

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036304**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.10.23

(51) Int. Cl. **G01V 3/08** (2006.01)
G01V 99/00 (2009.01)

(21) Номер заявки
201792427

(22) Дата подачи заявки
2015.05.08

(54) **ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ**

(43) **2018.06.29**

(86) **PCT/EP2015/060267**

(87) **WO 2016/180458 2016.11.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СТАТОЙЛ ПЕТРОЛЕУМ АС (NO)

(56) **US-A1-2009204327**
WO-A1-2014000758
US-A1-2014058677
US-A1-2011313737
US-A1-2009120634

(72) Изобретатель:
**Кауссе Эммануэль, Нгуен Анх Киет,
Нордскаг Яннике Ирен, Мааё Фрэнк
Агнар (NO)**

(74) Представитель:
**Хмара М.В., Рыбаков В.М., Липатова
И.И., Новоселова С.В., Дощечкина
В.В., Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г.,
Осипов К.В. (RU)**

(57) Способ оценки физического параметра геологической среды путем решения обратной задачи геофизики, включающий в себя преобразование вектора модели, представляющего физический параметр, при помощи первого оператора для получения первого преобразованного вектора модели, решение обратной задачи для первого преобразованного вектора модели для обеспечения первого решения, преобразование вектора модели при помощи второго оператора для получения второго преобразованного вектора модели, причем второй оператор отличен от первого оператора, решение обратной задачи для второго преобразованного вектора модели для обеспечения второго решения; вычисление взвешенной суммы первого решения и второго решения с получением оценки физического параметра таким образом, что данная взвешенная сумма первого решения и второго решения минимизирует расстояние между серией измеренных геофизических данных и имитационной моделью серии измеренных геофизических данных, причем имитационная модель зависит от вектора модели.

036304
B1

036304
B1

Настоящее изобретение относится к линейной и нелинейной инверсии физических данных и более конкретно, без ограничений, к данным электромагнитной съемки с управляемым источником (CSEM) или акустическим данным.

Разработан целый ряд способов исследования геологической среды, которые основаны на передаче волн или сигналов в какую-либо область геологической среды. Передаваемый сигнал взаимодействует с геологической средой, при этом, как правило, часть сигнала распространяется обратно к поверхности, где она записывается и используется для получения информации о строении среды в зависимости от того, как сигнал взаимодействовал с геологической средой. В способе CSEM применяется, например, дипольный источник излучения, буксируемый над морским дном, для передачи электромагнитного сигнала, и группа приемников, помещенных на морском дне для регистрации сигнала, прошедшего через формацию ниже морского дна. Зарегистрированный сигнал затем необходимо инвертировать для получения физических параметров. Физические параметры могут в некоторых случаях использоваться для оценки наличия углеводородов или воды. Примером физического параметра, который может быть получен, является удельная проводимость формации. Удельная проводимость может использоваться в имитационной модели в качестве параметра, посредством которого модель способна моделировать записанные данные. Оптимальными значениями удельной проводимости являются те, которые оптимизируют соответствие между имитационной моделью записанных данных и данными.

Нелинейная инверсия данных CSEM включает в себя решение большой линейной системы уравнений для вычисления уточненных значений удельной проводимости при каждой итерации способа итерационной оптимизации с целью минимизации расстояния между данными и модельными данными. Число узлов пространственной трехмерной сетки, на которой основан вектор модели, как правило, превышает миллион, при этом решение нормальных уравнений на этой сетке становится неосуществимым. Могут применяться алгоритмы оптимизации, такие как алгоритм Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно с ограниченным использованием памяти, однако они требуют очень точных начальных векторов модели для достижения хороших результатов инверсии.

Уменьшение числа параметров инверсии, также называемых свободными параметрами, представляет собой предпочтительный способ повышения эффективности алгоритма инверсии.

Для уменьшения числа независимых свободных параметров могут применяться строгие геометрические ограничения. Например, значения удельной проводимости в геологически определяемых телах могут быть заданы постоянными, и эти постоянные значения затем инвертируют. Однако недостаток этих способов состоит в том, что они требуют большого объема априорной информации и непригодны, когда высокоомные (плохопроводящие) и проводящие тела простираются через определяемые геометрические структуры.

Сущность изобретения

Согласно первому аспекту настоящего изобретения предлагается способ оценки физического параметра геологической среды путем решения обратной задачи геофизики, включающий в себя преобразование вектора модели, представляющего физический параметр, при помощи первого оператора для получения первого преобразованного вектора модели, решение обратной задачи для первого преобразованного вектора модели для обеспечения второго решения, преобразование вектора модели при помощи второго оператора для получения второго преобразованного вектора модели, причем второй оператор отличен от первого оператора, решение обратной задачи для второго преобразованного вектора модели для обеспечения второго решения, вычисление взвешенной суммы первого решения и второго решения с получением оценки физического параметра таким образом, что данная взвешенная сумма первого решения и второго решения минимизирует расстояние между серией измеренных геофизических данных и имитационной моделью серии измеренных геофизических данных, причем имитационная модель зависит от вектора модели.

Преобразование вектора модели при помощи первого оператора может включать в себя уменьшение числа свободных параметров в обратной задаче в соответствии с первым коэффициентом сжатия, при этом преобразование вектора модели при помощи второго оператора включает в себя уменьшение числа свободных параметров в обратной задаче в соответствии со вторым коэффициентом сжатия. В альтернативном варианте осуществления преобразование вектора модели при помощи первого оператора может включать в себя применение первого преобразования Фурье к вектору модели, при этом преобразование вектора модели при помощи второго оператора включает в себя применение второго преобразования Фурье к вектору модели, причем для выбора части спектра Фурье может применяться фильтр. Второй коэффициент сжатия может быть отличен от первого коэффициента сжатия.

Уменьшение числа свободных параметров в обратной задаче может включать в себя интерполирование вектора модели, определенного на густой сетке, для получения первого преобразованного вектора модели, определенного на первой редкой сетке, причем разрешение первой редкой сетки ниже, чем разрешение густой сетки, и интерполирование вектора модели, определенного на густой сетке, для получения второго преобразованного вектора модели, определенного на второй редкой сетке, причем разрешение второй редкой сетки ниже, чем разрешение густой сетки. Редкая сетка может быть равномерной или неравномерной, при этом редкая сетка может зависеть от предварительных знаний о физическом строе-

нии формации. Первая редкая сетка сдвинута относительно второй редкой сетки.

Серия измерений может являться одним из серии сейсмических, электрических, магнитных или гравиметрических измерений. Вектор модели включает в себя уточнение модели в способе итеративной инверсии, а минимальное расстояние можно оценить при помощи линейного поиска. Задача инверсии может быть линейной или нелинейной задачей инверсии.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения предлагается компьютерная система для оценки физического параметра геологической среды, выполненная с возможностью реализации способа согласно первому аспекту изобретения.

Согласно третьему аспекту настоящего изобретения предлагается компьютерное программное обеспечение, которое, будучи установленным на компьютерной системе согласно второму аспекту изобретения, выполнено с возможностью обуславливать выполнение компьютерной системой способа согласно первому аспекту изобретения.

Фигуры

Некоторые варианты осуществления изобретения будут теперь раскрыты только в качестве примера со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых

- на фиг. 1 представлена блок-схема, иллюстрирующая способ, раскрытый в настоящем документе;
- на фиг. 2 схематически показан массив данных, используемый в данном способе;
- на фиг. 3 схематически показано частное решение способа;
- на фиг. 4 схематически показаны два частных решения способа;
- на фиг. 5 схематически показаны комбинации решений, применяемых в данном способе.

Подробное раскрытие изобретения

Как показано на фиг. 1, настоящий способ решает обратную задачу геофизики для оценки физического параметра путем обеспечения вектора модели (S1), представляющего физический параметр, преобразования вектора модели при помощи первого оператора для получения первого преобразованного вектора модели (S2), решения обратной задачи для первого преобразованного вектора модели для обеспечения первого решения (S3). Затем модель преобразует вектор модели при помощи второго оператора для получения второго преобразованного вектора модели (S4) и решает обратную задачу для второго преобразованного вектора модели для обеспечения второго решения (S5). В заключение способ вычисляет взвешенную сумму первого решения и второго решения (S6), что обеспечивает оценку физического параметра. Хотя приведен пример двух решений, в большинстве применений способ использует комбинацию многих решений.

Преобразование может представлять собой преобразование Фурье, при котором к преобразованному вектору модели применяется фильтр для отфильтровывания некоторых частотных компонент. В альтернативном варианте осуществления преобразование может представлять собой уменьшение числа свободных параметров в векторе модели для уменьшения размера задачи. Преобразование может также представлять собой анализ главных компонент, из которого исключены некоторые менее важные компоненты.

Пример настоящего способа связан с решением обратных задач геофизики, в которых N-размерный вектор параметров модели непосредственно вычисляется (линейная инверсия) или итерационно уточняется (нелинейная инверсия) с использованием стратегии оптимизации. Способ включает в себя уменьшение вектора параметров модели на сетке, имеющей уменьшенную размерность по сравнению с сеткой, на которой определен вектор параметров модели. Решение вектора редуцированной (уменьшенной) модели менее сложно, чем решение вектора полной модели. Шаг редуцирования повторяют с использованием второй сетки, которая сдвинута относительно первой сетки, и снова решают задачу на второй сетке. Первое решение комбинируют со вторым решением для обеспечения комбинированного решения, имеющего более высокое разрешение, чем первое решение или второе решение.

Сетка может представлять собой массив ячеек, причем векторы модели или решения постоянны в пределах каждой ячейки. Например, ячейки в реальном пространстве могут представлять собой трехмерные разрезы формации и физическую величину, такую как удельное сопротивление, которая может быть выбрана постоянной в пределах этих ячеек.

В большинстве обратных задач геофизики в процессе инверсии (обращения) необходимо один или несколько раз решить одну или несколько систем уравнений следующего вида (уравнение 1):

$$(F^* C_d^{-1} F + \lambda Q) m = F^* C_d^{-1} d + \lambda_g Q_g \Delta m .$$

Величины в этом уравнении имеют следующие значения.

Символ m является вектором, представляющим неизвестные параметры, подлежащие оценке. Эти параметры часто называют параметрами модели и вектором модели m , поскольку во многих обратных задачах оценка этих параметров позволяет строить 3D модель некоторых свойств геологической среды (например, механических, электрических или магнитных свойств). Примерами таких свойств являются удельное электрическое сопротивление, скорость распространения продольных или поперечных волн, акустический импеданс, плотность и магнитная восприимчивость. В альтернативном варианте осуществления m представляет возможное уточнение вектора начальной модели или предыдущей аппроксимации

решения системы уравнений (1). Размер m составляет $(N, 1)$, где N - число параметров.

Символ d представляет вектор столбцов, содержащий измеренные данные или содержащий разность между измеренными данными и модельными данными. Эти данные могут быть данными различного типа: сейсмическими, электрическими, магнитными, гравиметрическими и т.д. Размер d составляет $(N_d, 1)$, где N_d - число измерений данных. C_d обычно представляет собой ковариационную матрицу неопределенностей данных или ее аппроксимацию, диагональную или нет. C_d^{-1} представляет собой величину, обратную C_d или ее аппроксимации, диагональной или нет.

Символ F - это оператор линейного моделирования размером (N_d, N) . В случае линейных обратных задач F представляет прямой оператор (также называемый оператором моделирования) таким образом, что F , умноженный на данный вектор модели, представляет модельные данные, соответствующие данному конкретному вектору модели. В альтернативном варианте осуществления в случае нелинейных обратных задач F представляет линейную аппроксимацию нелинейного прямого оператора/оператора моделирования F . В этом случае F часто называют якобианом.

Звездочка $*$ представляет сопряженное транспонирование или просто транспонирование, если используются только вещественные величины.

Символы Q и Q_p представляют собой матрицы, введенные для стабилизации численной обратной задачи или для ее регуляризации (т.е. для поддержки некоторых типов решений в случае, когда векторы многих различных моделей могут давать аналогичные модельные данные). Типичными вариантами выбора для Q являются $Q=I$ (например, в алгоритме Левенберга-Марквардта), где I представляет собой матрицу тождественного преобразования, $Q=S*S$, где S - оператор производной первого или второго порядка (например, алгоритм Оккама или некоторые типы регуляризации Тихонова), $Q = C_m^{-1} \cdot Q_s$ часто равно Q , но может принимать и другие значения.

Символ λ представляет собой скалярный параметр, который управляет величиной стабилизации или регуляризации. λ_g - также скалярный параметр, как правило, равный λ , но может принимать и другие значения, например нулевое. Эти параметры могут быть фиксированными, или могут изменяться во время итеративного процесса, когда выполняются несколько итераций, или они могут также оцениваться при помощи процесса оптимизации (например, алгоритмов Левенберга-Марквардта или Оккама).

Символ Δm , как правило, представляет собой ноль, когда для оценки p используется единственная итерация. При использовании нескольких итераций он обычно представляет собой вектор параметров, оцененный при предыдущей итерации, или разность между вектором параметров, оцененным при предыдущей итерации, и априорным вектором параметров.

В итеративных алгоритмах предыдущая оценка вектора модели может уточняться путем добавления к этой оценке вектора m уточнения модели, полученного путем решения системы уравнений (1). В альтернативном варианте осуществления к предыдущей оценке вектора модели можно добавить αm , где скалярный параметр α может быть оптимизирован различными методами. Примерами различных методов являются так называемые методы линейного поиска, в которых делается попытка отыскать оптимальное значение α для дальнейшего редуцирования расстояния между данными и модельными данными. В случае применения алгоритма Гаусса-Ньютона, например, можно использовать процедуру линейного поиска. Линейный поиск требует построения нескольких имитационных моделей, при этом можно использовать внутренние "итерации линейного поиска" в дополнение к более общему итеративному процессу. Для линейной инверсии линейный поиск необязателен, поскольку оптимальное значение для параметра "альфа" равно 1 и нет необходимости в его поиске. В случае нелинейной инверсии m интерпретировался бы в качестве "направления поиска", а αm интерпретировалось бы в качестве "уточнения модели". Система обозначений была выбрана таким образом, чтобы охватывать как линейную, так и нелинейную инверсии.

В некоторых ситуациях части величин, только что определенных выше, заменяют величинами, которые проще вычислять. Например, аппроксимация воздействия матрицы на левую часть уравнения (1) может быть приблизительно построена во время итеративного процесса без необходимости вычисления матрицы или ее обращения (например, алгоритмы сопряженных градиентов, BFGS и LBFGS).

Одна общая черта всех алгоритмов, согласно которым необходимо решить систему уравнений, аналогичную (1), заключается в том, что при значительном увеличении размерности вектора модели решение системы может стать невозможным на практике: используемые матрицы могут быть слишком велики для хранения в памяти компьютера или число численных операций может стать слишком большим. Это, например, может иметь место в случае, когда необходимо инвертировать большие трехмерные массивы географических данных.

По этой причине были разработаны способы сжатия модели. Большой вектор модели m заменяют меньшим (или сжатым) вектором m_c размером $(N_c, 1)$, при этом $N_c < N$. Коэффициент сжатия модели может быть определен как $k=N/N_c$. N - размерное пространство исходной модели должно быть связано с N_c - размерным пространством сжатой модели. Это, как правило, выполняется при помощи линейного соотношения (уравнение 2)

$$m = Rm_c \quad (2)$$

Операторы R могут интерпретироваться в качестве интерполяции, если число свободных переменных в векторе модели уменьшено. Иными словами, модель m содержит N значений, но только N_c степеней свободы имеется в N значениях. Если k достаточно велико, оценка N_c параметров вектора m_c выполняется намного проще, чем оценка N параметров вектора m , поскольку матрицы и векторы, используемые в исходной системе уравнений (1), заменяют намного меньшими матрицами и векторами. После того как m_c был вычислен путем решения системы, аналогичной (1), но намного меньшей и более простой для решения, m может быть получен при помощи уравнения (2). В альтернативном варианте осуществления операторы R могут интерпретироваться в качестве преобразования Фурье. После преобразования Фурье может применяться фильтр для отфильтровывания высоко- или низкочастотных компонент, тем самым уменьшая также число свободных переменных. Параметры m_c могут в этом случае интерпретироваться как коэффициенты Фурье и могут дополнительно интерпретироваться как низкочастотные коэффициенты.

Однако вектор параметров m_c , полученный путем сжатия, содержит, очевидно, меньше деталей, чем вектор параметров, непосредственно оцениваемый путем решения исходной системы (1). Выходные данные модели представляют собой интерполированную версию низкоразмерного вектора параметров. Как правило, она выглядит как версия с низким разрешением идеального решения системы уравнений (1).

В способе, раскрытом в настоящем документе, используется преимущество существенного уменьшения требований к памяти и численных операций, допускаемых методами сжатия модели, но при значительно более высоком разрешении. Данный способ эффективен как при линейной инверсии, даже в случае использования единственной итерации, так и при нелинейной инверсии. При итеративной нелинейной инверсии изобретение эффективно даже в случае использования небольшого числа итераций.

Авторы изобретения пришли к заключению, что все описанные выше обратные задачи, которые ориентированы на вычисление вектора m или уточнение модели αm могут быть разбиты на множество L значительно меньших задач с решениями m_i , $i=1, L$ или $\alpha_i m_i$, $i=1, L$. Каждое из этих решений представляет версию с низким разрешением $R_i m_i$ (или $R_i \alpha_i m_i$) решения m (или αm) исходной задачи. Однако решение со значительно лучшим разрешением может быть получено путем суммирования L решений с низким разрешением

$$\hat{m} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L w_i R_i m_i, \quad (3)$$

или в альтернативном варианте

$$\hat{m} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L w_i R_i \alpha_i m_i, \quad (4)$$

где w_i представляет весовые коэффициенты, которые могут быть отличными от 1, если требуется. Веса могут быть заранее заданы или определены, например, методом линейного поиска.

После решения обратных задач меньшего размера и объединения решений вектор размерности N может быть построен как для полной задачи. Хотя полная задача не может быть обращена для многих массивов реальных данных, редуцированные задачи могут быть обращены. Окончательное решение имеет лучшее разрешение, чем отдельные компоненты $R_i m_i$.

L задач с меньшей степенью сжатия необязательно должны иметь одинаковый коэффициент сжатия, а ячейки редкой сетки могут иметь разные формы и размеры для различных моделей. Каждый из операторов R_i может быть различным. Сетка может изменяться случайным или систематическим образом. Ячейкам сетки также может быть придана такая форма, чтобы они соответствовали известным геологическим структурам, таким как сейсмические горизонты. В случаях применения преобразования Фурье коэффициенты Фурье m_i при каждом вычислении могут быть выбраны такими, чтобы соответствовать немного отличающейся части спектра и чтобы при этом комбинация решений охватывала весь спектр соответствующих частот.

Если интерполяция R выполняется между узлами, эти узлы не должны заменяться в прямоугольной или регулярной структуре. Расстояние между соседними узлами может, например, изменяться с глубиной, или соответствовать какой-либо известной структуре, или ограничиваться при решении другой задачи обращения (инверсии) в той же области. Например, задача обращения может представлять собой задачу инверсии CSEM, при этом сетка может быть выбрана таким образом, чтобы соответствовать сейсмическим горизонтам, известным из предшествующих оценок.

Множество меньших сжатых задач необязательно должно быть одним и тем же при каждой итерации (если используется способ итеративной оценки), число и тип меньших задач могут изменяться во время итерационного процесса. Например, можно использовать меньшие коэффициенты сжатия и меньшее число L сжатых задач в ходе выполнения итераций, если это будет сочтено подходящим для конкретной решаемой задачи.

На прилагаемых чертежах показаны различные возможные варианты выбора для множества меньших задач. Изображение сильно упрощено, чтобы облегчить понимание рассматриваемых вопросов. Модели определены на двумерной прямоугольной сетке. Операторы R_i представляют собой простые интерполяторы по методу ближайшего соседа, определенные на равномерно разнесенных узлах. Это означает,

что векторы R_m имеют постоянные значения внутри ячеек редкой прямоугольной сетки, при этом узлы расположены в центре ячеек редкой прямоугольной сетки. Число ячеек густой сетки (представляющее m), содержащихся в ячейках редкой прямоугольной сетки, дает хорошее приближение коэффициента k сжатия. Все ячейки имеют одинаковые размер и форму для всех L сжатых задач обращения, за исключением ребер сетки. Коэффициенты w_i и α_i предполагаются равными 1. Изобретение, конечно, не ограничено этими конкретными упрощенными случаями.

Вместо конкретной задачи геофизики способ иллюстрируется намного более простой задачей. На фиг. 2 показана сетка 11, на которой определена формация с аномалией 12. Предположим, что подлежащий оценке правильный вектор модели, такой как удельная проводимость, имеет равные постоянные значения по всей сетке 11, за исключением одной конкретной ячейки 12, в которой он имеет более высокое значение. На фиг. 3 показана сетка 11 с аномалией 12 вместе с решением на редкой сетке. Решение показано в виде прямоугольника 21, при этом внутри прямоугольника 21 решение имеет постоянное значение, более высокое, чем окружающее значение по остальной части редкой сетки. Аномалия 12 расположена внутри прямоугольника 21, и решение правильно идентифицировало местоположение аномалии, за исключением того, что разрешение намного ниже. Коэффициент сжатия равен 3 в вертикальном направлении и 4 в горизонтальном направлении, то есть 12 в целом. Контрольная точка 22 показана для редкой сетки.

На фиг. 4 показаны элементы фиг. 2 и, кроме того, второе решение второй редкой сетки, которая была сдвинута в горизонтальном и вертикальном направлениях. Сдвиг изображен контрольной точкой 32, которая сдвинута на одну ячейку вправо и на одну ячейку вверх по отношению к контрольной точке 22 с использованием координат густой сетки. Второе решение 31 также сдвинуто вправо и вверх. Как и в предыдущем случае, аномалия определена правильно, но с более низким разрешением.

На фиг. 5 показана сумма двух решений. Решения имеют постоянное значение 42 за пределами аномалий, исключая более высокое значение в областях 21 и 31. Область перекрытия 41 имеет объединенное значение областей 21 и 31. Размер этой области перекрытия 41 меньше, чем размер областей 21 и 31, поэтому разрешение возрастает, хотя оно по-прежнему меньше, чем разрешение сетки на фиг. 2. Очевидно, что комбинация многих решений будет аппроксимировать аномалию на фиг. 2 точно, но без вычислительных затрат полной модели.

Способы, описанные в настоящем документе в качестве примера, касаются нелинейной инверсии данных CSEM, но заявленное изобретение может применяться также и к другим способам. Например, к нелинейной инверсии других типов геофизических данных, таких как магнитотеллурические данные, сейсмические данные, акустические данные, собранные в скважинах, и данные зондирования георадаром. Для сейсмических данных настоящее изобретение может быть применено к так называемой полноволновой инверсии. Способ может также применяться к комплексным инверсиям, где несколько типов данных используются одновременно.

Некоторые общие свойства геологической среды, которые могут быть инвертированы на основе геофизических данных, включают в себя скорость акустической волны, плотности пород формации и текучих сред, акустический импеданс, коэффициент Пуассона, коэффициент сжимаемости породы, жесткость при сдвиге, пористость и насыщенность текучими средами.

Детерминистские методы инверсии основаны на сравнении выходных данных модели геологической среды с наблюдаемыми полевыми данными и непрерывном уточнении параметров модели геологической среды с целью минимизации функции, которая обычно представляет собой некоторую форму разности между выходными данными модели и полевыми наблюдениями. Набор параметров модели, который минимизирует целевую функцию, формирует числовую сейсмограмму, которая наилучшим образом соотносится с собранными полевыми сейсмическими данными. Шаг уточнения также выполняется на сетке, которая может изменяться между итерациями. Стохастические методы инверсии могут также применяться для генерации моделей с ограничениями в том смысле, в каком они используются при моделировании потоков текучих сред в пласте, с применением геостатистических инструментов, таких как кригинг. В отличие от детерминистских методов инверсии, которые генерируют единственный набор параметров, стохастические методы генерируют семейство альтернативных параметров модели геологической среды, все из которых подчиняются ограничению модели.

Хотя настоящее изобретение раскрыто на примере предпочтительных вариантов осуществления, изложенных выше, следует понимать, что эти варианты осуществления являются лишь иллюстративными, и что формула изобретения не ограничена этими вариантами. Специалисты в данной области техники смогут внести модификации и применить альтернативные варианты с учетом данного описания, которые рассматриваются в качестве входящих в объем притязаний формулы изобретения. Каждый признак, раскрытый или проиллюстрированный в настоящем описании, может быть включен в изобретение самостоятельно или в любой соответствующей комбинации с любым другим признаком, раскрытым или проиллюстрированным в нем.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ оценки физического параметра геологической среды путем решения обратной задачи геофизики, содержащий следующее:

преобразуют вектор модели, представляющий указанный физический параметр, при помощи первого оператора для получения первого преобразованного вектора модели;

решают обратную задачу для первого преобразованного вектора модели для обеспечения первого решения;

преобразуют вектор модели при помощи второго оператора для получения второго преобразованного вектора модели, причем второй оператор отличен от первого оператора;

решают обратную задачу для второго преобразованного вектора модели для обеспечения второго решения;

вычисляют взвешенную сумму первого решения и второго решения с получением оценки физического параметра таким образом, что данная взвешенная сумма первого решения и второго решения минимизирует расстояние между серией измеренных геофизических данных и имитационной моделью серии измеренных геофизических данных, причем имитационная модель зависит от вектора модели.

2. Способ по п.1, в котором преобразование вектора модели при помощи первого оператора включает в себя уменьшение числа свободных параметров в обратной задаче в соответствии с первым коэффициентом сжатия, при этом преобразование вектора модели при помощи второго оператора включает в себя уменьшение числа свободных параметров в обратной задаче в соответствии со вторым коэффициентом сжатия, причем второй коэффициент сжатия отличен от первого коэффициента сжатия.

3. Способ по п.1, в котором преобразование вектора модели при помощи первого оператора включает в себя применение первого преобразования Фурье к вектору модели, при этом преобразование вектора модели при помощи второго оператора включает в себя применение второго преобразования Фурье к вектору модели, причем второе преобразование Фурье отлично от первого преобразования Фурье.

4. Способ по п.3, в котором преобразование вектора модели при помощи первого оператора или второго оператора дополнительно включает в себя применение фильтра.

5. Способ по п.2, в котором уменьшение числа свободных параметров в обратной задаче включает в себя следующее: интерполируют вектор модели, определенный на густой сетке, для получения первого преобразованного вектора модели, определенного на первой редкой сетке, причем разрешение первой редкой сетки ниже, чем разрешение густой сетки, и интерполируют вектор модели, определенный на густой сетке, для получения второго преобразованного вектора модели, определенного на второй редкой сетке, причем разрешение второй редкой сетки ниже, чем разрешение густой сетки.

6. Способ по п.5, в котором редкая сетка является равномерной или неравномерной.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором редкая сетка зависит от предварительных знаний о физическом строении формации.

8. Способ по п.5, в котором первая редкая сетка сдвинута относительно второй редкой сетки.

9. Способ по п.1, в котором серия измеренных геофизических данных является одним из серии сейсмических, электрических, магнитных или гравиметрических измерений.

10. Способ по любому из пп.1-9, в котором вектор модели включает в себя уточнение модели в способе итеративной инверсии.

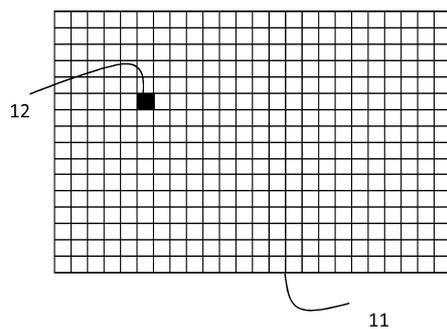
11. Способ по п.10, в котором минимальное расстояние оценивают при помощи линейного поиска.

12. Способ по п.1, в котором задача инверсии является линейной или нелинейной задачей инверсии.

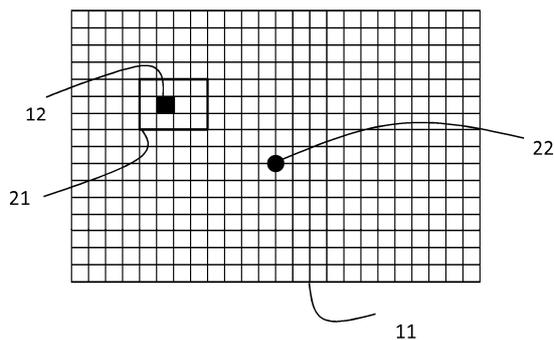
13. Компьютерная система для оценки физического параметра формации геологической среды, выполненная с возможностью реализации способа по любому из пп.1-12.



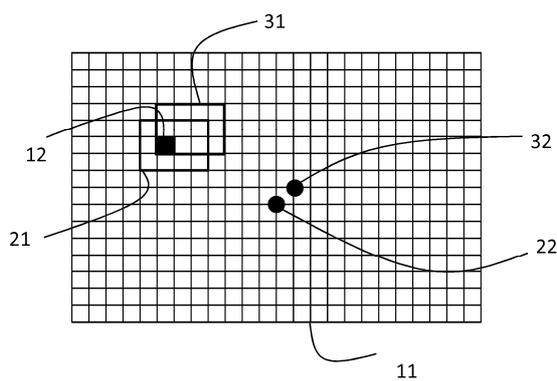
Фиг. 1



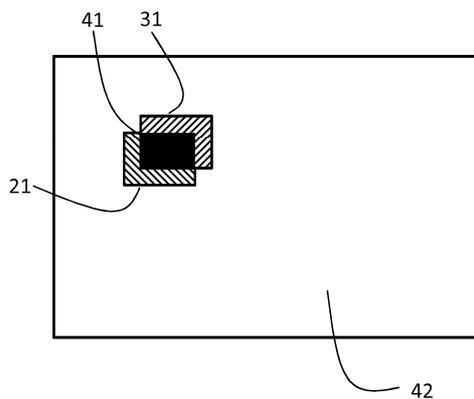
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5