

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038623**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.09.23**

(21) Номер заявки  
**201790635**

(22) Дата подачи заявки  
**2014.09.25**

(51) Int. Cl. *E21B 43/12* (2006.01)  
*G01F 7/00* (2006.01)  
*C10G 1/00* (2006.01)

(54) **ДОБЫЧА УГЛЕВОДОРОДОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТРИЧЕСКОГО СЧЕТЧИКА**(43) **2017.08.31**(86) **PCT/FR2014/052417**(87) **WO 2016/046454 2016.03.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ТОТАЛЬ С.А. (FR)**

(72) Изобретатель:  
**Кудруа Сесиль, Купу Жан Поль,  
Колье Рено, Арендо Венсан (FR)**

(74) Представитель:  
**Харин А.В., Буре Н.Н. (RU)**

(56) "Data Reconciliation in Flow Data Reconciliation in Flow Measurement Measurement Contents", 9 June 2010 (2010-06-09), XP055193972, Retrieved from the Internet: URL: [http://www.tuvnel.com/\\_x901bm/OGF\\_G\\_Data\\_Reconciliation\\_in\\_Flow\\_Measurement.pdf](http://www.tuvnel.com/_x901bm/OGF_G_Data_Reconciliation_in_Flow_Measurement.pdf) [retrieved on 2015-06-05], pages 4, 11, pages 14-18  
WO-A1-2007116008

S. R. Den Bleker: "AES/PE/14-11 Definition and evaluation of production test validation

methods Applied to Vx multiphase flow meters", 22 August 2014 (2014-08-22), pages 1-64, XP055193793, Retrieved from the Internet: URL: [http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:d68612c6-42ef-45a9-b3e2-bf54a2fcb745/DenBleker\\_Thesis\\_Final.pdf](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:d68612c6-42ef-45a9-b3e2-bf54a2fcb745/DenBleker_Thesis_Final.pdf) [retrieved on 2015-06-04], page 12; figures 3.3, 3.4 3.5 Conclusion; page 15

WO-A1-2008104750

Anton Petukov ET AL.: "SPE 144197 Virtual Metering System Application in the Ceiba Field, Offshore Equatorial Guinea", April 2011 (2011-04), pages 1-21, XP055194040, Retrieved from the Internet: URL: <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-144197-MS?id=conference-paper/SPE-144197-MS> [retrieved on 2015-06-05], abstract

Aymeric Preveral ET AL.: "SPE 167844 Geographically-Distributed Databases: A Big Data Technology for Production Analysis in the Oil & Gas Industry", April 2014 (2014-04), pages 1-9, XP055194041, Retrieved from the Internet: URL: <http://cas.ensmp.fr/petit/papers/spe14/main.pdf> [retrieved on 2015-06-05], abstract

(57) В изобретении заявлен способ добычи углеводородов на линии установки для добычи углеводородов, содержащей по меньшей мере два устройства, выполненных каждое с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе соответствующих данных. Устройства содержат по меньшей мере один метрический счетчик, при этом данные, относящиеся к предоставлению оценки расхода с помощью метрического счетчика, включают в себя измерение, выполненное по меньшей мере одним датчиком метрического счетчика в отношении текучей среды. Во время добычи способ содержит определение (S10) данных, относящихся к предоставлению оценки расхода устройствами, и процесс (S20) DVR, действующий определенные данные, при этом согласование обусловлено равенством, по меньшей мере, по существу между оценками расхода текучей среды. Способ обеспечивает улучшенное решение для оценки расхода текучей среды в линии установки для добычи углеводородов во время добычи.

**B1****038623****038623****B1**

Настоящее изобретение относится к области добычи углеводородов, в частности к способу добычи углеводородов на линии установки для добычи углеводородов, содержащей по меньшей мере два устройства, выполненных каждое с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии, по меньшей мере с одним метрическим счетчиком.

Установки для добычи углеводородов содержат линии, в которых текут текучие среды. Они могут представлять собой линии добычи, содержащие добывающую скважину, в которых углеводороды текут из углеводородного резервуара к устью скважины. Они также могут представлять собой нагнетательные линии, содержащие нагнетательную скважину, в которых текут нагнетаемые текучие среды, т.е. текучие среды, которые необходимо закачивать в резервуар, например смесь воды с полимерами (в частности в контексте принудительной добычи).

Обычной практикой сегодня является стремление получить оценку расхода текучей среды, текущей в такой линии. В самом деле, выполняемая известным образом оценка расхода позволяет лучше управлять линией. Таким образом, обеспечивается лучший контроль или более полная информация об общей добыче установки благодаря оценке, потенциально в осуществляемой для каждой линии, как правило, в режиме реального времени и полинейно.

Один из подходов состоит в поиске оценки расхода текучей среды посредством устройства и на основе данных, относящихся к этому устройству, используя термодинамическую модель, предназначенную для этой цели, при этом устройство (интегрированное в линию) и соответствующие данные изначально не предназначены для этой цели. Так получается "виртуальный" счетчик. В этом контексте некоторые решения используют несколько моделей данного типа на основе данных, относящихся к различным устройствам, причем каждая модель теоретически дает различную оценку расхода для эквивалентных заданных условий добычи (например, фракции газа/нефти/воды). Обычно выбирают максимум две или три модели и корректируют данные, относящиеся к условиям добычи (фракция воды/нефти/газа) так, чтобы оценки расхода были сходными. Этот подход не является полностью удовлетворительным, поскольку получаемая оценка расхода не достаточно близка к фактическому расходу.

Другой подход состоит в использовании метрического счетчика, расположенного в линии, для которой требуется определить расход. Метрические счетчики - это устройства, приспособленные для проведения измерения в текучей среде, текущей в линии и непосредственного предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе (по меньшей мере) этого измерения. Известные метрические счетчики также используют значение по меньшей мере одного параметра, обычно называемого "параметром калибровки". С этой целью метрический счетчик может, в частности, выполнять одно или несколько физических измерений (например, электрические, ядерные и/или оптические, например, измерения диэлектрической проницаемости, проводимости и/или гамма-поглощения). Такой метрический счетчик может, по различным причинам, предоставлять оценку, которая не является полностью удовлетворительной. Например, параметрам калибровки необходимо присваивать как можно более точное значение, поскольку в противном случае оценка расхода текучей среды в линии, предоставляемая метрическим счетчиком, может оказаться слишком далекой от реальности и поэтому непригодной. Это особенно справедливо при использовании счетчиков факельных газов или фискальных счетчиков, для которых в особенности важно получить оценку, близкую к реальности. Однако параметр калибровки часто может быть ошибочным, например, из-за дрейфа датчиков.

Настоящее изобретение направлено на создание простого в осуществлении решения для как можно более точной оценки расхода текучей среды во время добычи в линии установки для добычи углеводородов.

В этой связи согласно настоящему изобретению предлагается способ добычи углеводородов на линии установки для добычи углеводородов, содержащей по меньшей мере два устройства, выполненных каждое с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе соответствующих данных. Устройства содержат по меньшей мере один метрический счетчик, при этом данные, относящиеся к предоставлению оценки расхода метрическим счетчиком, включают в себя измерение, выполненное по меньшей мере одним датчиком метрического счетчика в отношении текучей среды. Во время добычи способ содержит определение данных, относящихся к предоставлению оценки расхода устройствами, и процесс согласования и валидации данных, задействующий определенные данные, при этом согласование обусловлено равенством, по меньшей мере по существу, между оценками расхода текучей среды, предоставляемыми каждым из устройств.

Согласно изобретению предлагается также устройство хранения данных с записанной на нем компьютерной программой, содержащей команды для осуществления способа.

Согласно изобретению предлагается также система, предназначенная для коммуникации с по меньшей мере двумя устройствами, выполненными каждое с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии добычи углеводородов на основе соответствующих данных, причем устройства содержат по меньшей мере один метрический счетчик, при этом данные, относящиеся к предоставлению оценки расхода метрическим счетчиком, включают в себя измерение, выполненное по меньшей мере одним датчиком метрического счетчика в отношении текучей среды, причем система содержит устройство хранения данных с записанной на нем программой.

Согласно изобретению предлагается также установка для добычи углеводородов. Установка содержит линию, содержащую по меньшей мере два устройства, выполненных каждое с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии добычи углеводородов на основе соответствующих данных, причем устройства содержат по меньшей мере один метрический счетчик, при этом данные, относящиеся к предоставлению оценки расхода метрическим счетчиком, включают в себя измерение, выполненное по меньшей мере одним датчиком метрического счетчика в отношении текучей среды. Установка также содержит систему, предназначенную для коммуникации с устройствами линии.

Согласно предпочтительным вариантам осуществления изобретение содержит один или более из следующих признаков:

процесс согласования и валидации данных минимизирует функцию стоимости, штрафующую для каждого согласованного данного разницу между его значением до согласования и его согласованным значением;

упомянутая разница взвешивается в функции стоимости с использованием неопределенности, относящейся к упомянутому согласованному данному;

способ дополнительно содержит выявление любого согласованного данного, для которого разница между его значением до согласования и его согласованным значением превышает пороговое значение, зависящее от неопределенности, относящейся к этому согласованному данному;

способ содержит повторение процесса согласования и валидации данных, с удалением согласованного данного с наибольшим весом в значении функции стоимости до тех пор, пока значение функции стоимости превышает заданное пороговое значение;

способ дополнительно содержит предоставление согласованного значения расхода текучей среды в линии;

способ дополнительно содержит предоставление неопределенности, относящейся к согласованному значению расхода текучей среды в линии в зависимости от разности между его значением до согласования и его согласованным значением;

помимо метрического счетчика устройства содержат по меньшей мере один штуцер, устройство, связанное с приточным модулем, и/или трубу;

измерение, выполненное датчиком метрического счетчика в отношении текучей среды, представляет собой электрическое, ядерное и/или оптическое измерение;

штуцер выполнен с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе открытия клапана и измерения, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текучей среды, дающей потери давления, связанные с открытием клапана;

устройство, связанное с приточным модулем, выполнено с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе измерения давления, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текучей среды, и физико-химических свойств текучей среды; и/или

труба выполнена с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе геометрических и/или механических свойств трубы и измерения, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текучей среды, дающей потери давления, связанные с геометрическими и/или механическими свойствами трубы.

Другие признаки и преимущества изобретения будут понятны по прочтении нижеследующего описания примера предпочтительного варианта осуществления изобретения, рассмотренного со ссылками на прилагаемые чертежи.

На фиг. 1 дано схематическое представление способа.

На фиг. 2-3 показана работа одного примерного метрического счетчика.

На фиг. 4 дано схематическое представление одного варианта установки для добычи углеводородов.

На фиг. 5 показан пример линии, на которой способ может быть осуществлен.

Фиг. 1 показывает способ добычи углеводородов. Этапы способа выполняются на линии установки для добычи углеводородов, содержащей по меньшей мере два устройства. Каждое из устройств приспособлено для предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе соответствующих данных. Устройства содержат по меньшей мере один метрический счетчик. Данные, относящиеся к предоставлению оценки расхода метрическим счетчиком, включают в себя измерение, выполненное по меньшей мере одним датчиком метрического счетчика в отношении текучей среды. Во время добычи способ содержит определение S10 данных, относящихся к предоставлению оценки расхода устройствами, и процесс S20 согласования и валидации данных (DVR). Процесс DVR задействует определенные данные, при этом согласование обусловлено равенством, по меньшей мере по существу, между оценками расхода текучей среды, предоставляемыми каждым из устройств. Способ с фиг. 1 позволяет легко и относительно точно оценивать расход текучей среды в линии (т.е. с результатом, относительно близким к фактическому значению расхода).

Практически способ соответствует случаю, когда линия установки для добычи углеводородов, в которой течет текучая среда, расход которой должен быть оценен, содержит метрический счетчик. Выражение "метрический счетчик", понятное специалисту в данной области техники, относится к вышеупомянутым устройствам. Таким образом, для предоставления оценки расхода метрический счетчик может,

в частности, выполнять одно или несколько физических измерений в отношении текучей среды (например, электрические, ядерные и/или оптические измерения, например измерения диэлектрической проницаемости, проводимости и/или гамма-поглощения), при этом счетчик может использовать предварительно определенные значения параметров калибровки и/или предварительно определенные гипотетические условия текучей среды. Таким образом, способ уже имеет относительно хорошую оценку расхода. Однако способ идет дальше, поскольку для улучшения оценки он учитывает по меньшей мере еще одно устройство линии, приспособленное для предоставления оценки расхода текучей среды. В частности, он реализует процесс DVR, в котором согласование обусловлено равенством, по меньшей мере по существу, между оценками расхода текучей среды, предоставляемыми каждым из устройств (включая метрический счетчик). Таким образом, для улучшения оценки способ использует избыточное количество информации, предоставляемой несколькими устройствами. Кроме того, поскольку процесс DVR задействует данные, которые относятся к предоставлению оценки каждым устройством (не только с предоставленными оценками), данные проверяются непосредственно, что позволяет получить более точную оценку. Эти данные могут включать в себя измерения, которые улучшают оценку, будучи поставлены под сомнение. В частности, измерение, выполненное датчиком метрического счетчика, также ставится под сомнение в процессе DVR, в отличие от простого подхода, в котором значение расхода, предоставляемое метрическим счетчиком, будет единственным данным, включенным в процесс DVR.

Таким образом, для совершенствования добычи оценка расхода, выполненная посредством способа, может быть реализована в более общем способе добычи углеводородов, причем добыча осуществляется установкой для добычи углеводородов, включающей в себя линию. Способ может, например, содержать передачу, например, в хранилище данных, согласованного значения расхода текучей среды в линии, т.е. значения, соответствующего оценкам расхода, предоставленным различными устройствами, после того как соответствующие данные согласованы (например, среднее значение), исходя из того, что эти оценки, по меньшей мере по существу, равны по определению самого процесса согласования. Это дает возможность специалистам изучать добычу с учетом согласованного значения. Способ может также содержать предоставление неопределенности, относящейся к согласованному значению расхода текучей среды в линии. Эта неопределенность может зависеть от разницы между значением расхода до согласования и согласованным значением расхода. Значение до согласования может быть значением, предоставленным метрическим счетчиком, без учета согласования. Альтернативно, значение до согласования может относиться к вектору, составленному из каждого из значений расхода, предоставленных соответствующим устройством, без согласования (эта оценка без согласования, и потому относительно ошибочная, может быть вычислена параллельно с согласованным значением, полученным из процесса DVR). Таким образом, способ может предоставлять неопределенность посредством устройства, предоставляющего соответствующую оценку, на основе разности между значением до согласования, выполняемого устройством, и согласованным значением. Это позволяет выявлять устройства, дающие наименее точные оценки, например, с помощью обычных сравнений между различными выдаваемыми значениями. Таким образом, способ с фиг. 1 позволяет усовершенствовать управление линией, установкой и, тем самым, добычей.

Как пояснено выше, оценка расхода в линии установки для добычи углеводородов, в частности, за счет интеграции метрического счетчика в линии, позволяет усовершенствовать управление линией, улучшить контроль или представление об общей добыче установки и/или количества закачиваемых текучих сред, например, в режиме реального времени и/или полинейно. Тем самым способ с фиг. 1 позволяет усовершенствовать оценки, предоставленные для каждой линии, на которой он реализуется, что улучшает общее управление добычей. Таким образом, способ может быть реализован во время добычи на нескольких линиях, будь то нагнетательные линии и/или линии добычи, при этом этапы S10 и S20 выполняются для каждой линии независимо от других линий, как правило, непрерывно. Оценки расхода, предоставленные для каждой линии после согласования, могут быть затем централизованы для управления добычей.

Текучая среда, текущая в линии, может иметь одну фазу; в этом случае оценка расхода текучей среды в линии просто состоит в предоставлении значения для расхода единственной фазы текучей среды. Как правило, это относится к нагнетательной линии. Эта оценка может быть выполнена счетчиком на основе любой модели, использующей измерение в текучей среде по меньшей мере одним датчиком счетчика. Модель может дополнительно задействовать значение по меньшей мере одного параметра калибровки, соответствующего измерению датчика при предварительно определенном состоянии потока текучей среды в линии (например, предварительно определенный расход или скорость потока).

Альтернативно, текучая среда, текущая в линии, может иметь несколько фаз. Как правило, это относится к линии добычи, поскольку добываемые углеводороды обычно содержат водяную фазу, газовую фазу и нефтяную фазу. В этом случае оценка расхода текучей среды в линии может состоять в предоставлении информации, позволяющей определить расход для каждой фазы. Эта информация может непосредственно включать в себя оценку расхода каждой фазы и/или оценку фракции (например, моментальную) каждой фазы в многофазной текучей среде в дополнение к суммарному расходу (например, моментальному) многофазной смеси в линии. Во втором случае достаточно просто умножить фракцию соот-

ветствующей фазы и суммарный расход, чтобы получить расход соответствующей фазы. В случае многофазной текучей среды метрический счетчик называется многофазным расходомером (MPFM). Это может быть, например, датчик массового расхода или анализатор. Такой счетчик задействует сложные технологии, а измерения, которые делает датчик (датчики), включенный в такой счетчик, в особенности очень чувствительны к свойствам текучих сред.

Соответственно, счетчик часто не использует корректные параметры калибровки и/или некоторые датчики могут дрейфовать быстрее, чем ожидалось, в результате чего счетчик предоставляет относительно неточное значение расхода текучей среды. Способ с фиг. 1 позволяет нейтрализовать эту проблему.

Счетчик, в частности, может работать, используя следующий принцип, описанный со ссылкой на фиг. 2-4.

Датчик метрического счетчика может быть традиционным гамма-датчиком, посылающим волны через текучую среду у датчика и измеряющим поглощение волны веществом. Датчик может быть приспособлен для испускания нескольких уровней энергии, чтобы обеспечить возможность достаточной перекрестной проверки информации для многофазной текучей среды. Далее  $\alpha$  означает линейное поглощение в  $m^{-1}$ ,  $\mu$  означает поглощение веществом в  $m^2/kg$  и  $\rho$  означает объемную плотность в  $kg/m^3$ . По определению  $\alpha = \mu \cdot \rho$ . Поглощение веществом  $\mu$  зависит от состава и уровня энергии гамма-излучения.

Для углеводородной текучей среды в приведенном выше примере (водяная фаза, нефтяная фаза и газовая фаза) достаточно, чтобы датчик был способен выполнять по меньшей мере два измерения (например, соответствующие двум различным уровням энергии). Эти измерения затем являются частью данных, задействованных в процессе DVR способа с фиг. 1. По традиции, имеют место низкий уровень энергии и высокий (или средний) уровень энергии, имеющие соответственно индексы 1 и 2 в обозначениях ниже. Параметры калибровки тогда включают в себя значение поглощения для каждой чистой фазы в расчете на уровень энергии, которые могут быть обозначены как  $\mu_{gas\_1}$ ,  $\mu_{gas\_2}$ ,  $\mu_{oil\_1}$ ,  $\mu_{oil\_2}$ ,  $\mu_{water\_1}$  и  $\mu_{water\_2}$ , при этом они также могут быть задействованы в процессе DVR. Таким образом,  $\mu_{ph\_i}$  есть поглощение веществом  $\mu$ , измеренное датчиком для уровня энергии  $i$ , при наличии только фазы  $ph$ .

Следует отметить, что если для некоторой установки для добычи углеводородов засоление скважин отличается от скважины к скважине, то в этом случае эти параметры могут меняться. И наоборот, две скважины с одинаковым засолением должны иметь одинаковые значения поглощения для воды для одной и той же установки добычи. Кроме того, следует отметить, что фактически датчик может также измерять третий уровень энергии, например, еще более высокий, чем два других. На таком уровне энергии и вообще на особенно высоких уровнях энергии (например,  $N > 250-300$  кэВ) различные соединения поглощают, по существу, одинаковое количество энергии (это может отражаться тем фактом, что поглощения веществом примерно одинаковы на этом уровне энергии). Однако счетчик может использовать эту энергию для валидации своей оценки расхода текучей среды и/или фракций воды, нефти и газа, предоставленной на основе двух других уровней энергии, предпочтительно с высокой неопределенностью. Также можно связать измерение, выполненное для этого третьего уровня энергии, с плотностью смеси с помощью линии, полученной после калибровки.

Благодаря знанию параметров  $\mu_{gas\_1}$ ,  $\mu_{gas\_2}$ ,  $\mu_{oil\_1}$ ,  $\mu_{oil\_2}$ ,  $\mu_{water\_1}$  и  $\mu_{water\_2}$ , можно описать так называемый "треугольник калибровки", основанный на следующих шести значениях:

$$\alpha_{gas\_1} = \mu_{gas\_1} * \rho_{gas}$$

$$\alpha_{gas\_2} = \mu_{gas\_2} * \rho_{gas}$$

$$\alpha_{oil\_1} = \mu_{oil\_1} * \rho_{oil}$$

$$\alpha_{oil\_2} = \mu_{oil\_2} * \rho_{oil}$$

$$\alpha_{water\_1} = \mu_{water\_1} * \rho_{oil}$$

$$\alpha_{water\_2} = \mu_{water\_2} * \rho_{oil}$$

Объемные плотности  $\rho$  есть переменные, зависящие от значений давления  $P$  и температуры  $T$  линии, где работает счетчик, и состава текучей среды, информация, которая также предоставлена (например, путем измерения, выполненного специальными датчиками, например другими устройствами, например одним или несколькими из тех, что приспособлены для предоставления другой оценки расхода, в частности, например, для  $P$  и  $T$ , или посредством предварительно определенного значения, в частности, например, для "отношения газ/нефть" (GOR) углеводородов, за исключением воды - и/или засоления, которые являются предварительно определенными гипотетическими условиями текучей среды), и по-

этому известны метрическому счетчику, который поэтому может вычислить из них объемные плотности  $\rho$ . Таким образом, если рабочие условия  $P$  и  $T$  меняются и/или меняется состав текучей среды (GOR, засоление), треугольник калибровки также меняется, так как меняются плотности газа, нефти и воды. Линейные поглощения поэтому также меняются. В этом смысле объемные плотности являются параметрами калибровки, которые, в частности, соответствуют предварительно определенным гипотетическим условиям текучей среды (GOR и засоление). Некоторые или все эти данные могут также быть частью данных, задействованных в процессе DVR. На фиг. 2 схематично показан треугольник 20 калибровки, соответствующий такой калибровке, с координатными вершинами  $(\alpha_{gas\_1}, \alpha_{gas\_2})$ ,  $(\alpha_{oil\_1}, \alpha_{oil\_2})$  и  $(\alpha_{water\_1}, \alpha_{water\_2})$ , которые соответствуют, таким образом, шести значениям, перечисленным выше.

На фиг. 3 показан пример счетчика: счетчик 30. Для выполнения калибровки счетчик 30 может получать выборку 34 каждой из фаз. Затем на этапе S20 счетчиком 30 используется датчик 32, предусмотренный с этой целью для измерения поглощения веществом каждой из фаз, что позволяет определить S30 параметры калибровки (т.е. сами линейные поглощения и/или поглощения веществом, в зависимости от выбранной точки наблюдения, исходя из того, что одни или другие из этих данных могут быть сохранены счетчиком в качестве параметра калибровки, при условии последующего выполнения соответствующего вычисления). Во время использования счетчик 30 измеряет поглощение веществом текучей среды (которая здесь является многофазной смесью). Детектор датчика 32 измеряет и сохраняет "подсчеты" Ncounts для каждого уровня энергии (по меньшей мере "низкий" 1 и "высокий" 2 уровни и, возможно, также еще более высокий уровень).

С помощью следующих уравнений:

$$N_{counts}^i = N_0^i * decay * exp [-(X_{water} * \mu_{water-i} * \rho_{water} + X_{gas} * \mu_{gas-i} * \rho_{gas} + X_{oil} * \mu_{oil-i} * \rho_{oil}) * Dthroat]$$

для  $i = 1, 2$ , и

$$X_{water} + X_{gas} + X_{oil} = 1,$$

где  $X_{water}$ ,  $X_{gas}$  и  $X_{oil}$  обозначают фракции каждой из фаз, причем объемные плотности  $\rho$  предварительно определены и заданы составом и термодинамикой,  $N_0^i$ ,  $decay$  и  $Dthroat$  известны (где  $N_0^i$  - нулевое количество подсчетов и, таким образом, поглощения,  $decay$  - значение, учитывающее ослабление источника,  $Dthroat$  - диаметр сопла Вентури), счетчик 30 может определять моментальные фракции каждой из фаз.

Для осуществления способа может быть использована компьютерная программа. Известным в компьютерной технике способом эта программа может быть сохранена в запоминающем устройстве хранения данных и может содержать команды для осуществления способа, в частности этапов S10 и S20. Таким образом, любая компьютерная система может содержать запоминающее устройство, имеющее сохраненную программу. Во всех случаях компьютерная программа используется для управления выполнением способа системой, предназначенной для этой цели. Система (которая может быть одним из упомянутых устройств, например, метрическим счетчиком) пригодна для коммуникации с (другими) устройствами, пригодными для предоставления оценки расхода, чьи оценки согласуются, потенциально включая метрический счетчик. Известным в компьютерной технике способом эта программа может быть сохранена в запоминающем устройстве хранения данных и может содержать команды. Таким образом, компьютерная программа хранится в запоминающем устройстве метрического счетчика или запоминающем устройстве другой системы, пригодной для коммуникации, в частности, с метрическим счетчиком. Система в общем случае может содержать процессор и приемопередатчик для дистанционной коммуникации. Компьютерная программа может содержать команды любого типа, известные для вычислений. Эти команды могут быть строками кода, написанными на машинном языке, например, объектно-ориентированном, возможно в виде исходного кода, компилированного кода или предкомпилированного кода. Она может также задействовать программу установки (т.е. обеспечивать пригодность метрического счетчика или системы для осуществления способа или для управления его выполнением). Программа может быть реально сохранена в запоминающем устройстве, пригодном для этой цели. Может быть задействовано энергозависимое или энергонезависимое запоминающее устройство, например, стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (EPROM), электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (EEPROM), флэш-память или CD-ROM.

На фиг. 4 показан пример установки для добычи углеводородов, содержащей несколько метрических счетчиков, в которых способ может быть реализован.

Установка 60 содержит линию добычи углеводородов, состоящую из нескольких труб, в которых протекает текучая среда, при этом каждая из труб образует соответствующую (суб) линию добычи. Линия добычи, в частности, содержит несколько добывающих скважин 78 текучей среды, выходящих из углеводородного резервуара 66. На чертеже показаны три добывающие скважины 78, однако может быть использовано любое количество, пригодное для оптимального покрытия резервуара 66, с учетом геологической сложности резервуара, качества текучих сред, имеющихся в резервуаре, географического рас-

положения резервуара (на суше, в море, в очень глубоком море) и естественных ограничений. Линия добычи содержит трубу 74 текучей среды, в которую текучая среда подается с помощью манифольда 40. Добывающая труба 74 текучей среды представляет собой главный трубопровод, принимающий текучую среду из всех добывающих скважин 78, пробуренных в резервуаре 66, через манифольд (в данном случае манифольд 40), действуя в качестве объединителя. Добывающая труба 74 текучей среды расположена на морском дне 64 и обеспечивает подачу на водоотделительную колонну 72 (т.е., по существу вертикальную трубу), ведущую к главной станции, например, в рассматриваемом случае на платформу 68 для добычи, хранения и отгрузки нефти (FPSO), расположенную на морской поверхности 62. Установка 60 также содержит нагнетательную линию, содержащую несколько нагнетательных скважин 79 и работающую по принципу, симметричному по отношению к принципу линии добычи.

Установка 60 также включает в себя (т.е. содержит) метрический счетчик 50, как описано выше, для каждой добывающей скважины 78 и каждой нагнетательной скважины 79. Метрический счетчик 50 показан на чертеже выше по потоку от устьев 44 скважины, в каждом случае на трубе линии, однако он может находиться в любом другом подходящем месте, как понятно специалисту в данной области техники. Кроме того, установка 60 может содержать некоторое количество метрических счетчиков 50, меньшее или большее, чем показано на чертеже, в зависимости от эксплуатационных требований. Установка 60 также содержит другие устройства 52, расположенные на разных линиях в любом месте, соответствующем их функции (здесь не описывается), каждое из которых пригодно для предоставления оценки расхода в линии, в которой оно установлено, в дополнение к его функции. Во всех случаях установка 60 пригодна для осуществления способа с фиг. 1, по меньшей мере на некоторых линиях, содержащих метрический счетчик 50, либо с помощью самих метрических счетчиков 50, которые в этом случае содержат программу, содержащую команды для этой цели, и пригодны для коммуникации с устройствами 52, либо с помощью системы, пригодной для коммуникации с метрическими счетчиками 50 и устройствами 52. Установка 60 позволяет улучшить добычу углеводородов благодаря эффективной последующей оценке расходов потока.

Далее описывается процесс S20 DVR.

Процесс согласования и валидации данных (DVR) задействует данные, определенные на этапе S10. Это означает, что процесс DVR подвергает все эти данные сомнению. Действительно, данные, "задействованные" в процессе DVR, по определению являются переменными процесса DVR. Согласование обуславливается равенством (например, по меньшей мере по существу, т.е. с разницей, которая меньше предварительно определенной ошибки или равна нулю) между оценками расхода текучей среды, предоставляемыми каждым из устройств. Другими словами, DVR выполняется на основе базового гипотетического условия, что оценки расхода текучей среды, предоставляемые каждым из устройств (независимо друг от друга, т.е. вне любого согласования), должны быть равными.

DVR - это известный процесс, позволяющий предоставлять входные значения (т.е. задействованные данные, например, соответствующие измерения с устройств, включая измерение датчиком метрического счетчика, и в итоге согласованные процессом) и модифицировать эти значения на основе предварительно определенных интервалов неопределенности и предварительно определенных ограничений, чтобы соответствовать одному или нескольким условиям, прямо или косвенно включающих данные значения. Это может быть эффективно выполнено путем минимизации функции стоимости, которая для каждого согласованного данного штрафует разницу между его значением до согласования и его согласованным значением; Кроме того, для большей точности использования DVR эта разность может быть взвешена в функции стоимости с использованием неопределенности, относящейся к упомянутому согласованному данному. Чем больше эта неопределенность, тем меньше штраф, связанный с разницей между значением до согласования и согласованным значением, так как эта разница теоретически более "ожидается". Эта неопределенность может быть определена любым способом, например, на основе заранее определенной информации, например, от геолога. Таким образом, учитываются особенности, относящиеся к каждому из данных, задействованные в процессе DVR.

Таким образом, процесс DVR в целом может состоять из решения следующей программы минимизации:

$$\text{Min} \sum_i \left( \frac{k_i^* - k_i}{e_i} \right)^2$$

где  $k_i$  - данные, задействованные в процессе (т.е. сверяемые данные),

$e_i$  - неопределенность данного  $i$ ,

$k_i^*$  - согласованное значение данного  $i$ ,

$e_i^*$  - согласованная неопределенность данного  $i$ ,

$u_j$  - неизмеренные переменные  $i$ , следовательно, например, вычисленные,

и член  $\left( \frac{k_i^* - k_i}{e_i} \right)^2$  называется "штрафным",

с учетом упомянутого выше ограничения и связи переменных  $k_i$  и  $u_j$ .

Действительно, способ выполняет DVR для "уравнивания" определенных значений. В частности,

теоретически предполагается, что данные, определенные на этапе S10, дают одинаковый результат оценки для расхода текущей среды для каждого соответствующего устройства. Таким образом, сумма штрафных членов минимизируется, по меньшей мере, по существу, с учетом этого ограничения уравнивания. Кроме того, способ DVR может содержать одно или несколько ограничений неравенства типа  $G(k_i^*, y_j) > 0$ , которое, например, соответствует границам системы (например, тот факт, что давление должно быть больше 0, что отношение, такое как обводненность, должно быть ниже 1). Это позволяет уменьшить риск нереалистичного согласования.

В одном примере описанное решение может учитывать все моделированные измерения, модели и параметры системы и принимать во внимание их соответствующие неопределенности, чтобы осуществить единственную оценку каждого измерения или каждого вычисляемого параметра с помощью вычисленной неопределенности, гарантирующей качество конечного значения. Избыточность измерений является в этом случае ключевым фактором. Согласование нескольких моделей и измерений представляет собой своего рода усовершенствованный виртуальный счетчик. Чтобы исключить ошибки интерпретации компьютерами, используемыми в большинстве счетчиков, способ использует неверные измерения от каждого счетчика и четко определенные уравнения, которые согласуют с другими данными системы. С этой целью используется принцип DVR: идея DVR заключается в использовании избыточности данных из системы в качестве источника информации для корректировки измерений. Каждое измерение корректируется в минимально возможной степени, так что скорректированные значения удовлетворяют всем ограничениям процесса. Заявленный способ работает в основном в стационарном режиме. Однако некоторые переходные состояния вследствие операций могут быть выявлены автоматически (например, запуск скважины), и тогда либо измерения и модели, на которые влияют эти состояния, удаляются из согласования, либо увеличиваются связанные неопределенности, чтобы оптимизатор понимал, что эти данные не находятся в их типичном диапазоне точности. Наконец, в одном примере используемый принцип DVR управляет временами удержания добываемых текучих сред в случае длинных линий: тем самым расходы при поверхностной обработке в момент времени  $t$  будут согласованы с расходами в скважинах, например, в момент времени  $t - 2$  ч. Другими словами, в одном примере способ может гарантировать, что все данные, определенные на этапе S10 и, следовательно, задействованные на этапе S20, относятся к предоставлению различных оценок расхода, и эти различные оценки имеют отношение к расходу в один и тот же момент времени.

Способ может содержать выявление любого согласованного данного, для которого разница между его значением до согласования и его согласованным значением превышает пороговое значение, зависящее от неопределенности, относящейся к этому согласованному данному. Таким образом, способ выявляет данные, определенные на этапе S10, которые слишком удалены от их согласованного значения, причем эта удаленность рассматривается на основе неопределенности, относящейся к упомянутому данному. Процесс DVR затем может быть повторен на этапе S20 с удалением (каждый раз) согласованного данного с наибольшим весом в значении функции стоимости. Это повторение может выполняться до тех пор, пока значение функции стоимости превышает заданное пороговое значение. Это позволяет уточнить оценку расхода без учета данных, определенных на этапе S10, ввиду их чрезмерной ненадежности.

В одном примере согласование выполняется со всеми данными модели и их неопределенностями. Если некоторое данное корректируется в интервале, вдвое превышающем его исходную неопределенность, его выявляют и, соответственно, считают подозрительным. Когда сумма штрафных членов согласования превышает определенное значение, может быть начато другое выявление. Если активировано это выявление, наиболее штрафованное данное будет подавляться и не будет задействовано при выполнении нового согласования. Когда же другое выявление не активировано, согласование завершается, однако с отображением большого штрафного члена. В этом случае, чтобы определить, какое измерение является нестабильным, может быть проведен подробный анализ путем придания приоритета рассмотрению данных, демонстрирующих наибольшие штрафные члены. В одном примере способ, таким образом, позволяет удаленно выполнять мониторинг всех датчиков и их отслеживание (то есть даже в другом местоположении), удаленно идентифицировать неисправные датчики и следить за качеством измерений с использованием вычисленных неопределенностей. В одном примере способ может также вычислять заменяющие значения в местах, где датчики неисправны, и в местах, где датчики не размещались. В одном примере способ может использовать исходные измерения счетчиков, чтобы избежать ошибок интерпретации компьютерами. В одном примере способ может предоставлять значения и валидированные неопределенности для всех данных системы. В одном примере способ позволяет более надежно перераспределять добычу по линиям и скважинам.

Далее обсуждаются данные, задействованные в процессе DVR и определенные на этапе S10.

Для каждого рассматриваемого устройства эти данные являются базовыми данными, которые позволяют устройству произвести оценку расхода в линии. Одно и то же данное может представлять собой базовое данное для нескольких устройств. Под "базовым данным" специалист в данной области техники понимает фундаментальную переменную, позволяющую рассчитывать расход на основе физических моделей, например, термодинамических и/или механических моделей. Оно включает в себя измерения от датчиков, предварительно определенные гипотетические условия, например гипотетические условия



текучей среды и/или значения параметров калибровки (например, физические, механические или химические свойства устройств). Данные, определяемые на этапе S10, включают в себя измерения, выполненные в различных местах площадки, например измерения давления, температуры или расхода.

На фиг. 5 показана примерная линия 100, на которой может быть осуществлен способ. Таким образом, линия 100 содержит устройства, пригодные для предоставления оценки расхода, которые включают в себя метрический счетчик 102, штуцеры 104 (некоторые из которых подсоединены к впрыскивателю 105 метанола и/или только опосредованно производят расход), устройство 106, связанное с приточным модулем (с перфорациями 107 в резервуаре 109), и трубу 108, только один сегмент которой показан на чертеже. Этот пример иллюстрирует линию добычи со всеми стандартными устройствами. Способ был протестирован на установке, содержащей такие линии добычи, и доказал свою эффективность для улучшения производимых оценок расхода (например, с помощью лишь метрического счетчика).

Далее приводится описание работы этих различных устройств, которая, впрочем, известна специалистам в данной области техники. В процессе DVR могут быть задействованы полностью или, по меньшей мере частично, различные данные, описанные ниже, которые позволяют получить оценку расхода для каждого устройства. Таким образом, ниже приводится описание соответствующих данных для каждого устройства, которые должны быть определены на этапе S10 (те, которые могут быть задействованы в процессе DVR, другие же считаются постоянными или точными и, таким образом, как правило, не задействованы). Кроме того, излагается последовательность вычислений, позволяющая получить оценку расхода. Набор всех вычислений дает ограничения DVR, причем условие равенства между оценками расхода текущей среды задается использованием той же самой переменной в оптимизации, лежащей в основе описанного выше DVR. Следует отметить, что соответствующие данные для некоторых устройств также относятся к метрическому счетчику, так что они определяются лишь однажды и представлены одной и той же переменной в оптимизации, лежащей в основе DVR. Пример, в котором DVR выполняется на основе всех этих моделей, позволяет с наиболее возможной точностью оценить расход после согласования.

Как указано выше, измерение, выполненное датчиком метрического счетчика в отношении текущей среды, представляет собой электрическое, ядерное и/или оптическое измерение. Таким образом, метрический счетчик, например, может быть пригодным для оценки расхода на основе измерений диэлектрической проницаемости, проводимости, гамма-поглощения (для нескольких уровней энергии, как объяснялось выше), dP (падение давления), давления и температуры. Все эти измерения затем могут быть задействованы в процессе DVR. Кроме того, относящиеся к метрическому счетчику данные также могут содержать предварительно определенные гипотетические условия текущей среды, как описано выше, такие как GOR (состав текущей среды резервуара в резервуаре), засоление, параметры калибровки (гамма-поглощение нефти/воды/газа при различных уровнях энергии и опорные величины для диэлектрической проницаемости нефти и газа). Эти гипотетические условия также могут быть задействованы в процессе DVR. Для оценки расхода метрический счетчик также основывается на константах, при этом эти константы необязательно задействованы в процессе DVR. К ним относятся уравнение диэлектрической проницаемости нефти и газа (модельная функция нефти и газа, давление, температура), состав газовой фазы, состав нефтяной фазы, геометрия Вентури и уравнение проводимости воды (функция засоления, температура, давление). Таким образом, модель метрического счетчика может вычислять фракции нефти/газа/воды в соответствии с функцией  $f$  (диэлектрическая проницаемость или проводимость, гамма-поглощение, давление, температура, GOR, засоление, состав нефти, состав газа, диэлектрическая проницаемость нефти, диэлектрическая проницаемость газа, уравнение диэлектрической проницаемости нефти и газа или уравнение проводимости воды, гамма-поглощение нефти/воды/газа), как указано выше. Модель метрического счетчика также может вычислять плотности нефти/газа/воды в соответствии с функциями  $f$  (состав нефти, состав газа, GOR, засоление, давление, температура). Модель метрического счетчика может затем вычислять плотность смеси в соответствии с функцией  $f$  (плотности нефти/воды/газа, фракции нефти/воды/газа), затем общий расход  $Q_{tot}$  в соответствии с функцией  $f$  (dP, плотность смеси, геометрия Вентури), затем расходы по фазе  $Q_{oil}/Q_{water}/Q_{gas}$  в соответствии с функцией  $f$  ( $Q_{tot}$ , фракция нефти/воды/газа).

Штуцер пригоден для предоставления оценки расхода текущей среды в линии на основе открытия клапана и измерения, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текущей среды, дающей потери давления, связанные с открытием клапана (обычно два датчика давления, каждый из которых выполняет измерение давления, которое будет сравниваться). Таким образом, измеренные данные - это давление выше по потоку от штуцера, давление ниже по потоку от штуцера и процент открытия подводного клапана (открытие подводного штуцера в %). Гипотетические условия - это максимальный  $C_v$  и процент открытия верхнего клапана (открытие устьевого штуцера в %). Все эти данные могут быть задействованы в процессе DVR. Модель также может быть основана на константе, не задействованной в DVR: на кривой характеристик штуцера. Таким образом, штуцер позволяет обеспечить расход  $Q_{tot}$  в соответствии с функцией  $f$  (давление выше по потоку, давление ниже по потоку, открытие штуцера в %, плотность смеси, максимальный  $C_v$ , кривая характеристик штуцера).

Устройство, связанное с приточным модулем, является частью добывающей скважины на резервуа-

ре, содержащем перфорации/отверстия/впускные отверстия для приема углеводородов. Приточный модуль является виртуальным приточным устройством для углеводородов в скважине. Для этого виртуального устройства обеспечивается модель оценки расхода с помощью датчиков, принадлежащих к упомянутой части добывающей скважины. Таким образом, эта часть скважины по существу может быть "связана" с приточным модулем и, таким образом, она может быть пригодна для произведения оценки расхода текучей среды в линии в соответствии с моделью. Оценка выполняется на основе измерения давления, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текучей среды, и физико-химических свойств текучей среды, причем все эти данные могут быть задействованы в процессе DVR. Приточный модуль позволяет оценить расход на основе измерений, которые представляют собой давление на забое скважины (возможно давление на входном отверстии трубы, если трубу уподобить скважине) и начальное давление резервуара. Модель также задействует гипотетическое условие, которое заменяет начальное давление резервуара во время добычи, то есть интерполированное давление резервуара (предоставленное геологом). Эти данные задействуются в DVR. Также используются незадействованные константы: свойства сцепления слоя и забоя. Таким образом, можно оценить расход текучей среды  $Q_{tot}$  в соответствии с функцией  $f$  (давление на забое скважины, давление резервуара (начальное или интерполированное), свойства сцепления слоя и забоя).

Труба пригодна для предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе геометрических и/или механических свойств трубы и измерения, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текучей среды, дающей потери давления, связанные с геометрическими и/или механическими свойствами трубы. Таким образом, измеряются входное давление и выходное давление и/или входная температура и выходная температура, а также формируются гипотетические условия механических свойств и тепловых свойств трубы. Все эти данные могут быть задействованы в DVR. При этом незадействованная константа, т.е. геометрия трубы, служит основой для рекурсивного выполнения серии вычислений, обеспечивающих возможность схождения к оценке расхода. Эти вычисления представляют собой вычисления скорости в соответствии с функцией  $f$  ( $Q_{tot}$ , геометрия трубы), условиями потока в соответствии с функцией  $f$  (состав нефти, состав газа, плотность смеси, скорость), общий расход в соответствии с функцией  $f$  (входное давление, выходное давление, плотность смеси, геометрия трубы, механические свойства, условия потока) или в соответствии с функцией  $f$  (входная температура, выходная температура, плотность смеси, геометрия трубы, тепловые свойства, условия потока). Эта последовательность вычислений повторяется рекурсивно, как упомянуто выше.

Разумеется, пример с фиг. 5 теоретически позволяет согласовать множество данных с избыточностью, имеющей степень, равную количеству доступных оценок. Однако для линий, в которых собирается меньше данных или когда некоторые данные опускаются, как упомянуто выше, можно согласовать только комбинацию описанных выше моделей. Ввиду того, что линия имеет метрический счетчик, по меньшей мере одно исходное измерение которого задействуется в согласовании, и доступна по меньшей мере одна оценка, отличная от оценки счетчика (например, согласно одной из вышеприведенных моделей), способ улучшает оценку, которую дает метрический счетчик.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ добычи углеводородов на линии установки для добычи углеводородов, содержащей по меньшей мере два устройства, выполненных каждое с возможностью предоставления оценки расхода текучей среды в линии на основе соответствующих данных, причем устройства содержат по меньшей мере один метрический счетчик и по меньшей мере одно другое устройство, при этом данные, относящиеся к предоставлению оценки расхода метрическим счетчиком, включают в себя физическое измерение, выполненное по меньшей мере одним датчиком метрического счетчика в отношении текучей среды, причем во время добычи способ содержит

получение значения физического измерения посредством упомянутого по меньшей мере одного датчика метрического счетчика в отношении текучей среды;

предоставление процессору значения данных, относящихся к предоставлению оценки расхода текучей среды метрическим счетчиком, включая значение физического измерения;

предоставление (S10) процессору значения данных, относящихся к предоставлению оценки расхода другим устройством;

выполнение посредством процессора процесса (S20) согласования и валидации данных (DVR), задействованных предоставленных данных и значения физического измерения, причем в процессе согласования и валидации данных модифицируют значения для приведения в соответствие с одним или более условий, причем значения включают в себя значение физического измерения и значения, относящиеся к предоставленным данным, причем одним из условий согласования является равенство между оценками расхода текучей среды, предоставляемыми каждым из устройств;

причем в процессе согласования и валидации данных минимизируют функцию стоимости, штрафующую для каждого согласованного данного разницу между его значением до согласования и его согласованным значением, причем значение физического измерения находится среди каждого согласован-

ного данного, причем функция стоимости минимизируется соответствующим равенством;

предоставление информации, основанной на процессе согласования и валидации данных, в хранилище данных и

выполнение действия, относящегося к добыче, на основе упомянутой информации.

2. Способ по п.1, в котором упомянутую разницу взвешивают в функции стоимости, используя неопределенность, относящуюся к упомянутому согласованному данному.

3. Способ по п.2, дополнительно содержащий выявление любого согласованного данного, для которого разница между его значением до согласования и его согласованным значением превышает пороговое значение, зависящее от неопределенности, относящейся к этому согласованному данному.

4. Способ по п.2 или 3, содержащий повторение процесса согласования и валидации данных, с удалением согласованного данного с наибольшим весом в значении функции стоимости до тех пор, пока значение функции стоимости превышает заданное пороговое значение.

5. Способ по п.1, в котором информация включает в себя идентификацию неисправного датчика.

6. Способ по п.5, в котором действие содержит вычисление заменяющих значений, соответствующих неисправному датчику.

7. Способ по любому из пп.1-4, в котором информация содержит предоставление согласованного значения расхода текущей среды в линии.

8. Способ по п.7, в котором действие представляет собой перераспределение добычи по линиям.

9. Способ по п.7, в котором информация содержит предоставление неопределенности, относящейся к согласованному значению расхода текущей среды в линии в зависимости от разности между его значением до согласования и его согласованным значением.

10. Способ по любому из пп.1-9, в котором помимо метрического счетчика устройства содержат по меньшей мере один штуцер, устройство, связанное с приточным модулем, и/или трубу.

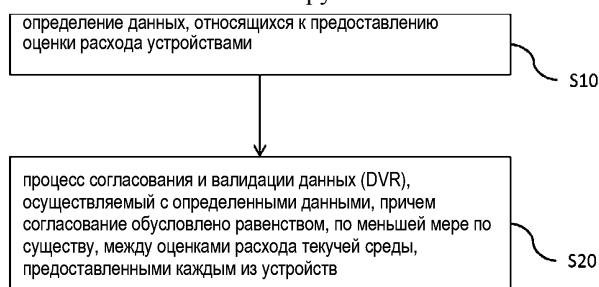
11. Способ по п.10, в котором

физическое измерение, выполненное датчиком метрического счетчика в отношении текущей среды, представляет собой электрическое, ядерное и/или оптическое измерение,

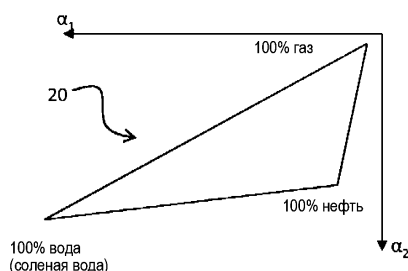
штуцер выполнен с возможностью предоставления оценки расхода текущей среды в линии на основе открытия клапана и физического измерения, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текущей среды, дающей потери давления, связанные с открытием клапана,

устройство, связанное с приточным модулем, выполнено с возможностью предоставления оценки расхода текущей среды в линии на основе измерения давления, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текущей среды, и физико-химических свойств текущей среды, и/или

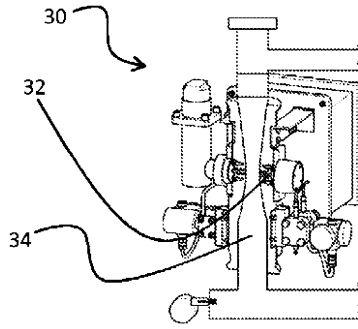
труба выполнена с возможностью предоставления оценки расхода текущей среды в линии на основе геометрических и/или механических свойств трубы и физического измерения, выполненного по меньшей мере одним датчиком в отношении текущей среды, дающей потери давления и/или тепла, связанные с геометрическими и/или механическими свойствами трубы.



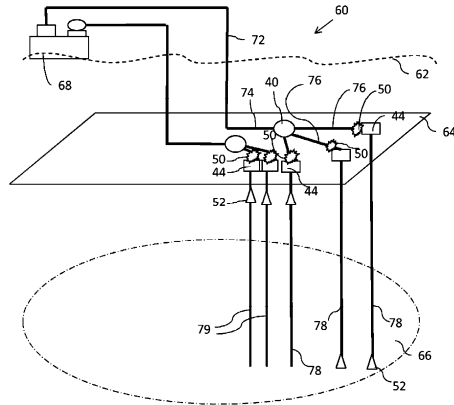
Фиг. 1



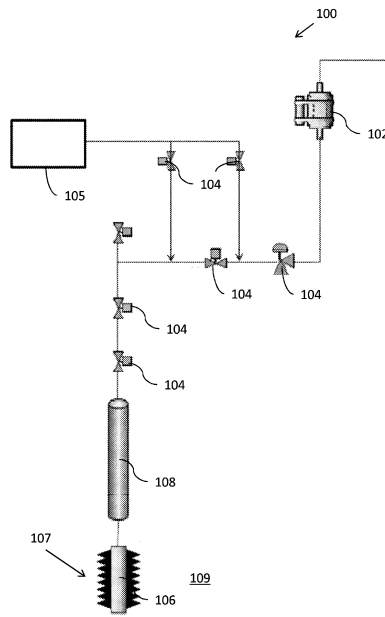
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5