

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038823**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.10.25

(51) Int. Cl. **G01V 1/36 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201891402

(22) Дата подачи заявки
2016.12.05

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ КОРРЕКЦИИ ДРЕЙФА ТАКТОВОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИЕМНИКА**

(31) **62/269,459; 62/319,860**

(56) EP-A2-2507653
US-A1-2011019502
US-A1-2015168576
US-A1-2011273958

(32) **2015.12.18; 2016.04.08**

(33) **US**

(43) **2019.01.31**

(86) **PCT/US2016/064891**

(87) **WO 2017/105885 2017.06.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БП КОРПОРЕЙШН НОРТ
ЭМЕРИКЕ ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:
Этджен Джон Теодор (US)

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

(57) В соответствии с одним вариантом выполнения предложен способ коррекции зарегистрированных сейсмических данных, в котором тактовый генератор каждого приемника потенциально неточен. Поскольку сейсмическое волновое поле не является случайным и содержит регулярные волны, регистрируемые всеми приемниками в ограниченной области, имеется возможность оценить различия в привязке по времени путем сравнения зарегистрированных данных разных приемников в ограниченной области. Без использования внешней привязки по времени, сигнала синхронизации или опорной сейсмической трассы все сейсмические данные сами могут быть использованы для определения того, насколько тактовый генератор каждого приемника дрейфует от истинного времени.

B1

038823

038823

B1

Ссылки на родственные заявки

Настоящая заявка претендует на приоритет предварительной патентной заявки US 62/269459, поданной 18 декабря 2015 г. под названием "Система и способ коррекции дрейфа тактового генератора приемника", и предварительной патентной заявки US 62/319860, поданной 8 апреля 2016 г. под названием "Система и способ коррекции дрейфа тактового генератора приемника", которые полностью включены в настоящее раскрытие посредством ссылки.

Область техники

Настоящее изобретение относится в основном к области сейсмической разведки, и в частности к способам коррекции временных дрейфов тактовых генераторов, используемых в сейсмических приемниках. Сейсмическая разведка может использоваться для исследования области, лежащей под земной поверхностью (геологической среды), например, для обнаружения, оценки и мониторинга происходящих изменений в углеводородах, находящихся в геологической среде.

Уровень техники

Задачей сейсмической разведки является получение изображения или карты геологической среды с использованием звуковой энергии, направляемой под земную поверхность и регистрации эхосигналов, отражающихся от расположенных внизу скальных слоев. Источником направляемой вниз звуковой энергии могут быть, например, взрывы или сейсмические вибраторы на земле либо пневматические "пушки" или вибраторы для морских условий работы. В ходе сейсмической разведки источник энергии помещается в различных местах вблизи поверхности земли над представляющей интерес геологической структурой. При каждой активизации ("взрыве") этого источника он генерирует сейсмический сигнал, распространяющийся вниз через толщу земли. Возникающие в результате эхосигналы затем регистрируются сейсмическими приемниками в большом числе пунктов, например на поверхности. Затем составляются многочисленные комбинации источник/запись для построения практически непрерывного профиля геологической среды, которая может простираться на много миль. При двухмерной (2-D) сейсмической съемке пункты регистрации обычно выстраиваются вдоль одной линии, в то время как при трехмерной (3-D) съемке пункты регистрации распределены по поверхности в виде сетчатой структуры. Проще говоря, можно считать, что 2-D сейсмическая линия соответствует картине сечения (вертикальный срез) слоев породы, как они располагаются под пунктами регистрации. 3-D съемкой получают "куб" или объем сейсмических данных, который, по меньшей мере, теоретически представляет собой 3-D картину геологической среды, лежащей под участком съемки. В действительности как 2-D, так и 3-D съемка исследует некоторый объем породы, лежащей под участком, охватываемым съемкой. Например, 4-D (т.е. с временными интервалами) съемкой называется съемка, выполняемая на одном и том же участке в два или более разных моментов времени. Очевидно, что при сравнении последовательных изображений лежащей под поверхностью породы любые наблюдаемые изменения (при условии учета различий сигнатур источников, а также свойств приемников, регистраторов, шума окружающей среды и др.) могут быть отнесены на счет изменений подземной породы.

Сейсмическая съемка состоит из очень большого числа отдельных сейсмических записей или дорожек сейсмограммы. Дискретные выборки в дорожках сейсмограмм обычно получают с интервалами 0,002 с (2 мс), хотя также используются интервалы выборки в 4 или 1 мс. Обычная длина дорожки сейсмограммы составляет 5-16 с, что соответствует 2500-8000 отсчетам при 2-миллисекундном интервале. Обычно каждая дорожка сейсмограммы регистрирует одну активизацию источника сейсмических сигналов, поэтому при активизации для каждой комбинации позиции излучающего источника-приемника получают одну дорожку сейсмограммы. В некоторых случаях может быть одновременно активизировано множество физических источников, но комбинированный сигнал источников в настоящем описании будем называть "источником" вне зависимости от того, генерирован он одним или многими физическими источниками.

В типичной 2-D съемке обычно получают несколько десятков тысяч дорожек сейсмограммы, в то время как в 3-D съемке число отдельных дорожек сейсмограммы может достигать многих миллионов.

При некотором проектировании съемки приемники могут быть включены на непрерывную регистрацию, что может быть в случае использования большого количества источников сейсмического сигнала, работающих независимо в одной области регистрации. Каждый источник может излучать свой сигнал, в общем случае без координации с другими источниками, так, что регистрируемые отражения могут перекрываться. Поэтому приемники ведут регистрацию непрерывно, для перехвата всех отражений. Соответственно каждый приемник формирует единственную дорожку сейсмограммы, являющуюся результатом непрерывного потока данных, включающих зарегистрированные отражения от нескольких (скорее всего, очень большого числа) сигналов источника. Все дорожки могут быть записаны в память приемников, либо могут быть переданы в блок сбора данных, отдельный от приемников.

Широко распространено проведение сейсмических съемок, как на суше, так и в морских условиях. В условиях морской съемки иногда предпочтительнее использовать приемники, размещаемые на дне океана. При такой сейсмической съемке сейсмические приемники, также называемые донными сейсмометрами (OBS - от англ. ocean bottom seismometer), обычно устанавливают в заданных местах дна океана, либо отпускают их над заданной позицией, позволяя опуститься на дно, либо помещают их на океанское

дно с использованием подводного аппарата дистанционного управления (ROV - от англ. remotely operated vehicle). OBS может представлять собой полностью автономную систему сбора данных, регистрирующую сейсмические данные, вырабатываемые активными источниками, например пневмоизлучателями, а также сигналы, вырабатываемые пассивными источниками сейсмических сигналов, например землетрясениями, буями и др.

Сейсмические приемники обычно создаются как высокоточные приборы, поскольку в нефте- и газодобывающей промышленности очень высоко оцениваются высококачественные сейсмические данные. Например, регистрация момента прихода отражения на каждый сейсмический приемник обычно выполняется с высокой точностью. Поэтому сейсмические приемники обычно оснащаются высокоточным встроенным тактовым генератором. Как правило, точным тактовым генератором считается такой, дрейф которого оставляет менее одного отсчета на всю длину съемки. В качестве примера, для 30-дневной съемки с использованием приемников с выборкой каждые 4 мс точным считался бы тактовый генератор с дрейфом не более примерно $0,00013$ с/день. В другом примере для 60-дневной съемки с использованием приемников с выборкой каждые 2 мс дрейф тактового генератора должен составлять менее примерно $3,3 \times 10^{-5}$ с/день, чтобы он считался точным для такой съемки.

Примерами точных тактовых генераторов могут служить тактовые генераторы, которые способны принимать синхронизирующие радиосигналы, например синхронизирующие сигналы GPS, атомных часов и термостатированных тактовых генераторов. Такие тактовые генераторы могут иметь высокую стоимость, включать громоздкие компоненты и могут требовать мощного питания, что, в свою очередь, рождает потребность в мощной, а значит громоздкой батарее.

В некоторых морских сейсмических съемках внутренний тактовый генератор OBS устройства не может быть синхронизирован точным временем посредством синхронизирующих радиосигналов. В этих случаях дрейф генератора тактовых сигналов корректируют с использованием времени прихода распространяющейся через слой воды прямой волны, поскольку скорость сигнала через столб воды и положение OBS устройства известны.

В других известных способах синхронизации генератора тактового сигнала требуется излучение специальных сигналов синхронизации, электронных или акустических, которые обеспечивают абсолютную привязку по времени. В удаленных районах такие решения могут оказаться непригодными.

В последние годы возник интерес к сейсмической съемке, использующей на порядок большее количество датчиков, чем обычно используется. Например, в современной сейсмической съемке использующей приемники, соединенные друг с другом кабелем, число приемников может достигать 100000, в то время как в съемке, где приемники не соединены кабелем, число приемников может достигать 10000. Капиталовложения, связанные с использованием на один или два порядка больше приемников, например 500000 или 1000000, и сложностью управления таким количеством приемников в полевых условиях представляют собой реальное препятствие для проведения такой съемки.

Настоящее изобретение было выполнено с учетом упомянутых проблем.

Перед тем как приступить к подробному описанию следует отметить и далее иметь в виду, что приведенное ниже описание вместе с приложенными чертежами не должно восприниматься как ограниченное только показанными и описанными примерами (или вариантами выполнения). Специалисты в данной области смогут представить себе и другие модификации в пределах объема правовой охраны приложенной формулы.

Сущность изобретения

В соответствии с первой особенностью предложен способ использования в сейсмической разведке области геологической среды, в котором получают множество непрерывно зарегистрированных дорожек сейсмограммы, собранных в ходе сейсмической съемки, проводимой непосредственно вблизи (проксимально к) области геологической среды, каждая из которых зарегистрирована приемником, имеющим генератор тактовых импульсов, при осуществлении которого:

(а) идентифицируют множество пар соседних дорожек сейсмограммы, каждая из которых включает первую дорожку, зарегистрированную первым приемником, и вторую дорожку, зарегистрированную вторым приемником, соседним с первым приемником;

(b) для каждой из этих пар соседних дорожек определяют относительный временной сдвиг между первой дорожкой и второй дорожкой;

(с) преобразуют эти относительные временные сдвиги, определенные в шаге (b), для получения оценки дрейфа для каждого из тактовых генераторов этих первых и вторых приемников;

(d) используют эти оценки дрейфа тактовых генераторов, полученные в шаге (с), для поправки на время первой и второй дорожек сейсмограммы каждой соседней пары дорожек, тем самым формируя множество поправленных на время дорожек сейсмограммы, представляющих подповерхностную геологическую среду.

Сейсмическая дорожка представляет данные, зарегистрированные сейсмическим регистратором. Непрерывная регистрация дорожки сейсмограммы означает, что одна дорожка сейсмограммы регистрирует отражения, порожденные несколькими активизациями источников сейсмических сигналов. Регистратор может регистрировать данные в течение продолжительного времени съемки, возможно, и за пол-

ное время съемки. Другими словами, включение и выключение регистраторов не согласуется с активизацией отдельных источников сейсмических сигналов.

Определяя второй приемник как соседний первому приемнику, подразумевают, что он находится вблизи первого приемника в процессе сейсмической разведки, в ходе которой собираются непрерывно регистрируемые дорожки сейсмограммы. Ниже это рассмотрено более подробно.

При этом на шаге (с) получают оценку дрейфа тактового генератора для каждого корректируемого генератора. Оценка дрейфа тактового генератора представляет собой абсолютную величину, которая может быть применена к дорожке сейсмограммы, зарегистрированной соответствующим приемником.

Авторы изобретения установили, что настоящее изобретение позволяет исключить требование к точности тактового генератора в приемнике, благодаря чему могут быть существенно сокращена стоимость изготовления, размеры и вес сейсмического приемника. Вместо этого варианты выполнения изобретения используются для корректирования дрейфа относительно неточного тактового генератора в сейсмическом приемнике. Под неточным тактовым генератором подразумевается генератор, дрейф которого составляет более одного отсчета в течение съемки. Подготовленному читателю будет понятно, что один отсчет на полную продолжительность съемки эквивалентен величине дневного дрейфа, зависящей от длины съемки и частоты выборки. Например, для 30-дневной съемки, использующей приемники с периодом выборки 4 мс, генератор тактовых импульсов с дрейфом более примерно 0,00013 с/день может считаться неточным. В другом примере для 60-дневной съемки, использующей приемники с периодом выборки 2 мс, генератор тактовых импульсов с дрейфом более $3,3 \times 10^{-5}$ с/день также будет признан неточным для такой съемки.

В соответствии с одним вариантом выполнения сейсмические данные, зарегистрированные приемниками как часть съемки для сбора сейсмических данных, будут использованы для оценки и исключения дрейфа тактового генератора в каждом приемнике. Поскольку сейсмические данные не являются хаотическими и содержат регулярные волны, которые регистрируются всеми приемниками в ограниченном районе, то, согласно одному варианту выполнения изобретения, можно сравнить моменты прихода этих волн, которые должны быть локально когерентны, для оценки того, насколько тактовый генератор дрейфует относительно других тактовых генераторов в других приемниках в этой области. Например, относительный временной сдвиг на шаге (b) может включать вычисление взаимной корреляции между первой и второй дорожками сейсмограммы. Максимальное значение этих взаимных корреляций далее используется для оценки отличия дрейфа тактового генератора в выбранном приемнике от точного времени. В качестве альтернативы взаимной корреляции могут использоваться другие приемы для идентификации одного и того же сигнала в двух разных дорожках, и в частности для идентификации того, какой сдвиг в двух дорожках обеспечил бы максимальное сходство между двумя дорожками. Например, для идентификации сдвига, при котором может быть достигнуто максимальное сходство между дорожками и тем самым выработана оценка относительного временного сдвига между двумя дорожками, могут быть использованы динамическая свертка изображения, метод коррелированной утечки или метод Монте-Карло. Эти методы широко известны и также используются в технологии сейсмической разведки, например для оценки 4-D временных сдвигов.

Данный подход обеспечивает получение сейсмических данных большим числом независимых сейсмических приемников с независимыми и потенциально неточными тактовыми генераторами и позволяет в дальнейшем ввести временной сдвиг в данные, зарегистрированные каждым приемником, для корректировки отличающегося дрейфа тактового генератора приемника, зарегистрировавшего эти данные. В способе используются данные, зарегистрированные приемниками, как часть съемки для сбора сейсмических данных, и не требуются какие-либо отдельные, специальные синхронизирующие сигналы. При таком подходе имеется возможность осуществить различную, зависящую от времени, коррекцию для каждого приемника.

Как правило, описанные здесь способы будут применяться к непрерывно записываемым данным и поэтому могут быть применимы в пассивной сейсмической съемке, например, когда регистрируются сейсмические сигналы от других работ в области съемки (бурение, производство, фрекинг и др.), либо от фонового шума (волны, землетрясения и др.), или в разведке с одновременной работой источников, например, как это описано в WO 2008/025986 и др. В настоящем варианте выполнения относительно длинные записи данных (например, несколько часов на один приемник) будут использоваться для оценки относительных временных сдвигов между близкими дорожками, предпочтительно с использованием взаимной корреляции.

Относительные временные сдвиги могут быть использованы для оценки остаточного, абсолютного временного сдвига, который будет служить оценкой уникального постоянного дрейфа тактового генератора, связанного с каждым приемником, предпочтительно, решением по методу наименьших квадратов замкнутой системы уравнений. Здесь может быть использована специальная программа решения методом наименьших квадратов. В некоторых случаях система уравнений может быть дополнена ограничениями на решения.

Опционально шаг (a) может включать шаги:

(a1) идентификация множества пар соседних дорожек сейсмограммы, каждая из которых включает

первую дорожку, зарегистрированную первым приемником, и вторую дорожку, зарегистрированную вторым приемником, соседним с первым приемником;

(a2) выбор для тактового генератора в каждом из этих первом и втором приемников временного строба взрывания;

(a3) вычисление линейной оценки коррекции дрейфа для каждого из упомянутых тактовых генераторов в пределах этого временного строба взрывания;

(a4) корректирование по времени первой и второй дорожек в соответствии с вычисленной линейной оценкой коррекции дрейфа для соответствующего тактового генератора.

Здесь следует понимать, что в ссылках на первую и вторую дорожки в шагах (b) и (d) имеются в виду дорожки, поправленные на шаге (a4).

Временной строб взрывания для данного тактового генератора может быть выбран путем идентификации первого момента времени тактового генератора приемника и второго момента времени тактового генератора приемника, соответствующих известным точным первому и второму моментам времени.

Известными первым и вторым точными моментами времени могут быть моменты времени, когда с точным временем могут быть сопоставлены два момента времени, зарегистрированные тактовым генератором. Например, тактовые генераторы в некоторые моменты времени могут быть синхронизированы с источником точного времени, например GPS приемником. Временной строб взрывания может охватывать почти всю сейсмическую съемку, хотя в альтернативном варианте могут быть выбраны более короткие временные стробы.

Для специалиста будет ясно, что шаг (a1) может выполняться после шагов (a2)-(a4), т.е. дорожки сейсмограммы могут быть подвергнуты введению линейной поправки перед тем, как будут сформированы пары дорожек.

Соответственно при условии, что на шаге (b) были вычислены линейная оценка дрейфа для каждого приемника и остаточный абсолютный дрейф, могут быть скорректированы дорожки сейсмограммы для каждого приемника.

В вариантах выполнения способ может включать идентификацию по меньшей мере двух секций дорожки сейсмограммы для каждой из первой и второй дорожек и осуществление шагов (a)-(d) отдельно для каждой из секций дорожки, с формированием тем самым множества поправленных на время дорожек, характерных для геологической среды, причем каждая поправленная на время дорожка сейсмограммы включает по меньшей мере две секции поправленной на время дорожки, использующие оценку дрейфа тактового генератора, полученную для соответствующей секции дорожки.

Другими словами, шаг (a) может включать шаги:

(ai) идентификация некоторого числа пар соседних дорожек, каждая из которых включает первую дорожку, зарегистрированную первым приемником, и вторую дорожку, зарегистрированную вторым приемником, находящимся вблизи первого приемника;

(aii) идентификация для каждой из первых дорожек и вторых дорожек первой секции дорожки и по меньшей мере одной следующей секции дорожки;

шаг (b) может включать определение для каждой из этих пар соседних дорожек относительного временного сдвига между первой секцией дорожки упомянутой первой дорожки и первой секцией дорожки упомянутой второй дорожки и определение для каждой из этих пар соседних дорожек относительного временного сдвига между следующими секциями дорожки упомянутой первой дорожки и следующими секциями дорожки упомянутой второй дорожки;

шаг (c) может включать для каждой секции дорожки преобразование относительных временных сдвигов, определенных в шаге (b), для получения оценки дрейфа тактового генератора для тактовых генераторов первых и вторых приемников;

шаг (d) может включать использование оценок дрейфа тактового генератора, полученных на шаге (c), для поправки на время соответствующих секций первой и второй дорожек каждой пары соседних дорожек, с формированием некоторого числа поправленных на время дорожек сейсмограммы, характерных для геологической среды, каждая из которых содержит по меньшей мере две секции поправленной на время дорожки сейсмограммы.

И в этом случае следует понимать, что шаг (ai) может быть выполнен после идентификации секций дорожки.

Обычно секции дорожек могут иметь многочасовую продолжительность, например, секции продолжительностью до примерно 6 ч, например от 1 до 4 ч или от 1 до 3 ч. В некоторых условиях, однако, могут подходить секции дорожек продолжительностью по меньшей мере один день или несколько дней, например от 2 до 3 дней, как это будет более подробно показано далее.

В вариантах выполнения относительный временной сдвиг между первой дорожкой и второй дорожкой может быть определен на шаге (b) путем нахождения относительных временных сдвигов между множеством сейсмограмм общего пункта взрыва (ОПВ), содержащихся в упомянутой первой дорожке, и соответствующих сейсмограмм ОПВ во второй дорожке и определения среднего значения этих временных сдвигов между соответствующими сейсмограммами ОПВ.

Под сейсмограммой ОПВ понимается сегмент дорожки сейсмограммы, содержащий зарегистриро-

ванные отражения, возникающие в результате активизации конкретного источника сейсмических сигналов. Как правило, точное время активизации источника бывает известно, поэтому сегменты дорожки сейсмограммы, которые будут содержать зарегистрированные сигналы/отражения, могут быть определены, несмотря на дрейф тактового генератора, с достаточной точностью для идентификации соответствующего сегмента.

Для того чтобы получить единое характерное значение для относительного временного сдвига между первой дорожкой сейсмограммы и второй дорожкой сейсмограммы, определяется среднее значение относительных временных сдвигов между соответствующими сейсмограммами ОПВ. Среднее значение этих относительных временных сдвигов может быть определено посредством накопления. Процедура накопления хорошо известна подготовленному читателю и относится к суммированию большого числа сигналов. Усреднение относительных временных сдвигов таким путем может быть полезно, поскольку оценка индивидуального временного сдвига, соответствующего одной паре соседних дорожек, скорее всего будет содержать ошибки; однако ошибка обычно будет сведена усреднением до нуля, если будут усреднены/накоплены несколько временных сдвигов.

Хотя определение относительных временных сдвигов подобным способом "от взрыва до взрыва" возможно, это не обязательно. Вместо этого относительные временные сдвиги могут быть определены относительно более продолжительных временных отрезков, например относительно секций дорожки сейсмограммы, описанных выше.

Для каждой пары соседних дорожек может быть введена кинематическая поправка для исключения влияния разного времени прихода (т.е. разности времени вступления сейсмической волны или скорости) между первым и вторым приемниками, связанными с данной парой соседних дорожек сейсмограммы. Кинематическая поправка может быть введена перед шагом (b) или после него. Кинематическая поправка, как правило, применяется перед шагом (c). Кинематической поправкой может быть нормальная коррекция времени вступления сейсмической волны (NMO - от англ. normal moveout), либо линейная коррекция времени вступления сейсмической волны (LMO - от англ. linear moveout). Использование NMO и LMO особенно применимо, когда кинематическая поправка используется перед шагом (b).

В вариантах выполнения способ может также включать определение тренда в оценках дрейфа тактового генератора, полученных на шаге (c) для каждого из тактовых генераторов первых и вторых приемников, и исключение этого тренда из этих оценок дрейфа тактового генератора, с формированием оценок дрейфа тактового генератора с исключенным трендом для каждого из тактовых генераторов первых и вторых приемников. В этом случае шаг (d) включает использование этих оценок дрейфа тактового генератора с исключенным трендом для временной корректировки первой и второй дорожек сейсмограммы каждой пары соседних дорожек, с формированием множества поправленных на время дорожек сейсмограммы, характерных для геологической среды. Тренд может быть идентифицирован и удален использованием алгоритма исключения тренда или использованием сглаживающего фильтра для идентификации тренда, который может быть затем удален. Алгоритмы исключения тренда и сглаживающие фильтры хорошо известны и общедоступны. Исключение этого тренда может быть полезно для уменьшения ошибок, обусловленных разностью времен вступления сейсмической волны.

Имеется возможность обеспечения точности тактового генератора по меньшей мере в одном из упомянутых приемников. Например, до 5% или от 1 до 5%, например от 1 до 3% от общего числа тактовых генераторов могут быть точными. Использование, по меньшей мере, точного тактового генератора может повысить точность способа примерно до уровня точного тактового генератора(ов).

В вариантах выполнения пары соседних дорожек идентифицируются на шаге (a) так, что каждая пара соседних дорожек ассоциирована по меньшей мере с одной другой парой соседних дорожек.

Первая пара соседних дорожек может быть непосредственно ассоциирована со второй парой соседних дорожек, если либо первая, либо вторая дорожка первой пары соседних дорожек является также первой или второй дорожкой второй пары соседних дорожек. Пара соседних дорожек также может быть косвенно ассоциирована с другой парой соседних дорожек через цепь непосредственно ассоциированных пар дорожек. В частном примере каждая пара соседних дорожек ассоциирована непосредственно или косвенно, со всеми другими парами соседних дорожек, идентифицированных на шаге (a). Таким образом, формируется "сеть" пар соседних дорожек.

Описанные выше способы могут также включать шаги:

(e) использование упомянутого множества поправленных на время дорожек сейсмограммы для получения изображения по меньшей мере части области геологической среды;

(f) использование этого изображения области геологической среды в разведке на углеводороды в пределах этой области геологической среды.

Согласно другой особенности предлагается способ сейсмической разведки области геологической среды, в котором используется множество непрерывно зарегистрированных дорожек сейсмограммы, собранных в процессе сейсмической съемки, проведенной вблизи области геологической среды, каждая из которых зарегистрирована приемником, имеющим тактовый генератор.

При осуществлении способа

(a) получают доступ ко множеству поправленных на время дорожек сейсмограммы, созданных спо-

собом, включающим шаги:

(i) идентификация множества пар соседних дорожек, каждая из которых содержит первую дорожку, зарегистрированную первым приемником, и вторую дорожку, зарегистрированную вторым приемником, соседним с первым приемником;

(ii) определение для каждой из пар соседних дорожек относительного временного сдвига между первой дорожкой и второй дорожкой;

(iii) преобразование относительных временных сдвигов, определенных на шаге (ii), для получения оценки дрейфа тактового генератора для тактовых генераторов первых и вторых приемников;

(iv) использование оценок дрейфа тактовых генераторов, полученных на шаге (iii), для поправки на время первой и второй дорожек каждой пары соседних дорожек, с формированием тем самым множества поправленных на время дорожек сейсмограммы, характерных для геологической среды;

(b) используют эти полученные поправленные на время дорожки сейсмограммы для формирования изображения по меньшей мере части этой области геологической среды;

(c) используют это изображение по меньшей мере части геологической среды для разведки на углеводороды в пределах области геологической среды.

В любом из приведенных выше вариантов выполнения способ может быть повторен с формированием множества поправленных на время дорожек сейсмограммы, характерных для геологической среды. Повторение способа может быть итеративным. Подобное повторение может улучшить точность поправки на время.

Другие варианты выполнения и модификации, безусловно, возможны в пределах области притязаний настоящего изобретения и могут быть легко разработаны специалистом на основе приведенного здесь раскрытия.

В приведенном выше рассмотрении обобщенно изложены наиболее важные признаки настоящего изобретения с тем, чтобы следующее далее описание было более понятным и вклад авторов изобретения был оценен по достоинству. Настоящее раскрытие не должно ограничиваться в настоящей заявке деталями конструкции и расположением компонентов, раскрытых в следующем ниже описании или изображенных на чертежах. Напротив, раскрытые здесь способы и устройство могут иметь другие варианты выполнения и могут быть осуществлены различными иными путями, не перечисленными конкретно в настоящем раскрытии. Наконец, следует иметь в виду, что используемые здесь выражения и терминология предназначены для описания изобретения и не должны восприниматься ограничивающими изобретение, если описание специально не ограничивает приведенные далее его текст и формулу.

Краткое описание чертежей

Другие задачи и преимущества изобретения станут понятными после ознакомления с приведенным ниже описанием со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых

на фиг. 1 представлена общая блок-схема оборудования обработки сейсмических данных, пригодная для использования в настоящем изобретении;

на фиг. 2 обобщенно проиллюстрирована неточность тактовых генераторов приемников и возможное влияние на них температуры, старения и естественных производственных отклонений частоты тактового сигнала, присущих каждому генератору;

на фиг. 3 обобщенно показано, что временной дрейф тактовых генераторов приемника может не быть строго линейным и при устранении линейного тренда неточности могут остаться;

на фиг. 4 схематически проиллюстрирован подход согласно одному варианту выполнения, использующий секцию дорожки сейсмограммы таким образом, что остаточный дрейф тактового генератора остается квазистатическим в течение этого промежутка времени;

на фиг. 5 показаны вступления сейсмических волн, которые могут быть зарегистрированы каждым приемником и поэтому могут быть использованы в данном варианте выполнения для корректировки каждого приемника на дрейф тактового генератора;

на фиг. 6 иллюстрируется вариант выполнения, в котором для размещения вблизи друг друга выбираются приемники τ_1 и τ_2 , связанные взаимной корреляцией;

на фиг. 7 представлен алгоритм, пригодный для использования в варианте выполнения;

на фиг. 8 представлены полученные оценки дрейфа тактового генератора в сравнении с фактическими дрейфами тактовых генераторов для примера с синтетическими данными;

на фиг. 9 представлены оценки дрейфа тактового генератора с исключенным трендом в сравнении с фактическими дрейфами тактовых генераторов;

на фиг. 10 представлен график отклонений, иллюстрирующий различие между оценками дрейфа тактовых генераторов с исключенным трендом и фактическими дрейфами тактовых генераторов, показанными на фиг. 9;

на фиг. 11 представлены синтетические сейсмические данные перед коррекцией дрейфа;

на фиг. 12 показаны синтетические сейсмические данные после коррекции дрейфа в соответствии с вариантом выполнения;

на фиг. 13а-в показаны синтетические сейсмические данные со случайным дрейфом тактового генератора, распространенным на данные (фиг. 13а); синтетические сейсмические данные, показанные на

фиг. 13а, после применения способа в соответствии с вариантом выполнения (фиг. 13б); синтетические сейсмические данные, показанные на фиг. 13а, после исключения фактической ошибки тактового генератора (фиг. 13в).

Подробное описание осуществления изобретения

В то время как настоящее изобретение может быть осуществлено во многих различных формах, далее показаны на чертежах и подробно описаны некоторые конкретные варианты выполнения настоящего изобретения. Следует, однако, иметь в виду, что настоящее раскрытие должно рассматриваться как иллюстрация принципов изобретения и не имеет в виду его ограничения описанными конкретными вариантами выполнения и алгоритмами.

В соответствии с вариантом выполнения изобретения предложен способ обработки сейсмических данных, который лучше компенсирует дрейф тактового генератора приемника, чем это было возможно ранее. Более конкретно в варианте выполнения предлагается система и способ улучшения изображений, получаемых из сейсмических данных (с использованием распространения и отражения сейсмических колебаний) способом, позволяющим автоматически распознать и удалить ошибки в синхронизации из-за дрейфа тактового генератора приемника, которые в противном случае ухудшили бы или исказили обработанные сейсмические данные, используемые в разведке и добыче для поиска ресурсов в земных недрах.

Рассмотрим сначала блок-схему на фиг. 1, иллюстрирующую в общем виде типичный процесс получения и обработки сейсмических данных. Как показано на схеме, выполняется проектирование 110 и осуществление 120 сейсмической съемки способами, хорошо известными специалистам. Съемкой может быть, например, вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), топографическая съемка, морская съемка или какая-либо их комбинация. Как хорошо известно, источники и приемники размещаются в соответствии с проектом съемки, начинается регистрация и активизируются источники, в соответствии с проектом съемки. Приемники воспринимают и регистрируют сейсмические сигналы. Зарегистрированные сейсмические волны (т.е. сейсмические данные) могут или не могут быть подвержены какой-либо обработке в полевых условиях перед их отправкой в центр обработки данных, где обычно производится основная обработка.

Обычно в центре обработки данных выполняется начальная компьютеризированная обработка для ассоциирования каждой сейсмограммы с поверхностью или другим участком (координаты x/y) (элемент 130), хотя некоторые части этой процедуры также могли бы быть выполнены в полевых условиях. В любом случае компьютерная система 150, в качестве которой может быть рабочая станция, сервер, центральный процессор, параллельный компьютер, сеть компьютеров или рабочих станций и др., обычно будет оснащена программным обеспечением, выполняющим алгоритмы (элемент 140) обработки/воспроизведения данных. Вариант выполнения описываемого здесь способа обычно загружался бы в обрабатывающий компьютер как часть элемента 140 и применялся для сейсмических данных перед выполнением обработки изображения. Таким путем обычная обработка изображения может быть выполнена на коррелированных по времени данных.

Как правило, сейсмические данные подвергаются обработке и визуализации на дисплее компьютера, например дисплее рабочей станции 170. Выходной сигнал после обработки сейсмических данных может быть использован для создания карт или графиков сейсмических данных и/или сейсмических параметров 180, в соответствии со способами, хорошо известными специалистам.

Рассмотрим далее фиг. 2, схематически представляющую одну особенность проблемы, связанной с дрейфом тактового генератора. Если все тактовые генераторы приемников имеют одинаковый строго линейный дрейф, накапливающаяся ошибка всех тактовых генераторов для всех устройств располагалась бы вдоль прямой линии, т.е. измеренное время в точности соответствовало бы истинному времени. Однако вследствие того, что дрейф отличается от устройства к устройству, а также, по крайней мере, потенциально, с течением времени для каждого данного приемника накопленная ошибка тактового генератора скорее всего будет различной для каждого приемника R1 и R2.

На фиг. 3 схематически иллюстрируется остаточная ошибка тактового генератора после удаления полученной по методу наилучшего выбора оценки линейного дрейфа (т.е. полученной синхронизацией тактового генератора перед установкой с последующим определением временного отличия после извлечения приемника, или дистанционно, по передаваемому текущему времени приемника, или на основании известного различия между внутренним временем и временем, измеренным по точным часам и т.д.). В некоторых вариантах выполнения оценка линейного дрейфа может быть использована для корректировки сейсмических данных перед применением способа, описываемого ниже.

На фиг. 2 и 3 представлен пример данных, зарегистрированных в течение трех дней. На практике продолжительность большинства съемок значительно больше. Однако показанные на диаграммах данные демонстрируют, как может изменяться дрейф с течением времени, например, под воздействием температуры. В частности, дрейф тактового генератора может изменяться циклически, если, например, температура окружающей среды выше днем, чем ночью.

В некоторых вариантах выполнения могут быть сделаны следующие предположения для упрощения получения числовой оценки дрейфа тактового генератора каждого приемника:

зарегистрированные волновые поля будут считаться, по меньшей мере, примерно пространственно когерентными, за исключением общих воздействий на оборудование станции, например, атмосферные помехи приемникам, ошибки тактовых генераторов и т.д.;

приемники предполагаются пространственно разнесенными с некоторым интервалом по меньшей мере в одном направлении, который может определять упомянутую когерентность;

для данного варианта выполнения предполагается, что линейный тренд дрейфа тактовых генераторов может быть исключен стандартными методами.

Кроме того, если приемник отключен в момент приема сигнала, то этот результат исключается, либо предполагается, что имеется достаточно широкий диапазон направлений прихода волны для компенсации сейсмического сноса и зависимости статистики различий времени прихода от конструкции, либо в данные вносится кинематическая поправка;

наконец, как будет более подробно показано ниже, предпочтительно иметь достаточное число взрывов (активизаций источника) в течение некоторого промежутка времени так, чтобы ошибка/различие между двумя расположенными рядом станциями могла рассматриваться в пределах этого промежутка времени как "статическое" различие (см. например, фиг. 4).

Обращаясь далее к фиг. 5, отметим, что если две дорожки, зарегистрированные приемниками g_1 и g_2 , показанными на этой фигуре, взаимно коррелированы, эта взаимная корреляция будет представлять собой усредненное различие между всеми временами прихода на двух дорожках сейсмограммы, с весовыми коэффициентами, определяемыми относительными амплитудами каждой дорожки. На это влияет конструкция, скорость, сейсмический снос, тип волны и т.д., и если имеет место, мгновенное различие во времени, отсчитываемом двумя приемниками. Настоящее изобретение определяет это мгновенное различие. Хотя в данном контексте важным является вычисление взаимной корреляции, также могут использоваться любые другие вычисления, которые определяют степень схожести двух дорожек сейсмограммы, рассмотренной выше.

При дальнейшем рассмотрении варианта выполнения со ссылкой на фиг. 6 может быть использовано решение с определением взаимной корреляции дорожек, зарегистрированных в приемниках g_1 и g_2 последовательно от взрыва к взрыву, с последующим накоплением этих взаимных корреляций. Статистически это будет приводить к исключению вариаций от всех воздействий, которые непостоянны от дорожки к дорожке, например отклонения по времени прихода, возникающие из-за геометрических факторов и от типа волны, будут стремиться к нулю. В результате останется то, что отличается по кинематике, которая сохраняется неизменной от взрыва к взрыву, как атмосферные помехи приемникам и систематическое отклонение во времени, отсчитываемом приемниками. В некоторых случаях все-таки останется среднее кинематическое отличие от волнового поля из-за усредненных отличий сейсмического сноса и конструкции.

В качестве примера среднее кинематическое отличие, связанное с сейсмическим сносом и скоростью, может быть исключено выбором группы дорожек, где можно ожидать равенство нулю среднего значения (например, симметричная система наблюдений).

В зависимости от типа волны также может быть применена нормальная коррекция времени вступления сейсмической волны (NMO), либо линейная коррекция времени вступления сейсмической волны (LMO), в предположении, что благодаря этим эффектам будет ослаблено усредненное различие.

На фиг. 7 представлен алгоритм, пригодный для использования в варианте 800 выполнения. Для подготовленного читателя будет понятно, что некоторые шаги могут быть выполнены в другом порядке. Например, кинематическая коррекция может быть применена после взаимной корреляции, либо длина секции дорожки может быть выбрана перед идентификацией зарегистрированных взрывов, но и другие примеры будут очевидны для специалиста.

В первом шаге 810 непрерывно получают сейсмические данные над заданной областью, в соответствии со способами, известными специалистам. Съемка может состоять из 2-D и 3-D данных, полученных с использованием активных источников или пассивных источников.

После того, как данные были получены, для каждого приемника определяется коррекция линейного временного дрейфа (элемент 815). Далее эта коррекция применяется к данным, зарегистрированным некоторым приемником (элемент 820).

Далее для снижения потенциального воздействия изменений сейсмического сноса и скорости на последующие вычисления (элемент 830) используется кинематическая коррекция (например, NMO и LMO). Такой подход полезен в тех случаях, когда сейсмические дорожки представляют собой получаемые обычным путем данные от активного источника с известным расположением источника и, в частности, когда вычисление взаимной корреляции выполняется последовательно "от взрыва к взрыву". Определение величины поправки на время применительно к сейсмической дорожке, с учетом ее расположения относительно источника, хорошо известно специалистам в данной области.

Следует отметить, что в случае съемки, содержащей большое количество активизаций источника, кинематическая коррекция (например, NMO/LMO) может и не понадобится. Тем не менее, она имеет смысл в некоторых случаях, когда, например, на нескольких дорожках имело место преобладание энергии с известного направления. В этом случае NMO или LMO могут быть применены к дорожкам сейсмо-

граммы, на которых зарегистрированы шумы, для их лучшего совмещения.

Производится выбор (элемент 835) секции дорожки, в пределах которой можно предполагать, что дрейф примерно стационарен или квазистационарен. Такое положение может сохраняться, например, в течение нескольких часов, скажем, 2-3 ч, хотя его продолжительность может быть и много больше. В некоторых случаях секция дорожки может представлять единый отрезок продолжительностью во всю съемку. Скорее, однако, будет выбрано несколько секций дорожки (например, первые три часа, следующие три часа и т.д.), пока все данные съемки не будут сгруппированы и обработаны. Кроме того, возможно, что секции дорожки не все будут иметь одинаковую продолжительность (например, 3 ч для первых трех окон, 6 ч для следующих двух окон и т.д.).

Кроме того, возможно, что секции дорожек могут перекрываться. Другими словами, вторая секция может быть выбрана так, чтобы включать вначале данные, также содержащиеся на конце предыдущей секции. Такой способ использования секционированных или организованных "окнами" данных хорошо известен специалистам в данной области, а величина перекрытия может выбираться по обстоятельствам, в зависимости от скорости дрейфа в тактовых генераторах.

Далее, в продолжение настоящего примера применительно к непрерывно регистрируемым данным, данные в сейсмограмме ОПВ будут взаимно коррелированы с данными от соответствующей сейсмограммы ОПВ от некоторого числа ближайших соседей вокруг нее, например, трех или шести ближайших/соседних дорожек (элемент 840). Этим формируется группа пар соседних дорожек. Конечно, специалисту должно быть понятно, что выбор числа дорожек, которые должны быть учтены при принятии решения для конкретной ситуации, вполне находится в компетенции специалиста. Например, соседние приемники могут быть выбраны из приемников, которые "наблюдают" одно и то же сейсмическое событие (т.е. отраженные сигналы, достигающие соседних приемников, находятся в более или менее одинаковых геологических условиях в процессе распространения) или которые находятся в пределах заданного расстояния друг от друга. В основу этого будет положена геометрия приемников, влияние земных условий, например различия в приповерхностных слоях, высота над уровнем моря и др. Вообще, чем меньше разнос приемников, тем меньше ошибка поправки на время этих приемников. В вариантах выполнения изобретения типичный разнос приемников может составлять примерно 30 м, например менее примерно 25 м или менее примерно 15 м.

Процесс определения взаимной корреляции может быть повторен для каждого взрыва в пределах секции дорожки сейсмограммы (элемент 845), после чего все взаимные корреляции для секции дорожки будут накоплены по взрывам (элемент 850). Этим эффективно повышаются возможности взаимной корреляции, которая потенциально может сделать идентификацию временных различий более надежной. В некоторых случаях, однако, это и не нужно, поэтому этот шаг опционален.

В продолжение этого примера, максимальная величина накопленных взаимных корреляций между каждыми парами ближайших дорожек для данной секции дорожки будет выбрана для определения относительного временного сдвига (запаздывания) между двумя секциями дорожки, Δt_{ij} (элемент 855).

Далее в данном варианте выполнения будет выполнена оценка (элемент 860) дрейфа Δt_i , $i=1, N$ тактового генератора, ассоциированная с каждым из N тактовых генераторов в анализе, за промежуток времени, занимаемый секцией дорожки. В этом варианте выполнения дрейф Δt_{ij} тактового генератора представляет собой остаточный, абсолютный временной сдвиг, остающийся после выполнения линейной коррекции, описанной выше. Учитывая вычисленный относительный временной сдвиг между каждой парой дорожек и то, что искомые абсолютные дрейфы тактовых генераторов связаны с вычисленными относительными временными сдвигами уравнением $\Delta t_{ij} = \Delta t_i - \Delta t_j$, может быть построена переопределенная система уравнений, которая может быть преобразована (элемент 860) для получения Δt_i для каждой секции дорожки:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \\ \vdots \\ \Delta t_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_{1,2} \\ \Delta_{1,3} \\ \vdots \\ \Delta_{N-1,N} \end{bmatrix}$$

Должно быть понятно, что относительными временными сдвигами Δt_{ij} являются те, что были вычислены для пар соседних дорожек. Поэтому ясно, что временной сдвиг будет не для каждой комбинации из всех приемников, а только для пар соседних приемников.

Таким образом, можно заметить, что вектор Δt преобразует все временные сдвиги сразу с получением корректировок дрейфа тактового генератора для тактового генератора каждого приемника.

Решение для вектора Δt может быть получено методами, хорошо известными специалистам. В некоторых случаях к диагонали матрицы может быть применено выравнивание, либо на решение могут быть наложены некоторые ограничения для его стабилизации. Например, можно предположить, что Δt_i дают в сумме ноль, либо что известен дрейф, ассоциированный с по меньшей мере одним из тактовых

генераторов, либо по меньшей мере один из тактовых генераторов является точным. Например, по меньшей мере одним из тактовых генераторов может быть тактовый генератор с синхронизацией от GPS. Возможно, от 1 до 5%, например от 1 до 2% от общего числа тактовых генераторов могут быть точными тактовыми генераторами. В представленной выше форме эта система уравнений может не быть точно или однозначно преобразуемой, поэтому практикуется введение добавочных ограничений, выравнивание, решение методом наименьших квадратов или в смысле наилучшего приближения в пространстве метрики L1 и т.д.

После того, как было получено решение (элемент 865) для данной секции дорожки, процесс повторяется для следующей секции дорожки, пока в каждой из всех дорожек сейсмограммы, участвующих в анализе, не будет скорректирована рассинхронизация из-за дрейфа тактовых генераторов. В некоторых случаях это будет корректировкой, основанной на комбинации вычисленного остаточного дрейфа и вычисленной коррекцией линейного дрейфа, который мог быть исключен ранее. В других случаях это может быть статический сдвиг, когда коррекции по исключению линейного или иного дрейфа не требуется.

Следует заметить, что описанный выше способ в некоторых случаях оставляет неучтенной среднюю ошибку отсчета времени в приемнике, если она отличается от нуля. Если есть подозрение в наличии такой ошибки, то возможным способом удаления этой составляющей было бы выполнение взаимной корреляции между дорожками сейсмограммы, зарегистрированными одним и тем же приемником от разных взрывов. В этом случае также могут быть использованы те же уравнения и способы решения, что и описанные выше. Кроме того, если имеются близкие дорожки с сейсмическим сносом, для индикации ошибки времени взрыва могут быть использованы времена простого выноса, как, например, вертикальное время.

В качестве альтернативы, как было упомянуто выше, секции, принадлежащие полной дорожке, содержащие часы или дни зарегистрированных данных и поэтому содержащие сигналы, полученные от многочисленных излучений источников, могут быть подвергнуты взаимной корреляции с секциями дорожки соответствующей длины от соседних приемников, вместо того, чтобы образовывать взаимную корреляцию внутри данной секции дорожки от последовательных взрывов. По полученному результату, это можно считать компоновкой сейсмозаписей "по всем взрывам".

При выборе длины секции дорожки пытаются получить секцию дорожки, в течение которой дрейф относительно статичен/стабилен (т.е. не сопровождается значительным увеличением или уменьшением). Длина секции дорожки будет поэтому зависеть от степени дрейфа тактового генератора, которая в некоторой степени известна пользователю. Например, пользователь может знать, в какой степени тактовый генератор имеет естественную склонность к дрейфу, и также будет знать, какие внешние условия, например температура, скорее всего вызовут сильный или слабый дрейф. Например, пользователь может быть относительно уверен, что тактовый генератор, расположенный в области с высокой температурой в дневное время и низкой температурой ночью, будет иметь больший дрейф, чем тактовый генератор, находящийся в области с относительно стабильной температурой в течение дня и ночи. Обычно секции дорожки могут иметь продолжительность по несколько часов, например секции до примерно 6 ч, например от 1 до 4 ч или от 1 до 3 ч. В некоторых условиях, однако, подходящей длиной секций может быть, например, до 2-3 дней. Этот параметр может потребовать экспериментального определения, для удовлетворения предположения о квазистационарном характере дрейфа, упомянутом выше применительно к одному варианту выполнения.

Одним преимуществом использования секций дорожки сейсмограммы таким образом является то, что абсолютное время не столь важно. Все, что необходимо - это секция дорожки, содержащая зарегистрированные данные. Кроме того, если взрывы/активизация источника были зарегистрированы во время регистрации непрерывных данных и моменты активизации источников активизации известны, они могут быть извлечены из непрерывных данных и использованы в соответствии с методами, применяемыми для сейсмических данных, полученных с обычными источниками.

Далее приводится описание следующего шага исключения тренда от оцененного дрейфа тактового генератора для каждого приемника. На фиг. 8 представлены случайно генерированные дрейфы тактового генератора, учтенные в синтетической сейсмограмме (линия Т) 800 приемников. В этом случае генерированные дрейфы тактовых генераторов составляют в пределах -50 мс и +50 мс. На фиг. 8 также показана оценка дрейфа тактового генератора, вычисленная с использованием варианта выполнения настоящего изобретения для каждого из тактовых генераторов приемников (линия Е). Видно, что по всему массиву приемников проявляется длинноволновый тренд. Другими словами, оценка дрейфов тактовых генераторов отклоняется от фактически генерируемых дрейфов тактовых генераторов в мере, определяемой трендом, медленно меняется по всему массиву приемников. Этот тренд показан пунктирной линией, проходящей сквозь линию Е. Можно заметить, что этот тренд представляет собой ошибку, однако коротковолновая часть результата, наложенная на длинноволновый тренд, характеризуется высокой точностью.

Тренд может быть определен любыми способами, примеры которых хорошо известны и включают алгоритмы исключения тренда и сглаживающие фильтры. В качестве примера можно предложить сглаживающий фильтр Савицкого-Голея (полиномиальный).

На фиг. 9 представлен график оценки дрейфа тактовых генераторов с исключенным трендом. Вид-

но, что при удалении длинноволнового тренда из оценок дрейфа тактовых генераторов коротковолновый тренд, наложенный на длинноволновый тренд и представляющий изменения оценок дрейфа тактового генератора от одного приемника к другому, близко соответствует фактически генерируемому дрейфу тактовых генераторов. Другими словами, предложенный в изобретении способ позволяет идентифицировать дрейф тактового генератора, но на этот дрейф тактового генератора может быть наложен длинноволновый тренд, обусловленный, очевидно, разностью времени вступления сейсмической волны. Посредством удаления длинноволнового тренда можно убрать и эффект разности времени прихода сейсмической волны.

Ошибка (в миллисекундах) между оценкой дрейфа тактового генератора с исключенным трендом и случайно генерируемым дрейфом тактового генератора показана на фиг. 10, представляющей разность между двумя зависимостями на фиг. 9. Видно, что после удаления тренда оценки становятся точными. Тем самым величина ошибки тактового генератора, присутствующая в данных, может быть существенно снижена посредством применения описанного здесь способа.

Исключение тренда из оценок дрейфа тактовых генераторов может быть осуществлено с использованием или без использования других описанных здесь шагов. Например, исключение тренда может быть использовано вместо одной из кинематических коррекций, описанных выше, либо в комбинации с ней.

Описанные здесь способы коррекции дрейфа также могут быть использованы в случае одновременно активизируемых/перекрывающихся источников. Существуют способы разделения полученных перекрывающихся отражений, хорошо известные специалистам. Например, сейсмические источники (взрывы) могут быть разделены с использованием способов, описанных, например, в WO 2008/025986, раскрытие которых включено в настоящее описание посредством ссылки как полностью освещающее этот вопрос. Разделенные отражения далее могут быть подвергнуты взаимной корреляции и, при желании, накоплению, как это было описано выше.

Повышение точности временной коррекции может быть достигнуто при увеличении частоты активизации источника (частоты взрывания). Другими словами, чем больше активизаций источника произведено за определенное время, тем лучше может быть временная коррекция. В некоторых вариантах выполнения повышение частоты активизации источника может быть достигнуто использованием одновременно активизируемых/перекрывающихся источников.

Далее приводятся примеры применения вариантов выполнения описанных способов. Синтетические сейсмические данные были генерированы с использованием модели геологической среды. Было выполнено моделирование 381 активизации сейсмических источников, располагающихся по линии с 25-метровым интервалом. Интервал между приемниками составлял 12,5 м. Генерируемые сейсмограммы имели приближенные к практике характеристики отражения и поверхностной волны.

К каждой сгенерированной сейсмограмме добавлялась случайная погрешность определения времени прихода, составляющая ± 10 мс. Сейсмические данные с добавленной случайной погрешностью определения времени прихода показаны на фиг. 11.

Этот пример иллюстрирует заложенные в данном способе принципы, хотя, как будет понятно, в силу природы данных моделирования были использованы не все шаги, описанные выше. Например, случайная погрешность определения времени прихода, добавленная к каждой записи сейсмограммы, была постоянной по всей "съемке". Соответственно не было нужды выполнения линейной коррекции. Аналогично, поскольку ошибка не изменялась по ходу "съемки", не было необходимости осуществления способа для многих секций дорожки. Вместо этого способ был применен ко всем сейсмограммам общего пункта взрыва, как если бы существовала только одна секция дорожки сейсмограммы.

Далее следует понимать, что эта модель сформировала множество дискретных "сейсмограмм общего пункта взрыва" - эти сейсмограммы могут рассматриваться как эквивалент описанным выше сейсмограммам общего пункта взрыва, которые представляют собой сегменты непрерывно регистрируемых дорожек сейсмограмм и которые могут быть идентифицированы с достаточной точностью в непрерывно регистрируемой дорожке, несмотря на дрейф тактовых генераторов.

В приведенном примере к данным была применена 2000 м/с нормальная кинематическая коррекция времени вступления сейсмической волны (NMO), хотя этот шаг является опциональным.

Если рассматривать первый приемник, то можно говорить об идентификации множества пар соседних дорожек сейсмограммы. В частности, первый приемник образовал пары с тремя приемниками по каждую сторону от него (в линии приемников), в результате чего образуется шесть пар близко расположенных приемников.

Была образована взаимная корреляция первой сейсмограммы общего пункта взрыва первого приемника с первой сейсмограммой ОПВ соседних с ней шести приемников. Также была образована взаимная корреляция второй сейсмограммы ОПВ первого приемника со второй сейсмограммой ОПВ соседних с ней шести приемников, и так далее для всех сейсмограмм ОПВ.

Взаимные корреляции для последовательности сейсмических источников (взрывов) были накоплены для каждой пары приемников.

Времена запаздывания максимальных значений накопленных взаимных корреляций для разных пар соседних приемников были преобразованы с использованием представленного выше уравнения, для определения абсолютного дрейфа, ассоциированного с тактовым генератором каждого приемника. В абсолют-

ных дрейфах разных приемников был удален тренд, как это было описано выше для исключения длинноволнового тренда, оставляя дрейфы тактового генератора с удаленным трендом в каждом приемнике.

Дрейфы с удаленным трендом были использованы для коррекции данных, показанных на фиг. 11. Результаты коррекции представлены на фиг. 12. Видно, что ошибки в данных, имеющиеся на фиг. 11, были устранены.

На фиг. 13 представлен другой пример сейсмических данных, обработанных в соответствии с настоящим изобретением. На фиг. 13а показаны синтетические сейсмические данные с примененным к ним случайным дрейфом тактового генератора. Эти синтетические данные основаны на тех же данных, что и показанные на фиг. 11. Различия включают случайный дрейф тактового генератора с максимальным отклонением ± 50 мс, увеличенную поверхностную волну, отношение сигнал/шум -6 dB ("красный шум", т.е. более интенсивный на низких частотах, что типично для электронных регистрирующих устройств), а зарегистрированные данные были объединены друг с другом для моделирования одновременной активизации источника (известной как одновременное взрывание), при которой зарегистрированные отражения перекрываются в дорожке сейсмограммы.

На фиг. 13б показаны сейсмические данные после оценки дрейфа тактовых генераторов, удаления тренда оцененных дрейфов тактовых генераторов и коррекции синтетических данных с использованием дрейфов тактовых генераторов с удаленным трендом, для получения скорректированных на время сейсмических данных, изображенных на фиг. 13б.

На фиг. 13в представлены синтетические сейсмические данные с удаленным истинным, случайно генерированным дрейфом тактового генератора. Видно, что показанные на фиг. 13б данные близко соответствуют данным, показанным на фиг. 13в, что означает значительное снижение дрейфа тактового генератора в данных.

Как было показано выше, способ в соответствии с изобретением позволяет выполнить оценку дрейфа тактового генератора, но эта оценка дрейфа тактового генератора может содержать наложенный на нее длинноволновый тренд, вызванный, как считается, разностью времени вступления сейсмической волны. Удаление этого тренда может быть выполнено описанным выше путем.

Приведенное выше рассмотрение в значительной мере относилось к обычной сейсмической съемке, однако предназначалось только для иллюстрации и не предполагало ограничения настоящего раскрытия только съемками такого рода. Специалистам будет понятно, каким образом приведенные выше варианты выполнения могут быть легко использованы, например, для 2-D, 3-D, 4-D и другой съемки, скважинных съемок или любой их комбинации. Кроме того, для задач настоящего раскрытия, когда используется термин "активизация источника", "эмиссия" или "взрыв", подразумевается, что он включает как активные (например, вибраторы, динамит, пневматическая пушка(и) и т.д.), так и пассивные источники.

Кроме того, нужно заметить, что когда термин "доступ" используется в связи с данными, полученными сейсмической съемкой, он должен восприниматься как означающий считывание посредством компьютера сейсмических данных, хранящихся в энергозависимой или энергонезависимой памяти. Сейсмические данные, полученные посредством съемки, содержат сигналы, характерные для картины геологической среды вблизи области съемки, и могли быть или могли не быть предварительно подвергнуты обработке посредством ряда компьютерных алгоритмов для повышения удобства и простоты использования на момент доступа к ним. В случае когда термин "доступ" используется применительно к синтетическим или генерируемым сейсмическим данным, это использование подразумевает, что данные, к которым был обеспечен таким образом доступ, были сформированы на основе взаимодействия компьютерных алгоритмов, разработанных для использования физики распространения, отражения, дифракции и т.д., посредством гипотетической модели геологической среды вблизи разведываемой области. Кроме того, когда утверждается, что обработанные или необработанные сейсмические данные могут быть использованы в целях сейсмической разведки, в целом такое утверждение следует воспринимать как обозначающее, что сейсмические данные (полностью обработанные, минимально обработанные, или необработанные) используются для получения изображений, графиков, отчетов и других визуальных отображений, характерных для структуры или свойств геологической среды. Другими словами, сейсмический источник создал сейсмические волны, входящие в геологическую среду и распространяющиеся в ней. Распространение сейсмических волн через геологическую среду изменяет их в зависимости от свойств среды, через которую они проходят. Зарегистрированные сейсмические волны далее преобразуются из волн Р-типа или S-типа в электрические импульсы, регистрируемые в полевых условиях. Последующая обработка сейсмических данных далее преобразует электрические сигналы в изображения, графики, отчеты и т.д., которые используются для разведки или принятия решений о буровых работах или иных решений, влияющих на производственную деятельность.

Когда в настоящем раскрытии описание процедуры или шага выражается в понятиях алгоритмов, или использует термин "алгоритм", под этим термином следует понимать, что определяемые процедура или шаг (например "алгоритм миграции") должен выполняться программным обеспечением, работающим в компьютере, причем выходной продукт этого алгоритма основан на величине одного или более параметров, определяемых пользователем или программистом.

Также нужно иметь в виду, что термины "включающий", "содержащий", "состоящий" и их грамма-

тические производные не исключают добавления одного или более компонентов, признаков, шагов, или нечто целого, или групп упомянутого, а термины должны восприниматься как определяющие эти компоненты, признаки, шаги или нечто целое.

Если в описании или формуле имеется ссылка на "дополнительный" элемент, это не исключает, что имеется более одного дополнительного элемента.

Следует понимать, что, если в формуле или описании имеется ссылка на не определенный ранее элемент (сопровождается неопределенным артиклем), такая ссылка не означает, что имеется только один такой элемент.

Следует понимать, что если в описании утверждается, что компонент, признак, конструкция или характеристика "может" или "могла быть" включена, этот конкретный компонент, признак, конструкция или характеристика не обязательно должна быть включена.

Там, где это применимо, хотя для описания вариантов выполнения и могли бы быть использованы диаграммы состояний, технологические схемы или то и другое, настоящее раскрытие не ограничено только этими диаграммами и соответствующими описаниями. Например, технологический маршрут не обязательно должен проходить через каждый показанный элемент или состояние или обязательно в том порядке, как показано на иллюстрациях или в описании.

Раскрытые здесь способы могут быть реализованы выполнением или осуществлением заданных шагов или задач вручную, автоматически или комбинированным путем.

Термин "способ" может относиться к способам, средствам, техническим приемам и процедурам для достижения поставленной задачи, включая, хотя и не ограничиваясь ими, эти способы, средства, технические приемы и процедуры, либо известные специалистам в области настоящего раскрытия, либо легко выводимые из известных способов, средств, технических приемов и процедур из данной области.

Термин "по меньшей мере", за которым следует число, используется здесь для обозначения начала диапазона, начинающегося с этого числа (причем диапазона, имеющего верхний предел или не имеющего верхнего предела, в зависимости от определяемой переменной). Например, "имеющего по меньшей мере 1" означает 1 или более 1. Термин "не более", за которым следует число, используется здесь для обозначения конца диапазона, кончающегося этим числом (причем диапазон может иметь 1 или 0 в качестве нижнего предела, либо диапазон может не иметь нижнего предела, в зависимости от определяемой величины). Например, "не более 4" означает 4 или менее 4, а "не более 40%" означает 40% или менее 40%.

Когда в настоящем документе диапазон задается как "от (первого числа) до (второго числа)" или как "первое число-второе число", это означает диапазон, нижним пределом которого является первое число, а верхним пределом является второе число. Например, от 25 до 100 следует понимать как диапазон, нижний предел которого составляет 25, а верхний предел составляет 100. Кроме того, следует иметь в виду, что если задается диапазон, внутри этого диапазона также может быть, в частности, предусмотрен любой возможный поддиапазон или интервал, если в контексте не определено обратное. Например, если в описании определен диапазон от 25 до 100, этот диапазон также предполагает включение поддиапазонов, например 26-100, 27-100 и т.д., 25-99, 25-98 и т.д., а также любую другую комбинацию нижнего и верхнего значения внутри указанного диапазона, например 33-47, 60-97, 41-45, 28-96 и т.д. Следует заметить, что значения границ полного диапазона были использованы в данном параграфе только для иллюстрации, и предполагается, что десятичные и дробные значения (например, 46,7-91,30) также могут использоваться для обозначения возможных поддиапазонов, если нет специальных указаний против этого.

Следует заметить, что если имеется ссылка на способ, содержащий два или более заданных шага, заданные шаги могут быть выполнены в любом порядке или одновременно (за исключением случаев, когда это исключено существом изобретения), а способ может также включать один или более других шагов, которые выполняются перед любым из заданных шагов, между двумя из заданных шагов или после всех из заданных шагов (за исключением случаев, когда это запрещено существом изобретения).

Кроме того, следует заметить, что условия аппроксимации (например, "примерно", "в основном", "приблизительно" и т.д.) должны интерпретироваться в соответствии с их обычными и общепринятыми значениями, используемыми в данной области, если не указано иное. При отсутствии специального определения в данном раскрытии и отсутствии обычного и общепринятого использования в данной области эти термины должны пониматься как $\pm 10\%$ основного значения.

В то время как здесь было описано и проиллюстрировано устройство в соответствии с изобретением со ссылкой на некоторые варианты выполнения, представленные приложенными к изобретению чертежами, специалистами могут быть сделаны в нем многочисленные изменения и модификации, помимо показанных и предложенных в настоящем раскрытии, без отступления от существа концепции изобретения, область притязаний которой должна быть определена приложенной формулой.

Согласно особенностям изобретения способ сейсмической разведки области геологической среды, содержащей структурные или стратиграфические признаки, указывающие на присутствие, миграцию или накопление углеводородов, в котором выполняется сейсмическая съемка, проводимая вблизи области геологической среды, включает шаги:

(а) идентификация множества дорожек сейсмограммы, зарегистрированных от одной активизации источника;

(b) выбор первой дорожки среди множества дорожек сейсмограммы, причем эта первая дорожка зарегистрирована первым приемником, имеющим встроенный в него тактовый генератор первого приемника;

(c) выбор второй дорожки сейсмограммы, зарегистрированной вторым приемником, имеющим встроенный в него тактовый генератор второго приемника, причем второй приемник расположен вблизи первого приемника;

(d) вычисление взаимной корреляции между первой и второй дорожками сейсмограммы;

(e) использование вычисленной взаимной корреляции для определения относительного временного сдвига между первой и второй дорожками сейсмограммы;

(f) выполнение шагов (b)-(e) для множества разных первых дорожек сейсмограммы и вторых дорожек сейсмограммы в упомянутом множестве дорожек сейсмограммы;

(g) выполнение шагов (a)-(f) для по меньшей мере двух разных активизаций источников, с получением тем самым множества относительных временных сдвигов между каждой из этих выбранных первых дорожек сейсмограммы и вторых дорожек сейсмограммы;

(h) преобразование множества относительных временных сдвигов для получения оценки дрейфа тактового генератора для каждого из тактовых генераторов первых и вторых приемников;

(i) использование оценки дрейфа тактового генератора для поправки на время каждой из упомянутых выбранных первых и вторых дорожек сейсмограммы, с формированием тем самым множества поправленных на время дорожек сейсмограммы, характеризующих геологическую среду.

Способ может дополнительно включать шаги:

(j) использование множества поправленных на время дорожек сейсмограммы для формирования изображения по меньшей мере части упомянутой области геологической среды;

(k) использование этого изображения по меньшей мере части геологической среды в разведке углеводородов в области этой геологической среды.

Согласно другой особенности изобретения способ сейсмической разведки области геологической среды, содержащей структурные или стратиграфические признаки, указывающие на присутствие, миграцию или накопление углеводородов, в котором подготавливается множество сейсмограмм ОПВ, состоящих из дорожек сейсмограммы, полученных в ходе сейсмической съемки, проводимой вблизи области геологической среды, включает шаги:

(a) выбор сейсмограммы ОПВ;

(b) выбор пары дорожек сейсмограммы в пределах этой сейсмограммы ОПВ таким образом, что дорожки сейсмограммы в этой паре являются соседними дорожками;

(c) определение относительного временного сдвига между дорожками сейсмограммы выбранной пары;

(d) выполнение шагов (b) и (c) для каждой меньшей мере двух различных пар дорожек сейсмограммы;

(e) выполнение шагов (a)-(d) по меньшей мере для двух различных сейсмограмм ОПВ;

(f) преобразование любых определенных выше относительных временных сдвигов для получения оценки дрейфа тактового генератора для каждой дорожки сейсмограммы, выбранной в качестве одной из дорожек сейсмограммы из упомянутой выбранной пары на шаге (b);

(g) использование этих оценок дрейфа тактового генератора для поправки на время каждой дорожки в упомянутой выбранной паре дорожек сейсмограммы;

(h) использование поправленных на время дорожек сейсмограммы для формирования изображения по меньшей мере части упомянутой области геологической среды;

(i) использование этого изображения по меньшей мере части геологической среды в разведке углеводородов в пределах области геологической среды.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ коррекции временных дрейфов тактовых генераторов для использования в сейсмической разведке области геологической среды, в котором получают множество непрерывно зарегистрированных дорожек сейсмограммы, собранных в ходе сейсмической съемки, проводимой непосредственно вблизи области геологической среды, каждая из которых зарегистрирована приемником, имеющим тактовый генератор, при осуществлении которого:

a) идентифицируют множество пар соседних дорожек сейсмограммы, каждая из которых включает первую дорожку, зарегистрированную первым приемником, и вторую дорожку, зарегистрированную вторым приемником, соседним с первым приемником, при условии, что второй приемник является соседним по отношению к первому приемнику, если второй приемник регистрирует сигналы от того же сейсмического события;

b) для каждой из пар соседних дорожек определяют относительный временной сдвиг между первой дорожкой и второй дорожкой;

c) преобразуют относительные временные сдвиги, определенные на шаге (b), для получения оценки дрейфа для каждого из тактовых генераторов первых и вторых приемников посредством решения уравнения:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \\ \vdots \\ \Delta t_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_{1,2} \\ \Delta_{1,3} \\ \vdots \\ \Delta_{N-1,N} \end{bmatrix}$$

для Δt_i , $i=1, N$,

где Δt_i представляет оценку дрейфа тактового генератора, связанную с i -м тактовым генератором из тактовых генераторов первых и вторых приемников,

N представляет число тактовых генераторов первых и вторых приемников, и

Δ_{kj} есть относительный временной сдвиг между k -ой дорожкой из первых дорожек и j -ой дорожкой из вторых дорожек;

d) используют оценки дрейфа тактовых генераторов, полученные на шаге (с), для поправки на время первой и второй дорожек сейсмограммы каждой пары соседних дорожек, тем самым формируя множество поправленных на время дорожек сейсмограммы, характерных для геологической среды.

2. Способ по п.1, в котором при осуществлении шага (а):

a1) идентифицируют множество пар соседних дорожек сейсмограммы, каждая из которых включает первую дорожку, зарегистрированную первым приемником, и вторую дорожку, зарегистрированную вторым приемником, соседним с первым приемником;

a2) выбирают для тактового генератора в каждом из первых и вторых приемников временной строб взрывания;

a3) вычисляют линейную оценку коррекции дрейфа для каждого из упомянутых тактовых генераторов в пределах временного стога взрывания; и

a4) выполняют коррекцию на время первой и второй дорожек в соответствии с вычисленной линейной оценкой коррекции дрейфа для соответствующего тактового генератора.

3. Способ по п.1 или 2, дополнительно включающий идентификацию по меньшей мере двух секций дорожки сейсмограммы для каждой из первой и второй дорожек и осуществление шагов (а)-(d) отдельно для каждой из секций дорожки, с формированием тем самым множества поправленных на время дорожек, характерных для геологической среды, причем каждая поправленная на время дорожка сейсмограммы включает по меньшей мере две секции поправленной на время дорожки, использующие оценку дрейфа тактового генератора, полученную для соответствующей секции дорожки.

4. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором относительный временной сдвиг между первой дорожкой и второй дорожкой определяют на шаге (b) путем нахождения относительных временных сдвигов между множеством сейсмограмм общего пункта взрыва (ОПВ), содержащихся в упомянутой первой дорожке, и соответствующих сейсмограмм ОПВ во второй дорожке, и нахождения среднего значения временных сдвигов между соответствующими сейсмограммами ОПВ.

5. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором дополнительно вводят для каждой пары соседних дорожек кинематическую поправку для исключения влияния разного времени прихода между первым и вторым приемниками, связанными с парой соседних дорожек сейсмограммы.

6. Способ по п.5, в котором кинематической поправкой является нормальная коррекция времени вступления сейсмической волны (NMO) либо линейная коррекция времени вступления сейсмической волны (LMO).

7. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором при определении относительного временного сдвига на шаге (b) вычисляют взаимную корреляцию между упомянутыми первой и второй дорожками сейсмограммы.

8. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором тактовым генератором по меньшей мере в одном из приемников является точный тактовый генератор и в котором на шаге (с) дополнительно задают в уравнении оценку дрейфа тактового генератора, ассоциированную с этим точным тактовым генератором, равной нулю.

9. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором пары соседних дорожек сейсмограммы идентифицируются на шаге (а) так, что каждая пара соседних дорожек ассоциируется по меньшей мере с одной другой парой соседних дорожек.

10. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором дополнительно

e) используют множество поправленных на время дорожек сейсмограммы для получения изображения по меньшей мере части области геологической среды; и

f) используют полученное изображение области геологической среды в разведке углеводородов в пределах области геологической среды.

11. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором

на шаге (с) дополнительно идентифицируют тренд в оценках дрейфа тактового генератора для каждого из тактовых генераторов первых и вторых приемников и удаляют этот тренд из оценок дрейфа тактового генератора, тем самым формируя оценки дрейфа тактового генератора с исключенным трендом для каждого из тактовых генераторов первых и вторых приемников; и

на шаге (d) используют указанные оценки дрейфа тактового генератора с исключенным дрейфом, полученные на шаге (c), для поправки на время первой и второй дорожек сейсмограммы каждой пары соседних дорожек, тем самым формируя множество поправленных на время дорожек сейсмограммы, характерных для геологической среды.

12. Способ сейсмической разведки области геологической среды, в котором получают множество непрерывно зарегистрированных дорожек сейсмограммы, собранных в ходе сейсмической съемки, проводимой непосредственно вблизи области геологической среды, каждая из которых зарегистрирована приемником, имеющим тактовый генератор, при осуществлении которого:

а) получают доступ ко множеству поправленных на время дорожек сейсмограммы, созданных способом, включающим шаги:

i) идентификация множества пар соседних дорожек, каждая из которых содержит первую дорожку, зарегистрированную первым приемником, и вторую дорожку, зарегистрированную вторым приемником, соседним с первым приемником, при условии, что второй приемник является соседним по отношению к первому приемнику, если второй приемник регистрирует сигналы от того же сейсмического события;

ii) определение для каждой из пар соседних дорожек относительного временного сдвига между первой дорожкой и второй дорожкой;

iii) преобразование относительных временных сдвигов, определенных на шаге (ii), для получения оценки дрейфа тактового генератора для тактовых генераторов первых и вторых приемников посредством решения уравнения:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \\ \vdots \\ \Delta t_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_{1,2} \\ \Delta_{1,3} \\ \vdots \\ \Delta_{N-1,N} \end{bmatrix}$$

для Δt_i , $i=1, N$,

где Δt_i представляет оценку дрейфа тактового генератора, связанную с i -м тактовым генератором из тактовых генераторов первых и вторых приемников,

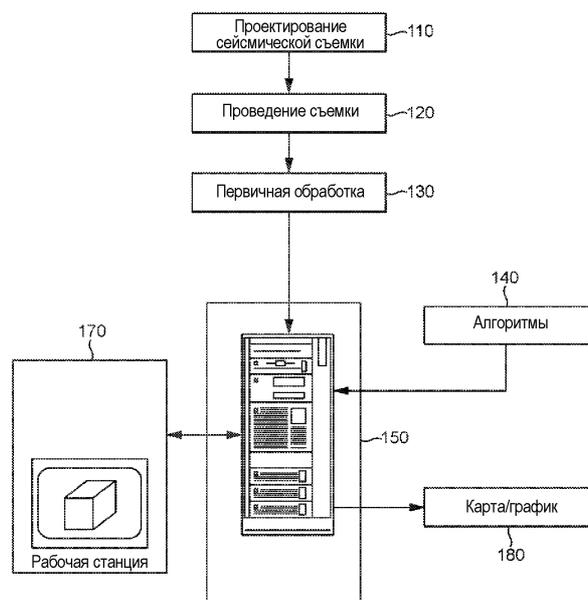
N представляет число тактовых генераторов первых и вторых приемников, и

Δ_{kj} есть относительный временной сдвиг между k -ой дорожкой из первых дорожек и j -ой дорожкой из вторых дорожек; и

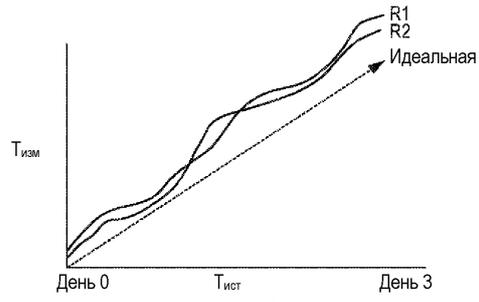
iv) использование оценок дрейфа тактовых генераторов, полученных на шаге (iii), для поправки на время первой и второй дорожек каждой пары соседних дорожек, с формированием тем самым множества поправленных на время дорожек сейсмограммы, характерных для геологических сред;

б) используют полученные поправленные на время дорожки сейсмограммы для формирования изображения по меньшей мере части упомянутой области геологической среды; и

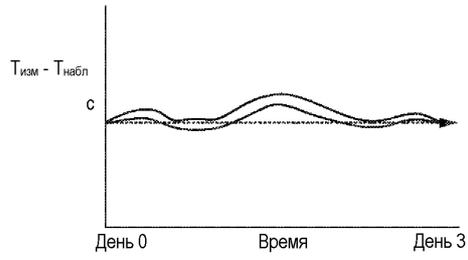
с) используют изображение по меньшей мере части области геологической среды для разведки на углеводороды в пределах области геологической среды.



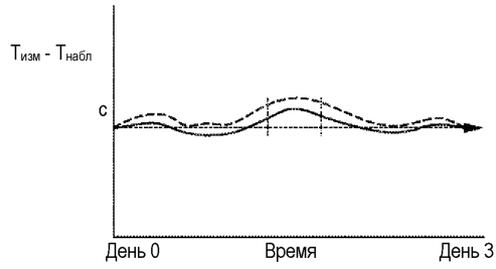
Фиг. 1



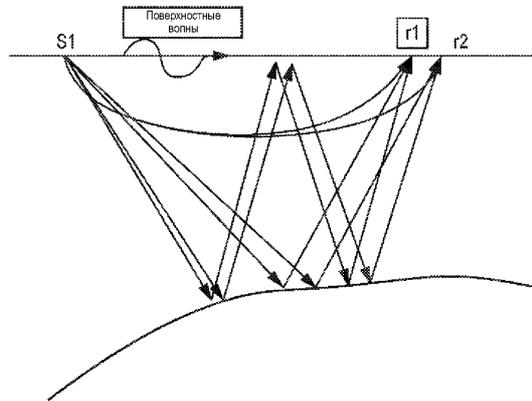
Фиг. 2



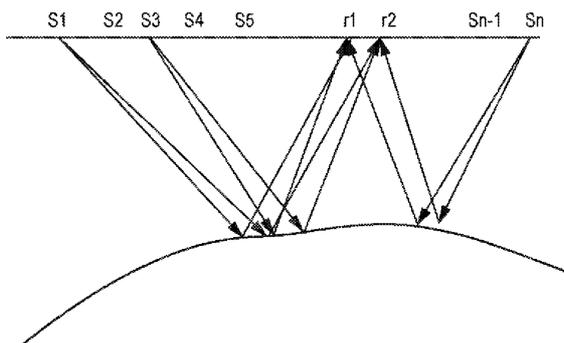
Фиг. 3



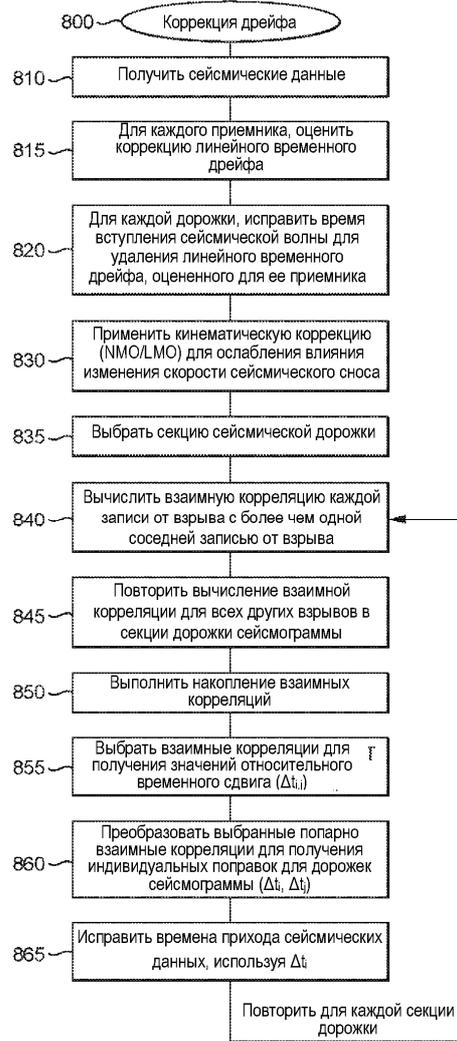
Фиг. 4



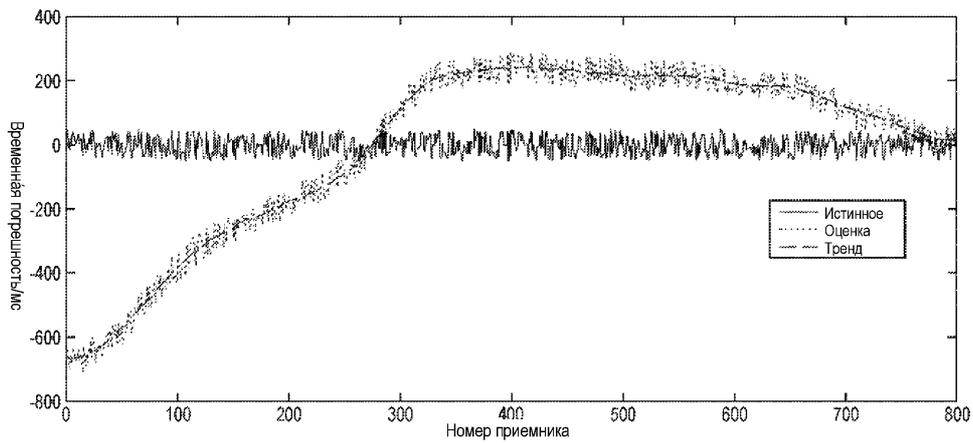
Фиг. 5



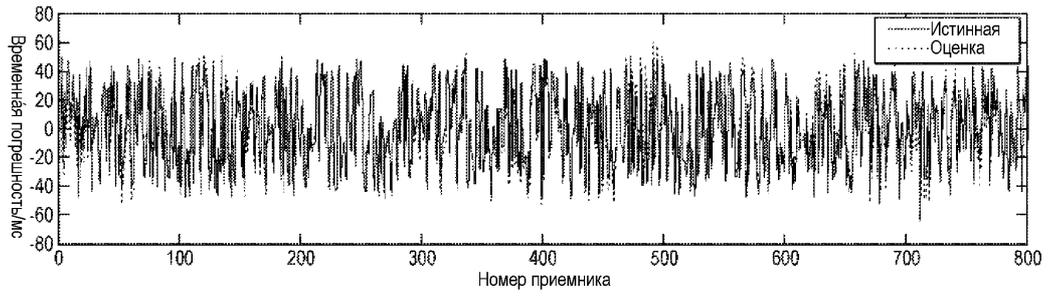
Фиг. 6



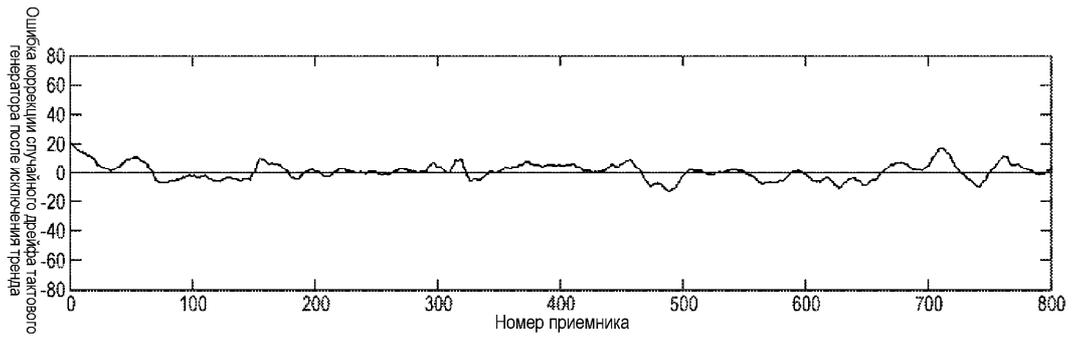
Фиг. 7



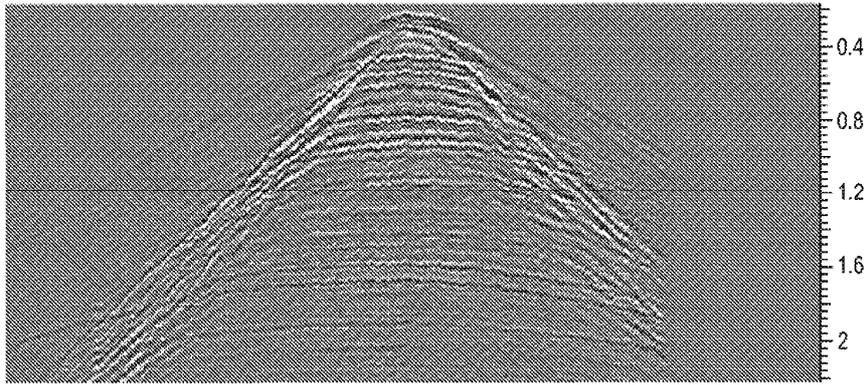
Фиг. 8



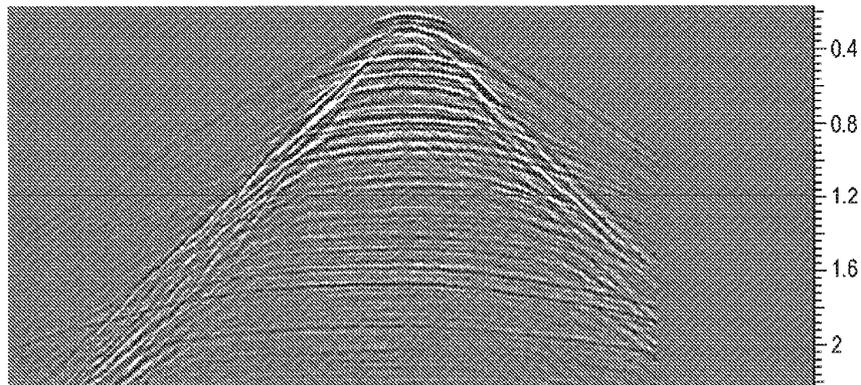
Фиг. 9



Фиг. 10

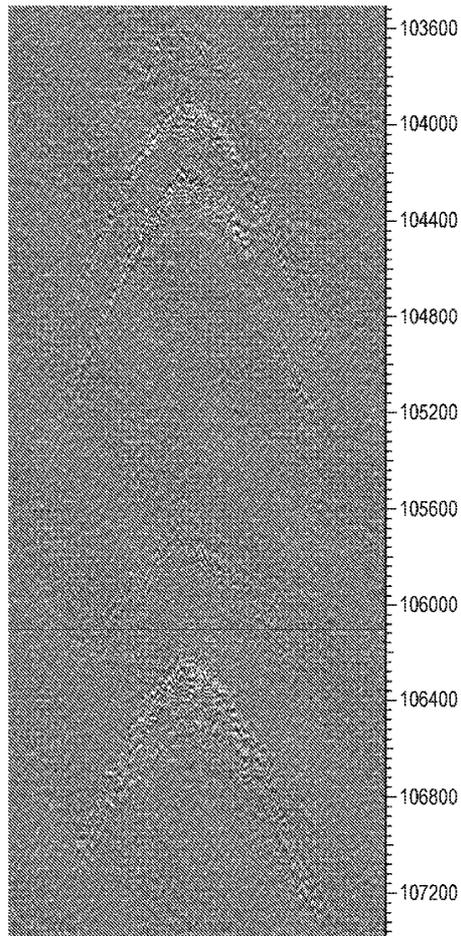


Фиг. 11



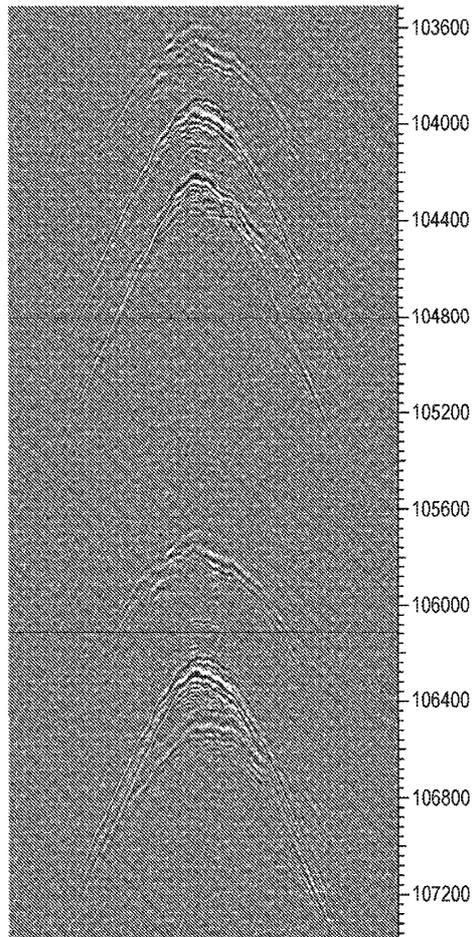
Фиг. 12

038823



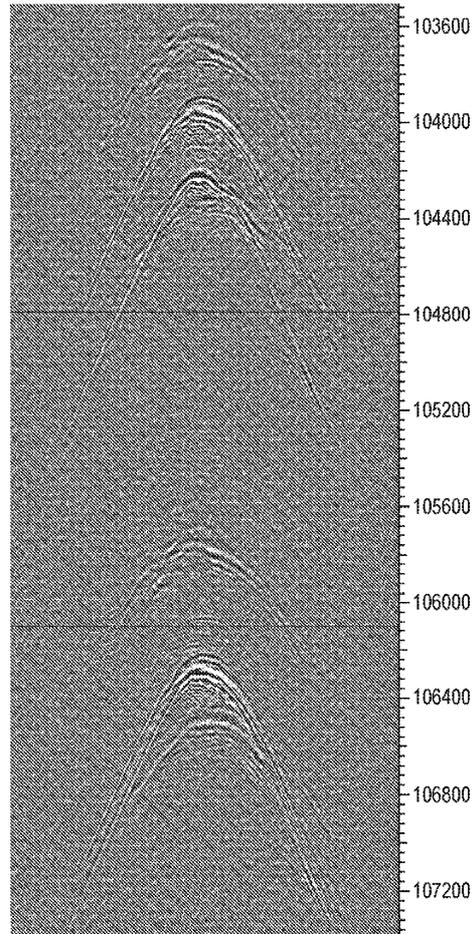
Фиг. 13а

038823



Фиг. 136

038823



Фиг. 13в



Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
