкими другими парами, такими как 2 отстоящих вектора (то есть между вектором и вторым ближайшим к нему), или 3 отстоящих вектора (то есть между вектором и третьим ближайшим к нему), и так далее. Этот инструмент порождает процесс, который дает предположение о размере подземного объекта. При определенных сочетаниях корреляции теряются, означая, что корреляции теряются, что дает приблизительную оценку размеров объекта, например, посредством TECFs.

6. Расширить математическую формалистическую компоновку для создания стохастических коллокаций поверх ансамблей статистического наращивания из любых необработанных GPR данных, измеренных или смоделированных; (а) стохастические коллокации пространственных ансамблей (SC-SE), (b) стохастические коллокации временных ансамблей (SC-TE) и охарактеризовать их как SC-SE и SC-TE стохастические коллокации для анализа чувствительности (SA). SC-TE отражает диапазон стохастичности физических свойств во времени причинной последовательности событий, SC-SE отражает диапазон случайности физических свойств вдоль линейного пространства беспричинных событий, возмущенных в пространстве в выбранные моменты времени в соответствии с продвижением А-сканирования вдоль прямой.

7. Создать две группы стохастических коллокационных корреляционных функций; пространственные корреляции стохастических коллокаций (SC-SE) и временной ансамбль стохастической коллокации (SC-TE). Эти SC-SE и SC-TE позволяют анализировать чувствительность данных, полученных в невозмущенных SECF и TECF, при имитации и подгонке физических параметров грунта, чтобы лучше соответствовать фактическим свойствам грунта и оптимизировать обнаружение событий рассеяния электромагнитных полей объектами и структурами.

1. Вариант реализации изобретения, способ разработки статистических ансамблей из матрицы необработанных данных РЛС подповерхностного зондирования (GPR)  $n \times m$ ,  $G_{T_x, R_x}^{i,j}(\vec{r}, t, n, m)$  например электромагнитных волн от передатчика  $T_x$  с большим количеством  $m$  А-сканирований (обозначаемых как В-сканирование) в течение времени сканирования  $t$  по выбору для каждого А-сканирования, выборки  $n$  раз на приемнике  $R_x$ , измеренных или смоделированных пространственных ансамблей (SE) и временных



ансамблей (TE), организованных в виде примитивных статистических групп для достоверного статистического анализа.

2. Вариант реализации создания надлежащих статистических ансамблей для матрицы необработанных данных GPR, например  $G_{T_x, R_x}^{i,j}(\vec{r}, t, n, m)$  (i-строка в n, j-столбец в m), для электрических (E) и/или магнитных (M) полей, их амплитуды, их квадратичные амплитуды и поля более высокого порядка (электрические, магнитные), которые взвешены и нормализованы для соответствия требованиям стандартной статистической группы.

3. Вариант реализации группировки надлежащего статистического пространственного ансамбля (SE) из матрицы необработанных данных GPR  $G_{T_x, R_x}^{i-fixed,j}(\vec{r}, t, n, m)$  для электрического (E) и/или магнитного (M) поля по варианту реализации 2, принимая каждую строку любого фиксированного i в качестве полностью достоверного статистического вектора. SE включает в себя беспричинный пространственный вектор, процесс адаптации последующих A-трассировок внутри B-сканирования. Все  $G_{T_x, R_x}^{i-fixed,j}(\vec{r}, t, n, m)$  для всех  $i=(1..n)$  сгенерированных групп векторов SP-SE пространственного ансамбля стохастических процессов. Поддержка локализации объектов по их времени рассеивания.

4. Вариант реализации группировки надлежащего статистического временного ансамбля (TE) из матрицы необработанных данных GPR, например,  $G_{T_x, R_x}^{i,j-fixed}(\vec{r}, t, n, m)$  для электрического (E) и/или магнитного (M) поля по варианту реализации 2, принимая каждый столбец любого фиксированного j в качестве полностью достоверного статистического вектора. TE включает в себя причинный временной вектор, процесс адаптации последующих Rx выборок внутри j-го A-сканирования. Все  $G_{T_x, R_x}^{i,j-fixed}(\vec{r}, t, n, m)$  для всех  $j=(1..m)$  сгенерированных групп векторов SP-TE временного ансамбля стохастических процессов. Поддержка локализации объектов по их местам рассеивания.

5. Вариант реализации построения математической формулы статистических функций: (1) ожидаемые значения (средние значения), (2) стандартные отклонения (STD), (3) дисперсии, (4) корреляционные функции. Применение для векторов пространственных ансамблей (SE)  $G_{T_x, R_x}^{i-fixed,j}(\vec{r}, t, n, m)$ . Все корреляционные функции  $G_{T_x, R_x}^{i-fixed,j}(\vec{r}, t, n, m)$  с парами среди  $i=(1..n)$  формируют корреляционные функции пространственных ансамблей SECFs. От одного отстоящего вектора SE до множества отстоящих векторов между парами векторов представляют собой инструмент для выделения объектов по их времени

рассеивания на разных уровнях выделения из различных точек рассеивания от выделенных объектов.

6. Вариант реализации построения математической формулы статистических функций: (1) ожидаемые значения (средние значения), (2) стандартные отклонения (STD), (3) дисперсии, (4) корреляционные функции. Применение векторов временных ансамблей (TE) к  $G_{Tx,Rx}^{i,j-fixed}(\vec{r}, t, n, m)$ . Все корреляционные функции  $G_{Tx,Rx}^{i,j-fixed}(\vec{r}, t, n, m)$  для пар среди  $j=(1..m)$  формирует корреляционные функции временных ансамблей TECFs. От одного отстоящего вектора TE до множества отстоящих векторов между парами векторов представляют собой инструмент для выделения объектов по их пространственным точкам рассеивания при разных уровнях выделения, при этом увеличение расстояния между скоррелированными векторами приводит к уменьшению корреляции, что дает представление о размерах рассеивающих объектов.

7. Вариант реализации изобретения, который расширяет варианты реализации изобретения 1-6 невозмущенной математической формалистической компоновки для создания стохастических коллокаций поверх ансамблей статистического наращивания из любых входных необработанных GPR данных, измеренных или смоделированных; Это формирует (а) стохастическую коллокацию пространственного ансамбля (SC-SE), (б) стохастическую коллокацию временного ансамбля (SC-TE), которые обеспечивают разные варианты анализа чувствительности (SA).

8. Вариант реализации изобретения для SC-SE и SC-TE, сформулированный посредством введения случайных значений (Rvs) через статистический  $g(\omega)$ . Все выражения невозмущенных корреляционных функций SE- $G_{Tx,Rx}^{i-fixed,j}(\vec{r}, t, n, m)$  и TE- $G_{Tx,Rx}^{i,j-fixed}(\vec{r}, t, n, m)$  взвешены в стохастических процессах коллокации посредством случайных значений (RVs) физических параметров интереса, подобранных случайными функциями, выражая в общем смысле  $g(\omega)$  для любого элемента в группе функций возможного распределения (PDFs)  $g(\omega)$ ,  $\omega \in \Omega$  формально задаются следующим образом:

$$E\{g(\Omega)\} = \sum_{i=0}^n \omega_i \cdot G_{Tx,Rx}^{i-fixed,j}(\vec{r}, t, n, m) \text{ SC-SE}$$

$$E\{g(\Omega)\} = \sum_{i=0}^n \omega_i \cdot G_{Tx,Rx}^{i,j-fixed}(\vec{r}, t, n, m) \text{ SC-TE}$$

## I. Компьютерное программное приложение

Необработанные данные, сформированные GPR с помощью системы при В-сканировании, как при любом известном способе или разработанном в будущем способе измерений, так и созданном посредством GPR моделирования любым существующим способом или будущим созданным способом моделирования, могут быть легко преобразованы в математическую формулировку, предложенную в документе, озаглавленном как:

(1) «Подходы к стохастическим процессам в GPR приложениях» и

(2) «Стохастическая коллокация. Введение в методы корреляционных функций для обнаружения группы объектов» могут быть непосредственно написаны в виде компьютерной программы, любым известным способом, например, на языках C, C++, Matlab, python, и так далее, или с помощью любых будущих компьютерных программ.

Принципы применения предложенных способов следующие:

(1) Измерение или моделирование целевой желаемой модели в В-сканировании с достаточным количеством А-сканирований →

(2) Сбор матрицы необработанных GPR данных из этапа (1) →

(3) Запуск разработанного алгоритма с входными данными этапа (2) для выделения подземных объектов в пространственном распределении с использованием TECFs (корреляции последовательных столбцов матрицы) и глубины подземного распределения с использованием SECFs (корреляции последовательных строк матрицы).

Некоторые варианты реализации настоящего изобретения.

1. Способ предоставления эффективного устройства для регистрации инструментов статистического анализа, обуславливающего выделение и обнаружение скрытых подземных объектов с высокой точностью, или различных структур, или зданий, или археологических останков, или сельскохозяйственных подземных элементов, или поиск минералов различных типов, или строительства и обслуживания дорог, или любых других видов подземного поиска, нацеленного на затененные или неизвестные позиции, или других форм с неточным обнаружением в пространстве и времени.

1.1. Способ использует сформированные необработанные данные GPR, полученные парными антеннами передатчик-приемник нескольких А-сканирований подземной части, известные как характеристики В-сканирование, что позволяет точно определять подземные объекты, как в пространстве, так и во времени с высокой точностью.

1.1.1. В 1.1. могут использоваться любые необработанные или исходные данные любой размерности – 2D, 3D, и так далее в качестве матрицы пространства-времени, например:

(a) Измерения

(b) Моделирование

(c) Вычисленные непосредственно существующими или новыми теоретическими моделями GPR

(d) Искусственно созданные

1.1.2. Любые измерительные устройства в 1.1.1 (a) чьи выходные данные представлены в форме матрицы необработанных данных пространства-времени могут использоваться в варианте реализации изобретения 1. Примеры типов измерительных устройств перечислены в Таблицах 1-4 в «I (a) Примеры систем измерений», а также любые устройства, которые уже существуют или будут доступны на рынке или устройства области исследования, или любые другие типы. Измерительные устройства могут быть смонтированы на любую платформу: мобильную, летающую, проникающие под землю или любые другие существующие или будущие формы.

1.1.3. Любые подходящие пары передающих-принимающих антенн в форме диполя, горна и тому подобного, и любые другие типы конфигураций пар антенн могут использоваться в подходящей конфигурации, обеспечивающей характеристики, необходимые для реализации 1.1.2, чтобы служить в качестве инструмента в 1.1.1 (a) и могут применяться для варианта реализации изобретения 1.

1.1.4. Любые существующие инструменты моделирования или моделирования, которое будет создано в будущем, используемые в качестве 1.1.1 (b) с целью формирования выходных данных в форме матрицы необработанных данных пространства-времени 1.1.1 могут использоваться в варианте реализации изобретения 1. Примеры типов инструментов моделирования перечислены в «I (b) Примеры систем моделирования», а также в перечне ссылок и могут быть найдены в других частях документа.

1.1.5. Множественное А-сканирование в качестве В-сканирования может быть выполнено с использованием одной или более опции 1.1.1 для описания заголовка в строке 1.1, или посредством моделирования множества строк или любой формы, которая создает матрицу данных пространства-времени с целью выполнения варианта реализации изобретения 1.

Вариант реализации изобретения 2.

1. Способ обнаружения подземных объектов как определено в варианте реализации изобретения 1, и дополнительно включающий формирование математическое формалистической компоновки для создания статистических ансамблей с помощью любых необработанных GPR входных данных в варианте реализации изобретения 1, 1.1., как измеренных или смоделированных, так и посредством любого из способов в варианте реализации изобретения 1, 1.1.1.; при этом включающий этапы для построения (a) пространственных ансамблей (SE), (b) временных ансамблей (TE) и их общее название как SE и TE стохастические процессы (SP) (или включающий любые комбинации SE и TE с отличными от упрощенных статистических методов корреляционных функций, что улучшает результаты варианта реализации изобретения 1). В то время как TE отражает стохастические процессы (SP) причинной последовательности событий, SE изображает беспричинные SP, расширенные в пространстве в выбранные моменты времени.

2. Для создания варианта реализации изобретения 2.1. формируются формулы для SE и TE (или включающий любую комбинацию SE и TE, отличную от упрощенных статистических методов корреляции функций, что улучшает результаты для варианта реализации изобретения 1) с необходимыми статистическими ансамблями переменных, которые дают представление о процессах распространения электромагнитных (EM) полей. Эти электромагнитные поля испускаются из передающей антенны Tx как описано в варианте реализации изобретения 1. 1.1.3., распространяясь повсюду в целевую подземную среду, наталкиваясь на рассеивающие объекты или другие разрывы и границы целевого участка, отражаясь обратно к приемнику Rx как описано в варианте реализации изобретения 1. 1.1.3.

3. Для создания варианта реализации изобретения 2.2., при котором следующий этап содержит извлечение статистических уравнений для SE-SP и TE-SP для их нормализованных переменных электромагнитных полей; (1) ожидаемые значения (средние), (2) стандартные отклонения (std), (3) дисперсии, (4) корреляционные функции

(или содержащие любые комбинации SE и TE для этапов (1) -(4) с отличными от упрощенных статистических методов корреляционных функций, что улучшает результаты для варианта реализации изобретения 1).

4. Для создания варианта реализации изобретения 2.3., при котором следующий этап содержит извлечение статистических уравнений для SE-SP и TE-SP для их нормализованных переменных электромагнитных полей; (1) ожидаемые значения (средние), (2) стандартные отклонения (std), (3) дисперсии, (4) корреляционные функции (или содержащие любые комбинации SE-SP и TE-SP для вычислений (1) -(4) с отличными от упрощенных статистических методов корреляционных функций, что улучшает результаты для варианта реализации изобретения 1).

5. Для создания варианта реализации изобретения 2.4., при котором следующий этап содержит извлечение статистических уравнений для создания двух групп корреляционных функций; корреляционные функции пространственных ансамблей (SECFs) и корреляционные функции временных ансамблей (TECFs). Эти SECFs и TECFs играют инновационную роль для варианта реализации изобретения 1 в определении с высокой точностью подземных объектов, как в пространстве посредством TECFs вдоль нижней стороны В-сканирования, так и во времени посредством SECFs, указывающих точное время событий рассеивания электромагнитных полей объектом (или включающие любые отличные от упрощенных статистических методов корреляционных функций, что улучшает результаты при вычислении эквивалентных функций для заданных корреляционных функций пространственных ансамблей (SECFs) и для корреляционных функций временных ансамблей (TECFs) для вычислений варианта реализации изобретения 1).

6. Для создания варианта реализации изобретения 2.5, при котором следующие этапы содержат извлечение статистических уравнений, где SECFs и TECFs берутся между их внутренними взаимными парами ансамблей векторов, между близко примыкающими парами на один отстоящий вектор (то есть между вектором и ближайшим к нему) или между близкими другими парами, такими как 2 отстоящих вектора (то есть между вектором и вторым ближайшим к нему), или 3 отстоящих вектора (то есть между вектором и третьим ближайшим к нему), и так далее. Этот инструмент порождает процесс, который дает предположение о размере подземного объекта. При определенных сочетаниях корреляции теряются, означая, что корреляции теряются, что дает

приблизительную оценку размеров объекта, например, посредством TECFs (или включающие любые отличные от упрощенных статистических методов корреляционных функций как в альтернативном варианте реализации изобретения 2.5, что улучшает результаты вычислений эквивалентных результатов с использованием данного способа между несколькими отстоящими векторами, или между их эквивалентами, для улучшения результатов для варианта реализации изобретения 1).

7. Для создания варианта реализации изобретения 2.1. - 2.6., при котором другой этап расширения способа для извлечения по варианту реализации изобретения 1. содержит математическую формалистическую компоновку для создания стохастических коллокаций поверх ансамблей статистического наращивания из любых необработанных входных GPR данных, как в варианте реализации изобретения 1., как измеренных или смоделированных, или сформированных любым другим способом в варианте реализации изобретения 1.1.1; (a) стохастическая коллокация пространственного ансамбля (SC-SE), (b) стохастическая коллокация временного ансамбля (SC-TE) и охарактеризованные как SC-SE и SC-TE стохастическая коллокация для анализа чувствительности (SA). SC-TE отражает диапазон случайности физических свойств вдоль линейного пространства причинных событий, SC-SE отражает диапазон случайности физических свойств вдоль линейного пространства беспричинных событий, возмущенных в пространстве в выбранные моменты времени в соответствии с продвижением А-сканирования вдоль прямой или наоборот (при чем это работает для содержащих любые отличные от упрощенных статистических методов корреляционных функций, как в альтернативном варианте реализации изобретения 2.1-2.6, что улучшает результаты при вычислении эквивалентных результатов при использовании данного способа для извлечения SC-SE и SC-TE, или их эквивалентов для улучшения результатов для вариантов реализации изобретения 1).

8. Для создания варианта реализации изобретения 2.7., при котором на другом этапе для расширения способа при извлечении варианта реализации изобретения 1. создаются две группы стохастических коллокационных корреляционных функций; пространственные корреляции стохастических коллокаций (SC-SE) и временной ансамбль стохастической коллокации (SC-TE). Эти SC-SEs и SC-TEs обеспечивают анализ чувствительности данных, полученных на невозмущенных SECFs и TECFs в варианте реализации изобретения 2.1-2.6 на начальном этапе и корректируют физические параметры грунта в стремлении улучшить актуальные свойства грунта и оптимизировать обнаружение

событий рассеивания электромагнитных полей объектами и структурами (при этом, это работает для включения любых отличных от упрощенных статистических методов корреляционных функций как в альтернативном варианте реализации изобретения 2.1-2.6., что улучшает результаты в варианте реализации изобретения 2.7. в качестве анализа чувствительности (SA) при вычислении эквивалентных результатов при использовании данного способа для извлечения SC-SEs и SC-TEs для SA или в их эквивалентах для улучшения результатов для варианта реализации изобретения 1).

## НОВАЯ СИСТЕМА

Вариант реализации изобретения 3.

1. Все существующие аппаратные системы для новой системы применимы к варианту реализации изобретения 1.1.1. (a) или изобретенные в будущем, произведенные или полученные иным образом, которые собирают данные GPR в виде необработанных данных, или иным образом, которые подходят в качестве входных данных для способа в варианте реализации изобретения 1. и используются в варианте реализации 2., которые могут использовать вариант реализации изобретения 1. и вариант реализации изобретения 2. для получения варианта реализации изобретения 1.1., в котором применяется новый способ путем включения нового способа в аппаратные средства, или используется в цепочке (или иным образом) в операции пост-измерений для нового способа с полученными данными GPR, или использование иным образом нового способа на любом этапе с целью обнаружения подземных объектов или сооружений, или любого другого поиска, как в варианте реализации изобретения 1.1. Любые измерительные устройства в 1.1.2 (a), чьи выходные данные представлены в форме матрицы необработанных данных пространства-времени могут использоваться в варианте реализации изобретения 1. Примеры типов измерительных устройств перечислены в Таблицах 1-4 в «I (a) Примеры систем измерений» и также любые устройства, которые уже существуют или будут доступны на рынке или устройства области исследования, или любые другие типы. Измерительные устройства могут быть смонтированы на любую платформу: мобильную, летающую, проникающие под землю или любые другие существующие или будущие формы.

2. Все существующие инструменты моделирования или способы моделирования, применимые к варианту реализации изобретения 1.1.1., (b) или изобретенные в будущем,



полученные иным способом, которые моделируют GPR формируют матрицу необработанных данных пространства-времени по 1.1.1., или иным способом, являются частью новой системы, которая подходит в качестве входных данных для нового способа в варианте реализации изобретения 1. и используется в варианте реализации изобретения 2., который использует вариант реализации изобретения 1. и вариант реализации изобретения 2. для получения варианта реализации изобретения 1.1. по новому способу. Примеры типов инструментов моделирования перечислены в «I (b) Примеры систем моделирования», а также в перечне ссылок и могут быть найдены в других частях документа.

3. Все теоретически модели GPR, вычисляющие непосредственно или иным способом, посредством существующих или новых теоретических способов, которые применимы к созданию необработанных данных, или иным образом, в форме по варианту реализации изобретения 1.1.1.(с), иным способом, которые моделируют GPR получают матрицу необработанных данных пространства-времени по 1.1.1., или иным способом, являются частью новой системы, которая подходит в качестве входных данных для нового способа в варианте реализации изобретения 1. и используется в варианте реализации изобретения 2., который использует вариант реализации изобретения 1. и вариант реализации изобретения 2. для получения варианта реализации изобретения 1.1. по новому способу. Примеры типов необработанных данных, которые вычисляются непосредственно из теоретических моделей GPR могут быть найдены в других частях документа.

4. Все искусственно созданные необработанные данные GPR, накопленные механически, созданные из пересекающихся источников данных, одного источника, подготовленные, смешанные или полученные иным образом, которые применимы к созданию необработанных данных, или иным образом, в форме по варианту реализации изобретения 1.1.1.(с), или иным способом, которые моделируют GPR формируют матрицу необработанных данных пространства-времени по 1.1.1., или иным способом, являются частью новой системы, которая подходит в качестве входных данных для нового способа в варианте реализации изобретения 1. и используется в варианте реализации изобретения 2., который использует вариант реализации изобретения 1. и вариант реализации изобретения 2. Для создания варианта реализации изобретения 1.1. Для нового способа. Примеры типов необработанных данных, которые искусственно созданы из полученных необработанных данных GPR, могут быть найдены в других частях документа.

Все, что требуется защитить патентом на изобретение, изложено, в частности, в прилагаемой формуле изобретения.

## ССЫЛКИ НА ПУБЛИКАЦИИ

(1) Zhongming Xiang, S.M.ASCE<sup>1</sup>; Abbas Rashidi, M.ASCE; and Ge “Gaby” Ou, Aff.M.ASCE, "States of Practice and Research on Applying GPR Technology for Labeling and Scanning Constructed Facilities", J. Perform. Constr. Facil., 2019, 33(5): 03119001.

(2) C. Warren, A. Giannopoulos, I. Giannakis, “ Gprmax: Open Source Software to Simulate Electromagnetic Wave Propagation for Ground Penetrating Radar.”Comput. Phys. Commun. 2016, 209, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2016.08.020> [CrossRef].

(3) GPRSIM v3.0 Software (c1992-) Ground Penetrating Radar Simulation Software, <https://www.gpr-survey.com/gprsim.html>, <https://www.gpr-survey.com/index.html>

Road scanners Inc., “Road Doctor™ Software Version 3, <https://www.roadscanners.com/products/software-products/road-doctor/>.

(4) Decipher GPR training system, <https://www.decifergpr.com/the-software>.

(5) MatGPR 3.5, <http://users.uoa.gr/~atzanis/matgpr/matgpr.html>.

(6) Haridim, M., & Zemach, R. (2021). Stochastic Processes Approach in GPR Applications. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.

(7) “Zemach, R., & Haridim, M. (2021). Stochastic Collocation Introduction Into Correlation Functions Method Applied for Underground Objects Detection. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing

Процитированные в данном документе публикации демонстрируют множество принципов, применимых к настоящему изобретению. По этой причине полное содержимое этих публикаций включено в данный документ посредством ссылок, где это

необходимо, для разъяснения дополнительных или альтернативных подробностей, признаков и/или технического уровня.

Следует понимать, что изобретение не ограничено в своем применении деталями, изложенными в описании, содержащемся в данном документе, или проиллюстрированными на графических материалах. Изобретение допускает другие варианты реализации и может быть осуществлено на практике и выполнено различными способами. Специалистам в данной области техники будет понятно, что различные модификации и изменения могут быть применены к вариантам реализации изобретения, как описано выше, без отклонения от его объема, определенного в прилагаемой формуле изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ для обнаружения подземных объектов, включающий:

- a) применение коротких электромагнитных импульсов (сигналов) РЛС подповерхностного зондирования (GPR) для определения местоположения, представляющего интерес;
- b) запись электромагнитных импульсов (сигналов), полученных указанным GPR во времени и пространстве из указанного местоположения, представляющего интерес; это приводит к созданию необработанных данных;
- c) обработку указанных необработанных данных (полученных сигналов электромагнитных волн) во времени и пространстве, включающую по меньшей мере одно из:
  - i. организацию указанных необработанных данных в статистические пространственные ансамбли и временные ансамбли;
  - ii. вычисление корреляционных функций пространственных ансамблей SECFs;
  - iii. вычисление корреляционных функций временных ансамблей TECFs;
  - iv. обработку SECFs и TECFs для получения выходных матриц для  $n \geq 1$  отстоящих векторов; и
  - v. проверку результатов SECFs и посредством способа изменения чувствительности (FCSM), и увеличение  $n$  отстоящих векторов для получения необработанных выходных данных;

при этом обнаружение, размер и местоположение объекта демонстрирует изменение корреляционных функций (CFs) в определенном времени и пространстве.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный объект находится на по меньшей мере 1 см, 10 см, 50 см, 1 метр, 10 метров или 100 метров под землей.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный применяемый этап выполняют от по меньшей мере 1 см, 1 метра, 5 метров, 10 метров, 100 метров, 1 км или 5 км над землей.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что имеет высокое горизонтальное разрешение в по меньшей мере 1 см.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный объект представляет собой немагнитный объект.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что указанный объект содержит пластик, резину, дерево, ткани млекопитающих, ткань, вещество растительного происхождения, минеральное вещество, остатки живых организмов и их комбинацию.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный применяемый этап выполняют при горизонтальной скорости, составляющей по меньшей мере 0,1 м/с, 1 м/с, 5 м/с, 10 м/с или 100 м/с.
8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный применяемый этап длится менее чем 1000 секунд, 100 секунд, 10 секунд, 1 секунда, 1 миллисекунда, 1 микросекунда или 1 наносекунда.
9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что длится менее чем 1000 секунд, 100 секунд, 10 секунд, 1 секунда или 1 миллисекунда.
10. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный объект менее метра в длину, менее 50 см в длину, менее 20 см в длину, менее 10 см в длину или менее 1 см в длину.
11. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный объект весит менее одного килограмма, менее 500 грамм, менее 200 грамм, менее 100 грамм или менее 50 грамм.
12. Способ определения положения подземного объекта, включающий:
- a) применение РЛС подповерхностного зондирования/сигналов электромагнитных волн для локализации места, представляющего интерес, в земной поверхности;
  - b) обнаружение выпущенных сигналов электромагнитных волн во времени и пространстве из указанного местоположения, представляющего интерес;
  - c) обработку указанных сигналов электромагнитных волн в пространстве и времени, содержащую по меньшей мере одно из следующего:
    - i. организацию входных необработанных данных в статистические пространственные ансамбли и временные ансамбли;
    - ii. вычисление корреляционных функций пространственных ансамблей SECFs и TECFs;
    - iii. вычисление корреляционных функций пространственных ансамблей SECFs и TECFs;
    - iv. обработку SECFs и TECFs для получения выходных матриц для  $n=1$  отстоящего вектора между смежными векторами; и
    - v. проверку результатов матриц SECFs и TECFs посредством FCSM и увеличения  $n$  отстоящих векторов,определяя тем самым положение объекта.

13. Способ по п. 12 дополнительно включающий по меньшей мере два пункта из следующих:

- i. организацию входных необработанных данных в статистические пространственные ансамбли и временные ансамбли;
- ii. вычисление корреляционных функций пространственных ансамблей SECFs и TECFs;
- iii. вычисление корреляционных функций пространственных ансамблей SECFs и TECFs;
- iv. обработку SECFs и TECFs для получения выходных матриц для  $n=1$  отстоящего вектора между смежными векторами; и
- v. проверку результатов матриц SECFs и TECFs посредством FCSM и увеличения  $n$  отстоящих векторов.

14. Способ по п. 13, отличающийся тем, что указанный способ дополнительно включает по меньшей мере все пункты из следующих:

- i. организацию входных необработанных данных в статистические пространственные ансамбли и временные ансамбли;
- ii. вычисление корреляционных функций пространственных ансамблей SECFs и TECFs;
- iii. вычисление корреляционных функций пространственных ансамблей SECFs и TECFs;
- iv. обработку SECFs и TECFs для получения выходных матриц для  $n=1$  отстоящего вектора между смежными векторами; и
- v. проверку результатов матриц SECFs и TECFs посредством FCSM и увеличения  $n$  отстоящих векторов.

15. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанный объект находится на по меньшей мере 5 см, 10 см, 50 см, 1 метр, 10 метров, 100 метров или 1 км под землей.

16. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанный применяемый этап выполняют от по меньшей мере 1 метра, 5 метров, 10 метров, 100 метров, 1 км или 5 км над землей.

17. Способ по п. 12, отличающийся тем, что имеет высокое горизонтальное разрешение по сравнению с результатами предшествующего уровня техники.

18. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанный объект представляет собой немагнитный объект.

19. Способ по п. 18, отличающийся тем, что указанный объект содержит пластик, резину, дерево, ткани млекопитающих, ткань, вещество растительного происхождения, минеральное вещество, остатки живых организмов и их комбинацию.
20. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанный применяемый этап выполняют при горизонтальной скорости, составляющей по меньшей мере 1 м/с, 5 м/с, 10 м/с, 100 м/с или 1000 м/с.
21. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанный применяемый этап длится менее чем 1000 секунд, 100 секунд, 10 секунд, 1 секунда или 1 миллисекунда.
22. Способ по п. 12, отличающийся тем, что длится менее чем 1000 секунд, 100 секунд, 10 секунд, 1 секунда или 1 миллисекунда.
23. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанный объект менее метра в длину, менее 50 см в длину, менее 20 см в длину, менее 10 см в длину или менее 5 см в длину.
24. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанный объект весит менее одного килограмма, менее 500 грамм, менее 200 грамм, менее 100 грамм или менее 50 грамм.
25. Способ по п. 12, отличающийся тем, что указанное местоположение находится под водой.
26. Способ по п. 12, отличающийся тем, что выполняется из транспортного средства.
27. Способ по п. 26, отличающийся тем, что указанное транспортное средство является неподвижным при выполнении способа.
28. Способ по п. 26, отличающийся тем, что указанное транспортное средство перемещается при выполнении способа.
29. Способ по п. 27, отличающийся тем, что указанное транспортное средство выбрано из группы, состоящей из наземного транспортного средства, водного транспортного средства и воздушного судна.

30. Способ по п. 27, отличающийся тем, что указанное воздушное транспортное средство выбрано из группы, состоящей из беспилотного летательного аппарата, воздушного судна, самолета, планера и вертолета.

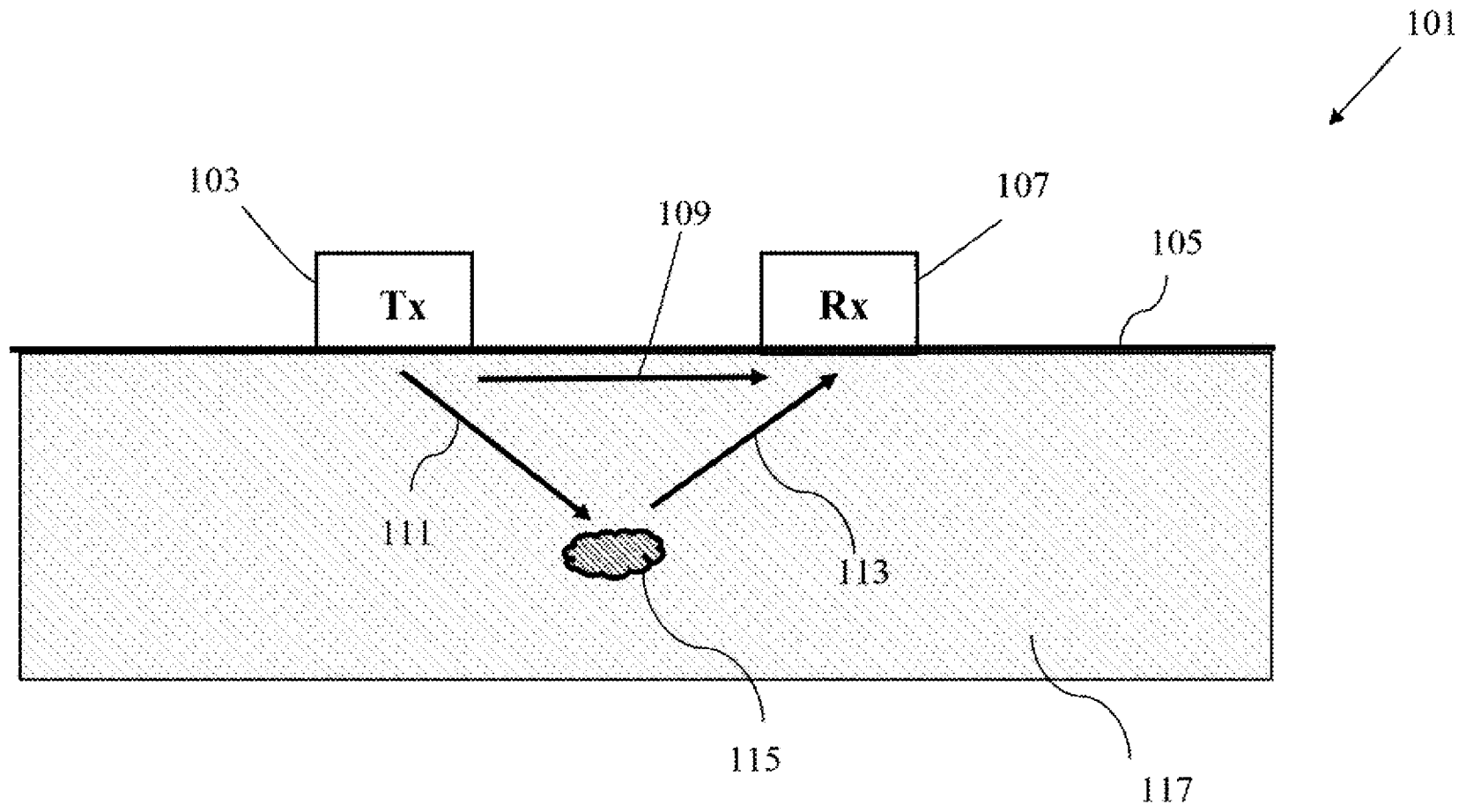
31. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный подземный объект представляет собой исторический объект или археологический объект над поверхностью земли.

32. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный подземный объект представляет собой тело человека или его фрагменты.

33. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный подземный объект представляет собой тело животного или его фрагменты.

34. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный применяемый этап содержит применение коротких электромагнитных импульсов горизонтально в стену.



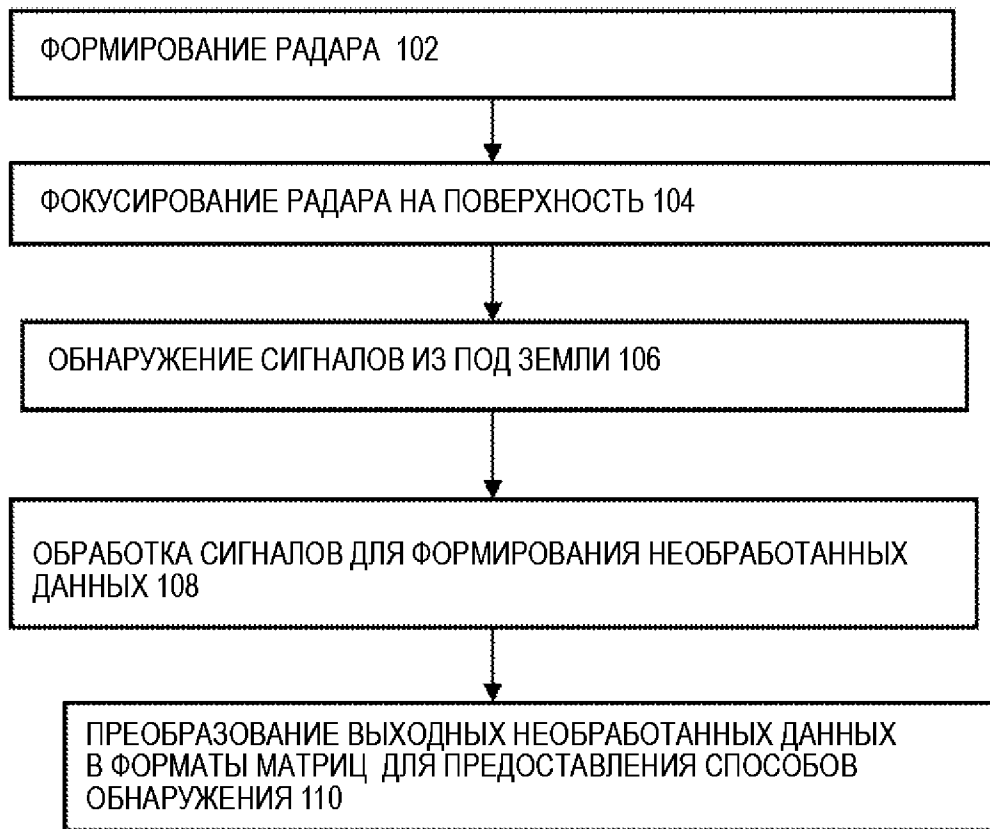


Фиг. 1А

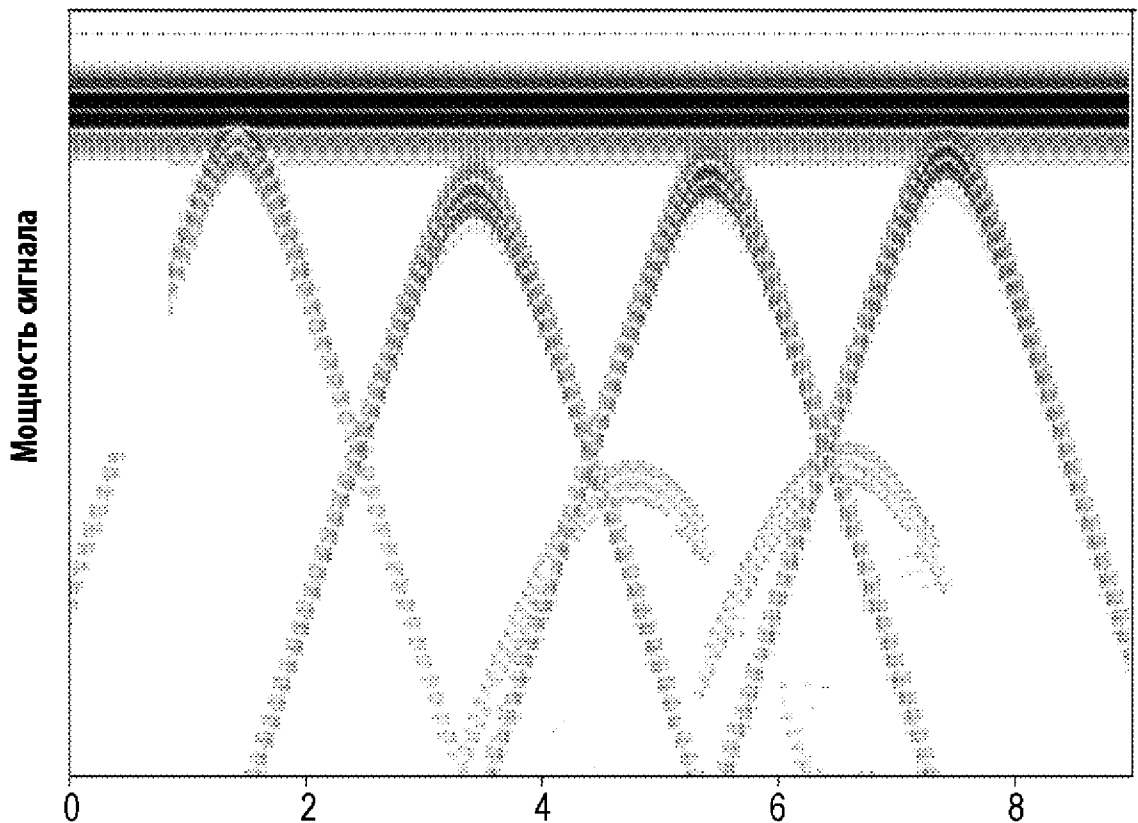
# СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

10

2/15



Фиг. 1В

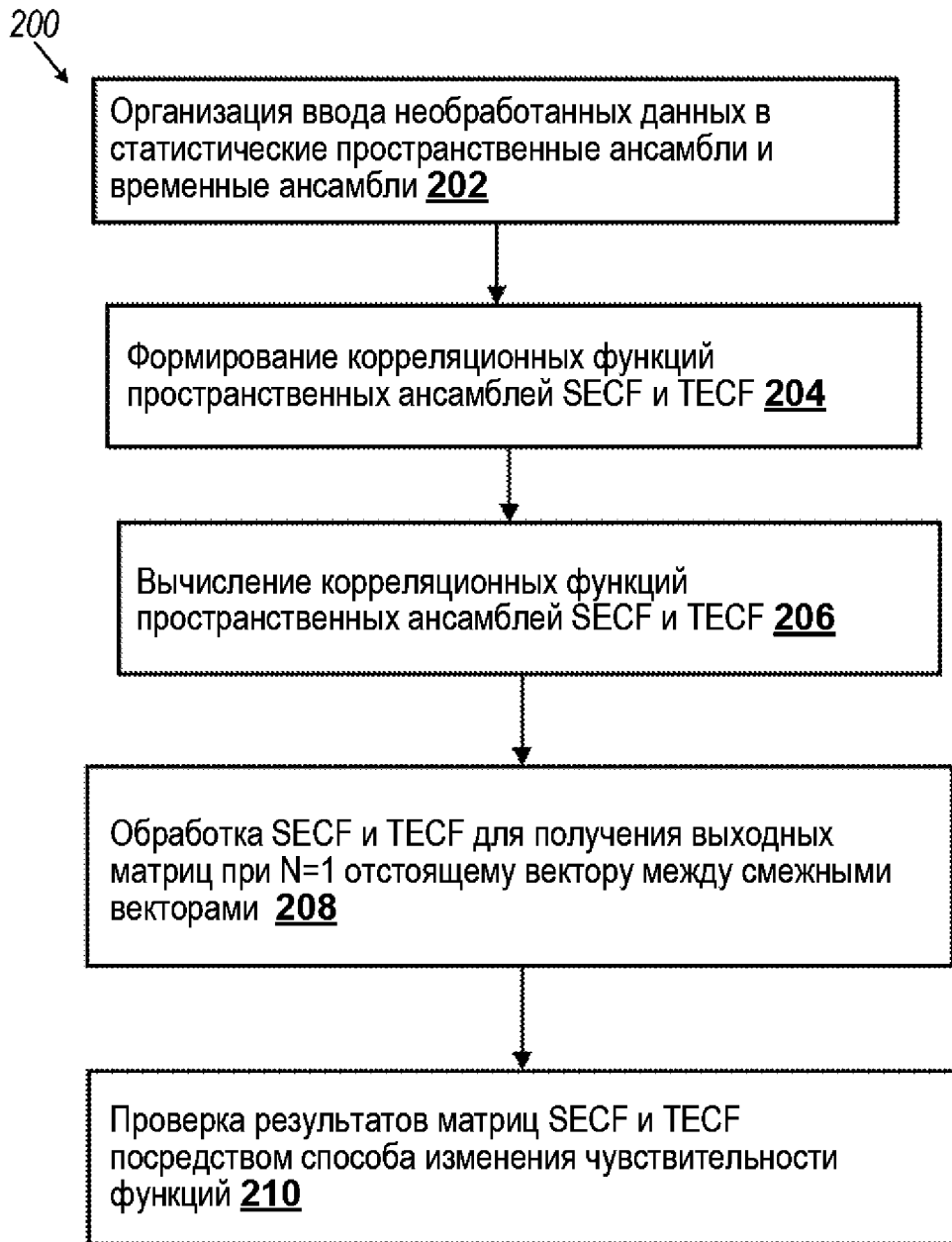


Фиг. 1С

Длина (метров)

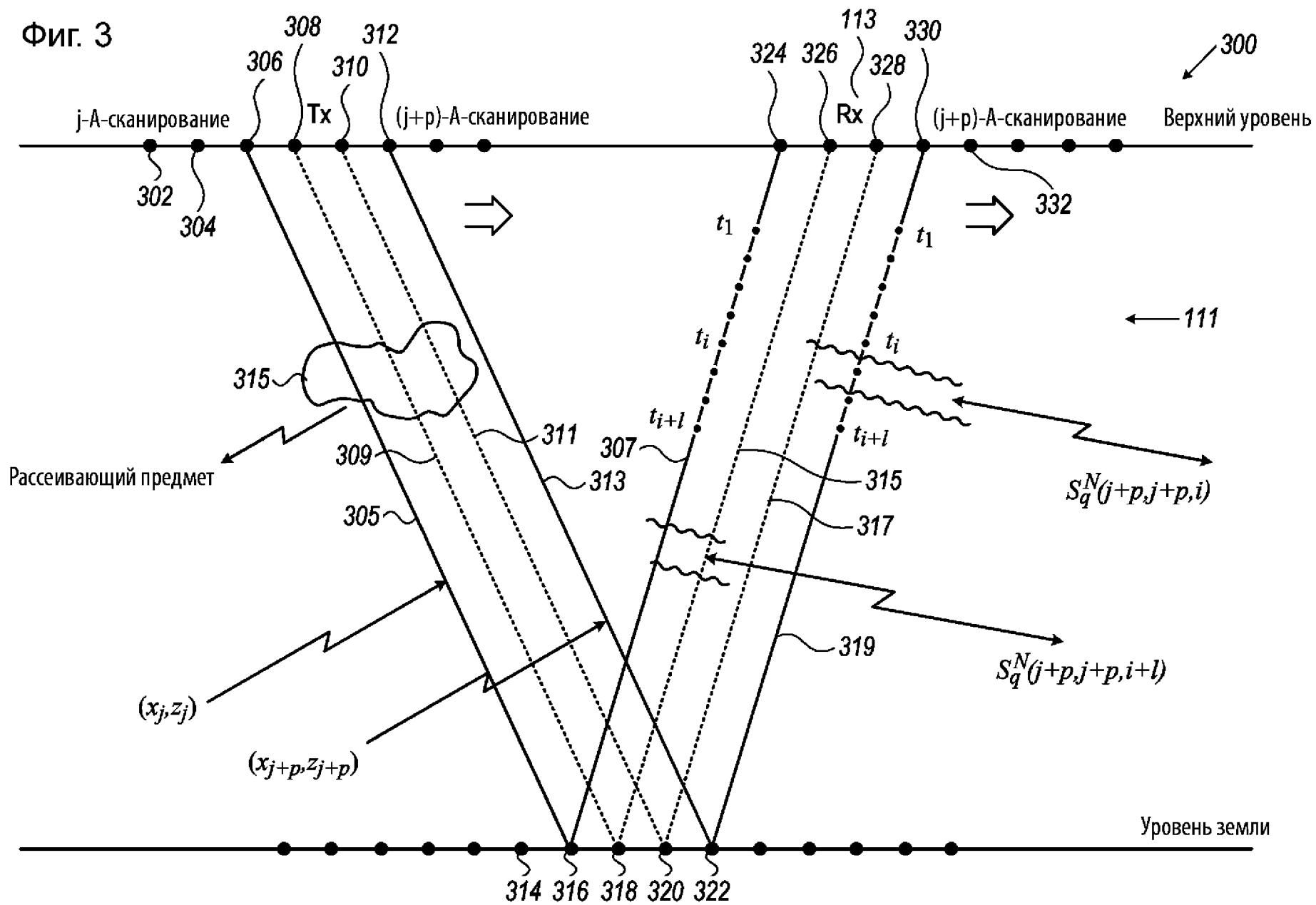
# СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

3/15

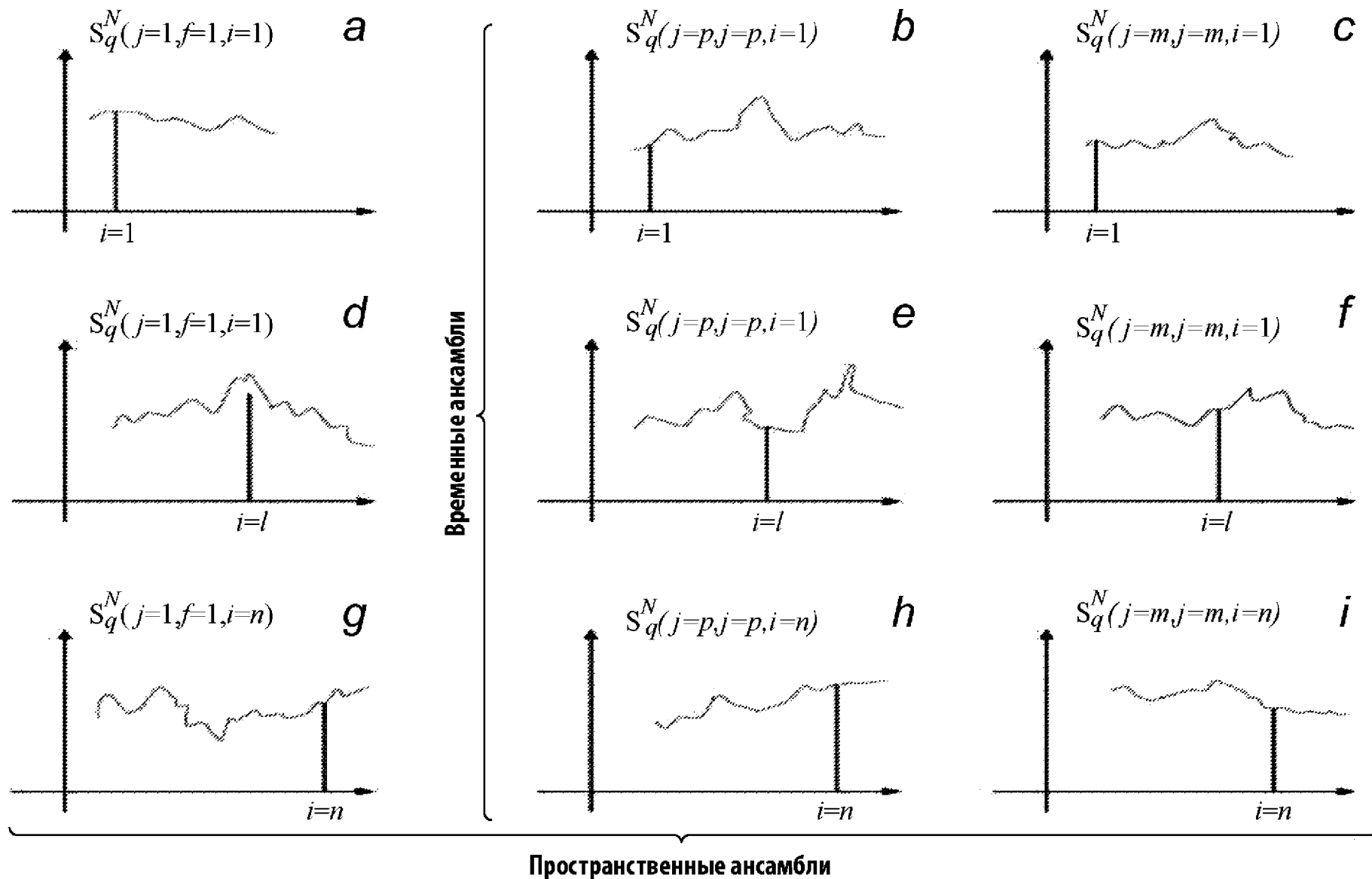


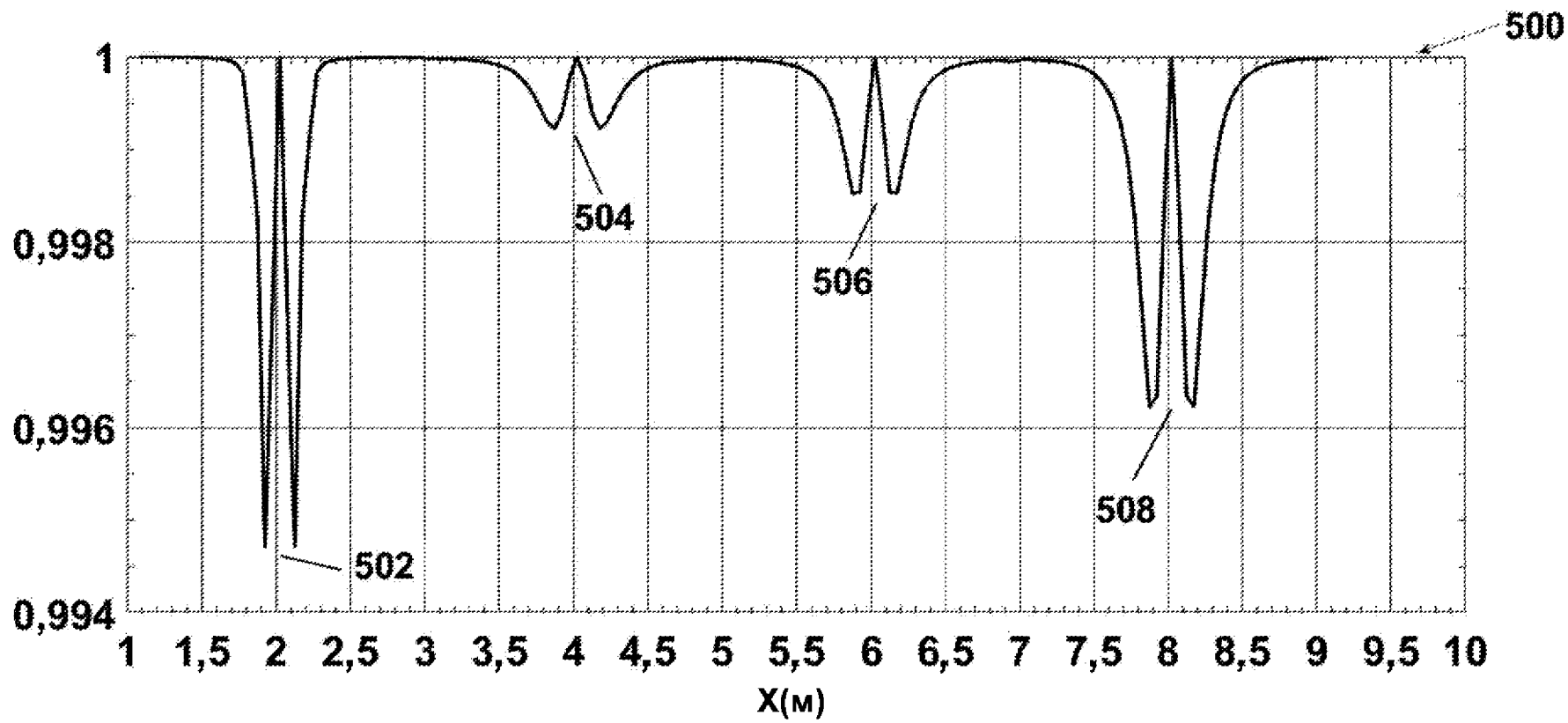
Фиг. 2

Фиг. 3



Фиг. 4

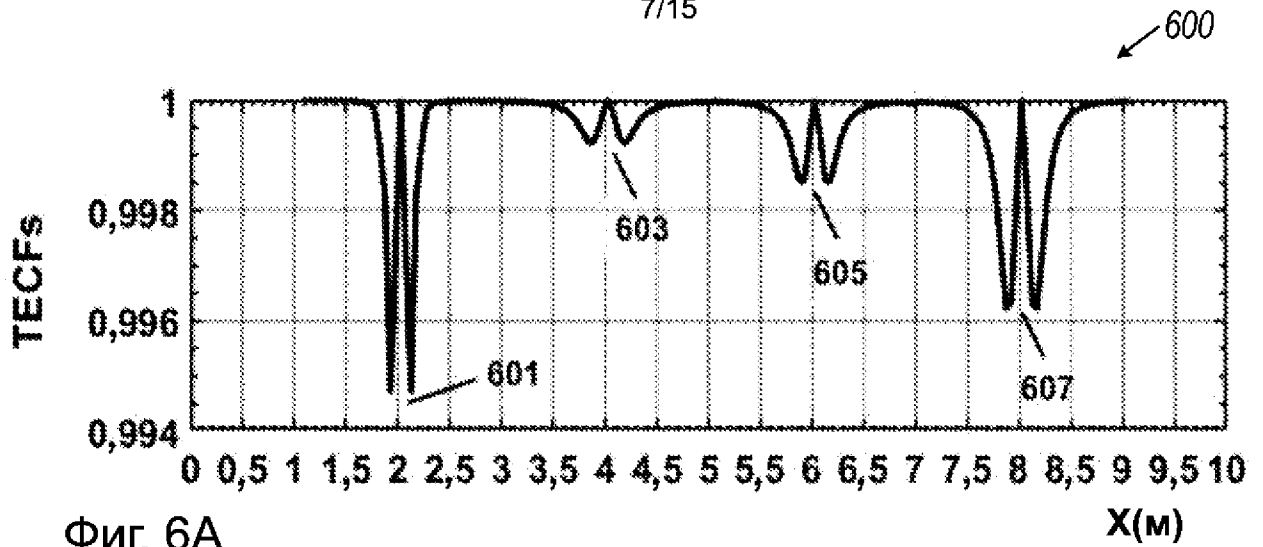




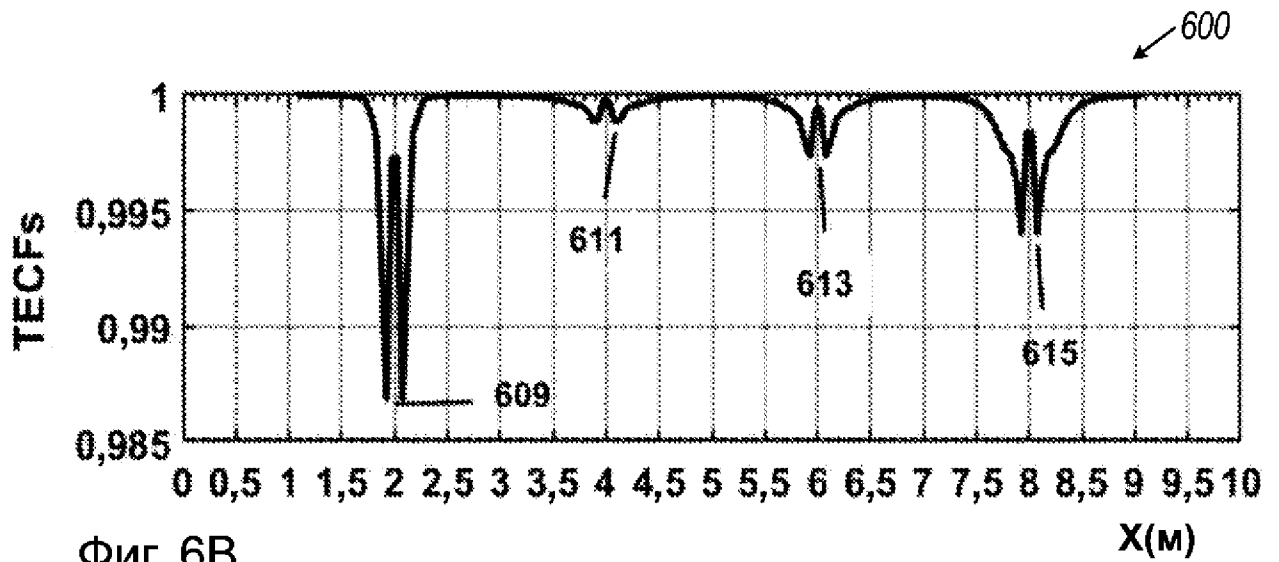
Фиг. 5

СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

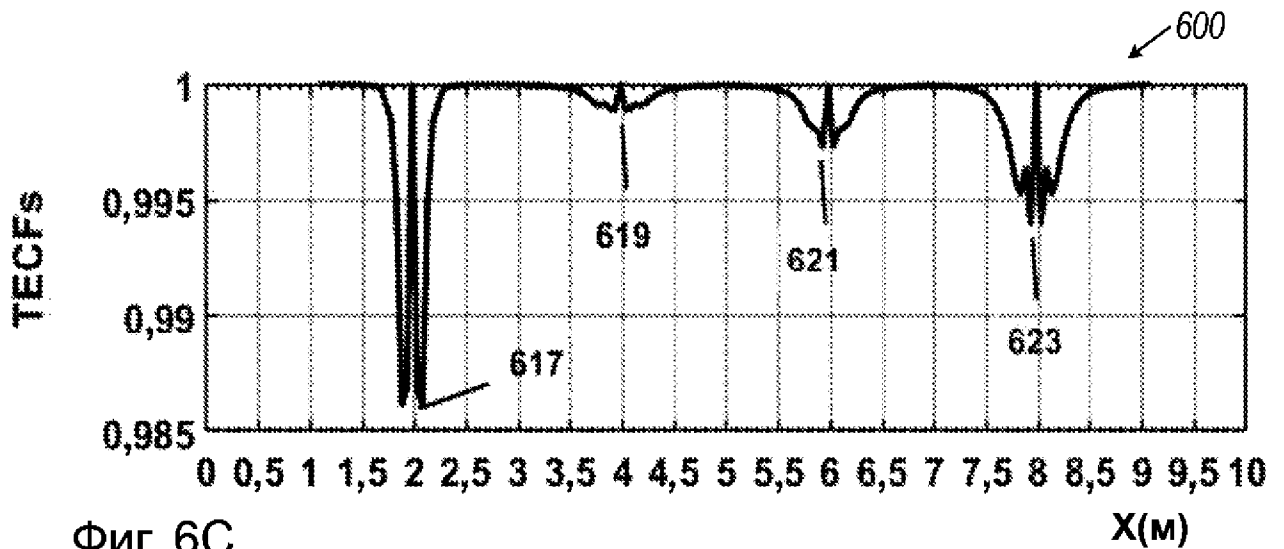
7/15



Фиг. 6А



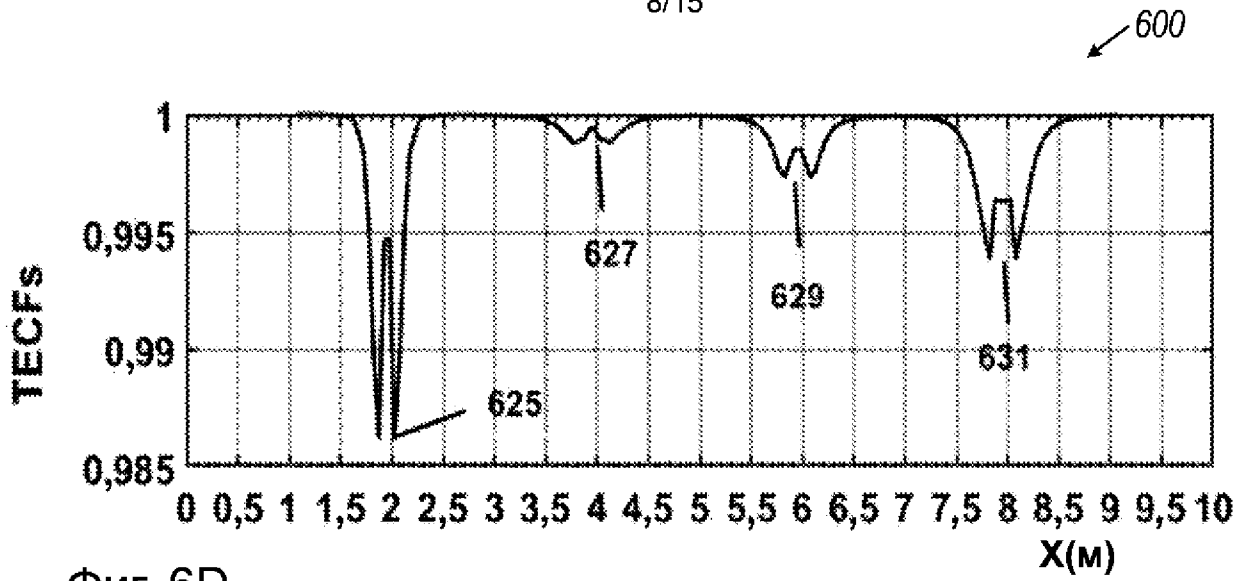
Фиг. 6В



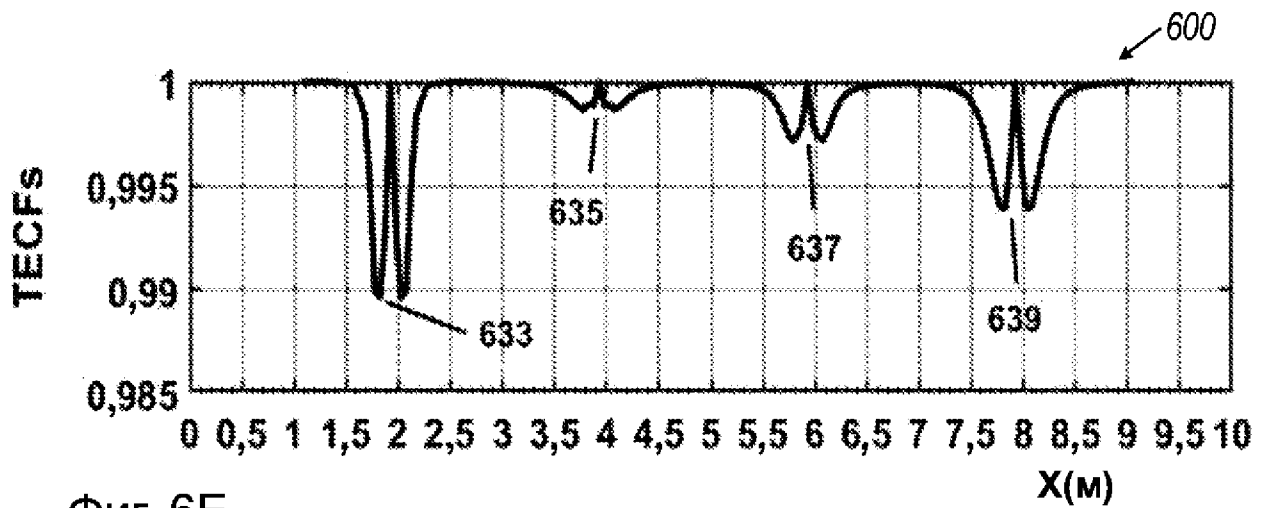
Фиг. 6С

СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

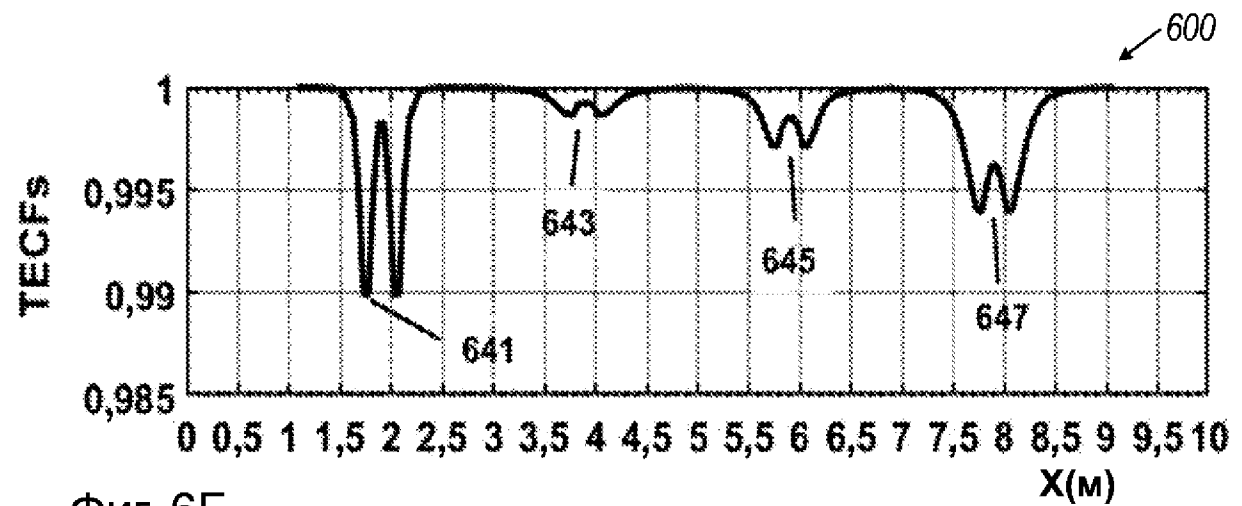
8/15



Фиг. 6D

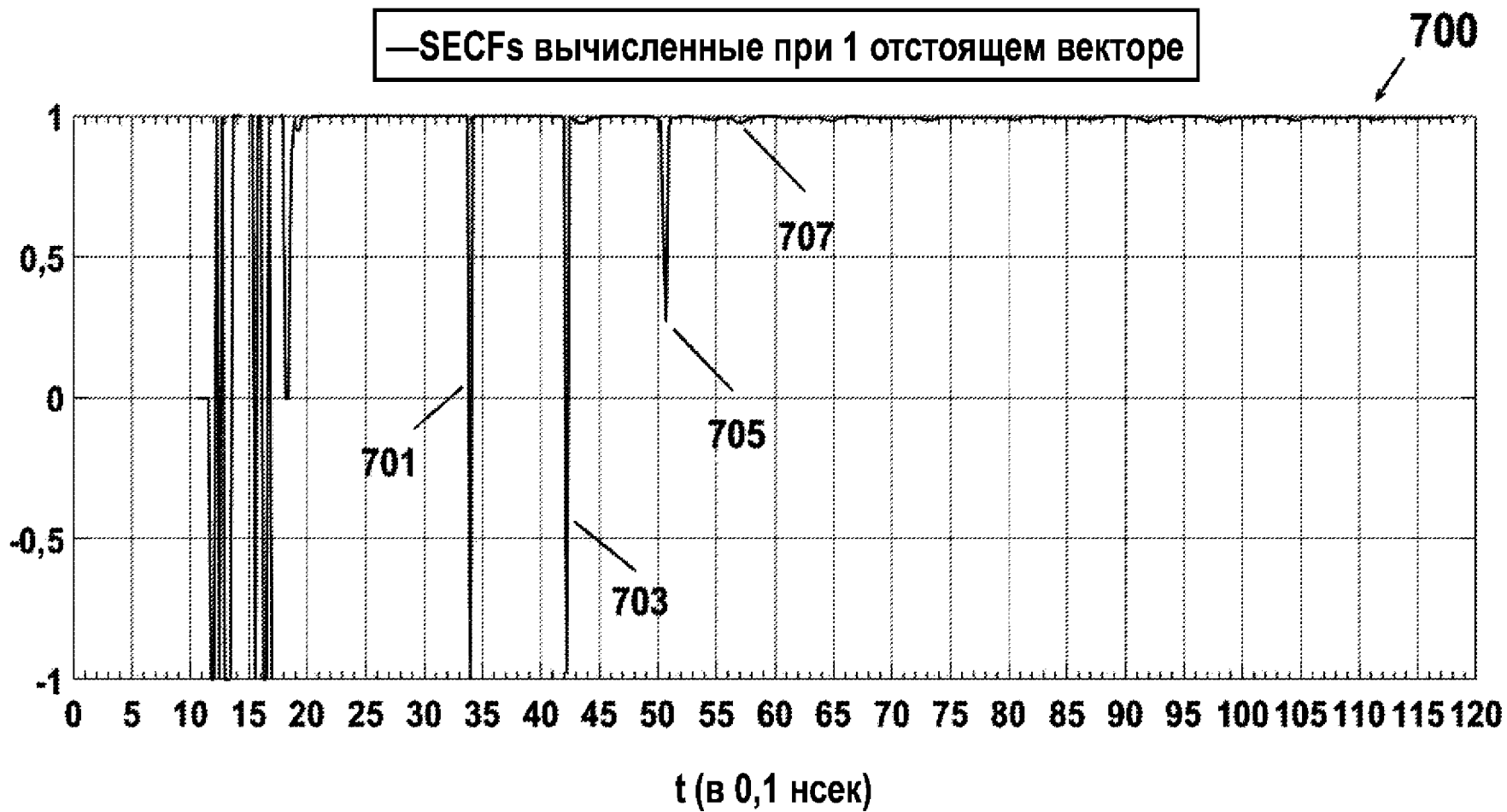


Фиг. 6E

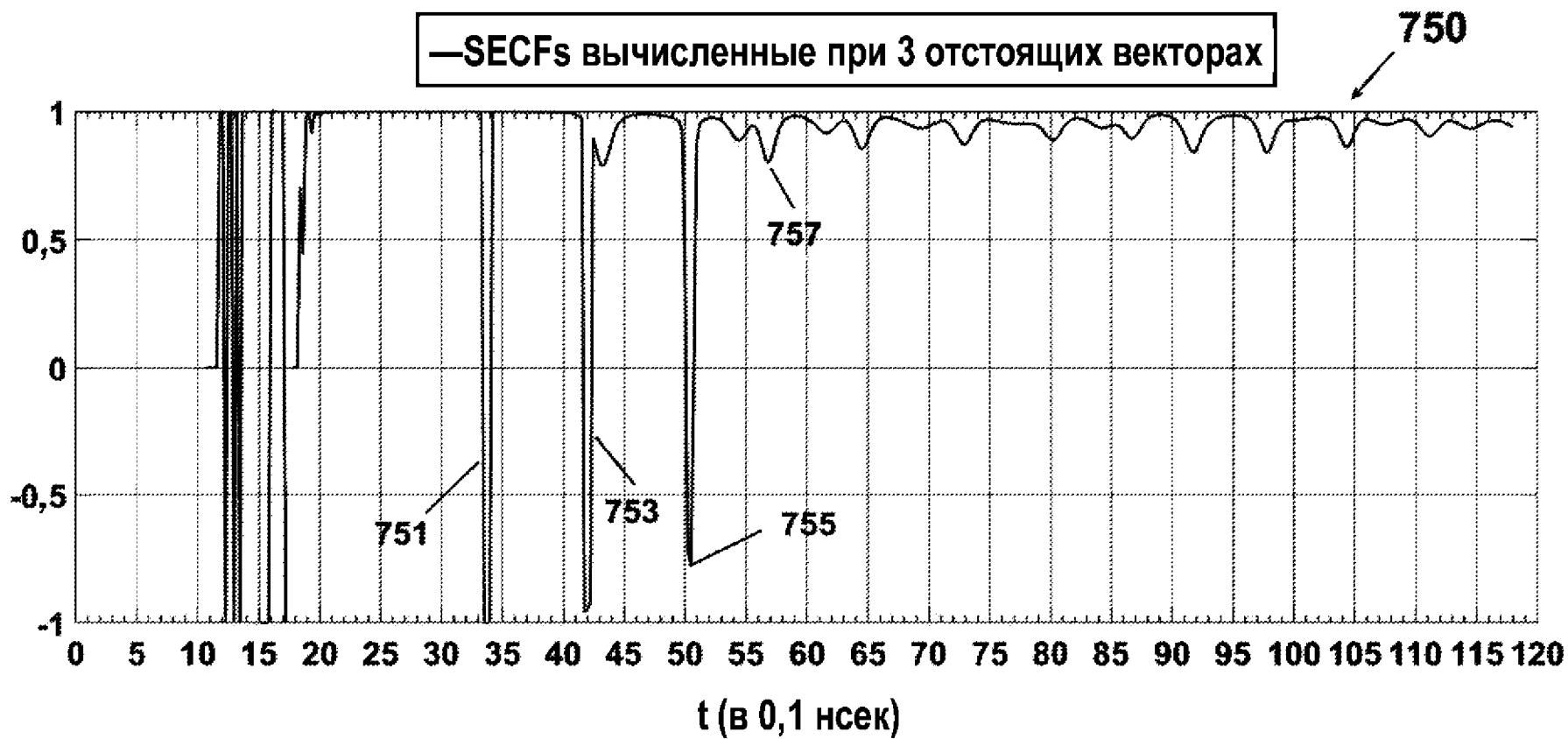


Фиг. 6F



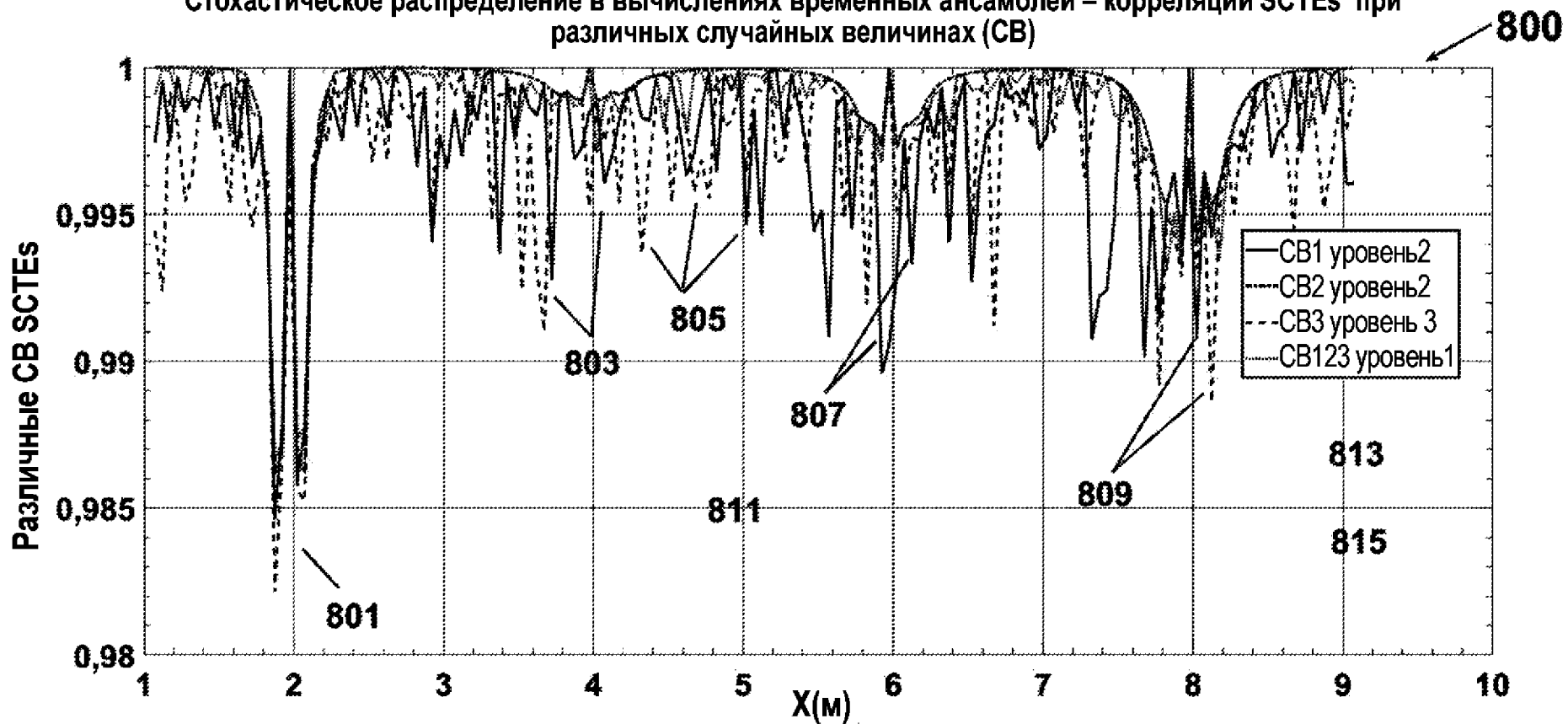


Фиг. 7А



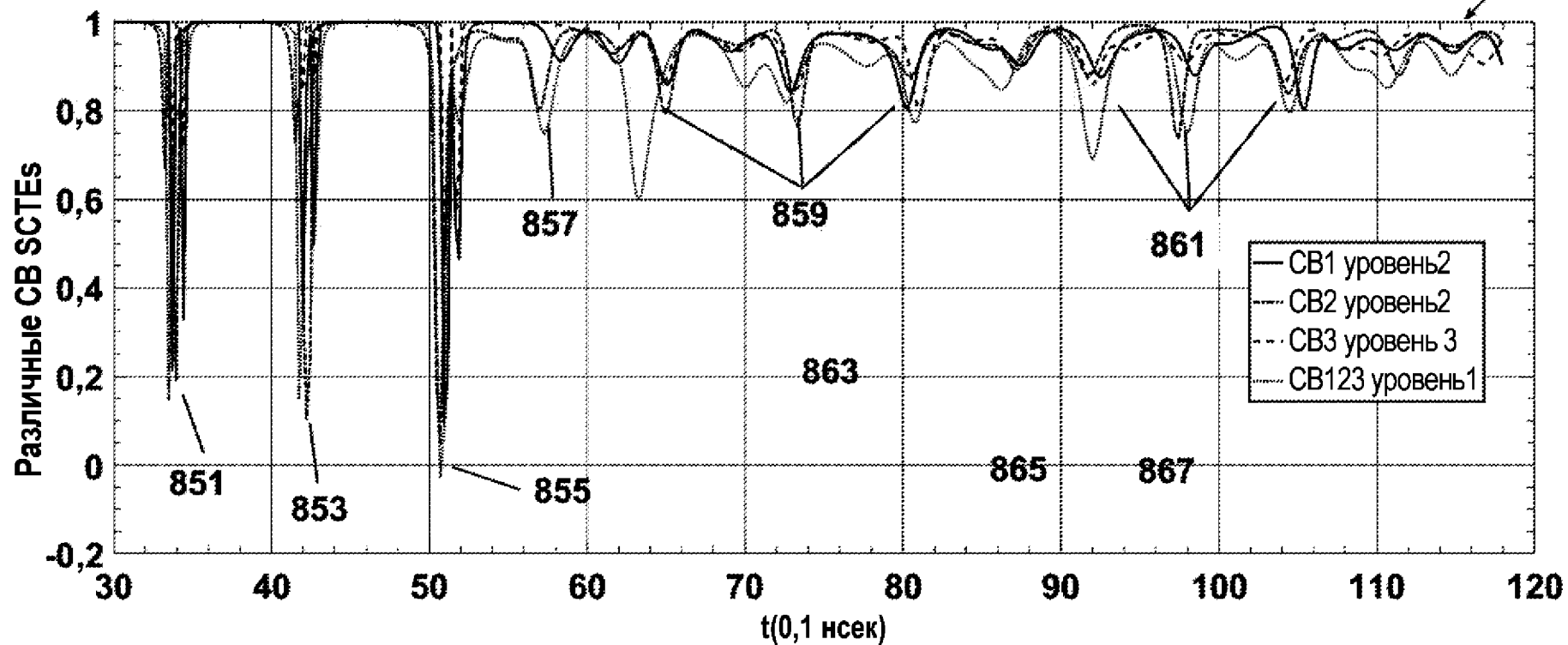
Фиг. 7В

Стохастическое распределение в вычислениях временных ансамблей – корреляции SCTEs при различных случайных величинах (СВ)



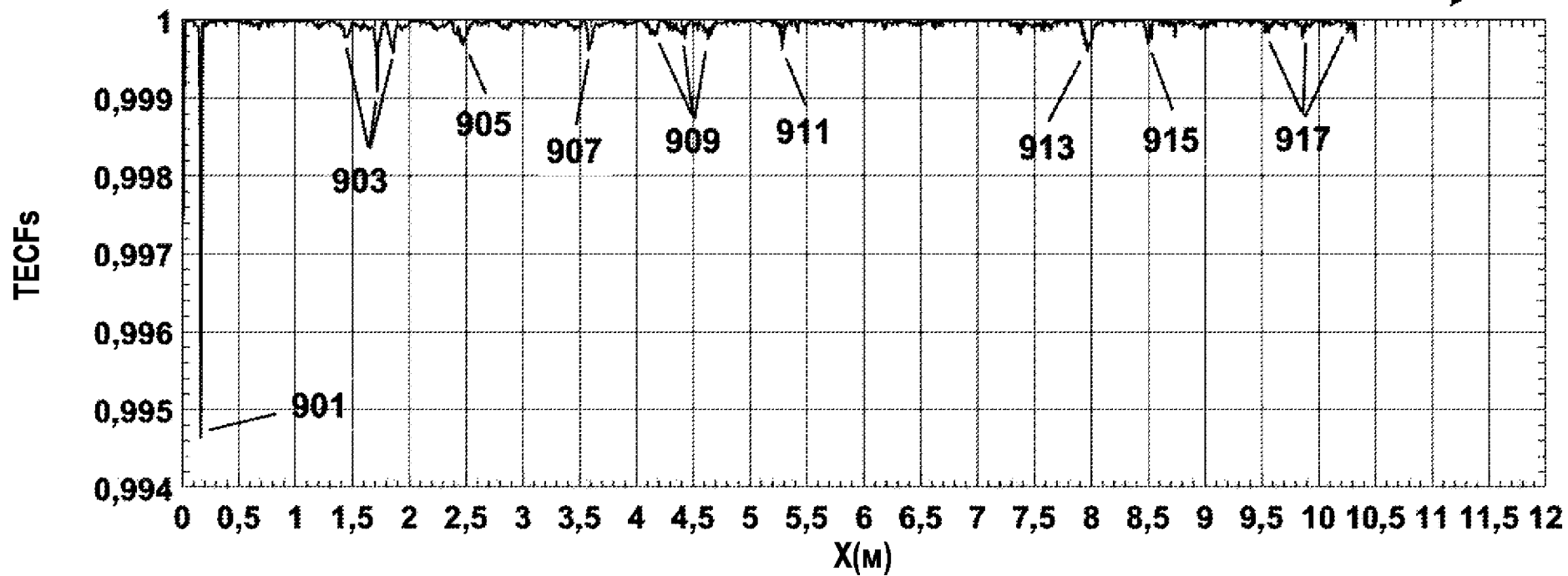
Фиг. 8А

Стохастическое распределение в вычислениях пространственных ансамблей – корреляции SCSEs при различных случайных величинах (СВ) **850**



Фиг. 8В

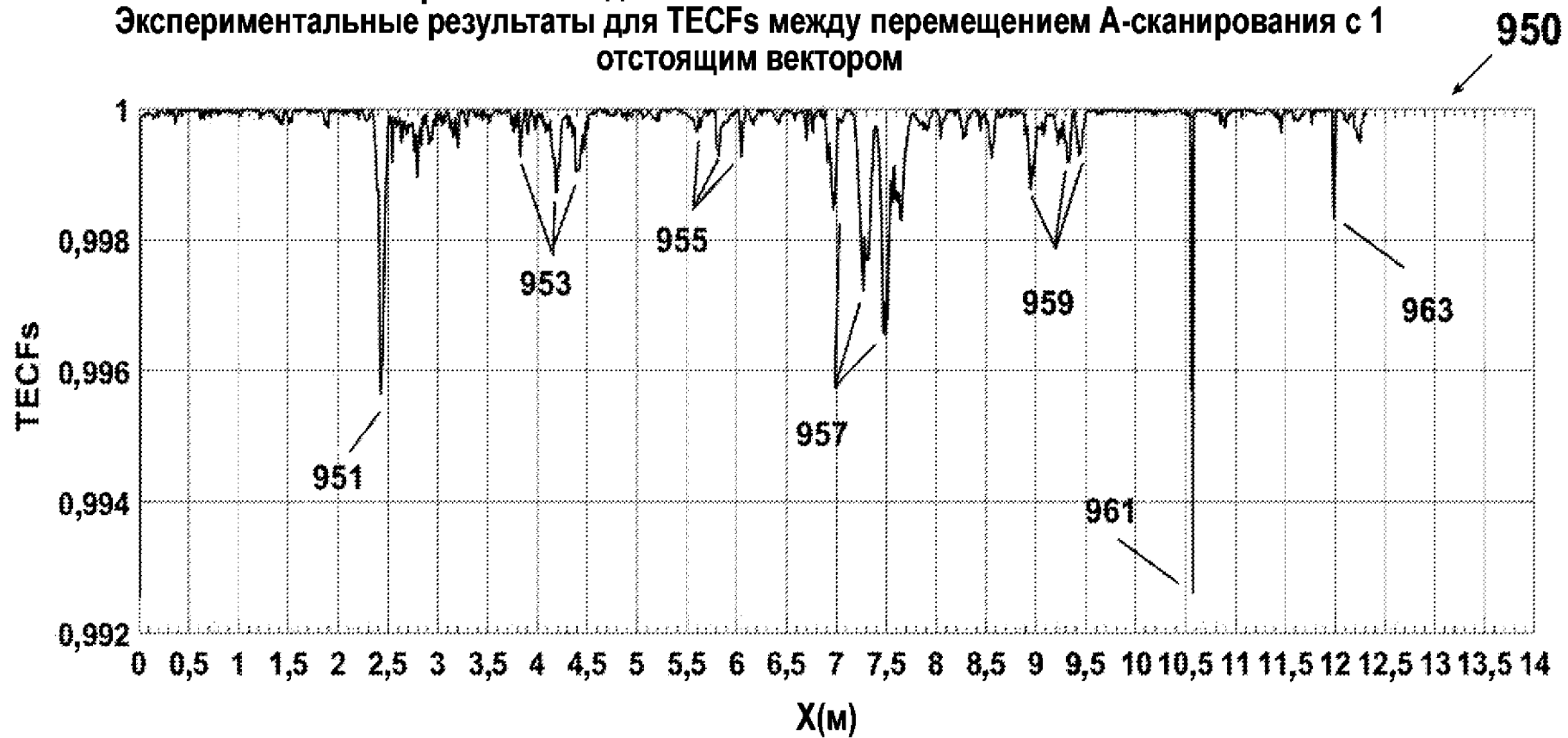
Экспериментальные результаты для TECFs между перемещением А-сканирования  
с 1 отстоящим вектором



13/15

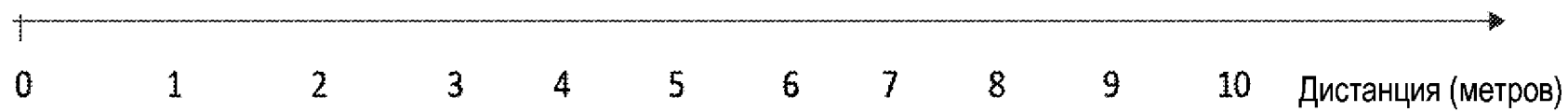
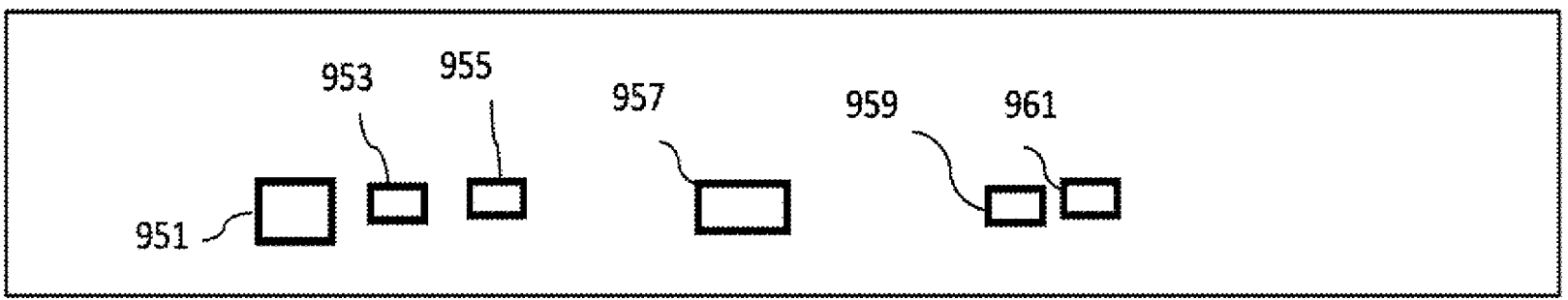
Фиг. 9А

Отслеживание металлических объектов – применение способов TECFs – Обнаружение 7  
спрятанных под землей металлических объектов  
Экспериментальные результаты для TECFs между перемещением А-сканирования с 1  
отстоящим вектором



Фиг. 9В

950



Фиг.9С