

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036865**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.29

(51) Int. Cl. **G01V 1/38** (2006.01)
G01V 1/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201891308

(22) Дата подачи заявки
2016.11.10

(54) КОДИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ СЪЕМКИ

(31) **62/268,318**

(32) **2015.12.16**

(33) **US**

(43) **2018.11.30**

(86) **PCT/US2016/061389**

(87) **WO 2017/105688 2017.06.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БиПи КОРПОРЕЙШН НОРТ
АМЕРИКА ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:
Абма Рэймонд Ли (US)

(74) Представитель:
**Гизатуллина Е.М., Строкова О.В.,
Карпенко О.Ю., Угрюмов В.М. (RU)**

(56) US-A1-2012147699
US-A1-2004089499
WO-A1-2015011160
US-A1-2012033525
US-A1-2012147701
US-A1-2012314536

ABMA R.L. ET AL.: "Separating simultaneous sources by inversion", 71ST EUROPEAN ASSOCIATION OF GEOSCIENTISTS AND ENGINEERS CONFERENCE AND EXHIBITION 2009: AMSTERDAM, NETHERLANDS, 8-11 JUNE 2009, RED HOOK, NY: CURRAN, US, vol. 4, 8 June 2009 (2009-06-08), pages 2642-2646, XP008135762, ISBN: 978-1-61567-236-3, the whole document

D. Howe ET AL.: "B007 Independent Simultaneous Sweeping", BP Exploration, 9 July 2008 (2008-07-09), pages 9-12, XP055336787, Retrieved from the Internet: URL:<http://www.earthdoc.org/publication/download/?publication=9666> [retrieved on 2017-01-19], the whole document

Ray Abma ET AL.: "Simultaneous shooting, today and tomorrow", 4 June 2012 (2012-06-04), pages 4-7, XP055337150, Retrieved from the Internet: URL:<http://www.earthdoc.org/publication/download/?publication=59851> [retrieved on 2017-01-20], the whole document

(57) Способ для применения в морской сейсмической съемке, предусматривающий буксирование по меньшей мере части расстановки морской сейсмической съемки; передачу составного сейсмического свип-сигнала от расстановки морской сейсмической съемки, причем составной сейсмический свип-сигнал предусматривает некоторое количество рандомизированных отдельных сигналов, которые имеют разные частоты относительно друг друга, и их испускают одновременно; и получение соответствующей возвратной волны для каждого отдельного свипа.

B1

036865

036865

B1

Ссылка на родственные заявки

Согласно настоящей заявке испрашивается приоритет в соответствии с предварительной заявкой на выдачу патента США № 62/268318, поданной 16 декабря 2015 года под названием "Кодирование сигналов морских вибраторов для эффективной съемки", содержание которой полностью включено в настоящую заявку посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

Раскрытие заявленного в настоящем документе предмета изобретения относится к сейсмической съемке и, в частности, к эксплуатации и применению в сейсмической съемке сейсмических источников.

Предшествующий уровень техники изобретения

Сейсморазведку сегодня можно в целом описать как технические поиски залежей углеводородов под землей путем непрямого наблюдения за недрами. Одна часть сейсморазведки - это сбор сейсмических данных способом, который известен как "сейсмическая съемка". При сейсмической съемке сейсмические сигналы, содержащие информацию о геологической среде, улавливают и регистрируют сейсмическими приемниками. Эта информация попадает в сейсмические сигналы в результате взаимодействия сейсмических сигналов с геологическими особенностями геологической среды известными, характерными способами. Затем эту информацию могут использовать для восстановления особенностей геологической среды. Следовательно, зарегистрированные сейсмические сигналы характеризуют реальную геологическую среду и ее особенности.

Сейсмические съемки выполняют в различных природных условиях, и эти природные условия определяют различия и в техническом решении, и в оборудовании. Так, например, сейсмические съемки могут подразделять на наземные съемки, морские съемки и съемки в переходной зоне, поскольку их выполняют, соответственно, на суше, на воде, либо и на суше и на воде. ("Морские" съемки могут выполнять на воде любого типа - соленой, пресной или слабоминерализованной.) Простой пример того, как эти условия могут влиять на проектирование и проведение сейсмической съемки, состоит в том, что сейсмические приемники, которые развертывают при морских съемках, должны справляться с течениями, чего нет при наземных съемках. Таким образом, при морских сейсмических съемках следует учитывать эти течения, а при наземных съемках нет. Существуют и другие отличия в условиях, которые определяют виды съемки. Во многих сейсмических съемках применяют то, что называют "активными" сейсмическими источниками. Активные сейсмические источники генерируют сейсмические сигналы съемки и передают их в геологическую среду. Иногда сигналы передают с поверхности земли непосредственно в геологическую среду. При морских съемках активные сейсмические источники иногда размещают на поверхности воды, и тогда сейсмические сигналы проходят через толщу воды перед тем, как войти в землю, т.е. их не передают напрямую в землю.

Один общий тип активных источников известен как "вибратор", его используют и в наземных, и в морских съемках. Термин "вибратор" связан с тем, что его энергия - это "вибрационная энергия" в том смысле, что ее генерируют путем механических вибраций (колебаний). Вибрации могут настраивать по частоте и продолжительности вибрационного сейсмического сигнала. (Иногда эти вибрации называют "вибросейсмическими или управляющими сигналами", "свипами" или "свип-сигналами".) Это другой пример того, как изменяют технологию в зависимости от условий, поскольку вибраторы, применяемые в типичных наземных съемках, существенно отличаются от тех, что применяют в морских съемках. Например, морские вибраторы обычно перемещают во время съемки, что ограничивает продолжительность сви́па по времени для данного пространственного интервала источника. Это несправедливо для вибраторов в наземных съемках, где обычно применяют стационарные вибраторы. Вибраторы, применяемые в наземных съемках, обычно состоят из 1-6 механических устройств, тогда как в морских съемках вибратор обычно предусматривает группу из нескольких меньших механических устройств. Эти и другие технологии, связанные с сейсморазведкой, продолжают развиваться в ответ на новые технические и экологические проблемы, а также необходимость снижать затраты при одновременном повышении точности. Такие инновации приветствуются в отрасли, где прикладывают усилия для повышения точности и эффективности сейсморазведки. Соответственно, несмотря на то что специалистам в данной области техники известны подходящие технические решения для проведения морских сейсмических съемок, техническое решение, раскрываемое и заявленное в настоящем документе, в конечном итоге будет хорошо воспринято специалистами в данной области техники.

Краткое описание фигур

Прилагаемые фигуры, которые включены в настоящий документ и составляют его часть, иллюстрируют варианты осуществления настоящего изобретения и вместе с описанием служат для пояснения принципов предлагаемого изобретения. На фигурах изображено следующее:

на фиг. 1 представлен вид в плане сверху устройства для морской сейсмической съемки, такой как может быть применен в практике осуществления предлагаемого изобретения в некоторых вариантах осуществления;

на фиг. 2А-2В - некоторые варианты осуществления, альтернативные представленному на фиг. 1, соответственно, в плане, в виде сверху и сбоку;

на фиг. 3 - вид в плане сверху морского сейсмического вибрационного источника подобного тому,

что может быть применен в варианте осуществления на фиг. 1;

на фиг. 4 - концептуальное изображение одного варианта осуществления вычислительного устройства подобного тому, при помощи которого могут быть осуществлены конкретные аспекты технического решения, раскрытого в настоящем документе;

на фиг. 5A-5B проиллюстрирована концепция устройства для морской сейсмической съемки, представленного на фиг. 1, во время его работы в одном конкретном варианте осуществления;

на фиг. 6-11 представлены разные аспекты проектирования и конструкции сигнала одного конкретного варианта осуществления, в котором задействованы три отдельных свипа с перекрывающимися частотами, причем

на фиг. 6 - отдельные свипы, необходимые для создания требуемого спектра морского вибрационного источника в одном конкретном варианте осуществления, в котором отдельные свипы имеют перекрывающиеся частоты;

на фиг. 7 - составные сейсмические свип-сигналы, построенные из отдельных свипов с фиг. 6, которые использовали для создания требуемого спектра источника;

на фиг. 8 - сейсмические данные, собранные традиционным способом при помощи импульсного источника;

на фиг. 9 - сейсмические данные, собранные при помощи составных сейсмических свип-сигналов с фиг. 7, которые применяли вдоль профиля произвольным образом;

на фиг. 10 - сейсмические данные, восстановленные из данных с фиг. 9;

на фиг. 11 - разность между восстановленными данными с фиг. 10 и данными с фиг. 8, собранными традиционным способом;

на фиг. 12-17 - согласно первому конкретному варианту осуществления представлены разные аспекты проектирования и конструкции сигнала, который является разновидностью варианта с фиг. 6-11 и отличается тем, что в нем задействованы шесть отдельных свипов с перекрывающимися частотами, причем

на фиг. 12 - отдельные свипы, которые необходимы для создания требуемого спектра источника;

на фиг. 13 - составные свип-сигналы, которые необходимы для создания требуемого спектра источника;

на фиг. 14 - сейсмические данные, собранные традиционным способом с применением импульсного источника;

на фиг. 15 - сейсмические данные, собранные с произвольным применением свип-сигналов с фиг. 13 вдоль профиля;

на фиг. 16 - сейсмические данные, восстановленные по данным с фиг. 15; и

на фиг. 17 - разность между восстановленными данными и данными, собранными традиционным способом;

на фиг. 18-24 - разные аспекты проектирования и конструкции сигнала согласно третьему конкретному варианту осуществления, который представляет собой разновидность варианта с фиг. 6-11 и отличается тем, что в нем использованы преимущества низкочастотных и высокочастотных характеристик, причем на фиг. 18 представлены отдельные свипы, которые необходимы для создания требуемого спектра источника;

на фиг. 19 - составные свип-сигналы с сигналами и высокой и низкой частоты;

на фиг. 20 - составные свип-сигналы без низкочастотной энергии;

на фиг. 21 - сейсмические данные, собранные традиционным способом при помощи импульсного источника;

на фиг. 22 - сейсмические данные, собранные при помощи свип-сигналов с фиг. 19 и 20, которые применяли вдоль профиля произвольным образом;

на фиг. 23 - сейсмические данные, восстановленные по данным с фиг. 22; и

на фиг. 24 - разность между восстановленными данными и данными, собранными традиционным способом;

на фиг. 25 - один конкретный вариант осуществления, в котором количество отдельных свипов в составных свип-сигналах неодинаково для разных пунктов возбуждения колебаний;

на фиг. 26-31 - разные аспекты проектирования и конструкции сигнала одного конкретного варианта осуществления, в котором задействованы три отдельных свипа с частотами, которые не перекрываются, а разделены пропусками, причем

на фиг. 26 представлены отдельные свипы, необходимые для создания требуемого спектра морского вибрационного источника в одном конкретном варианте осуществления, в котором отдельные свипы имеют пропуски в частотах;

на фиг. 27 - составные сейсмические свип-сигналы, построенные из отдельных свипов с фиг. 6, которые применяли для создания требуемого спектра источника;

на фиг. 28 - сейсмические данные, собранные традиционным способом при помощи импульсного источника;

на фиг. 29 - сейсмические данные, собранные при помощи составных сейсмических свип-сигналов с фиг. 7, которые применяли вдоль профиля произвольным образом;

на фиг. 30 - сейсмические данные, восстановленные по данным с фиг. 9; и
на фиг. 31 - разность между восстановленными данными с фиг. 10 и данными с фиг. 8, собранными традиционным способом.

Подробное раскрытие изобретения

Техническое решение для сейсмической съемки, раскрываемое в настоящем документе, обеспечивает техническое решение, при помощи которого сейсмический свип-сигнал разделяют на "отдельные свипы", причем каждый "отдельный свип" содержит только часть свипа или неполный свип. Затем отдельные свипы могут передавать или сейсмический сигнал могут испускать в геологическую среду направленно, в геологическую среду одновременно. В данном случае "одновременно" означает, что отдельные свипы передают в геологическую среду во время одного интервала срабатывания источника.

Далее приведено подробное описание варианта осуществления (иллюстративных вариантов осуществления) предлагаемого изобретения, пример(ы) которого(ых) представлен(ы) на прилагаемых чертежах. Везде, где это возможно, для ссылки на одни и те же или подобные части на чертежах будут использованы одинаковые позиции.

На фиг. 1 представлен вид сверху устройства 100 для морской сейсмической съемки, такого как может быть применено в практике осуществления предлагаемого изобретения согласно некоторым вариантам осуществления. Устройство 100 предусматривает буксировочное судно 105, буксирующее морской вибрационный источник 110 по поверхности 115 воды. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего раскрытия, будет очевидно, что устройство 100 может быть разным в зависимости от конкретных особенностей его реализации. Например, как показано на фиг. 2А, конкретное устройство 200 для морской сейсмической съемки может предусматривать буксировочное судно 205, буксирующее не только источник 210, но также и группу 213 приемников 212 (обозначен только один). В соответствии с другим вариантом, как показано на фиг. 2В, устройство 215 для морской сейсмической съемки может предусматривать второе буксировочное судно 220, буксирующее группу 225 приемников, или размещение группы 230 приемников в стволе 235 скважины или на дне 240 моря. Все такие варианты находятся в пределах объема заявленного ниже предмета изобретения.

В каждом из этих вариантов осуществления буксировочное судно 105 и морской вибрационный источник 110 содержат по меньшей мере часть расстановки морской сейсмической съемки. Расстановка морской сейсмической съемки также предусматривает морские сейсмические приемники, такие как группы 213, 225, 230 приемников 212 на фиг. 2А и 2В. Таким образом, буксировочное судно 105 во время работы буксирует по меньшей мере часть расстановки морской сейсмической съемки, т.е. морской вибрационный источник 110.

Один конкретный вариант осуществления морского вибрационного источника 110 представлен на фиг. 3 в плане, вид сверху. В представленном варианте осуществления морской вибрационный источник 110 предусматривает некоторое количество морских вибраторов 300 (обозначен только один), расположенных на некотором количестве линий 305 (также обозначена только одна). Все вместе морские вибраторы 300 составляют группу морского вибрационного источника 110. Согласно этому конкретному варианту осуществления морские вибраторы 300 на каждой линии 305 составляют подгруппу общей группы. Точное количество кабелей на линиях 305 и морских вибраторов 300 не имеет значения для практики осуществления технического решения, раскрываемого в настоящем документе, хотя определенное их количество может быть связано с особенностями конкретной реализации. Проиллюстрированный вариант осуществления предусматривает 12 морских вибраторов 300, расположенных на четырех линиях, по три морских вибратора 300 на линию 305.

Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего раскрытия, будет очевидно, что в соответствии с другими вариантами осуществления морской вибрационный источник 110 может предусматривать различные конфигурации морских вибраторов 300. Например, в более общей форме группы преимуществами может обладать шестиугольная конфигурация, но она будет несколько отличаться от традиционной группы тем, что морские вибраторы 300 не будут организованы в линии. В случае нескольких крупных морских вибрационных источников (источника) 110 каждый из морских вибраторов 300 может плыть независимо, что обеспечивает большую свободу при конфигурировании выбранной группы. Согласно еще одному варианту осуществления конфигурация сейсмических источников предусматривает один или несколько низкочастотных вибраторов и один или несколько высокочастотных источников, например электроискровые источники или пневмопушки. В варианте осуществления, который проиллюстрирован на фиг. 1, буксировочное судно 105 буксирует морской вибрационный источник 110 вдоль заданной траектории 120. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего раскрытия, будет очевидно, что заданная траектория 120 представлена здесь концептуально. Заданная траектория 120 будет, как правило, представлять собой то, что в данной области техники называют "морским профилем" или "профилем возбуждения колебаний", который является результатом проектирования съемки с учетом широко известных соображений, например площади покрытия, количества и типов имеющихся судов и пр. Проектирование съемки могут выполнять в соответствии с традиционной практикой в отношении задания и определения морских профилей.

В практике осуществления предлагаемого изобретения нет необходимости в том, чтобы морской вибрационный источник 110 буксировали вдоль заданной траектории 120. Согласно некоторым вариантам осуществления морской вибрационный источник 110 могут произвольно буксировать по участку съемки. Согласно некоторым вариантам осуществления траекторию, по которой буксируют морской вибрационный источник 110, определяют в полевых условиях и, возможно, даже в рабочем порядке. Однако ожидается, что в большинстве вариантов осуществления будут предусматривать буксирование морского вибрационного источника 110 вдоль заданной траектории 120. Как уже обсуждалось в настоящем документе, термин "произвольный" означает конфигурацию или число, сгенерированные случайным или псевдослучайным способом, при котором эти числа получают так, чтобы минимизировать их регулярность.

Кроме того, устройство 100 для морской сейсмической съемки может предусматривать вычислительное устройство 125. Судна, например буксировочное судно 105, обычно оборудуют одним или несколькими вычислительными устройствами, подходящими для осуществления технического решения, раскрываемого в настоящем документе. Например, буксировочное судно будет, как правило, предусматривать компьютеризованную навигационную систему для буксировочного судна 105 и, иногда, компьютеризованную систему управления срабатыванием морского вибрационного источника 110. Эти системы могут осуществлять в одном вычислительном устройстве или в нескольких устройствах.

Как видно из описания в настоящем документе, некоторые аспекты технического решения, раскрываемого в настоящем документе, компьютеризованы. Эти аспекты могут включать в себя, например, проводку буксировочного судна 105, позиционирование буксировочного судна 105 для срабатывания и срабатывание морского вибрационного источника 110. Эти функциональные возможности могут разделять между различными системами управления, например навигационной системой и системой управления срабатыванием, или объединять в единую систему управления, например систему оперативного управления. Компьютерные программы, осуществляющие эти функциональные возможности, могут размещать и исполнять на едином вычислительном устройстве или на нескольких вычислительных устройствах. Эти аспекты технического решения, раскрываемого в настоящем документе, будут зависеть от конкретного осуществления, и они не имеют значения для практики осуществления предлагаемого изобретения.

В связи с этим на фиг. 4 представлены отдельные аспекты архитектуры аппаратных и программных средств вычислительного устройства 400 в том виде, в котором они могут быть применены в некоторых аспектах технического решения, раскрываемого в настоящем документе. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от настоящего раскрытия изобретения будет очевидно, что в настоящем описании можно обнаружить значительные различия между вариантами осуществления. Поэтому вычислительное устройство 400 является только примером и использовано для облегчения раскрытия предмета изобретения, раскрываемого ниже. В других вариантах осуществления могут быть применены другие вычислительные системы. Проиллюстрированная архитектура аппаратного и программного обеспечения может быть распределена, например, в вычислительном оборудовании, содержащем некоторое количество вычислительных устройств. Однако согласно проиллюстрированному варианту осуществления вычислительное устройство 400 предусматривает процессор 403, взаимодействующий с хранилищем 406 по каналам 409 передачи информации. Процессор 403 может быть любым подходящим процессором или группой процессоров, известных в данной области техники. В зависимости от известных подробностей конкретной реализации в разных вариантах осуществления некоторые типы процессоров будут более предпочтительны. Обычно в процессе проектирования учитывают такие факторы, как мощность процессора, быстродействие, стоимость и потребление энергии, они существенно зависят от конкретной реализации. Поскольку их повсеместно используют в данной области техники, специалисты в данной области техники, понимающие преимущества от использования настоящего изобретения, легко смогут согласовать такие факторы друг с другом. Процессор 403 теоретически может быть электронным микроконтроллером, электронным контроллером, электронным микропроцессором, группой электронных процессоров или графическими процессорами (GPU). В некоторых вариантах осуществления могут применять некоторые сочетания этих типов процессоров.

Однако на практике наборы сейсмических данных, собранных в ходе съемки, как правило, имеют довольно большой объем, и их хранение и обработка могут быть сложными с точки зрения вычислений. Аналогичным образом временные ограничения, накладываемые проектом съемки, будут также требовать вычислительных ресурсов. Некоторые варианты осуществления могут также потребовать большого объема вычислений. Поэтому типичные реализации процессора 403 фактически будут содержать несколько групп электронных процессоров, распределенных между несколькими согласованно работающими вычислительными устройствами. Эти соображения оказывают аналогичное влияние на реализацию хранилища 406 и каналы 409 передачи информации. Хранилище 406 может предусматривать жесткий диск и/или оперативную память (RAM), ни то, ни другое не показано отдельно. Оно может также предусматривать сменный носитель данных, например оптический диск 415 или карту флеш-памяти (не показана). Могут быть использованы эти и любые другие подходящие запоминающие устройства, известные в данной области техники. Однако конструктивные ограничения в любом конкретном варианте осуществления могут в зависимости от конкретной реализации оказывать влияние на конструкцию хранилища 406.

Например, как отмечено выше, раскрываемое техническое решение работает с объемными массивами данных, что обычно компенсируется использованием разных типов накопителей данных, таких как избыточный массив независимых дисков (RAID). Специалистам в данной области техники известны также другие типы накопителей данных, которые могут быть использованы в дополнение или вместо RAID. Так же, как и в случае с процессором 403, в процессе проектирования эти типы факторов общеизвестны, и специалисты в данной области техники, понимающие преимущества от использования настоящего раскрытия, легко смогут найти их оптимальное соотношение в связи с ограничениями конкретного проекта реализации. Хранилище 406 может быть распределено между несколькими вычислительными устройствами, как описано выше.

Хранилище 406 содержит ряд программных компонент. К этим компонентам относится операционная система (OS) 418, прикладная программа (APP) 420 и одна или несколько структур данных, включая собранные сейсмические данные (DATA) 422. Процессор 403 работает под управлением операционной системы 418 и исполняет реализованные на компьютере аспекты способа с использованием канала 409 передачи информации. Исполнение может начинаться автоматически, например при запуске или по команде пользователя. Команда пользователя может быть отдана напрямую при помощи пользовательского интерфейса. С этой целью в приведенном примере осуществления вычислительная система 400 также использует некоторого рода пользовательский интерфейс 442, предусматривающий программное обеспечение 445 пользовательского интерфейса (UIS) и экран 440. Эта система может также предусматривать периферийные устройства ввода/вывода (I/O), такие как кнопочная панель или клавиатура 450, мышь 455 или джойстик 460. Такие детали конкретной реализации не имеют значения для раскрываемого здесь технического решения.

Кроме того, не требуется, чтобы реализацию функциональных возможностей описанной выше вычислительной системы 400 осуществляли в том виде, как описано в настоящем документе. Например, функциональные возможности прикладной программы 420 могут быть реализованы в виде других типов программных компонент, таких как служебный процесс или утилита. Функциональные возможности не обязательно должны быть объединены в одну компоненту и могут быть распределены между двумя или несколькими компонентами. Таким же образом структуры (структура) данных могут быть реализованы с применением любых подходящих структур данных, известных в данной области техники.

Реализация канала 409 передачи информации будет также зависеть от конкретной реализации. Если вычислительная система 400 установлена на одном вычислительном устройстве, канал 409 передачи информации может быть, например, системой шин этого одного вычислительного устройства. Либо если вычислительная система 400 реализована на системе взаимодействующих вычислительных устройств, тогда канал 409 передачи информации может предусматривать проводную или беспроводную связь между вычислительными устройствами. По этой причине реализация канала 409 передачи информации будет зависеть от конкретного варианта осуществления настолько существенно, насколько это очевидно специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего изобретения. Некоторые части представленного здесь подробного описания изложены в терминах программно реализованной процедуры, содержащей символические представления операций над битами данных в памяти компьютерной системы или вычислительного устройства. Эти описания и представления являются средствами, которые специалисты в данной области техники используют для более эффективной передачи содержания своей работы другим специалистам в данной области техники. Процедура и функционирование требуют конкретных манипуляций физическими величинами, которые приведут к физическим изменениям конкретного устройства или системы, на которой выполняют эти действия или на которой хранят результаты. Обычно, но не обязательно, эти величины принимают форму электрических, магнитных или оптических сигналов, которые можно хранить, передавать, комбинировать, сравнивать или выполнять с ними другие действия. Иногда, особенно в целях широкого использования, считают удобным называть эти сигналы битами, значениями, элементами, символами, термами, числами и т.д.

Однако следует помнить, что все эти и аналогичные термины должны быть связаны с соответствующими физическими величинами и являются просто удобными обозначениями, которые применяют для этих величин. Если в настоящем раскрытии специально не оговорено или из него иным образом не очевидно, эти описания относятся к действиям и процедурам электронного устройства, которое выполняет действия и преобразует данные, представленные в виде физических (электронных, магнитных или оптических) величин в хранилище некоторого электронного устройства, в другие данные, так же представленные в виде физических величин в хранилище или на передающих или отображающих устройствах. Типичными терминами в таком описании, среди прочих, могут быть: "обработка", "вычисление", "расчет", "нахождение", "вывод на экран" и подобные им.

Кроме того, выполнение функций программного обеспечения изменяет вычислительное устройство, на котором оно происходит. Например, сбор данных будет так же физически изменять содержимое хранилища, как и последующая обработка данных. Физическое изменение - это "физическое преобразование", которое приводит к изменению физического состояния хранилища данных вычислительного устройства. Заметим, что программно реализованные аспекты изобретения обычно записывают на некоторый носитель - запоминающее устройство для хранения программ - или реализуют с использованием

некоторой среды передачи информации. Кроме того, запоминающее устройство энергонезависимое. Запоминающее устройство для хранения программ может быть магнитным (например, гибким диском или жестким диском) или оптическим (например, постоянное запоминающее устройство на компакт-диске или CD-ROM), оно может быть предназначено только для чтения или для неограниченного доступа. Таким же образом среда передачи информации может быть коаксиальным кабелем, витыми парами, оптическим волокном или некоторой другой средой передачи информации, известной в данной области техники. Изобретение не ограничено этими аспектами любых реализаций. Например, подходящей альтернативой может быть программа, которую запускают оптическими, а не электронными средствами.

Возвращаясь к фиг. 1, для ясности и простоты обсуждения вычислительное устройство 125 будет раскрыто как устройство, осуществляющее в практике предлагаемого изобретения все компьютерное управление. Это соответствует раскрытию прикладной программы 420 вычислительного устройства 400, представленного на фиг. 4. Однако следует понимать, что в модификациях изобретения эти функциональные возможности могут быть распределены между одним или несколькими программными компонентами на одном или нескольких компьютерах.

Как видно из фиг. 5А и 5В, буксировочное судно 105 во время работы плывет под управлением вычислительного устройства 125 и буксирует морской вибрационный источник 110 из одного местоположения 505 в другое местоположение 510 над изучаемой геологической толщей горных пород (не показана). Каждую точку 505, 510, в которой морской вибрационный источник 110 "срабатывает" или "запускается", как правило, называют "пунктом возбуждения колебаний". Период времени между срабатываниями источника известен как интервал срабатывания источника.

В каждом пункте 505, 510 возбуждения колебаний морской вибрационный источник 110 передает, соответственно, составной сейсмический свип-сигнал 515, 540 от расстановки 103 морской сейсмической съемки. Составной сейсмический свип-сигнал 515 содержит некоторое количество отдельных рандомизированных свипов 521, 522, 523. Число отдельных свипов в любом отдельно взятом варианте осуществления будет основано на особенностях конкретной реализации и число, равное трем, приведено только для примера. В других вариантах осуществления могут использовать разное число отдельных свипов. Каждый из рандомизированных отдельных свипов 521-523 содержит разные частоты или диапазоны частот, отличные от других в зависимости от применения, и их испускают одновременно. В данном случае "одновременно" означает один интервал срабатывания источника. Особенности проекта и времени срабатывания отдельных свипов 521-523 обсуждаются ниже.

Отдельные свипы 521-523 распространяются через толщу 525 воды и в геологическую среду 530. После попадания в геологическую среду 530 энергия отдельных свипов 521-523 распространяется через нее до тех пор, пока не вернется. Затем приемники морской сейсмической расстановки принимают возвратные волны 536-538, например приемники групп 225, 230, 235 на фиг. 2В.

Затем буксировочное судно 105 буксирует морской вибрационный источник 110 во второе местоположение, пункт 510 возбуждения колебаний, где процедуру повторяют. Морской вибрационный источник 110 передает второй составной сейсмический свип-сигнал 540, который содержит некоторое количество рандомизированных отдельных свипов 546-548, причем каждый из отдельных свипов 546-548 содержит разные частоты или диапазоны частот, отличные от других в зависимости от применения, и их испускают одновременно. Отдельные свипы 546-548 распространяются через толщу 525 воды в геологическую среду 530 и возвращаются к приемникам, где приемники принимают возвратные волны 551-553. Эту процедуру повторяют до тех пор, пока съемка не будет завершена.

Проект составного сейсмического свип-сигнала в отношении количества составляющих его отдельных свипов будет во многом зависеть от проекта отдельных морских вибраторов 300 в морском вибрационном источнике 110. Отдельные морские вибраторы 300 обычно проектируют с разными рабочими характеристиками, которые будут подходящими для разных отдельных свипов. Например, если один морской вибратор 300 оптимален в интервале от 2 до 30 Гц, а другой оптимален в интервале от 25 до 100 Гц, это даст по меньшей мере два отдельных свипа. Если имеются разные наборы морских вибраторов 300, хорошо работающие от 2 до 30, от 25 до 50 и от 45 до 100 Гц, тогда отдельных свипов будет по меньшей мере три.

Однако существуют другие ограничения проекта: длительность свип-сигнала морского вибрационного источника 110 и количество энергии, которое должен содержать составной свип-сигнал. С морским вибратором 300, который оптимален для частот от 25 до 100 Гц, в каждом составном свип-сигнале могут потребоваться две подгруппы этого типа морских вибраторов: один вибрирует на частоте от 25 до 60 Гц, другой от 50 до 100 Гц с тем, чтобы получить требуемую энергию в недрах за время, необходимое для перехода от одного пункта возбуждения колебаний к другому.

С тем, чтобы лучше понять этот аспект заявленного ниже предмета изобретения, обсудим некоторые примеры осуществления составного сейсмического свип-сигнала и отдельных свипов. В каждом из этих вариантов осуществления предусмотрено по меньшей мере три отдельных свипа и разное количество полученных из них составных свип-сигналов. Однако, как отмечено выше, количество отдельных свипов, их частоты и энергетический состав будут зависеть от конкретного варианта осуществления. Заметим, что в каждом из вариантов осуществления, проиллюстрированных в настоящем документе, дан-

ные, использованные для иллюстрации, это синтетические данные. На фиг. 6-11 представлен первый вариант осуществления, в котором три свипа вместе дают полный спектр требуемого составного свип-сигнала в этом конкретном варианте осуществления. Эти три свипа представлены на фиг. 6, и в этом случае частоты отдельных свипов перекрываются. При одновременном использовании это перекрытие будет приводить к появлению артефактов изображения для перекрывающихся частот. Чтобы избежать этих артефактов, три отдельных свипа с фиг. 6 комбинируют для создания девяти составных свип-сигналов, представленных на фиг. 7, которые при корреляции могут создавать артефакты изображения, но артефакты для каждого составного свип-сигнала будут разными. Поскольку артефакты не так когерентны, как ожидаемый сигнал, для извлечения требуемого сигнала можно применять процедуру инверсии, в которой используют когерентность.

На фиг. 8 представлен сигнал, полученный от традиционного импульсного источника. На фиг. 9 представлен результат произвольного применения свипов с фиг. 7 вдоль профиля возбуждения колебаний. На фиг. 10 представлен результат применения инверсии для восстановления традиционных данных из данных, собранных с использованием составных свип-сигналов. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего раскрытия, будет очевидно, что это восстановление очень точное. На фиг. 11 представлена разность между традиционными результатами и восстановленными результатами. Разность приблизительно на 90 дБ ниже амплитуд традиционного сигнала, в силу этого разность практически равна нулю. Как сказано выше, в разных вариантах осуществления могут применять разное количество одиночных свипов и/или составных свип-сигналов. На фиг. 12-17 представлен второй вариант осуществления, альтернативный тому, что показан на фиг. 6-11. Этот конкретный вариант осуществления отличается от варианта с фиг. 6-11 тем, что в нем применены шесть свипов, которые вместе дают полный спектр требуемого составного свип-сигнала. Эти шесть свипов представлены на фиг. 12, и частоты отдельных свипов также перекрываются. При одновременном использовании это перекрытие будет приводить к появлению артефактов изображения для перекрывающихся частот. Чтобы избежать этих артефактов, три свипа с фиг. 12 комбинируют для создания девяти составных свип-сигналов, представленных на фиг. 13, которые при корреляции могут создавать артефакты, но артефакты для каждого составного свип-сигнала будут разными. Поскольку артефакты не так когерентны, как ожидаемый сигнал, для извлечения требуемого сигнала можно применять процедуру инверсии, в которой используют когерентность. На фиг. 14 представлен сигнал, полученный от традиционного импульсного источника. На фиг. 15 представлен результат произвольного применения свипов с фиг. 13 вдоль профиля возбуждения колебаний. На фиг. 16 представлен результат применения инверсии для восстановления традиционных данных из данных, собранных с использованием составных свип-сигналов. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего раскрытия, будет очевидно, что это восстановление очень точное. На фиг. 17 представлена разность между традиционными результатами и восстановленными результатами. Разница составляет приблизительно на 75 дБ ниже амплитуд традиционного сигнала и в некоторых случаях ее можно проигнорировать.

Один аспект создания сигналов источника для получения сейсмического изображения состоит в том, что свипы с более низкими частотами сложнее генерировать, но низкочастотные сигналы могут быть зарегистрированы с применением более редкой сети источников, чем сигналы с высокими частотами. Это означает, что свипы с высокими частотами могут применять на частой сетке, а свипы с достаточно низкими частотами применяют только изредка или распределяют по большей площади источников. Низкочастотные свипы могут применять либо с равными интервалами, либо с произвольными интервалами, причем средний интервал между источниками больше, чем интервал между источниками для более высокочастотных свипов. В приведенном примере применяют свипы, которые произвольным образом исключают низкочастотные компоненты.

В частности, на фиг. 18 представлены три свипа, где первый свип содержит низкочастотную энергию, а второй и третий свипы содержат более высокочастотную энергию, причем все вместе они составляют требуемый спектр источника. На фиг. 19 представлены составные свип-сигналы, сгенерированные из трех отдельных свипов с фиг. 18. На фиг. 20 представлены составные свип-сигналы, сгенерированные только из двух высокочастотных свипов с фиг. 18, т.е., без низкочастотной энергии. На фиг. 21, 22 и 23 представлены результаты от традиционного импульсного источника, данные с применением свип-источников с фиг. 19 и 20, и результаты восстановления традиционных результатов по данным с фиг. 22. Как видно из фиг. 24, качество восстановления не настолько хорошее, как у предыдущих результатов, но оно правильное, и эти результаты могут быть улучшены с помощью дополнительных итераций инверсии. Выше было упомянуто, что свипы с высокими частотами могут применять на частой сетке, а свипы с достаточно низкими частотами применяют только изредка. Низкочастотные свипы могут применять либо с равными интервалами, либо с произвольными интервалами, причем средний интервал между источниками больше, чем интервал между источниками для более высокочастотных свипов. Этот вариант означает, что в одной и той же съемке количество отдельных свипов в любом заданном составном свип-сигнале может быть разным. Как было сказано выше, в зависимости от частот отдельных свипов и плотности сетки приемников, что отдельный свип могут передавать только через один пункт возбуждения

колебаний или, может быть, на каждом третьем пункте возбуждения колебаний, это показано на фиг. 25. Согласно другому варианту отдельный низкочастотный свип может распространяться по большей поверхности. Таким образом, например, в пункте 2500 возбуждения колебаний составной свип-сигнал 2505 содержит два отдельных свипа 2507; в пункте 2510 возбуждения колебаний составной свип-сигнал 2515 содержит три отдельных свипа 2520; и в пункте 2525 возбуждения колебаний составной свип-сигнал 2530 снова содержит два отдельных свипа 2535. Специалистам в данной области техники, которые понимают преимущества от использования настоящего изобретения, будет очевидно взаимоотношение частоты, плотности приемников и пунктов возбуждения колебаний, и поэтому они смогут осуществить этот конкретный вариант. В вариантах осуществления, представленных на фиг. 6-24, частоты отдельных свипов перекрываются. Однако это не обязательно для практики осуществления заявленного предмета изобретения. Отдельные свипы, которые входят в составной свип-сигнал, не требуют перекрытия частот, напротив, они могут быть пропусками в частотном покрытии. Это может быть предусмотрено для снижения вероятности появления артефактов на изображении данных от частот в перекрывающихся свипах. Хотя это означает, что составной свип-сигнал может иметь провалы в спектре, эти провалы могут быть заполнены в процессе интерполяции, включенной в инверсионное восстановление, путем заимствования из соседних трасс энергии для заполнения провалов. Пригодные способы интерполяции раскрыты в патенте США № 8295124 и патенте США № 8103453. В частности, описанный в них способ Монте-Карло будет давать набор шаблонов отдельных свипов, которые могут быть пригодными для вибраторов и пригодными для обработки и разделения.

В соответствии с изложением по этим ссылкам интерполяция рассчитывает быстрое (или дискретное) трехмерное преобразование Фурье (k_x, k_y, k_z) по набору сейсмических данных. Затем в трехмерном преобразовании она вычисляет абсолютное значение (например, значение, умноженное на его сопряженное комплексное число) комплексных отсчетов Фурье-преобразования. Это формирует гистограмму абсолютных значений, разделяет гистограмму на интервалы с приблизительно равной энергией и выбирает граничные значения при помощи границ гистограммы. Затем она использует эти пороговые значения в процессе интерполяции путем "проекции на выпуклые множества" для оценки недостающих сейсмических данных. Заметим, что хотя в этом конкретном варианте осуществления использован метод быстрого преобразования Фурье, в других вариантах осуществления могут использовать другие методы. К подходящим альтернативным методам относят, помимо прочих, преобразования Радона, вейвлет-преобразования и другие преобразования, которые создают разреженные представления сигнала или помехи.

Это применение интерполяции также подразумевает, что съемка обеспечивает пространственную дискретизацию, адекватную для применения используемого метода интерполяции. Хотя необходимость в интерполяции недостающей энергии увеличивает вычислительные затраты на инверсию, точность инверсии сопоставима с точностью предыдущего примера, где провалы в спектре источников не возникали. Кроме того, заметим, что пригодные методы интерполяции не ограничены теми, что раскрыты в противопоставленных материалах.

В каждом отдельно взятом свип-сигнале должен присутствовать элемент произвольности времени старта отдельных свипов. Как было сказано выше, проект составного свип-сигнала будет зависеть от того, сколько требуется отдельных свипов. Произвольность придает некоторую степень некогерентности, что позволяет инверсии разделять сигналы при обработке.

Согласно вариантам осуществления, представленным на фиг. 6-24, времена старта отдельных свипов в пределах составного свип-сигнала были заданы генератором случайных чисел. Согласно некоторым вариантам осуществления этот подход могут применять при условии, что тесты гарантируют отсутствие времен старта отдельных свипов, которые слишком близки друг к другу в разных составных свип-сигналах. Согласно другим вариантам осуществления могут применять критерии проектирования для обеспечения произвольности, подобные тем, что описаны в опубликованном патенте США 2015/0131409. Раскрываемый в настоящем документе способ может быть фактически адаптирован для применения в съемке, раскрытой в опубликованном патенте США 2015/0131409. По сути, в этой публикации для генерации схем возбуждения в морской сейсмической съемке применяют способ Монте-Карло. Согласно этим вариантам осуществления можно принять все требуемые ограничения в схеме Монте-Карло, сгенерировать много составных свип-сигналов и отбросить те составные свип-сигналы, которые не удовлетворяют проектным критериям. Заметим, однако, что каждое ограничение увеличивает потребность в вычислительной мощности. Применение произвольных последовательностей не обязательно является единственным подходом к проектированию отдельных свипов. Могут быть применены другие способы, которые ослабляют корреляции между сигналами, сгенерированными разными схемами. Одна полезная характеристика этого подхода состоит в том, что он обеспечивает проектировщику съемки возможность воспользоваться преимуществом конструкции морского вибрационного источника. Специалистам в данной области техники будет понятно, что морской вибрационный источник 110, представленный на фиг. 1 и 3, не только предусматривает некоторое количество морских вибраторов 300, но что эти морские вибраторы 300 обычно будут также различно сконструированы. Эти различные конструкции могут иметь характеристики, которые могут оказывать благоприятное влияние на проект съемки.

Например, некоторые могут более эффективно передавать сигналы, тогда как другие могут более

эффективно передавать высокие частоты. Если известна отличительная черта морских вибраторов 300, то при проектировании съемки можно приспособлять отдельные свипы и составные свип-сигналы к различным морским вибраторам 300. Таким образом, морским вибраторам 300, предназначенным для передачи низкочастотных сигналов, могут быть назначены отдельные свипы с более низкочастотным составом. Таким образом, морским вибраторам 300, предназначенным для передачи низкочастотных сигналов, могут быть назначены отдельные свипы с более низкочастотным составом. Согласно другому примеру в традиционной практике все морские вибраторы 300 работают, когда срабатывает или запущен морской вибрационный источник 110. Цель этого распределения по времени состоит в передаче энергии в геологическую среду в форме сейсмического свип-сигнала. Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения если множеству морских вибраторов 300 назначен один и тот же отдельный свип, тогда эти морские вибраторы 300 могут по этой же причине аналогичным образом срабатывать одновременно.

Согласно некоторым вариантам осуществления морские вибраторы 300, которым назначен один и тот же отдельный свип, могут также размещать в морском вибрационном источнике 110 таким образом, что они будут объединены в группу, например разделены по признаку соседства. Или согласно некоторым вариантам осуществления морские вибраторы 300, которым назначен один и тот же отдельный свип, могут быть распределены по всей группе. В этой связи требуется, чтобы морской вибрационный источник 110 демонстрировал эффект группирования. Например, обычно требуют, чтобы во избежание направленности сигнала подгруппа морских вибраторов 300 была близка к симметричной. Согласно одному конкретному варианту осуществления во время съемки могут применять более одного морского вибрационного источника 110. Патент США № 8295124 описывает техническое решение, которое называют возбуждением колебаний при помощи "независимого синхронного источника", также известного под маркой ISS®. Отличительная черта этого технического решения состоит в применении нескольких источников, все они срабатывают в одно и то же время (т.е. "синхронно"), по существу, безотносительно времен срабатывания других источников (т.е. "независимо"). Однако времена срабатывания специально подбирают так, чтобы времена срабатывания одного источника были произвольными по отношению ко временам срабатывания другого источника. Это придает некогерентную произвольность получаемым в результате съемки данным, что позволяет разделять сигналы в процессе инверсии. Другие варианты осуществления могут также задействовать съемку по системе "попкорн", описанную в опубликованном патенте США № 2015/0131409, опубликованном патенте США № US 2012/0147701, патенте США № 8295124 и патенте США № 8103453. Эти патенты принадлежат одному и тому же правообладателю.

Съемка по системе "попкорн" обеспечивает систему и способ разделения нескольких сейсмических источников, данные от которых содержат отражения, перекрывающиеся по времени. Короче говоря, это техническое решение использует способ типа инверсии для разделения сейсмических записей, полученных от нескольких сейсмических источников (например, Vibroseis®, пневмопушек и пр.) и содержащих перекрывающиеся отражения. Источники могут срабатывать (например, взрываться) в произвольные моменты времени, при этом регистрацию осуществляет несколько приемников. Эти произвольные задержки обычно приводят к некогерентной интерференции между разными источниками, тогда как отражения, связанные с тем же источником, создают когерентные события. Разделение предпочтительно выполнять при помощи численной процедуры инверсии, в которой используют свипы для каждого пункта возбуждения колебаний, начальные времена каждого возбуждения колебаний и когерентность отраженных волн между соседними пунктами возбуждения колебаний. Согласно одному из вариантов осуществления, раскрываемых в настоящем документе, система уравнений, подлежащая инверсии, может быть описана как

$$d = \Gamma S m,$$

где d - это матричное представление зарегистрированных сейсмических данных; m - набор разделенных отраженных сигналов; S - матрица или оператор, который описывает сходство между соседними пунктами возбуждения колебаний; Γ - матрица, которая определяет смешивание или группирование отдельных источников. Элементы матрицы S (или оператор, определяющий S) может быть выбран любым способом, накладывающим такие ограничения на события в соседних пунктах возбуждения колебаний, что события должны быть в некотором смысле схожими или когерентными. Согласно некоторым предпочтительным вариантам осуществления элементы матрицы S будут выбирать в соответствии с алгоритмом, который стремится ослабить сигналы между соседними пунктами возбуждения колебаний. В зависимости от геометрии съемки матрицу S могут конструировать так, чтобы усиливать когерентность в нескольких измерениях. Однако предмет изобретения, заявленный в документе, не ограничен этим типом съемки. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего изобретения, могут стать очевидными другие подходящие технические решения съемки.

Сейсмические данные после их получения могут обрабатывать в соответствии с принципами, раскрытыми в патенте США № 8295124, опубликованном патенте США № 2015/0131409 и опубликованном патенте США № US 2012/0147701, причем они принадлежат одному и тому же правообладателю. Согласно вариантам осуществления, в которых отдельные свипы перекрываются по частоте, перекрытия

рандомизированы, как описано выше. Таким же образом согласно вариантам осуществления, в которых существуют пропуски между частотами свипов, эти пропуски рандомизированы. В данном случае "рандомизированный" означает, что удалось обеспечить такие времена срабатывания для передачи назначенного отдельного свипа, что для отдельных свипов наблюдают некогерентную произвольность относительно друг друга.

Именно некогерентная произвольность позволяет процедуре инверсии разделять сигналы. Кроме того, подобное размывание сигнала могут применять для ослабления артефактов, которые возникают от гармонических колебаний отдельных свипов. При применении нескольких источников, т.е. при съемке с применением ISS©, отдельные свипы каждого составного свип-сигнала некогерентно произвольны по отношению к другим так же, как составные свип-сигналы соответствующих источников некогерентно произвольны по отношению друг к другу. Как и в предыдущем случае, произвольность не является единственным способом разделения сигналов. Возможны также и другие способы создания некогерентных сигналов.

В частности, это техническое решение для обработки осуществляет способ типа инверсии для разделения сейсмических записей, полученных от нескольких сейсмических источников и содержащих перекрывающиеся отраженные сигналы. Несколько морских вибрационных источников и отдельные свипы, каждый из которых содержит составной сейсмический свип-сигнал, срабатывают в моменты времени произвольные по отношению друг к другу в то время, как несколько приемников осуществляют регистрацию, как было описано выше. Эти произвольные задержки обычно приводят к некогерентной интерференции между разными источниками, тогда как отражения, связанные с тем же источником, создают когерентные события. Разделение могут выполнять при помощи численной процедуры инверсии, в которой используют свипы для каждого пункта возбуждения колебаний, начальные времена каждого возбуждения колебаний и когерентность отраженных волн между соседними пунктами возбуждения колебаний. Эти способы могут привести к тому, что сейсмические съемки будут проводить быстрее и дешевле, чем это было возможно до сих пор. Дополнительные сведения об обработке можно найти в патентных документах, упомянутых выше.

Как было упомянуто выше, в некоторых вариантах осуществления могут рандомизировать пропуски, а не перекрытия частот. На фиг. 25-30 проиллюстрирован один пример варианта осуществления такого типа. Согласно этому конкретному варианту осуществления пропуски рандомизированы в пространстве, но согласно некоторым другим вариантам осуществления они могут быть также рандомизированы по времени. Согласно некоторым вариантам осуществления они могут быть рандомизированы и по времени, и в пространстве.

На фиг. 26-31 представлена модификация осуществления, в которой несколько отдельных свипов вместе дают полный спектр требуемого составного свип-сигнала в этом конкретном варианте осуществления. Эти отдельные свипы представлены на фиг. 26 и в этом случае существуют пропуски в частотах отдельных свипов. Отдельные свипы с фиг. 26 комбинируют для создания составных свип-сигналов, представленных на фиг. 27, которые при корреляции могут создавать артефакты на изображении, но артефакты для каждого составного свип-сигнала будут разными. Поскольку артефакты не так когерентны, как ожидаемый сигнал, для извлечения требуемого сигнала можно применять процедуру инверсии, в которой используют когерентность. Существование пропусков в спектре делает возможными способы обработки данных, которые не требуют процедуры инверсии. Например, свипы теперь можно коррелировать без создания артефактов от общих частот в сигналах источника, хотя результаты потребуются корректировать с учетом пропусков в спектре.

На фиг. 28 представлен сигнал, полученный от традиционного импульсного источника. На фиг. 29 представлен результат произвольного применения свипов с фиг. 27 вдоль профиля возбуждения колебаний. На фиг. 30 представлен результат применения инверсии для восстановления традиционных данных из данных, собранных с использованием составных свип-сигналов. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего раскрытия, будет очевидно, что это восстановление очень точное. На фиг. 31 представлена разность между традиционными результатами и восстановленными результатами. Разность приблизительно на 90 дБ ниже амплитуд традиционного сигнала и, по сути, равна нулю.

Другие варианты осуществления настоящего изобретения будут понятны специалистам в данной области техники при рассмотрении раскрытого в настоящем документе описания изобретения и практического использования изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ морской сейсмической съемки, предусматривающий
 буксирование по меньшей мере части системы наблюдений морской сейсмической съемки;
 передачу одним или несколькими морскими сейсмическими источниками системы наблюдений сейсмической съемки составного сейсмического свип-сигнала, включающего множество рандомизированных отдельных свип-сигналов, которые имеют разные частоты относительно друг друга и их испус-

кают одновременно, при этом множество рандомизированных отдельных свип-сигналов содержат отдельные свип-сигналы, передаваемые на низких частотах, и отдельные свип-сигналы, передаваемые на более высоких частотах, интервал источника для отдельных свип-сигналов, которые передаются на низких частотах, больше, чем интервал источника для отдельных свип-сигналов, которые передаются на более высоких частотах, причем интервал источника представляет собой интервал времени между срабатыванием одного или более морских сейсмических источников; и

получение соответствующей возвратной волны для каждого отдельного свип-сигнала.

2. Способ по п.1, в котором буксирование системы наблюдений морской сейсмической съемки предусматривает буксирование системы наблюдений морской сейсмической съемки вдоль заданной траектории.

3. Способ по п.1, в котором отдельные свип-сигналы перекрываются по частоте и соответствующие времена, в которые их передают, рандомизированы.

4. Способ по п.1, в котором отдельные свип-сигналы не перекрываются по частоте и пропуски в частоте между отдельными свип-сигналами рандомизированы.

5. Способ по п.4, в котором пропуски в частоте рандомизированы либо в пространстве, либо по времени.

6. Способ по п.4, в котором пропуски в частоте рандомизированы и в пространстве, и по времени.

7. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий

буксирование системы наблюдений морской сейсмической съемки во второе местоположение;

передачу второго составного сейсмического свип-сигнала от системы наблюдений морской сейсмической съемки, причем составной сейсмический свип-сигнал предусматривает множество рандомизированных отдельных сигналов, которые имеют разные частоты относительно друг друга, и эти сигналы испускают одновременно; и

получение соответствующей возвратной волны для каждого отдельного свип-сигнала из второго некоторого количества.

8. Способ по п.7, в котором второе множество отдельных свип-сигналов отличается по количеству от первого множества отдельных свип-сигналов.

9. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий

буксирование системы наблюдений морской сейсмической съемки во второе местоположение;

передачу составного сейсмического свип-сигнала от системы наблюдений, причем второй сейсмический свип-сигнал содержит отдельные свип-сигналы, рандомизированные по времени относительно первого составного сейсмического свип-сигнала; и

получение возвратной волны для каждого из переданных вторыми отдельными свип-сигналов.

10. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий

буксирование второй системы наблюдений сейсмической съемки;

передачу второго составного сейсмического свип-сигнала от второй системы наблюдений, причем второй свип-сигнал предусматривает второе множество отдельных сигналов, испускаемых одновременно, причем первый и второй составные сейсмические сигналы передают с относительным некогерентным произвольным распределением по времени; и

получение соответствующей возвратной волны для каждого отдельного свипа из второго некоторого количества.

11. Способ морской сейсмической съемки, предусматривающий

буксирование системы наблюдений морской сейсмической съемки, причем система наблюдений морской сейсмической съемки содержит

морской вибрационный источник, который выполнен в виде группы морских вибраторов; и

множество морских сейсмических приемников; и

передачу составного сейсмического свип-сигнала от системы наблюдений, предусматривающую

передачу первого отдельного свип-сигнала составного сейсмического свип-сигнала на низкой частоте от первой части морских вибраторов в течение первого интервала источника, где первый интервал источника является интервалом времени между срабатыванием первой части морских вибраторов; и

передачу второго отдельного свип-сигнала составного сейсмического свип-сигнала от второй части морских вибраторов на более высокой частоте в течение второго интервала источника, где второй интервал источника представляет собой интервал времени между срабатыванием второй части морских вибраторов,

причем первый интервал источника для первого отдельного свип-сигнала, передаваемого на низкой частоте, больше второго интервала источника для второго отдельного свип-сигнала, передаваемого на более высокой частоте.

12. Способ по п.11, в котором первый и второй отдельные свип-сигналы перекрываются по частоте и соответствующие времена, в которые их передают, рандомизированы.

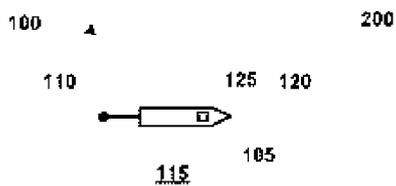
13. Способ по п.11, в котором первый и второй отдельные свип-сигналы не перекрываются по частоте и пропуски в частоте между отдельными свипами рандомизированы.

14. Способ по п.11, в котором по меньшей мере одну из первой и второй частей морских вибрато-

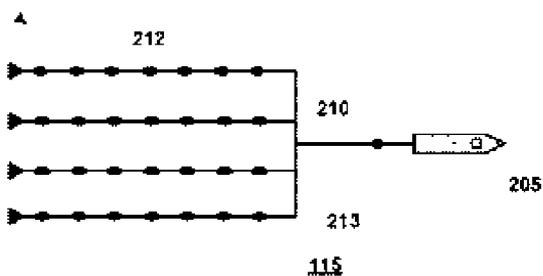
ров объединяют в группу.

15. Способ по п.11, в котором по меньшей мере одну из первой и второй частей морских вибраторов распределяют по группе.

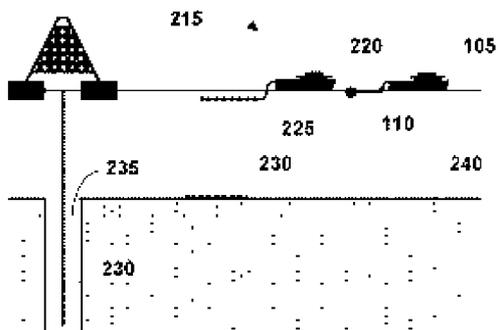
16. Способ по п.11, в котором первую и вторую части выбирают из группы на основании характеристик отдельных свип-сигналов.



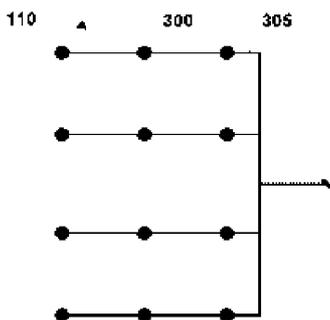
Фиг. 1



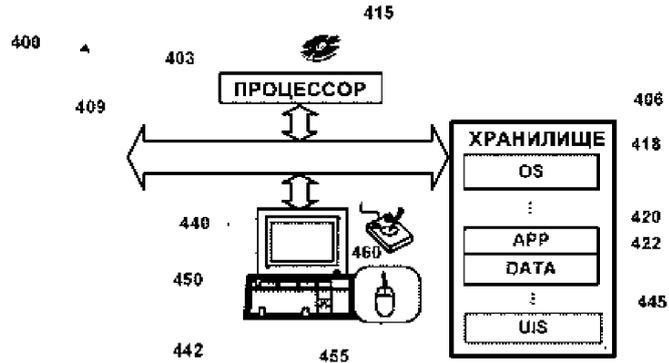
Фиг. 2А



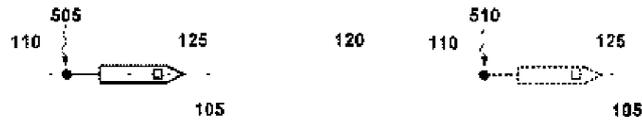
Фиг. 2В



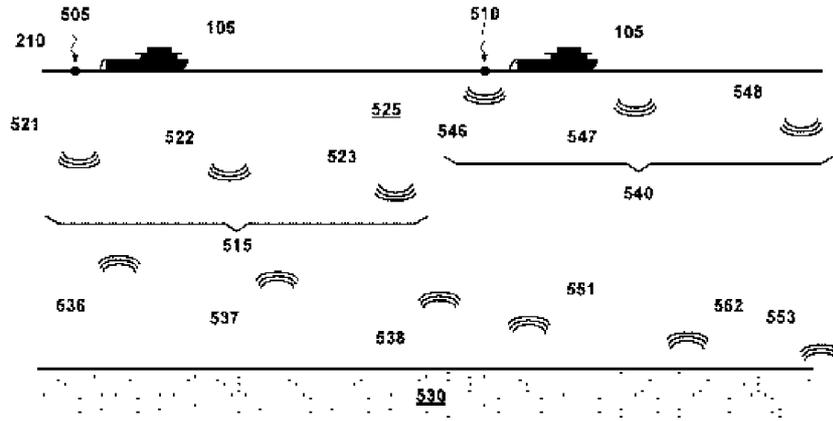
Фиг. 3



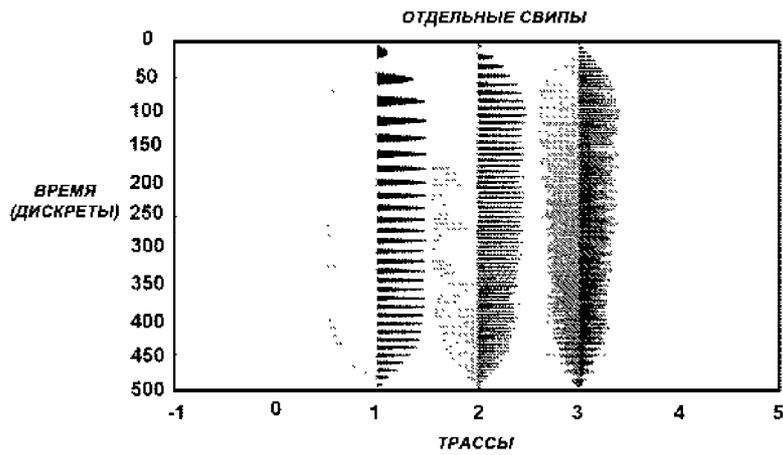
Фиг. 4



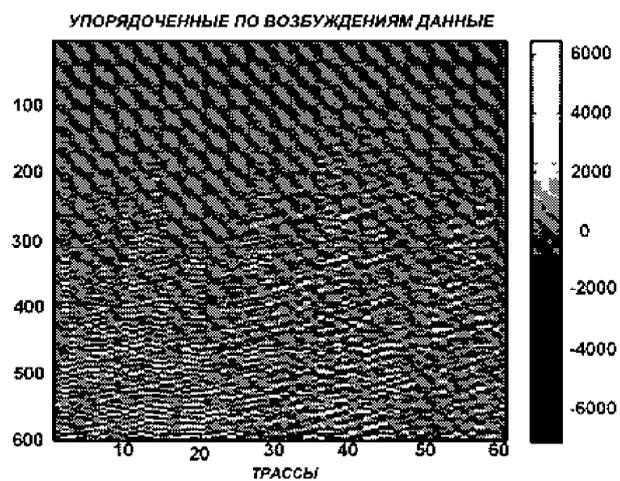
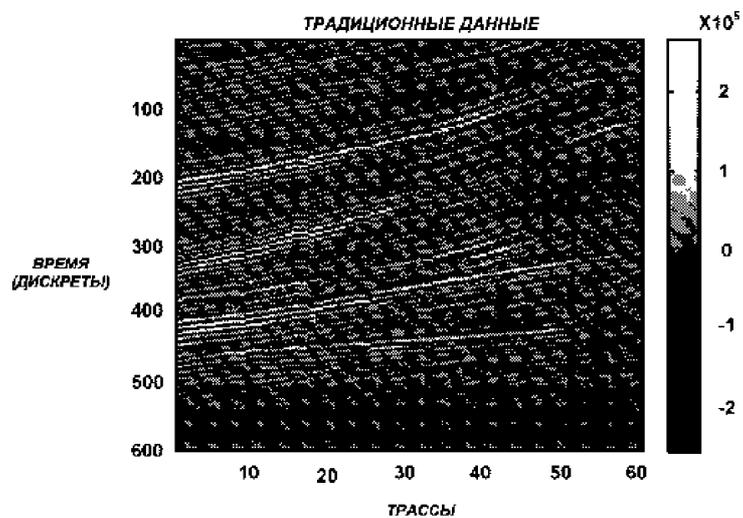
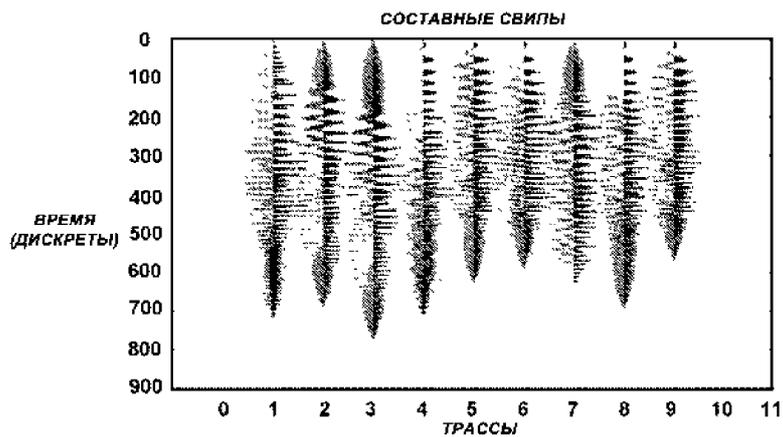
Фиг. 5А

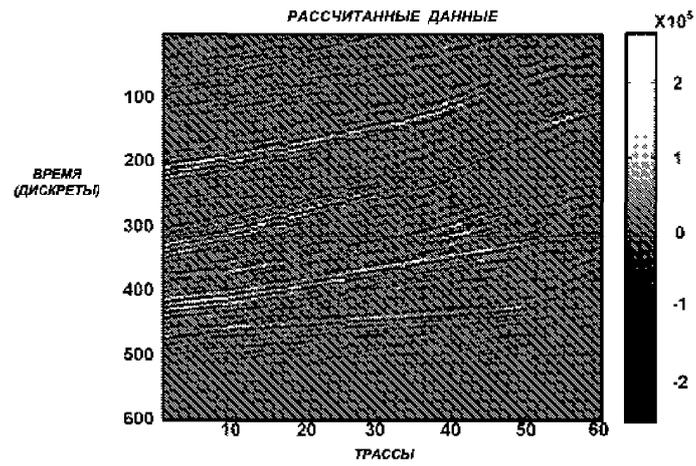


Фиг. 5В

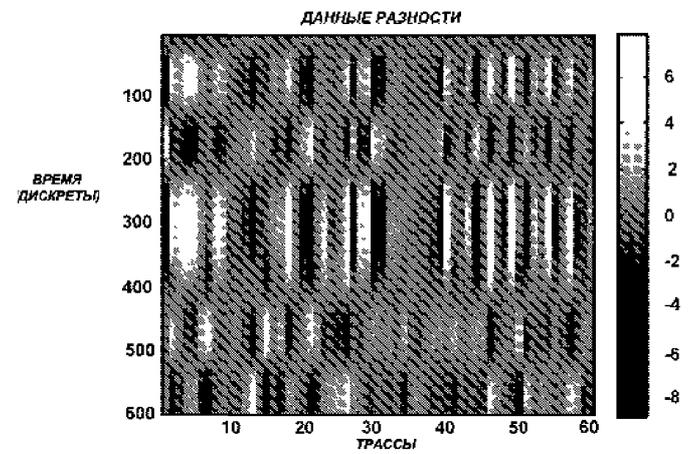


Фиг. 6

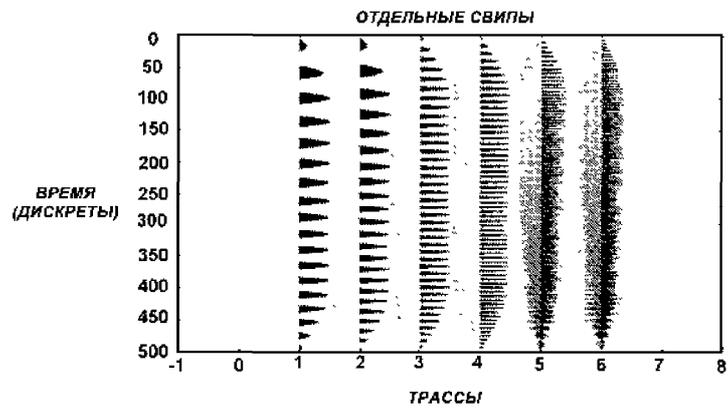




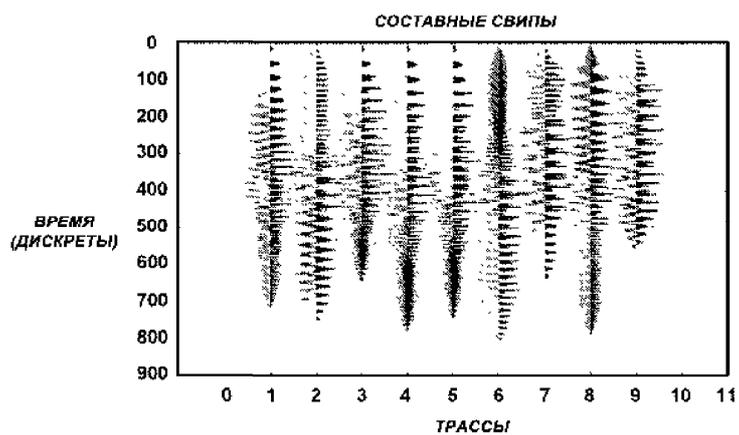
Фиг. 10



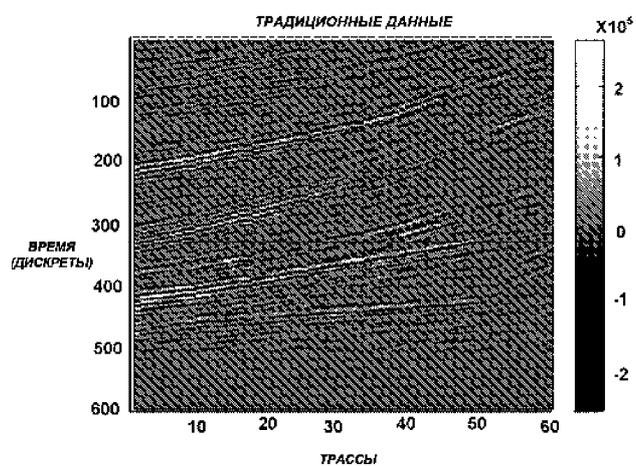
Фиг. 11



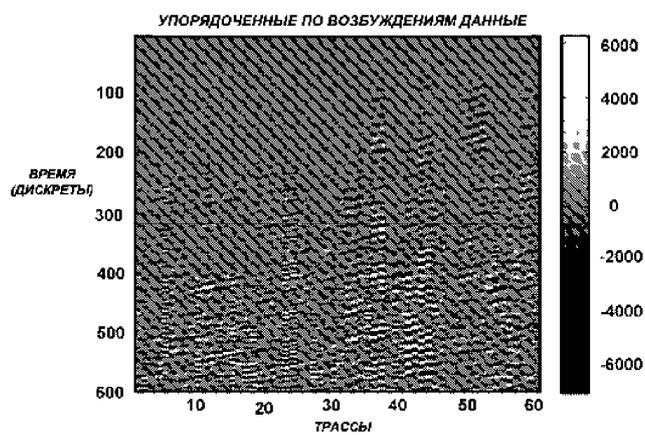
Фиг. 12



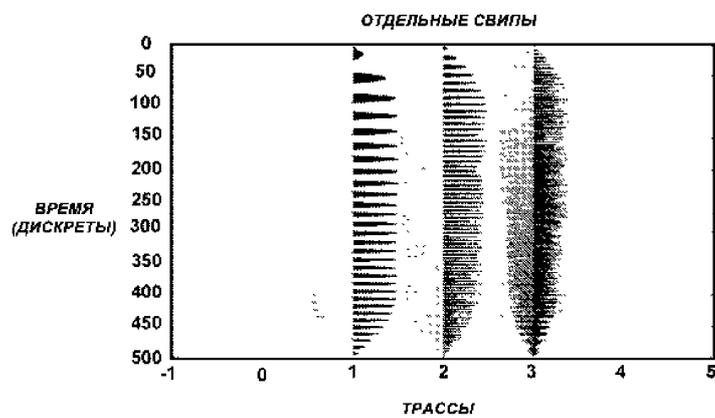
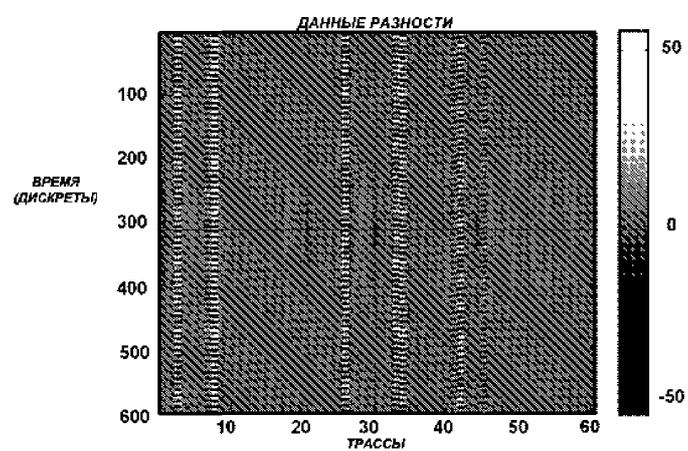
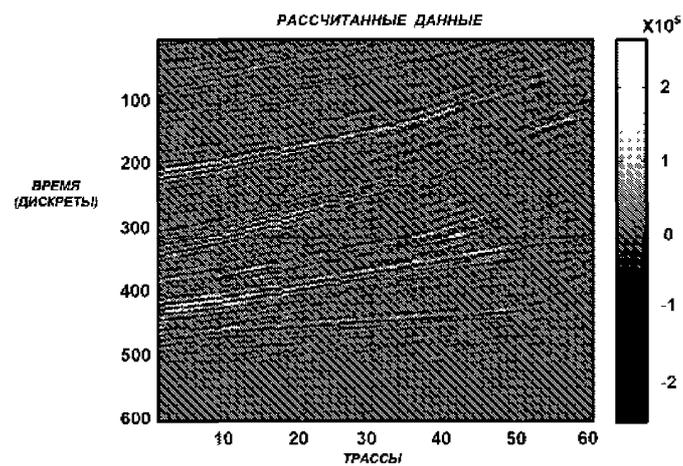
Фиг. 13

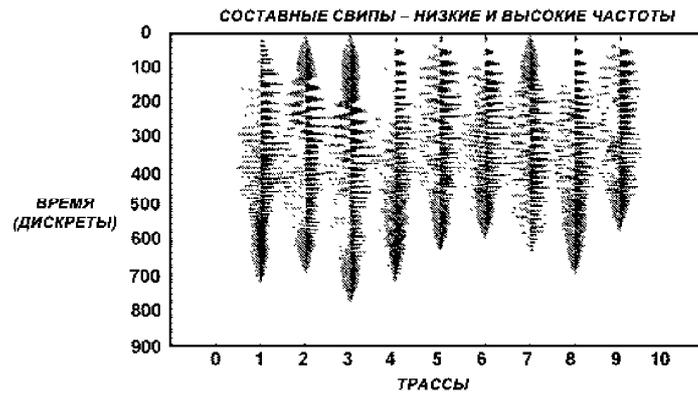


Фиг. 14

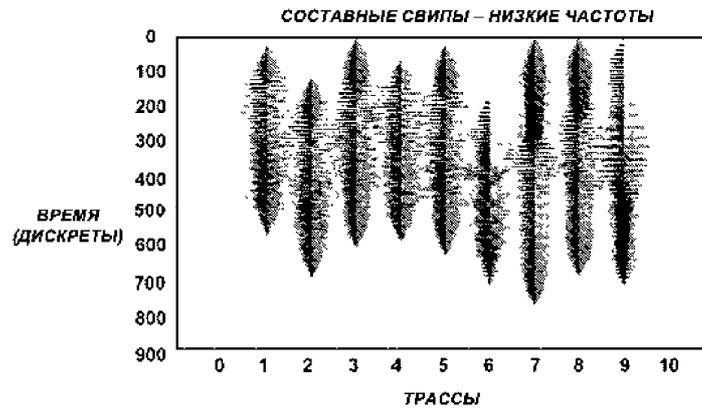


Фиг. 15

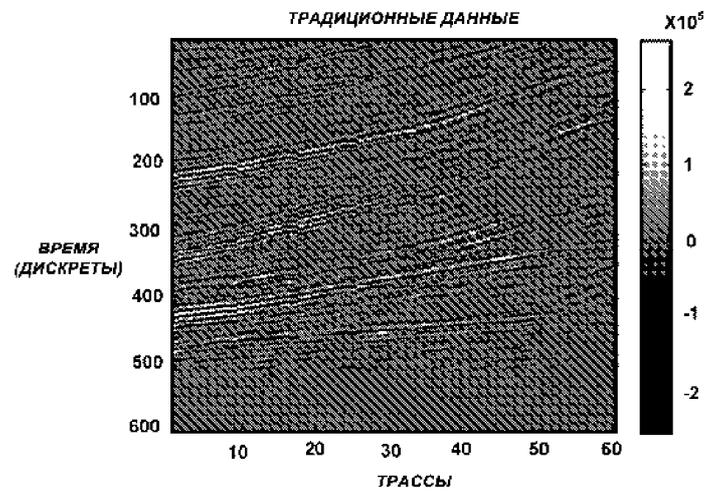




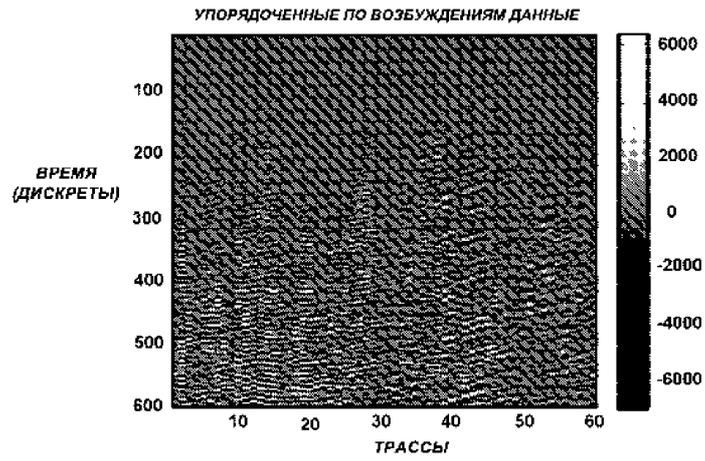
Фиг. 19



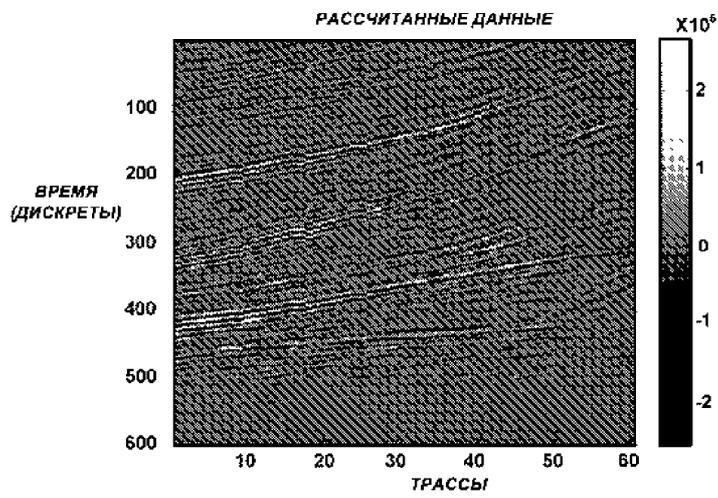
Фиг. 20



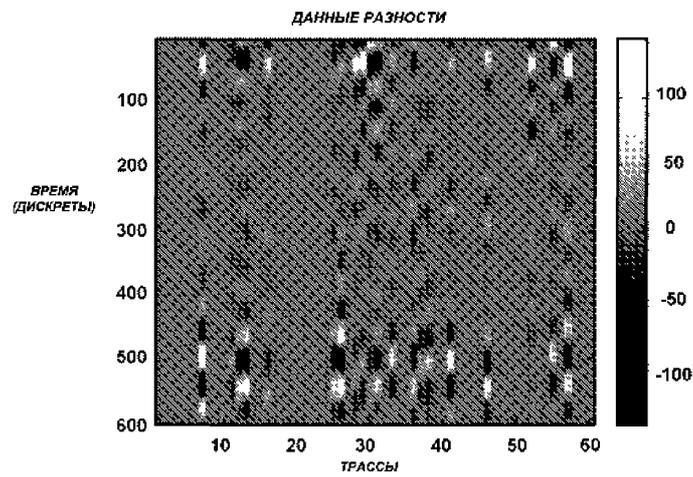
Фиг. 21



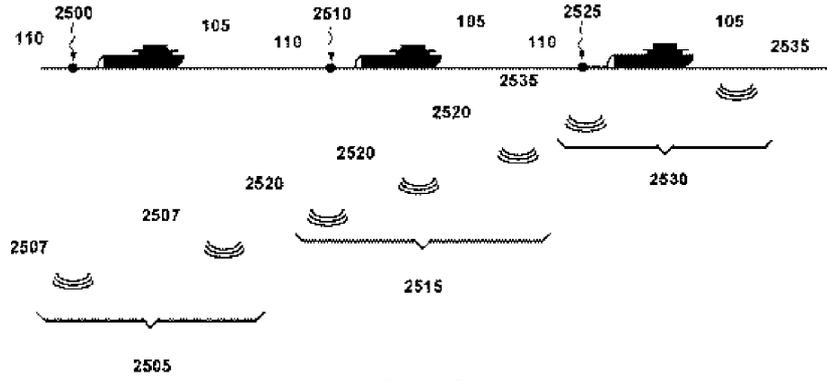
Фиг. 22



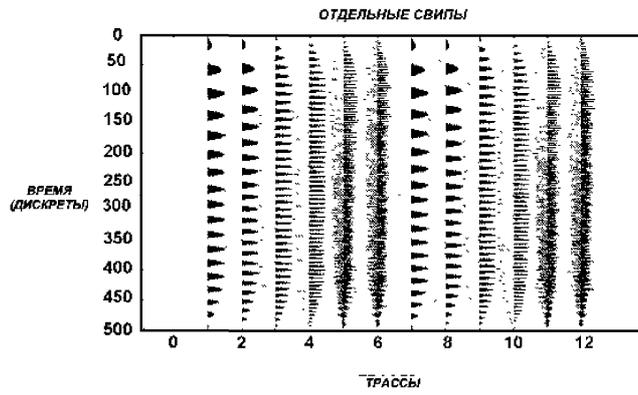
Фиг. 23



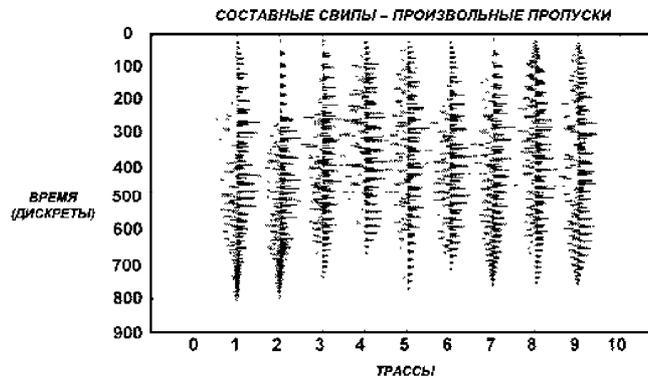
Фиг. 24



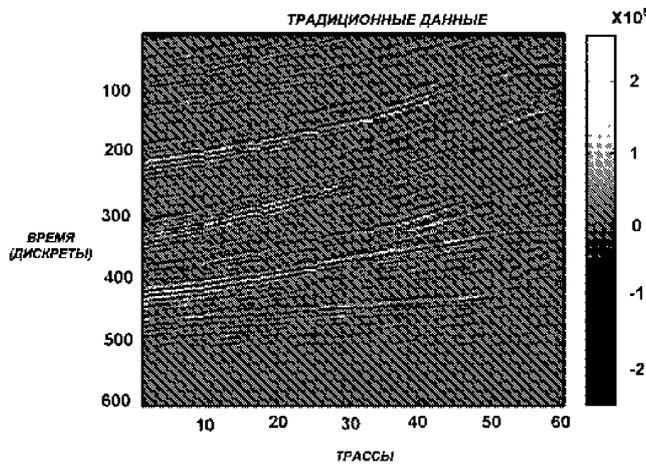
Фиг. 25



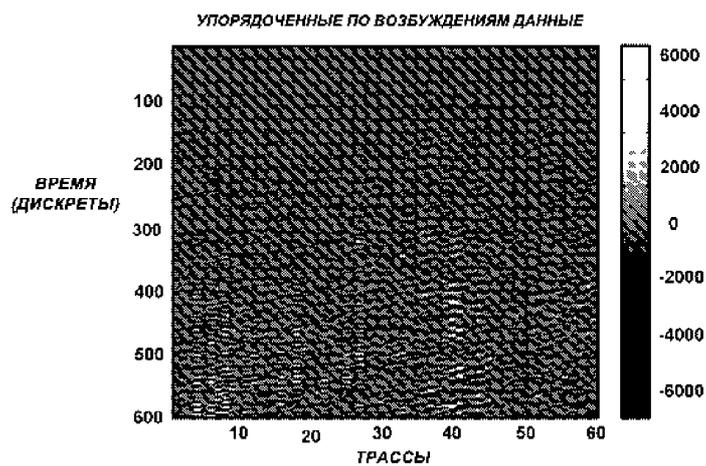
Фиг. 26



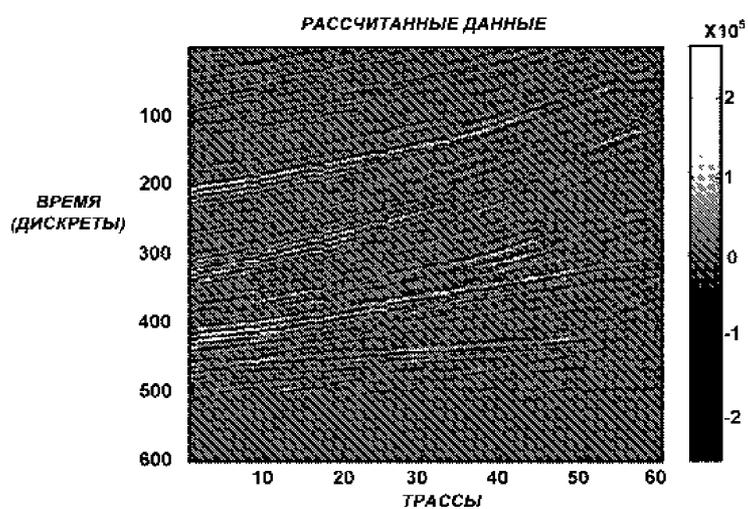
Фиг. 27



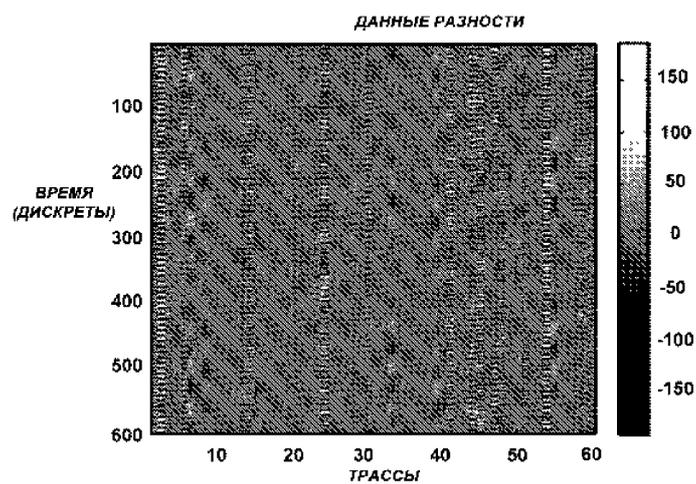
Фиг. 28



Фиг. 29



Фиг. 30



Фиг. 31

