

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202290475 (13) A1

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2022.06.01(51) Int. Cl. G01V 1/30 (2006.01)  
G01V 1/36 (2006.01)(22) Дата подачи заявки  
2020.07.29

## (54) ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СКОРОСТИ

(31) 62/884,946

(72) Изобретатель:

(32) 2019.08.09

Этген Джон (US)

(33) US

(74) Представитель:

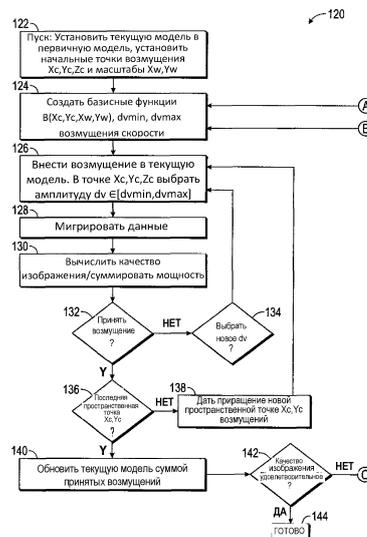
(86) PCT/US2020/044026

(87) WO 2021/030058 2021.02.18

(71) Заявитель:

БП КОРПОРЕЙШН НОРТ  
АМЕРИКА ИНК. (US)Веселицкий М.Б., Веселицкая И.А.,  
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов  
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,  
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)

(57) В заявке представлена оценка моделей скорости, включающих прием сейсмических данных, содержащих данные, соответствующие сейсмическому изображению, введение возмущения скорости в текущую модель скорости, представляющую часть подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения, для генерирования модели возмущенной скорости, генерирование изображения с использованием сейсмической миграции сейсмических данных и модели возмущенной скорости, генерирование и присвоение показателя качества изображению, определение того, является ли показатель качества, присвоенный изображению, оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости, и обновление текущей модели скорости для генерирования уточненной модели скорости с использованием показателя качества, присвоенного изображению, когда определено, что показатель качества, присвоенный изображению, является оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости.



A1

202290475

202290475

A1

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СКОРОСТИ

5        Ссылка на родственные заявки

Настоящая заявка претендует на приоритет предварительной патентной заявки США №62/884946, поданной 9 августа 2019 г. под названием "Построение модели скорости", полное содержание которой включено в настоящее раскрытие посредством ссылки.

10       Уровень техники

В целом, настоящее раскрытие относится к формированию сейсмического изображения и, в частности, к построению сейсмических изображений, используемых в сейсмической разведке или сейсмическим мониторинге добычи углеводородов.

15        Настоящий раздел предназначен для ознакомления читателя с различными аспектами существующего технического уровня, которые могут относиться к различным особенностям настоящего изобретения, описываемым и/или заявленным ниже. Представляется, что настоящее рассмотрение будет полезно для ознакомления читателя с информацией по предмету изобретения и обеспечит  
20        лучшее понимание различных особенностей настоящего изобретения. Соответственно, данная информация должна восприниматься именно с этой точки зрения, а не как описание достижений уровня техники.

25        Сейсмическая съемка обычно включает генерирование изображения или карты подповерхностной зоны Земли посредством отправки в геологическую среду звуковой энергии и записи отраженной звуковой энергии, возвращающейся от геологических слоев в подповерхностной зоне. В процессе сейсмической съемки, источник энергии помещается в различные места на поверхности Земли или над ней в области, где могут находиться залежи  
30        углеводородов. При каждой активизации источника, он генерирует сейсмический сигнал (например, звуковую волну), который распространяются вниз под Землей, отражается и при возвращении записывается с использованием одного или более приемников, расположенных на подповерхностной зоне Земли или над ней. Зарегистрированные приемниками сейсмические данные далее

могут быть использованы для создания изображения или профиля соответствующей подповерхностной зоны.

Со временем, по мере извлечения углеводородов из подповерхностной зоны Земли, может меняться расположение, насыщенность и другие характеристики углеводородного продуктивного пласта (например, перекрывающие породы, интервал ствола скважины) внутри подповерхностной зоны. Поэтому, представляется полезным определить, как меняется со временем изображение или карта подповерхностной зоны с тем, чтобы ввести изменения в деятельность, относящуюся к извлечению углеводородов, для повышения эффективности добычи углеводородов из подповерхностной зоны Земли.

#### Сущность изобретения

Ниже приводится краткое изложение существа раскрытых здесь некоторых вариантов осуществления. Следует иметь в виду, что приводимые особенности служат в качестве краткого изложения существа этих конкретных вариантов осуществления и не предназначены для ограничения области притязаний раскрытия. В действительности, настоящее раскрытие может охватывать различные особенности, которые могут и не быть упомянуты ниже. Построение сейсмического изображения основано на модели скорости распространения сейсмической волны в подповерхностной зоне (например, модели скорости). Модель скорости может быть формой представления толщи геологических пород, которая может быть использована в анализе сейсмических данных. Один метод (или семейство методов) моделирования скорости сейсмической волны, называемый "томографией", основан на анализе мигрированных изображений, генерированных при первичной оценке модели и последующих обновлениях модели. Обновление модели может быть основано на томографической обратной проекции измерений ошибки кинематической непрерывности сейсмического изображения, обычно в зависимости от различий по глубине или времени мигрированных изображений до суммирования, послойно разделенных в функции удаления от точки взрыва или угла. При использовании полученных данных (т.е., временных рядов зарегистрированных данных, или дорожек сейсмограмм), имеющих различные удаления на поверхности от точки взрыва (т.е., расстояния между передающими источниками и приемниками) при генерировании сейсмического изображения, сейсмические данные могут быть разделены в зависимости от соответствующих расстояний между источником и

приемником. Может быть выполнена оценка скорости и генерированы ряды изображений, в которых каждое отдельное изображение создается из подмножества данных из полной совокупности данных. Подмножество данных определяется составляющими его сейсмическими дорожками, для которых интервал расстояний точки взрыва между источником и приемником отличается от интервала для других подмножеств. Если оценка скорости верна, все собранные изображения, полученные в функции их удаления по поверхности от точки взрыва, будут соответствовать данной (т.е., сопоставимой) глубине (т.е., глубине исследуемого отражателя).

С другой стороны, если собранные изображения не сопоставимы на данной (т.е., сопоставимой) глубине (например, сейсмические данные для ближних и дальних удалений от точки взрыва не одинаковы), расчетная модель скорости неверна по меньшей мере в некотором отношении. Корректировка оценки скорости может быть предпринята путем использования ожидаемого времени распространения для дорожек от общей точки (т.е., исследуемого отражателя) и их удалений по поверхности от точки взрыва для генерирования оценки ошибки расчетной модели скорости. Этот процесс может быть повторен для разных глубин или областей, и все оценки ошибки модели оценки скорости могут быть собраны и проанализированы для определения новой оценки скорости, наилучшим образом согласующейся с генерированными оценками ошибки расчетной модели скорости. Этот процесс (томографический) применим в случаях, когда область Земли, подлежащая отображению, является относительно однородной (т.е., отсутствуют усложняющие особенности, например, вулканическое ложе или любые другие сложные геологические объекты). В областях подповерхностной зоны, где истинная скорость распространения волны подвержена сильным пространственным изменениям (т.е., когда не является однородной область, через которую должны пройти волны к цели, подлежащей отображению), могут возникнуть сложности с поиском точной модели скорости звука на основе простых методов. Таким образом, хотя первый метод (томография) обладает высокой вычислительной производительностью, его точность невысока, и для обновления модели скорости звука метод использует упрощенные модели распространения волны, эффективные только при достаточной гладкости истинной модели.

Поэтому, в относительно сложных областях может потребоваться применение более сложного метода. Этот второй метод (или семейство методов) моделирования скорости сейсмической волны, называемый "полноволновой инверсией" (FWI – от англ. full waveform inversion), включает итеративное построение модели скорости звука методом согласования формы колебаний волны, в котором используется волновое уравнение и компьютерное моделирование, для отыскания модели скорости звука, позволяющей создать совокупность данных, приближающихся к записанным данным. Этот второй метод демонстрирует наилучшие результаты с низкочастотными волнами, распространяющимися по "ныряющей траектории" от источника к приемникам.

Преимущество второго метода (FWI) по сравнению с первым методом (томографией) состоит в том, что он является более общим и лучше учитывающим физику распространения волны. Однако, поскольку второй метод включает попытки прямого моделирования сейсмических данных, рассогласование между реальной физикой и вычислительной физикой может привести к неполным результатам. Кроме этого, поскольку во втором методе не используется сейсмическая миграция и анализ изображения, он не обязательно дает лучшую модель для сейсмической миграции. Более того, второй метод дает наилучшие результаты для неглубокой подповерхностной зоны, но может быть недостаточно эффективным на больших глубинах (т.е., ныряющие волны могут быть способны достигать исследуемых областей только на глубинах, составляющих приблизительно треть расстояния между источником и приемником).

Поэтому, вместо метода согласования формы колебаний (FWI) или метода томографической обратной проекции (томографии) для моделирования скорости сейсмических волн может быть использован третий метод (т.е., построение модели желаемой скорости). Построение модели желаемой скорости непосредственно направлено на создание модели скорости звука, в которой достигаются наивысшие показатели качества модели скорости звука, измеренные прямо по мигрированному изображению. В этом третьем методе используется показатель оптимальности модели скорости звука. При использовании этого метода, сумма квадратов амплитуд изображения (часто называемая "мощностью суммирования") может быть использована в качестве меры целевой функции модели параметров для сейсмической обработки.

Дополнительно, этим методом можно выполнять оценку мощности суммирования в пространственных окнах после конвертирования изображений к времени распространения при нормальном падении посредством их собственной модели скорости звука, для улучшения стационарности целевой функции относительно изменений модели (например, отражатели в изображении, генерируемом с использованием обновленной текущей скорости, могут перемещаться, поэтому, при конвертировании изображений к времени распространения при нормальном падении, может быть изменено направление перемещения отражателей так, что их движение может быть компенсировано с получением более "стационарного" изображения для оценки).

В дальнейшем, для снижения размерности пространства модели и повышения шансов отыскания оптимальной модели, построение модели желаемой скорости включает выполнение обновлений модели скорости звука, которая разлагается на набор разделенных по многоуровневому (иерархическому) масштабу пространственно локализованных базисных функций возмущения скорости, включающее поиск, начиная от начальных грубых масштабов разложения до более мелких, когда обновления по мелким масштабам в основном линейно независимы от масштаба к масштабу. Наконец, выполнение построения модели желаемой скорости включает выполнение многократных миграций совокупности данных для поиска оптимальной модели, при этом используется достоверный, но эффективный алгоритм миграции до суммирования (например, Кирхгофа, одностороннее волновое уравнение, обратная миграция во временной области (RTM – от англ. reverse time migration), и т.д.)

Таким образом, в построении модели желаемой скорости соединяется оптимизированная миграция с разложением модели на набор по иерархическим уровням пространственно локализованных базисных функций, и используется мощность суммирования в качестве эффективной целевой функции для отыскания моделей скорости для сейсмической миграции. Таким образом, способы построения модели желаемой скорости могут быть применены к дальнейшему улучшению модели скорости, полученной на основе томографии и/или FWI.

### Краткое описание чертежей

Различные особенности настоящего раскрытия будут более понятны при ознакомлении с приведенным ниже подробным описанием и ссылками на чертежи, на которых:

5            на фиг. 1 представлена блок-схема различных процессов, которые могут быть осуществлены на основе анализа сейсмических данных, полученных посредством системы сейсмической разведки, в соответствии с представленными вариантами осуществления;

              на фиг. 2 иллюстрируется первая система съемки в морских условиях;

10            на фиг. 3 иллюстрируется первая система съемки в наземных условиях;

              на фиг. 4 иллюстрируется вычислительная система, пригодная для выполнения описанных здесь операций на основе данных, полученных системой морской съемки, показанной на фиг. 2, и/или системой наземной съемки, показанной на фиг. 3;

15            на фиг. 5 представлена блок-схема способа генерирования сейсмического изображения с использованием вычислительной системы, показанной на фиг. 4;

              на фиг. 6 иллюстрируется вторая система съемки в наземных условиях;

              на фиг. 7 представлена модель Земли, включающая изображение, генерированное с использованием фиксированной совокупности данных и пробной модели скорости;

20            на фиг. 8 представлен график возмущений скорости в точке пространства, соотнесенный с областью искажений на фиг. 7; и

              на фиг. 9А и 9Б приведена блок-схема способа построения модели желаемой скорости.

### 25            Подробное описание осуществления изобретения

              Ниже приводится описание одного или более частных вариантов осуществления. В стремлении дать краткое описание этих вариантов осуществления в настоящем описании приводятся не все признаки практической реализации. Следует понимать, что разработка любой такой практической реализации, как в любом инженерном проекте, так и в опытно-конструкторской работе, для достижения конкретных целей разработки требует решения многочисленных специфичных для реализации задач, например, соблюдения различных системных или коммерческих ограничений, которые могут меняться от одного исполнения к другому. Более того, следует понимать, что подобные

опытно-конструкторские разработки могут быть сложными и продолжительными, но при этом будут представлять собой стандартный набор процессов конструирования, изготовления, массового производства, осуществляемых специалистами, ознакомившимися с настоящим раскрытием.

5 Сейсмические данные могут дать ценную информацию в отношении описания, например, расположения и/или изменений углеводородных месторождений в подповерхностной зоне Земли. Усовершенствования в обработке сейсмических данных с последующей генерацией изображения могут быть достигнуты через усовершенствования модели скорости распространения сейсмической волны в подповерхностной зоне. В приведенном выше  
10 рассмотрении, один метод (или семейство методов) моделирования скорости сейсмической волны, а именно, томография, основан на анализе мигрированных изображений, генерированных при первичной оценке модели и последующем обновлении модели на основе томографической обратной проекции измерений  
15 ошибки кинематической непрерывности сейсмического изображения, обычно в зависимости от различий по глубине или времени мигрированных изображений до суммирования, послойно разделенных в функции удаления от точки взрыва или угла. Второй метод (или семейство методов) моделирования скорости сейсмической волны, а именно полноволновая инверсия (FWI), включает  
20 итеративное построение модели скорости звука методом согласования формы колебаний волны, в котором используется волновое уравнение и компьютерное моделирование, для отыскания модели скорости звука, позволяющей создать совокупность данных, приближающихся к записанным данным. Существуют, однако, случаи, когда оба метода – томография и FWI, недостаточно  
25 эффективны для адекватного представления модели скорости распространения сейсмической волны в подповерхностной зоне. Соответственно, может быть применен третий метод (или семейство методов). Этот третий метод (построение модели желаемой скорости) осуществляет непосредственный поиск модели скорости звука, обеспечивающей максимальный показатель качества модели  
30 скорости звука, измеренной непосредственно по мигрированному изображению. Дополнительно, способы построения модели желаемой скорости могут быть применены для дальнейшего улучшения модели скорости, полученной на основе томографии и/или FWI.

Сразу следует заметить, что сейсмические данные могут быть получены с использованием большого числа разных систем и способов сейсмической разведки, два из которых рассмотрены со ссылкой на фиг. 2 и 3. Вне зависимости от использованного способа сбора сейсмических данных, после того, как данные получены, вычислительная система может провести анализ этих данных, и может использовать результаты анализа сейсмических данных (например, сейсмограммы, карту геологических продуктивных горизонтов и т.д.) для выполнения различных операций в области разведки углеводородов и производственной сфере. Например, на фиг. 1 показана блок-схема способа 10, раскрывающая различные процессы, которые могут быть проведены на основе анализа полученных сейсмических данных. Хотя описание способа 10 приводится в определенном порядке, отмечается, что осуществление способа 10 может проводиться в любом подходящем порядке.

На фиг. 1, в шаге 12, на основе анализа сейсмических данных могут быть определены места расположения и свойства месторождений углеводородов в подповерхностной зоне Земли, ассоциированные с соответствующей сейсмической съемкой. В одном варианте осуществления, сейсмические данные, полученные с использованием одного или более методов сейсмической съемки, могут быть подвергнуты анализу для построения карты или профиля, иллюстрирующего различные геологические формации в подповерхностной зоне.

На основе идентифицированных местоположений и свойств месторождений углеводородов, в шаге 14 могут быть исследованы определенные места или части подповерхностной зоны. Другими словами, организации, занимающиеся разведкой углеводородов, могут использовать местоположения месторождений углеводородов для выбора на поверхности подповерхностной зоны участков для буровых работ. При этом организации, проводящие разведку углеводородов, могут использовать местоположения и свойства месторождений углеводородов, и соответствующих покрывающих пород для определения трассы бурения, параметров бурения и т.д.

После того, как разведочное оборудование было установлено в пределах подповерхностной зоны, на шаге 16 углеводороды, хранящиеся в месторождении углеводородов, могут быть добыты через скважины естественного фонтанирования, скважины с механизированной добычей и т.д. На шаге 18

добытые углеводороды могут транспортироваться на нефтеперегонные заводы и др., посредством транспортных средств, трубопроводов и т.п. На шаге 20, добытые углеводороды могут быть подвергнуты обработке посредством различных процессов переработки для получения разных продуктов,

5 использующих углеводороды.

Отмечается, что процессы, рассмотренные со ссылкой на способ 10, могут включать другие подходящие процессы, которые могут быть основаны на расположении и свойствах месторождений углеводородов, определяемых сейсмическими данными, собранными посредством одной или больше  
10 сейсмических съемок. Можно представить, что сами по себе описанные выше процессы не предполагают существование исчерпывающего перечня процессов, которые могут быть выполнены после определения расположений и свойств месторождений углеводородов в подповерхностной зоне.

С учетом сказанного, рассмотрим на фиг. 2 систему 22 морской съемки  
15 (например, для использования в сочетании с шагом 12 на фиг. 1), которая может быть использована для сбора сейсмических данных (например, формы колебаний), относящихся к подповерхностной зоне Земли в морской акватории. Вообще, морская сейсмическая съемка, использующая систему 22 морской съемки, может проводиться в океане 24 или другом водном массиве над  
20 подповерхностной зоной 26 Земли, лежащей под морским дном 28.

Система 22 морской съемки может включать судно 30, сейсмический источник 32, морской сейсморазведочный кабель (сейсмокосу) 34, приемник 36 и/или другое оборудование, которое может быть полезным в сборе сейсмических изображений, представляющих геологические горизонты в подповерхностной  
25 зоне 26 Земли. Судно 30 может буксировать сейсмический источник 32 (например, решетку пневматических пушек), который может генерировать энергию, например, акустические волны (например, сейсмические колебания), направленные на морское дно 28. Судно 30 также может буксировать сейсмокосу 34, имеющую приемник 36 (например, гидрофоны), которые могут  
30 принимать сейсмические колебания (волны), представляющие энергию выходных колебаний сейсмических источников 32 после их отражений от различных геологических образований (например, соляных куполов, разрывов, складок и др.) в подповерхностной зоне 26. Кроме того, хотя описанная система 22 морской съемки включает один сейсмический источник 32 (на фиг. 2

изображенный в виде решетки воздушных пушек) и один приемник 36 (на фиг. 2 представленный в виде группы гидрофонов), следует отметить, что система 22 морской съемки может включать большое число сейсмических источников 32 и большое число сейсмических приемников 36. Аналогично, хотя описанная выше система 22 морской съемки включает один морской сейсморазведочный кабель 34, отмечается, что система 22 морской съемки может включать большое число сейсморазведочных кабелей 34. Кроме того, дополнительные суда 30 могут иметь дополнительные сейсмические источники 32, сейсмокосы 34 и др., для работы системы 22 съемки.

10 На фиг. 3 представлена наземная система 38 съемки (например, для использования в сочетании с шагом 12 на фиг. 1), которая может быть использована для получения информации, относящейся к подповерхностной зоне 26 Земли для неморских условий. Система 38 наземной съемки может включать (наземный) сейсмический источник 40 и (наземный) приемников 44. В 15 некоторых вариантах осуществления, система 38 наземной съемки может включать один или более многолучевых сейсмических источников 40 и один или более сейсмических приемников 44 и 46. Для целей рассмотрения, на фиг. 3 показаны сейсмический источник 40 и два сейсмических приемника 44 и 46. Сейсмический источник 40 (например, сейсмический вибратор) может быть 20 расположен на поверхности 42 Земли над исследуемой подповерхностной зоной 26. Сейсмический источник 40 может генерировать энергию (например, акустические волны, сейсмические колебания), направленные на подповерхностную зону 26 Земли. При достижении различных геологических образований (например, соляных куполов, разрывов, складок и т.д.) в 25 подповерхностной зоне 26, энергия выходных колебаний сейсмического источника 40 может отражаться от этих геологических образований и собираться или регистрироваться одним или более наземными приемниками (например, 44 и 46).

В некоторых вариантах осуществления, сейсмические приемники 44 и 46 30 могут быть распределены по поверхности 42 Земли, образуя сетчатую структуру. При этом каждый сейсмический приемник 44 или 46 может принимать отраженное сейсмическое колебание в ответ на энергию, направленную в подповерхностную зону 26 от сейсмического источника 40. В некоторых случаях, одно сейсмическое колебание, генерированное сейсмическим

источником 40, может отразиться от разных геологических образований и может быть принято разными приемниками. Например, как показано на фиг. 3, сейсмический источник 40 может генерировать выходное колебание, энергия которого направлена в подповерхностную зону 26 в виде сейсмической волны 48. Первый приемник 44 может принять отражение сейсмической волны 48 от одного геологического образования, а второй приемник 46 может принять отражение сейсмической волны 48 от другого геологического образования. Другими словами, первый сейсмический приемник 44 может принять отраженное сейсмическое колебание 50, а второй приемник 46 может принять отраженное сейсмическое колебание 52.

Вне зависимости от того, каким образом были собраны сейсмические данные, вычислительная система (например, для использования в сочетании с шагом 12 на фиг. 1) может выполнить анализ сейсмических колебаний, полученных сейсмическими приемниками 36 (морского базирования) или сейсмическими приемниками 44 и 46 (наземного базирования), для определения информации, относящейся к геологической структуре, расположению и свойствам месторождений углеводородов и т.п. внутри подповерхностной зоны 26. На фиг. 4 приведен пример такой вычислительной системы 60, которая может выполнять различные операции по анализу данных для изучения сейсмических данных, собранных приемниками 36, 44, 46 для определения структуры геологических формаций в подповерхностной зоне 26.

Как показано далее на фиг. 4, вычислительная система 60 может включать коммуникационный компонент 62, процессор 64, запоминающее устройство 66 (например, материальную, энергонезависимую, машиночитаемую среду), устройство 68 хранения данных (например, материальную, энергонезависимую, машиночитаемую среду), порты 70 ввода/вывода (I/O), дисплей 72 и др. Коммуникационный компонент 62 может быть беспроводным или проводным компонентом, который может обеспечивать связь между приемниками 36, 44, 46, одной или более базами 74 данных, другими вычислительными устройствами, и/или другими устройствами, обладающими возможностью связи. В одном варианте осуществления, вычислительная система 60 может принимать данные 76 (например, сейсмические данные, сейсмограммы), которые ранее могли быть получены сейсмическими приемниками через сетевой компонент, базу данных 74 или др. Процессор 64 вычислительной системы 60 может анализировать или

обрабатывать приемные данные 76 для определения различных признаков, относящихся к геологическим формациям в подповерхностной зоне 26 Земли.

Процессор 64 может быть компьютерным процессором или микропроцессором любого типа, способным исполнять компьютерную программу или команды для осуществления описанных здесь способов. Процессор 64 может также включать несколько процессоров, которые могут выполнять описанные ниже операции. Запоминающее устройство 66 и устройство 68 хранения данных могут быть любым подходящим готовым изделием, которое может служить средой для хранения исполняемого процессором машиночитаемого кода (программы), данных, и т.д. Эти готовые изделия могут представлять собой машиночитаемую среду (например, любую подходящую форму для запоминания и хранения данных), которая может хранить исполняемую процессором программу, используемую процессором 64 для осуществления раскрываемых здесь способов. Вообще, процессор 64 может исполнять программные приложения, которые включают программы обработки сейсмических данных, собираемых посредством приемников сейсмической съемки, в соответствии с описанными здесь вариантами осуществления.

Запоминающее устройство 66 и устройство 68 хранения данных могут быть использованы для сохранения данных, анализа данных, программных приложений и т.д. Запоминающее устройство 66 и устройство 68 хранения данных может быть представлено материальным, энергонезависимым носителем, пригодным для непосредственной записи и считывания данных, или энергонезависимым машиночитаемым носителем (например, запоминающим устройством или устройством хранения данных в любой подходящей форме), который может хранить исполняемую процессором программу, используемую процессором 64 для осуществления различных методов, приведенных в настоящем раскрытии. Можно отметить, что материальность и энергонезависимость просто означает, что среда является материальным носителем, а не сигналом.

Портами 70 ввода-вывода могут быть интерфейсы, которые могут соединяться с другими периферийными компонентами, в частности, устройствами ввода (например, клавиатурой, мышью), датчиками, модулями ввода/вывода (I/O) и т.п. Порты 70 (I/O) могут обеспечить связь вычислительной

системы 60 с другими устройствам в системе 22 морской съемки, системе 38 наземной съемки или другими, через порты 70 (I/O).

Дисплей 72 может отображать изображения, связанные с ПО или исполняемыми программами, обработка которых производится процессором 64.

5 В одном варианте осуществления, дисплеем 72 может быть тачскрин дисплея, позволяющий вводить данные пользователю вычислительной системы 60.

10 Дисплей 72 также может быть использован для просмотра и изучения результатов анализа собранных сейсмических данных для определения геологических формаций внутри подповерхностной зоны 26, расположения и свойств месторождений углеводородов в подповерхностной зоне 26 и т.п.

Дисплеем 72 может быть дисплей любого подходящего типа, например, жидкокристаллический дисплей (LCD), плазменный дисплей или дисплей на органических светодиодах (OLED). Можно также отметить, что помимо упомянутого здесь отображения посредством дисплея 72, вычислительная система 60 также может осуществлять отображение посредством других материальных средств, например, на бумаге (посредством печати) и др.

15 С учетом сказанного, описанный здесь способ также может быть осуществлен с применением суперкомпьютера, использующего несколько вычислительных систем 60, систему облачных вычислений, или иные средства для распределения процессов по большому числу вычислительных систем. В этом случае, каждая вычислительная система 60, работающая как часть суперкомпьютера, может и не включать каждый компонент, упомянутый как часть вычислительной системы 60. Например, каждая вычислительная система 60 может не включать дисплей 72, поскольку дисплей 72 может оказаться бесполезным для суперкомпьютера, предназначенного для непрерывной обработки сейсмических данных.

20 После выполнения различной обработки сейсмических данных, вычислительная система 60 может сохранять результаты анализа в одной или более базах 74 данных. Базы 74 данных могут быть связаны передачей сигналов с сетью, которая может обмениваться данными с вычислительной системой 60 посредством коммуникационного компонента 62. Кроме того, базы данных 74 могут хранить информацию, относящуюся к подповерхностной зоне 26, например, ранее полученные сейсмограммы, данные геологических проб, сейсмические изображения и т.п., относящиеся к подповерхностной зоне 26.

Хотя описанные выше компоненты были рассмотрены применительно к вычислительной системе 60, надо заметить, что вычислительная система 60 может состоять из аналогичных компонентов. Более того, вычислительная система 60 может быть частью системы 22 морской съемки или системы 38 наземной съемки, и может осуществлять наблюдение и управление некоторыми операциями сейсмических источников 32 или 40, приемников 36, 44, 46 и др. Кроме того, можно заметить, что перечисленные компоненты приведены в качестве примера, и описываемые здесь варианты осуществления не ограничены компонентами, описанными со ссылкой на фиг. 4.

В некоторых вариантах осуществления, вычислительная система 60 (в частности, процессор 64, работающий совместно с по меньшей мере запоминающим устройством 66 или устройством 68 хранения данных), может вырабатывать двухмерное представление или трехмерное представление подповерхностной зоны 26 на основе сейсмических данных, полученных посредством упомянутых выше приемников. Помимо этого, сейсмические данные, ассоциированные с комбинациями нескольких источников/приемников, могут быть объединены для создания почти непрерывного профиля подповерхностной области 26, которая может простирается на некоторое расстояние. В двухмерной (2-D) сейсмической съемке места размещения приемников могут быть расположены вдоль одной линии, в то время как в трехмерной (3-D) съемке точки размещения приемников могут быть распределены по поверхности в виде сетчатой структуры. При этом 2-D сейсмическая съемка может давать картину поперечного сечения (вертикальный срез) слоев Земли, расположенных непосредственно под точками записи. 3-D сейсмическая съемка, напротив, может создавать "куб" или объем данных, который может соответствовать 3-D картине подповерхностной зоны 26.

Кроме этого, 4-D сейсмическая съемка (периодическая съемка) может включать сейсмические данные, полученные многократной 3-D съемкой. Используя разные сейсмические изображения, полученные в разные моменты времени, вычислительная система 60 может сравнить два изображения для обнаружения изменений в подповерхностной зоне 26.

В любом случае, сейсмическая съемка может быть составлена из очень большого числа отдельных сейсмических записей или дорожек сейсмограмм. При этом вычислительная система 60 может быть использована для анализа

собранных сейсмических данных для получения изображения, создающего представление о подповерхностной зоне 26, и для определения расположения и свойств месторождений углеводородов. Для этого, различные алгоритмы обработки сейсмических данных могут использоваться для удаления шумов из полученных сейсмических данных, переноса предварительно обработанных сейсмических данных, идентификации сдвигов между большим числом сейсмических изображений, совмещения большого числа сейсмических изображений и т.д.

После того, как вычислительная система 60 провела анализ собранных сейсмических данных, результаты анализа сейсмических данных (например, сейсмограммы, сейсмические изображения, карты геологических формаций и т.д.) могут быть использованы для выполнения различных операций в разведке и добыче углеводородов. В некоторых вариантах осуществления, вычислительная система 60 может обеспечивать индикацию наличия углеводородов.

Соответственно, вычислительная система 60 может показывать подповерхностную зону 26, которая потенциально может содержать углеводороды, и давать местоположение (например, координаты или относительное расположение) областей, содержащих залежи углеводородов, и/или (в некоторых случаях) областей с возможными осложнениями процесса бурения подповерхностной зоны. В других вариантах осуществления, изображение, генерируемое с использованием настоящего метода, может отображаться на дисплее 72 вычислительной системы 60, способствуя определению местоположения пользователем вычислительной системы 60.

Соответственно, собранные сейсмические данные могут быть использованы для осуществления способа 78 на фиг. 5, где подробно указаны различные процессы, которые могут быть выполнены на основании анализа собранных сейсмических данных, для выполнения анализа сейсмических данных.

В некоторых вариантах осуществления, сейсмическое изображение может генерироваться в схеме обработки сейсмических данных, например, способом 78, представленном на фиг. 5, посредством вычислительной системы (в частности, процессором 64, работающим совместно с по меньшей мере запоминающим устройством 66 или устройством 68 хранения данных). Как показано на блок-схеме, способ 78 включает последовательность операций, содержащих сбор сейсмических данных на шаге 80, редактирование

сейсмических данных на шаге 82, первичную обработку на шаге 84, и обработку, нормализацию и отображение (которые могут, например, включать создание отображений сечений и объемов) сигнала на шаге 86 перед любой интерпретацией сейсмических данных, любым дальнейшим улучшением изображения в соответствии с заданными целями изыскательских работ, генерированием атрибутов из обработанных сейсмических данных, повторной интерпретации сейсмических данных при необходимости, и определения и/или разработки планов буровых работ и/или других применений сейсмической съемки. В результате осуществления способа 78 могут быть определены местоположения углеводородов в подповерхностной зоне 26. Обнаружение местоположения углеводородов, содержащихся в углеводородных залежах, может быть основано, по меньшей мере, отчасти, на выполнении процессов на шаге 86, включая методы миграции в глубинной области до суммирования, использующие, например, наземные сейсмограммы общего изображения (СІG – от англ. common image gather), когда методы миграции в глубинной области до суммирования используют результаты коррекции примененной модели скорости, использованной при вычислении данных миграции в глубинной области до суммирования.

На фиг. 6 приведена иллюстрация наземной системы 88 съемки (хотя показанный пример также может быть применим к морской системе, например, вместо морской системы 22 съемки), которая может быть использована для получения информации, относящейся к подповерхностной зоне 26 Земли, когда подповерхностная зона 26 включает один или более сложные геологические объекты 90 и 92, в дополнение к относительно однородным отражателям 94. Как показано, в наземной геологической системе 88, включение сложных геологических объектов 90 и 92 может ограничивать возможность использования томографии, поскольку при прохождении волн через сложные геологические объекты 90 и 92 волновые колебания 96 подвергаются искажениям.

Кроме того, глубина в Земле сложных геологических объектов 90 и 92 может быть слишком велика, чтобы можно было использовать FWI надлежащим образом, поскольку ныряющие волны 98, проникающие сквозь сложные геологические объекты 90 и 92, не принимаются приемниками 44 (т.е., ныряющие волны 98 могут только достичь исследуемых областей на глубине,

равной примерно одной трети расстояния между источником 40 и приемником 44). Таким образом, способы построения модели желаемой скорости могут быть использованы вместо методов, основанных на согласовании формы колебаний (FWI) или томографических методов обратной проекции (томографии), для моделирования скорости сейсмической волны, например в наземной системе 88, включающей один или более сложных геологических объектов 90 и 92 (т.е., когда существование и/или расположение одного или более сложных геологических объектов 90 и 92 может быть в общих чертах известно, но их точное расположение и состав не известны и/или не определяемы посредством FWI или томографии).

Построение модели желаемой скорости обычно включает генерирование изображения как функции модели скорости (где модель желаемой скорости исходно неизвестна, поэтому в качестве первичной модели скорости используется исходное предположение) и данных, значение которых фиксировано (т.е., записанные данные как фиксированная совокупность данных). Квадраты всех значений изображения могут быть просуммированы для генерирования показателя качества изображения. Этот способ может быть назван "оптимизацией по мощности суммирования" или обобщенно как измерение "суммированной мощности" или "мощности суммирования". Другими словами, качество изображения, генерированного с использованием фиксированной совокупности данных и пробной модели скорости (например, исходной модели скорости), может прогнозироваться на основании суммирования квадратов значения генерированного изображения. Это качество изображения является показателем оптимальности модели скорости и будет рассмотрено ниже в качестве метода, используемого в сочетании с построением модели желаемой скорости.

На фиг. 7 представлена модель 100 Земли, включающая изображение 102, генерированное с использованием фиксированной совокупности данных и пробной (например, первичной) модели скорости, как это было рассмотрено в общих чертах со ссылкой на фиг. 6. Изображение 102 включает искажающий объект 104 (например, объект, искажающий скорость), соответствующий сложной геологической области (например, сложному геологическому объекту 90 или другому искажающему объекту/формации в подповерхностной зоне). Кроме того, показаны отражатели 105, а также искаженные части 107

изображения 102, которые генерируются, когда некорректно распределение скорости в искажающем объекте.

Слой Земли, содержащий искажающий объект 104, разлагается на ряд базисных функций скорости. Возмущение ( $\Delta v$ ) скорости может быть введено в модель скорости, а результат использован в сейсмической миграции для создания изображения. В результате будет получено изображение данных с использованием модели скорости, возмущенной в  $j$ th точке пространства (т.е., расстоянию по модели скорости) с выбранной амплитудой возмущения скорости. Могут быть выбраны размер (т.е., большое или маленькое) и знак (т.е., положительный или отрицательный) возмущения скорости, а также точка его положения (т.е.,  $j$ th точка пространства, либо по координатной оси  $x$ , координатной оси  $x_y$ , или координатной оси  $x_{yz}$ ), например, случайными или квази-случайными методами, либо могут быть использованы предварительно заданные точки положения и возмущения.

На фиг. 8 представлены возмущения скорости 106, 108, 110, 112, 114 и 116 различных размеров и знаков. Эти произвольно выбираемые возмущения скорости 106, 108, 110, 112, 114 и 116 расположены в  $j$ th точке в пространстве (т.е., измеренном по координатной оси  $x$ ) модели скорости. Процесс создания изображения может осуществляться независимо для данных, включающих каждые данные от возмущений скорости 106, 108, 110, 112, 114 и 116, т.е., изображение генерируется на основе данных возмущений 106 скорости, изображение генерируется на основе данных возмущений 108 скорости и т.д. Квадраты всех значений каждого генерированного изображения суммируются, т.е., определяется его мощность (" $S$ ") суммирования для генерирования показателя качества этого изображения.

Этот процесс может быть повторен в дополнительных точках пространства (т.е., вдоль координатной оси  $x$  в модели скорости) так, что в  $j$ th+1 точке могут быть отображены дополнительные возмущения скорости и генерирована соответствующая " $S$ " для возмущений скорости в точке  $j$ th+1. Как отмечалось ранее, выбор точек пространства и/или дополнительных возмущений скорости может быть определен предварительно или, например, методом случайной или квази-случайной выборки проб модели. Этот метод может быть, например, аналогичен методу Монте Карло, или может использоваться этот метод.

Таким путем искажающий объект 104 разбивается на мелкие элементы (точки), и последовательность возмущений скорости воздействует в выбранных точках пространства в модели скорости. В каждой точке генерируются изображения для каждого возмущения скорости в этой точке, и значения квадратов изображения суммируются для каждого изображения. Это значение S вносится в память. Генерируется таблица или иной массив введенных данных S. Таким образом, для каждой точки, в которой модель скорости испытывает возмущения (независимо от любой другой точки), определяется и запоминается, при этом S является функцией величины возмущения и положения точки "X" возмущения (например, в центральной точке X<sub>c</sub> возмущения). Возмущение может быть описано следующей базисной функцией возмущения скорости:  $\frac{1}{2} \left( \cos \left( \frac{\pi(x-x_c)}{x_w} \right) + 1 \right)$ , где X<sub>c</sub> является центральной точкой возмущения (как показано на фиг. 8), X<sub>w</sub> – масштаб по ширине возмущения (показан на фиг. 8) и X – координата в пространстве в модели скорости (как показано на фиг. 8). Выбираются оптимальные (например, наиболее высокие) значения S (например, оптимальное возмущение скорости в некоторой точке, имеющее, например, наивысшее значение S) так, что генерируется набор оптимальных значений S. Таким образом, для каждой точки по искажающему объекту 104 существует наилучшая оценка модели скорости (т.е., изменение модели скорости с конкретным возмущением скорости) для этой точки, и эти наилучшие оценки рассматриваются в целом как обновление модели скорости. Это обновление модели скорости генерируется на основе возмущения частей модели скорости, которые затем объединяются вместе, с использованием вышеупомянутых методов (т.е., отдельные возмущения в различных точках модели скорости независимы друг от друга и могут быть объединены для определения полного обновления модели скорости). Поэтому, обновление модели скорости генерируется суммированием оптимальных возмущений (определяемых значением их соответствующего значения S).

На фиг. 9А и 9Б приведена иллюстрация способа 120, представляющего построение модели желаемой скорости, для использования наземной системы согласно фиг. 6 (или морской системы с аналогичными сложными сейсмическими параметрами). Способ 120 может быть осуществлен вычислительной системой 60 (и, в частности, процессором 64, работающим

совместно с по меньшей мере одним из устройств памяти – запоминающим устройством 66 или устройством 68 хранения данных, например, путем исполнения программы или команд для выполнения шагов способа 120). На шаге 122 выбирается первичная модель скорости и за текущую модель скорости принимается первичная модель скорости. Как показано выше, модель желаемой скорости может быть изначально неизвестна, поэтому в некоторых вариантах осуществления используется исходное предположение в качестве первичной модели скорости. Далее, на шаге 122, выбираются начальные точки возмущения и масштабы. Как показано на блок-схеме, выбранные начальные точки возмущений включают выбор центральной точки возмущения по координатной оси  $x$  ( $X_c$ ), по координатной оси  $y$  ( $Y_c$ ) и по координатной оси  $z$  ( $Z_c$ ), когда генерируется трехмерная модель. В альтернативном варианте, одна или более из этих точек могут быть опущены, когда способом 120 генерируется 1-D или 2-D модель скорости. Дополнительно, иллюстрируемый шагом 122 пример относится к выбору масштабов, например, ширины возмущения по координатной оси  $x$  ( $X_w$ ) и по координатной оси  $y$  ( $Y_w$ ).

На шаге 124, текущая модель скорости (в данном примере, первичная модель скорости из шага 122 в качестве текущей модели скорости) разлагается на ряд базисных функций скорости для каждого исследуемого направления (координатной оси) с использованием соответствующих выбранных масштабов. Дополнительно, на шаге 124 выполняется определение максимальных и минимальных коррекций возмущений скорости ( $dv_{min}$  и  $dv_{max}$ ). На шаге 126, текущая модель скорости подвергается воздействию выбранного возмущения скорости в выбранной точке. На шаге 128, выполняется миграция в сочетании с отображением данных, включая выбранное возмущение скорости в выбранной точке. На шаге 130 суммируются квадраты всех значений изображения, генерированного на шаге 128, для генерирования показателя качества, т.е., значения  $S$  для этого изображения, которое вносится в память или иным способом регистрируется. На шаге 132 выполняется определение того, имеется ли необходимость вычисления дополнительного возмущения скорости в выбранной точке. Если требуется дополнительная обработка возмущения скорости выбранной точке, на шаге 134 выбирается новое возмущение скорости, и повторяются шаги 126, 128, 130 и 132 для другого возмущения скорости, выбранного на шаге 134. Если дополнительной обработки возмущения скорости

в выбранной точке не требуется, шаг 132 также включает определение оптимальных (т.е., наивысших) значений  $S$  (например, оптимального возмущения скорости в выбранной точке, имеющего наивысшее значение  $S$ ) на основе предшествующих итераций, использующих отличающиеся возмущения скорости. Это найденное оптимальное значение  $S$  сохраняется или иным образом  
5 заносится в память, в качестве наилучшей оценки модели скорости (т.е., изменения модели скорости при конкретном возмущении скорости) для выбранной точки, для последующего использования в способе 120 в качестве составной части полного обновления модели скорости.

10 Когда на шаге 132 сохранено или иным образом зарегистрировано оптимальное значение  $S$  для конкретной (выбранной) точки, на шаге 136 определяется, является ли выбранная точка, использованная совместно с шагом 132, последней точкой пространства, в которой нужно определять значения  $S$  для модели скорости. Другими словами, на шаге 136 выполняется определение  
15 того, имеется ли дополнительная точка, для которой требуется построение модели желаемой скорости. Если так (т.е., если должно быть обработано одно или более возмущений скорости в другой исследуемой точке), выполняется выбор следующей точки на шаге 138, и повторяются шаги 126, 128, 130, 132 и 134 (при необходимости) с возвратом к шагу 136, в котором снова выполняется  
20 определение того, была ли ранее выбранная точка, использованная в шаге 132, последней точкой пространства для определения значений  $S$  для модели скорости. Если в шаге 136 определяется, что ранее выбранная точка из шага 132 была последней точкой пространства для определения значений  $S$  для модели скорости, способ 120 далее переходит на шаг 140.

25 На шаге 140, выполняется обновление текущей модели скорости суммой принятых возмущений (т.е., оптимальных значений  $S$ , сохраненных или иным образом зарегистрированных на шаге 132 для каждой точки). При этом совокупность лучших оценок модели скорости (т.е., изменений модели скорости с конкретным возмущением скорости в конкретных точках) принимается в  
30 целом как обновление модели скорости, т.е., обновление текущей скорости генерируется суммированием оптимальных возмущений (определенных их соответствующими значениями  $S$ ) на шаге 140. На шаге 142 выполняется определение того, превосходит ли качество генерированного изображения (например, в одном из шагов 140 и 142) с использованием обновленной текущей

модели скорости из шага 140, пороговое значение (или, например, если было достигнуто полное число итераций, или, например, если изменение в обновленной текущей модели скорости из шага 140 меньше порогового значения, отличающегося от ранее генерированной обновленной текущей модели скорости из шага 140). Если на шаге 142 качество генерированного изображения определяется как удовлетворительное, процесс останавливается на шаге 144. В противном случае, если качество генерированного на шаге 142 изображения определяется как неудовлетворительное, процесс продолжается на шаге 146.

10 На шаге 146 определяют, следует ли сузить или расширить максимальные или минимальные изменения в возмущениях скорости ( $dv_{min}$  и  $dv_{max}$ ) для улучшения качества изображения, которое должно генерироваться на шаге 140. Если будет определено, что максимальные и минимальные изменения в возмущениях скорости ( $dv_{min}$  и  $dv_{max}$ ) должны быть сужены или расширены на шаге 146, эти новые значения  $dv_{min}$  и  $dv_{max}$  используются в шаге 124, и описанный выше процесс, включающий шаги 124, 126, 128, 130, 132, 134 (при необходимости), 136, 138 (при необходимости), 140 и 142 повторяются. Если определено, что максимальные и минимальные изменения в возмущениях скорости ( $dv_{min}$  и  $dv_{max}$ ) не должны сужаться или расширяться на шаге 146, процесс продолжается на шаге 148, в котором определяют, следует ли уменьшить масштаб, например, масштабы ширины возмущений по координатной оси  $x$  ( $X_w$ ) и по координатной оси  $y$  ( $Y_w$ ). Если определено, что масштабы должны быть уменьшены на шаге 148, то на шаге 124 используются новые масштабы (например,  $X_w$  и  $Y_w$ ), и повторяется описанный выше процесс, включающий шаги 124, 126, 128, 130, 132, 134 (при необходимости), 136, 138 (при необходимости), 140 и 142. Если определено, что масштабы не должны уменьшаться на шаге 148, процесс заканчивается на шаге 150. Отмечается, что шаг 148 охватывает процесс способа 120, в котором задается выбранная базисная функция грубого масштаба, и методом моделирования математического аннилинга или постепенного повышения оптимизации выполняет поиск усовершенствованной модели, когда найдена модель, которая не может быть улучшена при данном масштабе, выбирается следующий более мелкий масштаб и итерация выполняется снова. Этот процесс останавливается на шаге 150, когда найдена удовлетворительная модель, что и определяется на шаге 148.

Отмечается, что работа способа 120 может быть дополнительно улучшена оцениванием мощности суммирования в пространственном окне (т.е., исследуемой области, например, искажающем объекте 140) после конвертирования изображений к времени распространения при нормальном падении посредством их собственной модели скорости звука, для улучшения стационарности целевой функции относительно изменений в модели скорости. Другими словами, положение отражателей, например, отражателей в изображении, генерируемом на шаге 140 с использованием обновленной текущей скорости, может меняться. Поэтому, при конвертировании изображений к времени распространения при нормальном падении изменяется направление перемещения отражателей, так, что их движение может быть компенсировано (т.е., получено более "стационарное" изображение для оценки на шаге 142).

Далее отмечается, что если модель просто разлагается на элементы трехмерного изображения – воксели (например, 30 пикселей), пространство возможных моделей астрономически велико, и при прямом поиске всех возможных моделей мало шансов определения оптимальной модели. Соответственно, для снижения размерности пространства модели и повышения шансов определения оптимальной модели, обновления модели скорости звука разлагаются на набор разделенных по многоуровневому (иерархическому) масштабу пространственно локализованных базисных функций возмущения скорости. Например, для генерирования базисных функций возмущений скорости на шаге 124 могут быть использованы вырезающие функции Хеннинга, в которых центры базисных функций возмущений скорости разнесены на полпериода и масштаб при переходе к следующему масштабу уменьшается вдвое. Относительная независимость воздействия на мигрированные изображения базисных функций соседних возмущений скорости в пространстве, и способность поиска моделей, начиная от грубых масштабов и кончая мелкими масштабами, могут быть использованы в качестве параметров при генерировании базисных функций возмущений скорости на шаге 124 (т.е., после выполнения шага 148).

Действительно, описанное здесь разложение базисной функции возмущения скорости может повлиять на мигрированные изображения. Эти влияния достаточно независимы от одного пространственного окна к другому, поэтому способ поиска, основанный на методах моделирования математического

аннилинга с быстрой сходимостью, быстро обнаруживает улучшенные модели скорости звука при данном масштабе разложения. Соответственно, построение модели желаемой скорости может выиграть от поиска, начинающегося с разложения с грубым масштабом с переходом к разложениям с все более мелким масштабом, когда обновления становятся в основном линейно независимыми при переходе между масштабами. Таким образом, благодаря начальному выбору больших возмущений скорости в способе 120 с последующим переходом к все более мелким возмущениям скорости для данных точек при второй и (при необходимости) последующих итерациях в способе 120, может быть реализовано многоуровневое функциональное разложение (т.е., моделирование методом математического аннилинга) для снижения общего объема выполняемых операций по поиску моделей.

Дополнительно, данное многоуровневое функциональное разложение может быть объединено с использованием дополнительных алгоритмов поиска, например, метода поиска Монте-Карло, для выбора точек для введения возмущений скорости на шаге 126. Далее отмечается, что возмущения скорости в данной точке обычно не влияют на другие возмущения скорости в дополнительных точках.

Кроме того, поскольку способ 120 может включать многократные миграции базы данных для поиска оптимальной модели скорости, используется высококачественный, но эффективный алгоритм миграции до суммирования. Примерами алгоритмов миграции, которые могут обеспечить быстрое получение точных результатов, могут служить, например, метод Кирхгофа, одностороннее волновое уравнение, обратная миграция во временной области (RTM) и т.д. Эти алгоритмы миграции могут быть первоначально применены к низкочастотным версиям базы данных для обнаружения приближенно оптимальной модели и, при ее отыскании, частотный состав данных может быть расширен до полного спектра частот, что может обеспечить быстрые вычисления на ранних стадиях уточнения модели, по аналогии с полноволновой инверсией (FWI).

Описанные выше конкретные варианты осуществления были представлены в качестве примера, и следует понимать, что эти варианты осуществления могут подвергаться различным модификациям и реализации в других формах. Также следует понимать, что формула изобретения не предполагает ограничения этими конкретными раскрытыми формами, но, напротив, должна охватывать все

модификации, эквиваленты и альтернативы, находящиеся в пределах существа и области защиты настоящего раскрытия.

Представленные и заявленные здесь способы относятся и применимы к материальным объектам и конкретным примерам практического характера, которые очевидно усовершенствуют техническую область и, по этой причине, не являются абстрактными, нематериальными или сугубо теоретическими. Кроме того, если приложенная в конце настоящего описания формула изобретения содержит один или более элементов, обозначенных как "средства для [выполнения] [функции]" или "шаг для [выполнения] [функции]", предполагается, что такие элементы должны восприниматься согласно Статье 35 Свода Законов США пар. 112(f). Однако, для любых пунктов формулы, содержащих элементы, обозначенные любым другим образом, предполагается, что такие элементы не должны интерпретироваться согласно Статье 35 Свода Законов США пар. 112(f).

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ, в котором:

5 получают сейсмические данные, включающие данные, соответствующие отражениям от цели, находящейся под искажающим скоростью объектом в подповерхностной зоне, причем наличие искажающего скорость объекта приводит к искажению сейсмического изображения;

10 вводят возмущение скорости в текущую модель скорости, представляющую часть подповерхностной зоны, ответственную за искажение сейсмического изображения, для генерирования модели возмущенной скорости;

генерируют изображение посредством миграции сейсмических данных и модели возмущенной скорости;

генерируют и присваивают изображению показатель качества;

15 определяют, является ли показатель качества, присвоенный изображению, оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения; и

20 обновляют текущую модель скорости, использованную для генерирования сейсмического изображения, для генерирования уточненной модели скорости с использованием показателя качества, присвоенного изображению, когда показатель качества, присвоенный изображению, определен как оптимальный показатель качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

25 2. Способ по п. 1, в котором определяют, следует ли ввести дополнительное возмущение скорости в текущую модель скорости, которая представляет часть подповерхностной зоны, ответственную за искажение сейсмического изображения, для генерирования второй модели возмущенной скорости.

30 3. Способ по п. 2, в котором вводят второе возмущение скорости в текущую модель скорости, которая представляет часть подповерхностной зоны, ответственную за искажение сейсмического изображения, для генерирования

второй модели возмущенной скорости, когда определено, что в текущую модель скорости должны быть введены дополнительные возмущения скорости.

4. Способ по п. 3, в котором:

5 генерируют второе изображение, используя вторую модель возмущенной скорости; и  
генерируют и присваивают второй показатель качества второму изображению.

10 5. Способ по п. 4, в котором определяют, является ли второй показатель качества, присвоенный второму изображению, оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

15 6. Способ по п. 5, в котором обновляют текущую модель скорости, использованную для генерирования сейсмического изображения, для генерирования уточненной модели скорости, используя второй показатель качества, присвоенный второму изображению, когда второй показатель качества, присвоенный второму изображению, определен как оптимальный показатель качества в конкретной точке текущей модели скорости, которая соответствует части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

20 7. Способ по п. 1, в котором определяют, должно ли дополнительное возмущение скорости вводиться в текущую модель скорости во второй точке текущей модели скорости.

25 8. Способ по п. 7, в котором вводят второе возмущение скорости в текущую модель скорости во второй точке для генерирования второй модели возмущенной скорости, когда определено, что в текущую модель скорости должно быть введено дополнительное возмущение скорости во второй точке текущей модели скорости.

30

9. Способ по п. 8, в котором:

генерируют второе изображение, используя вторую модель возмущенной скорости; и

5 генерируют и присваивают второй показатель качества второму изображению.

10. Способ по п. 9, в котором определяют, является ли второй показатель качества, присвоенный второму изображению, вторым оптимальным показателем качества во второй точке текущей модели скорости,

10 соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

11. Способ по п. 10, в котором обновляют текущую модель скорости, использованную для генерирования сейсмического изображения, для

15 генерирования второй уточненной модели скорости, используя второй показатель качества, присвоенный второму изображению, когда второй показатель качества, присвоенный второму изображению, определен как второй

20 оптимальный показатель качества во второй точке текущей модели скорости, которая соответствует части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

12. Способ по п. 11, в котором генерируют обновленную текущую модель скорости суммированием уточненной модели скорости и второй уточненной модели скорости.

25

13. Способ по п. 12, в котором:

генерируют второе сейсмическое изображение, используя обновленную текущую модель скорости, причем второе сейсмическое изображение представляет углеводороды в подповерхностной зоне Земли или осложнения бурения в подповерхностной зоне; и

30

определяют, превосходит ли качество второго сейсмического изображения пороговое значение.

14. Способ по п. 13, в котором:

уменьшают масштаб ширины возмущения вдоль по меньшей мере одной координатной оси после определения того, что качество второго сейсмического изображения не превышает пороговое значение;

5 обновляют текущую модель скорости посредством обновленной текущей модели скорости;

вводят третье возмущение скорости в текущую модель скорости для генерирования третьей модели возмущенной скорости;

10 генерируют третье изображение, используя третью модель возмущенной скорости;

генерируют и присваивают третий показатель качества третьему изображению;

15 определяют, является ли третий показатель качества, присвоенный третьему изображению, третьим оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости; и

20 обновляют текущую модель скорости, использованную для генерирования сейсмического изображения, для генерирования третьей уточненной модели скорости, используя третий показатель качества, присвоенный третьему изображению, когда определено, что третий показатель качества, присвоенный третьему изображению, является третьим оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости.

15. Материальная, энергонезависимая, машиночитаемая среда, содержащая команды, которые, при исполнении их процессором, инициируют процессор для:

25 получения сейсмических данных, включающих данные, соответствующие отражениям от цели, находящейся под искажающим скоростью объектом в подповерхностной зоне, причем наличие искажающего скоростью объекта приводит к искажению сейсмического изображения;

30 введения возмущения скорости в текущую модель скорости, представляющую часть подповерхностной зоны, ответственную за искажение сейсмического изображения, для генерирования модели возмущенной скорости;

генерирования изображения посредством сейсмической миграции сейсмических данных и модели возмущенной скорости;

генерирования и присваивания изображению показателя качества;

определения, является ли показатель качества, присвоенный изображению, оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения; и

5 обновления текущей модели скорости, использованной для генерирования сейсмического изображения, для генерирования уточненной модели скорости с использованием показателя качества, присвоенного изображению, когда  
показатель качества, присвоенный изображению, определен как оптимальный  
показатель качества в конкретной точке текущей модели скорости,  
10 соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

16. Среда по п. 15, содержащая команды, которые, при исполнении их процессором, иницируют процессор для:

15 введения второго возмущения скорости в текущую модель скорости, представляющую часть подповерхностной зоны, ответственную за искажение сейсмического изображения, для генерирования второй модели возмущенной скорости, когда определено, что в текущую модель скорости должно быть  
введено дополнительное возмущение скорости;

20 генерирования второго изображения с использованием второй модели возмущенной скорости;

генерирования и присвоения второго показателя качества второму изображению; и

25 определения того, является ли второй показатель качества, присвоенный второму изображению, оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

17. Среда по п. 16, содержащая команды, которые, при исполнении их  
30 процессором, иницируют процессор для обновления текущей модели скорости, использованной для генерирования сейсмического изображения, для генерирования уточненной модели скорости с использованием второго показателя качества, присвоенного второму изображению, когда второй  
показатель качества, присвоенный второму изображению, определен как

оптимальный показатель качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

5 18. Среда по п. 15, содержащая команды, которые, при исполнении их процессором, инициируют процессор для:

определения того, должно ли дополнительное возмущение скорости быть введено в текущую модель скорости во второй точке текущей модели скорости;

10 введения второго возмущения скорости в текущую модель скорости во второй точке для генерирования второй модели возмущенной скорости, когда определено, что дополнительное возмущение скорости должно быть введено в текущую модель скорости во второй точке текущей модели скорости;

генерирования второго изображения с использованием второй модели возмущенной скорости;

15 генерирования и присвоения второго показателя качества второму изображению; и

20 определения того, является ли второй показатель качества, присвоенный второму изображению, вторым оптимальным показателем качества во второй точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.

19. Среда по п. 18, содержащая команды, которые, при исполнении их процессором, инициируют процессор для обновления текущей модели скорости, использованной для генерирования сейсмического изображения, для

25 генерирования второй уточненной модели скорости с использованием второго показателя качества, присвоенного второму изображению, когда второй показатель качества, присвоенный второму изображению, определен как второй оптимальный показатель качества во второй точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение

30 сейсмического изображения.

20. Устройство, содержащее процессор, который в процессе работы:

получает сейсмические данные, включающие данные, соответствующие отражениям от цели, находящейся под искажающим скоростью объектом в

подповерхностной зоне, причем наличие искажающего скорость объекта приводит к искажению сейсмического изображения;

вводит возмущение скорости в текущую модель скорости, представляющую часть подповерхностной зоны, ответственную за искажение сейсмического изображения, для генерирования модели возмущенной скорости;

генерирует изображение посредством сейсмической миграции сейсмических данных и модели возмущенной скорости;

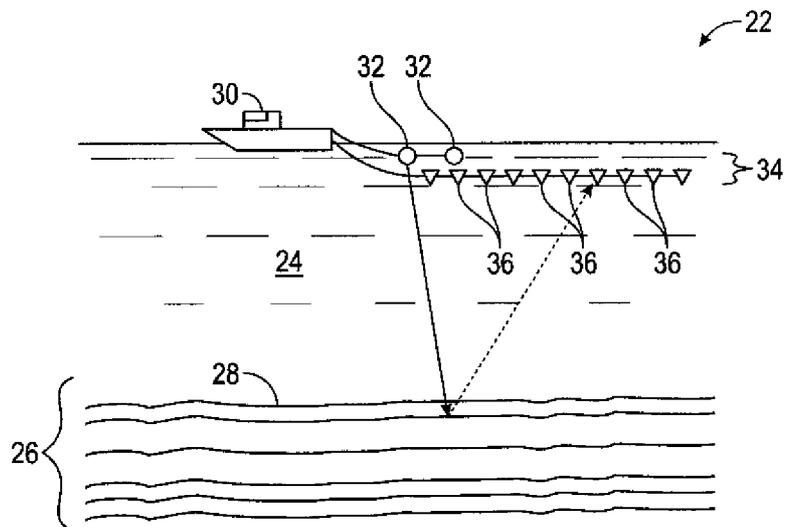
генерирует и присваивает изображению показатель качества;

определяет, является ли показатель качества, присвоенный изображению, оптимальным показателем качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения; и

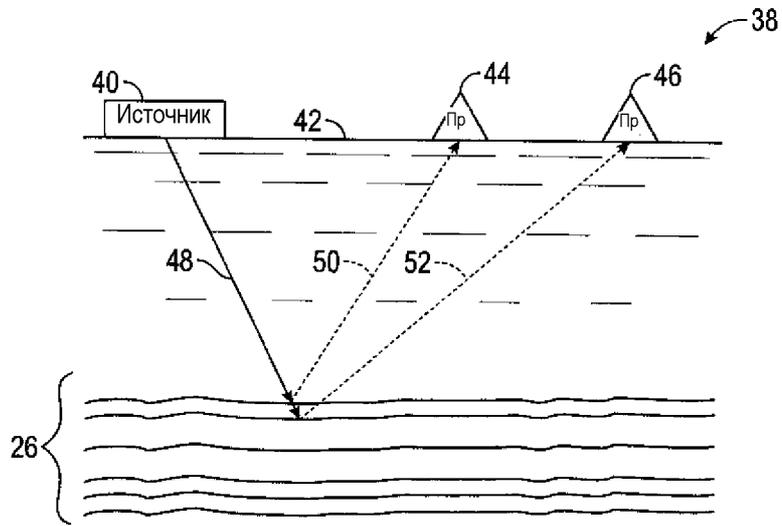
обновляет текущую модель скорости, использованную для генерирования сейсмического изображения, для генерирования уточненной модели скорости с использованием показателя качества, присвоенного изображению, когда показатель качества, присвоенный изображению, определен как оптимальный показатель качества в конкретной точке текущей модели скорости, соответствующей части подповерхностной зоны, ответственной за искажение сейсмического изображения.



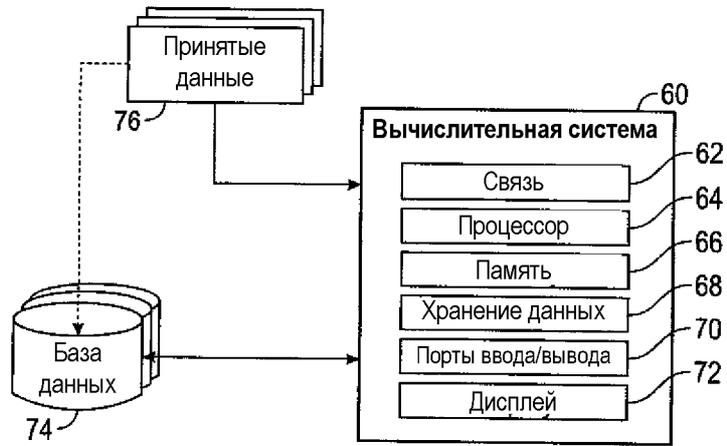
Фиг. 1



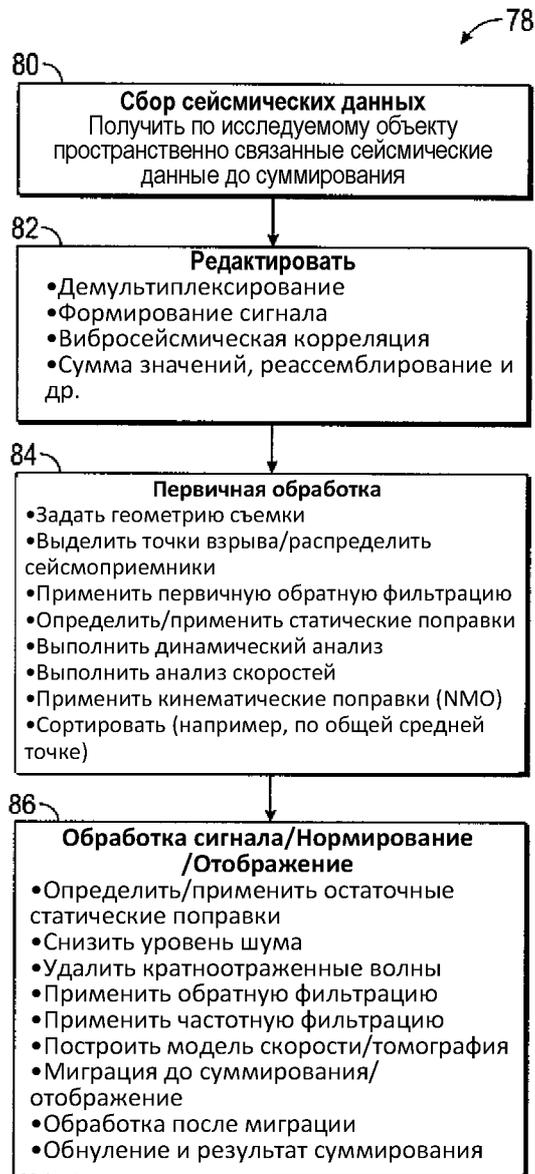
Фиг. 2



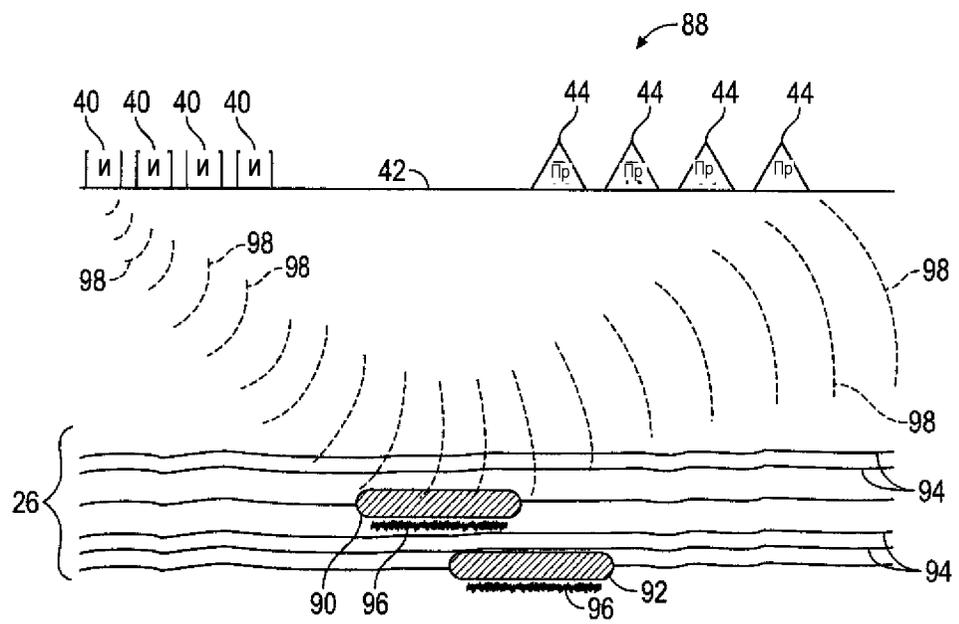
Фиг. 3



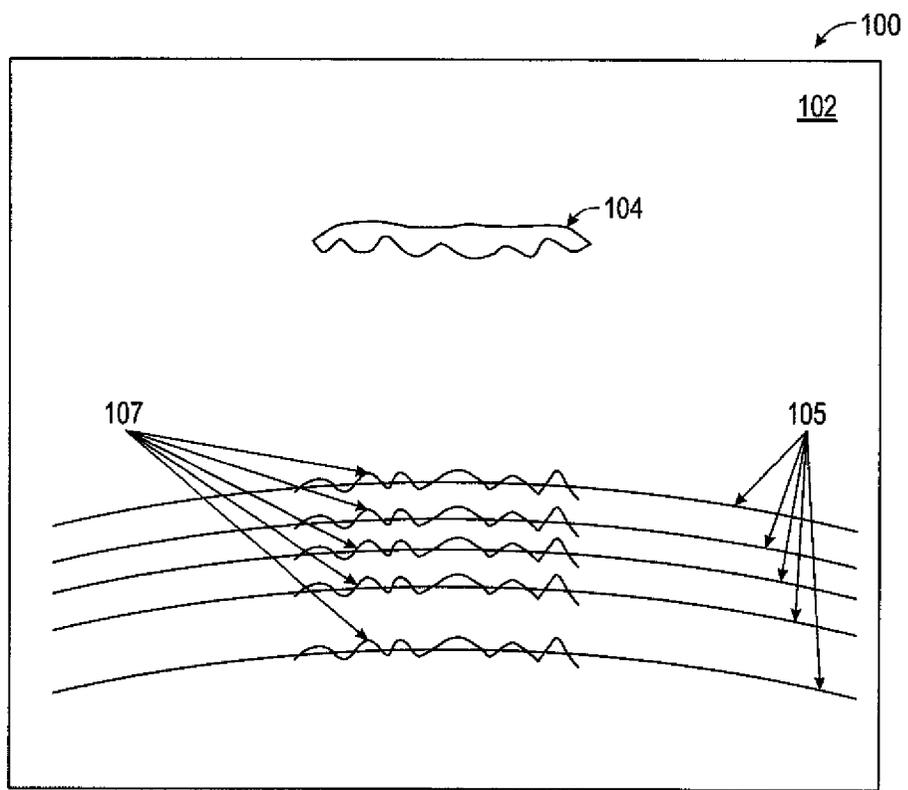
Фиг. 4



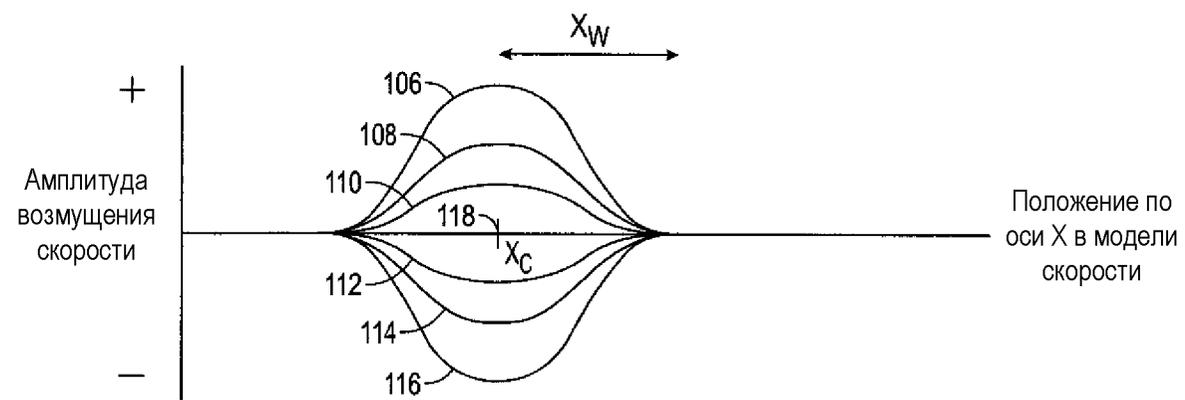
Фиг. 5



Фиг. 6

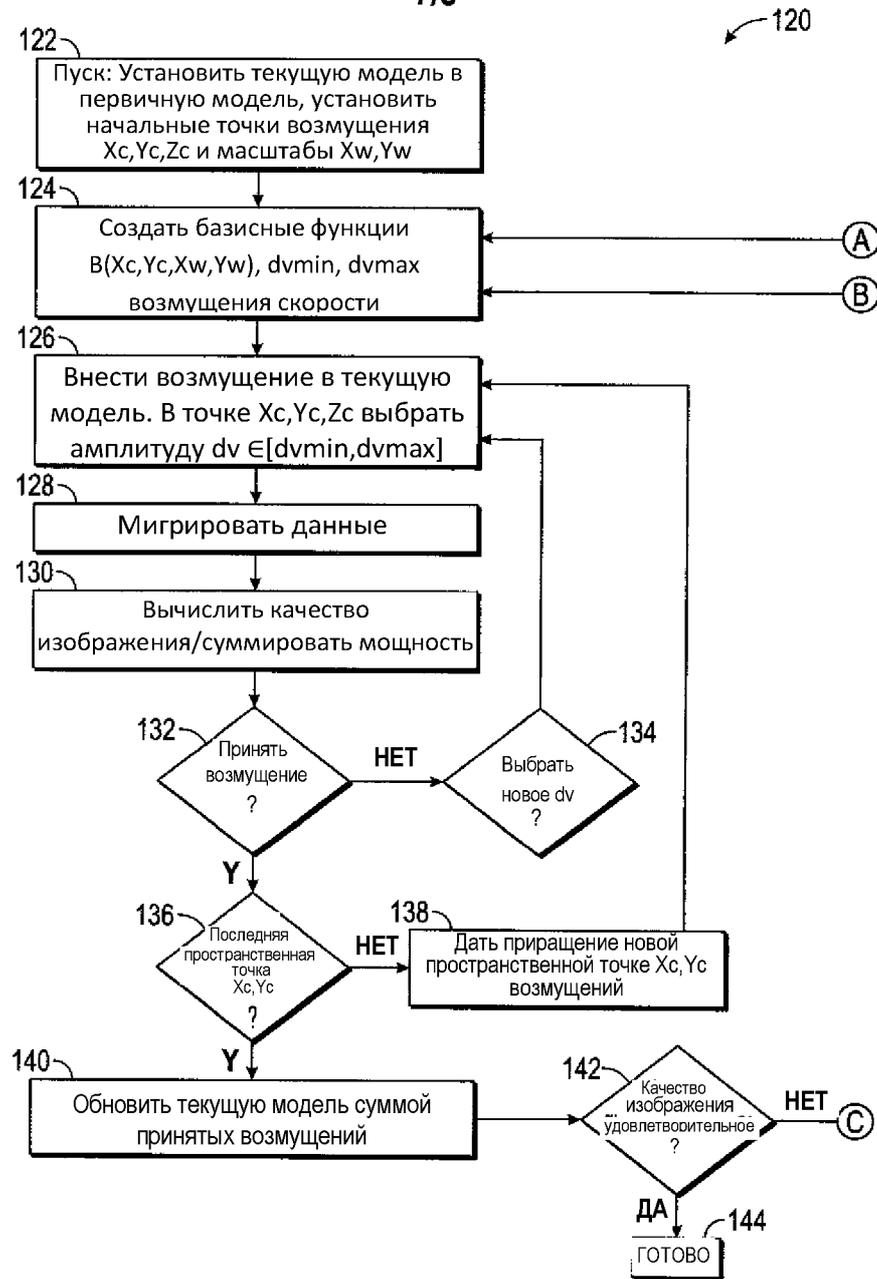


Фиг. 7

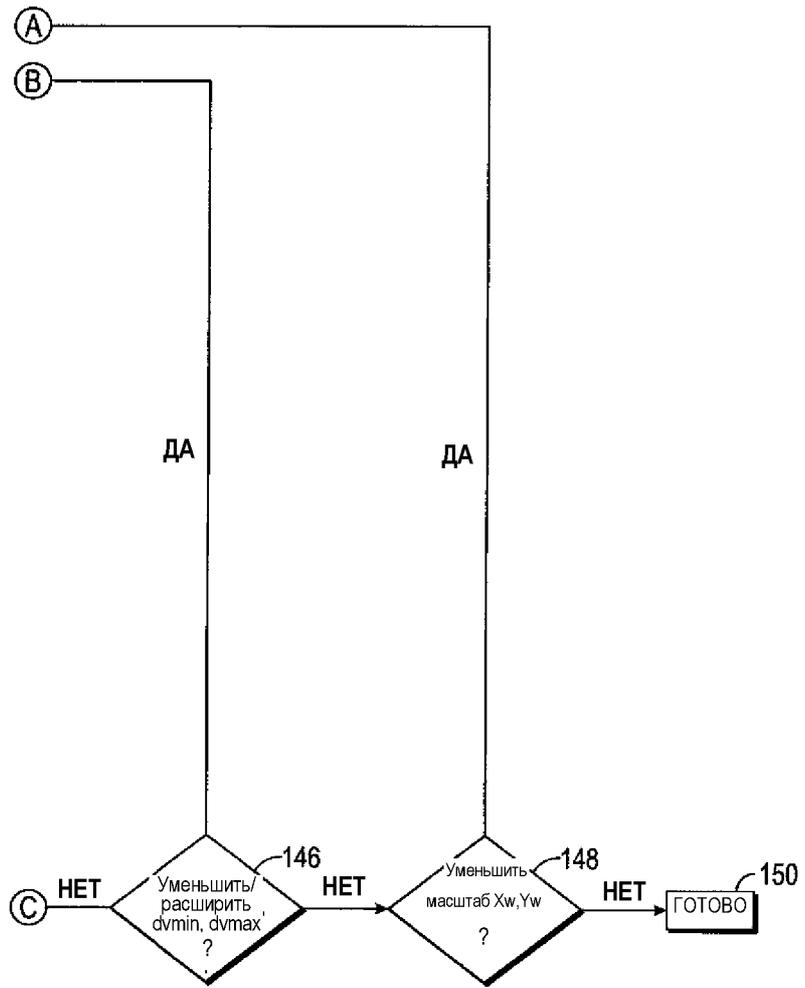


8/9

Фиг. 8



Фиг. 9А



Фиг. 9Б