



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
G01F 1/34 (2020.08); E21B 47/008 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2018116575, 05.10.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.10.2016

Дата регистрации:  
24.11.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
05.10.2015 GB 1517537.5

(43) Дата публикации заявки: 07.11.2019 Бюл. № 31

(45) Опубликовано: 24.11.2020 Бюл. № 33

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 07.05.2018

(86) Заявка РСТ:  
NO 2016/050200 (05.10.2016)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2017/061873 (13.04.2017)

Адрес для переписки:  
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО  
"Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**ФЬЯЛЕСТАД Кьетил (NO),  
КРИШНАМУРТХИ Динеш (NO)**

(73) Патентообладатель(и):

**СТАТОЙЛ ПЕТРОЛЕУМ АС (NO)**

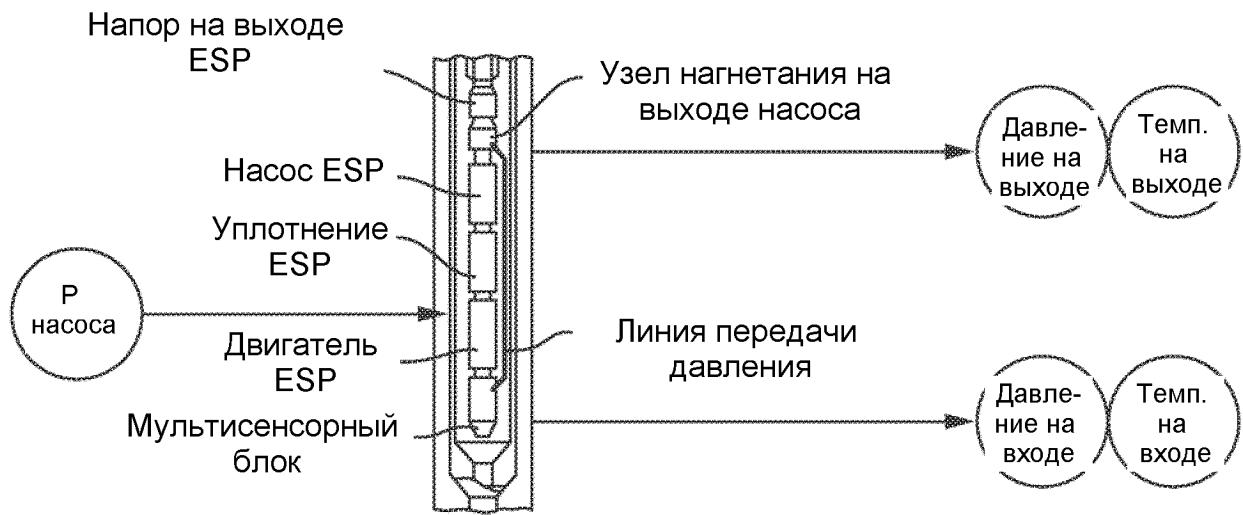
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: WO 2005035943 A1, 21.04.2005. KR  
1020110138819 A, 28.12.2011. US 20110137580 A1,  
09.06.2011. US 10041824 B2, 07.08.2018.

**(54) ОЦЕНКА РАСХОДА В НАСОСЕ**

(57) Реферат:

Способ определения оцененного расхода потока текучей среды на насосе включает: получение результатов измерений давления и температуры текучей среды на входе насоса, давления и температуры текучей среды на выходе насоса, а также мощности, подаваемой на насосную систему; определение значений, представляющих либо плотность текучей среды и удельную теплоемкость текучей среды, либо удельную энтальпию текучей среды, на основании результатов измерений, а также моделей текучих

сред и/или данных прошлых периодов; а также расчет оцененного КПД насоса и оцененного расхода текучей среды на основании подаваемой мощности, измеренных значений температуры, измеренных значений давления, найденного значения плотности и найденного значения удельной теплоемкости или найденного значения удельной энтальпии текучей среды. Технический результат - повышение точности измерения для вязких потоков, таких как тяжелая нефть, при изменении вязкости. 3 н. и 18 з.п. ф-лы, 8 ил.



Фиг. 1

RU 2737055 C2

RU 2737055 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*G01F 1/34 (2020.08); E21B 47/008 (2020.08)*(21)(22) Application: **2018116575, 05.10.2016**(24) Effective date for property rights:  
**05.10.2016**Registration date:  
**24.11.2020**

Priority:

(30) Convention priority:  
**05.10.2015 GB 1517537.5**(43) Application published: **07.11.2019 Bull. № 31**(45) Date of publication: **24.11.2020 Bull. № 33**(85) Commencement of national phase: **07.05.2018**(86) PCT application:  
**NO 2016/050200 (05.10.2016)**(87) PCT publication:  
**WO 2017/061873 (13.04.2017)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO  
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**FJALESTAD Kjetil (NO),  
KRISHNAMOORTHY Dinesh (NO)**

(73) Proprietor(s):

**STATOIL PETROLEUM AS (NO)**(54) **PUMP FLOW ESTIMATION**

(57) Abstract:

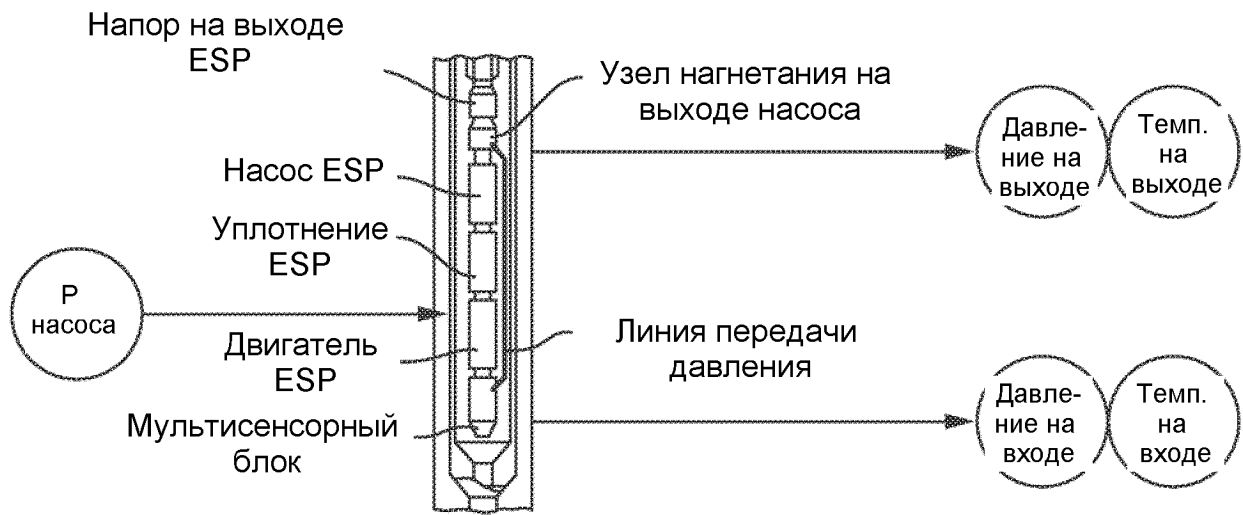
FIELD: measurement technology.

SUBSTANCE: method for determining an estimated flow rate of a fluid medium at a pump comprises: obtaining pressure and temperature measurements of fluid at the pump inlet, pressure and temperature of the fluid medium at the pump outlet, as well as power supplied to the pump system; determination of values representing either density of fluid medium and specific heat capacity of fluid medium, or specific fluid enthalpy, based on measurement results, as well as models of fluids and/or historical data; as well as

calculation of estimated efficiency of pump and estimated flow rate of fluid medium based on supplied power, measured temperature values, measured pressure values, found value of density and found value of specific heat capacity or found value of specific enthalpy of fluid medium.

EFFECT: technical result is high measurement accuracy for viscous flows, such as heavy oil, when viscosity changes.

21 cl, 8 dwg



Фиг. 1

RU 2737055 C2

RU 2737055 C2

Изобретение относится к способу и устройству для расчета расхода потока текущей среды в насосе, например, центробежном насосе, для многофазных потоков, таких как потоки нефти и газа. Изобретение может использоваться для расчета расхода различных текучих сред, предпочтительно включая текучие среды с переменной вязкостью или различными компонентами текучей среды/фазовыми долями.

Целесообразно иметь возможность определять расход текучих сред при любой обработке текучей среды и/или в любой системе транспортировки. Например, в нефтяной промышленности важно измерять расходы текучих сред, получаемых из нефтяных и газовых скважин. При переносе текучих сред для обработки текучей среды и/или в системах транспортировки, например системах нефтяных скважин, используются различные насосы, при этом может оказаться важным знать расходы через различные насосы, однако трудно их определить, особенно в случае многофазной текучей среды, при наличии фазовых долей сжимаемой текучей среды и/или в случае текучей среды, одно или более свойств которой трудно определить.

Существует множество примеров в уровне техники, касающихся определения расходов на основании параметров насоса и использования возможности измерения электрической мощности, подаваемой на насос, чтобы получить информацию в отношении условий эксплуатации насоса, даже когда насос находится на удалении и к нему отсутствует доступ. Например, в US 2013/317762 раскрыт способ определения расходов для скважины, оборудованной электрическим погружным насосом (ESP). На ESP подается электрическая мощность и осуществляется управление с помощью наземного коммутационного оборудования. Процессор получает величины давления на входе и давления на выходе либо от одного измерительного прибора, либо от двух измерительных приборов, установленных в скважине. Процессор получает значения напряжения и тока. Процессор также получает по меньшей мере одну статическую величину. Процессор вычисляет КПД для соотношения расходов, используя полученные значения напряжения и тока для уравнения баланса мощностей. Процессор получает безразмерный расход, используя рассчитанный КПД для соотношения расходов для статических данных. Процессор вычисляет расход из безразмерного расхода. Процессор осуществляет построение зависимости для вычисленных расходов.

В US 2015/211906 раскрыт другой способ определения расхода центробежного насоса, такого как ESP. Этот способ предполагает определение числа оборотов насоса или двигателя, управляющего насосом, гидравлической переменной насоса, обычно давления подачи, а также электрической переменной приводного двигателя, например электрической мощности. Расход оценивается с помощью этих переменных. Для этого переменные, зависящие от расхода, определяются посредством установления математического соотношения между членами уравнений, описывающих физические соотношения насоса и приводного двигателя, при этом один член содержит число оборотов насоса и гидравлическую переменную насоса, а другой член содержит электрическую или механическую переменную приводного двигателя насоса и число оборотов насоса. Расход определяется из функциональной зависимости между расходом и зависимой переменной.

Такие технологии часто упоминаются как «мягкие сенсоры» ('soft sensors') для расхода. Они, скорее, позволяют оценить расход, а не измерить его как таковой. В число других технологий, используемых для схожих измерений расхода, входит применение многофазных расходомеров (MPFMs). Однако по-прежнему существует потребность в усовершенствованных технологиях для расчета расхода применительно к насосам, таким как ESP, и другим насосам, особенно для перекачки многофазных текучих сред

и сжимаемых текучих сред. Доступные в настоящее время инструменты для устья скважины, такие как МРФМ, являются дорогостоящими и требуют экстенсивной калибровки, при этом в настоящее время не обеспечивают приемлемой точности для вязких потоков, таких как тяжелая нефть. Существующие «мягкие сенсоры» для ESP также требуют экстенсивной калибровки и существенно зависят от вязкости текучей среды. Кроме того, со временем требуется повторная калибровка, по мере того как насос используется и его рабочие характеристики изменяются вследствие износа. Изменения вязкости текучей среды порождают особые проблемы в многофазных текучих средах, таких как текучие среды на нефтяных промыслах, поскольку вязкость может существенно изменяться в течение короткого периода времени и ее непросто смоделировать или измерить в реальном масштабе времени. В уровне техники, таким образом, существуют большие трудности при решении задач с изменяемой вязкостью.

В первом аспекте настоящего изобретения предложен способ определения расчетного расхода потока текучей среды в насосе, при этом способ включает: получение результатов измерений давления и температуры текучей среды на входе насоса, давления и температуры текучей среды на выходе насоса, а также электрической мощности, подаваемой на насос; определение значений, представляющих либо плотность текучей среды и удельную теплоемкость текучей среды, и/или удельную энтальпию текучей среды на основании результатов измерений и/или данных прошлых периодов; а также расчет расчетного КПД насоса и расчетного расхода текучей среды на основании измеренной электрической мощности, измеренных температур, измеренных давлений, найденного значения плотности и найденного значения удельной теплоемкости или найденного значения удельной энтальпии текучей среды.

В отличие от известных способов измерение температуры на входе и выходе используется в сочетании с определением плотности и удельной теплоемкости либо удельной энтальпии текучей среды. В результате можно определить расход, даже когда текучая среда представляет собой вязкую текучую среду и/или когда вязкость изменяется. В этом способе используются значения либо совместно плотности и удельной теплоемкости, либо только удельной энтальпии текучей среды, либо плотности, удельной теплоемкости и удельной энтальпии текучей среды вместе. Если удельная энтальпия текучей среды известна или может быть определена, вышеуказанный способ может также использоваться, когда текучая среда является сжимаемой. Кроме того, если площадь поперечного сечения насоса на входе и выходе известна, то даже если значения удельной энтальпии текучей среды недоступны или не используются, так что вместо них должны использоваться плотность и удельная теплоемкость, в этом случае способ может быть применен, если текучая среда является сжимаемой, при этом площадь поперечного сечения учитывается в процессе расчета КПД насоса и расчетного расхода. Таким образом, это позволяет точно оценить расход через насос даже в случае многофазных текучих сред с переменной вязкостью, таких как добываемые текучие среды из нефтяной или газовой скважины, в состав которых входят вода и даже тяжелая нефть. Уровень техники такую возможность не предоставляет. Предложенный способ может использоваться с любым насосом, в котором можно получить необходимые результаты измерения давления и температуры и для которого можно определить подаваемую на насос мощность. Нет необходимости в экстенсивной калибровке, даже когда рабочие характеристики насоса изменяются вследствие износа насоса. Однако если калибровка имеется, предпочтительно способ может быть расширен, чтобы использовать калибровочные данные и определять вязкость текучей среды, что дает дополнительное преимущество над вышеупомянутым уровнем техники в отношении

ESP-систем.

Изобретение отчасти основано на понимании того, что хотя вязкость не может быть измерена или ей не может быть приписано точное оценочное значение, существует возможность определить достаточно точные значения плотности и удельной теплоемкости текучей среды и/или для удельной энтальпии текучей среды. В наиболее часто встречающихся случаях эти параметры постоянны на относительно продолжительных периодах времени, в отличие от плотности, которая изменяется быстро и непредсказуемым образом. Следовательно, нет необходимости в измерении мгновенного значения плотности, удельной теплоемкости или энтальпии текучей среды. Вместо этого измерение можно проводить на более продолжительном отрезке времени, например, с помощью более медленной технологии измерения, либо измерение может быть проведено для текучих сред, которые уже прошли через насос, при этом данное измерение на уровне «предыстории» используется для предоставления надлежащего значения для плотности и удельной теплоемкости. Таким образом, в некоторых примерах осуществления текучая среда, проходящая через насос, может периодически отбираться в качестве образца или собираться дальше по ходу потока относительно насоса, при этом измерения проводятся по известным технологиям, причем результаты этих измерений могут использоваться в настоящем способе в качестве достаточно точных значений для плотности и удельной теплоемкости и/или удельной энтальпии текучей среды. Такие периодические измерения могут проводиться, например, ежечасно, ежедневно, еженедельно или ежемесячно, в зависимости от конкретной ситуации. В качестве альтернативы могут быть использованы оценочные значения для плотности текучей среды, удельной теплоемкости и/или удельной энтальпии текучей среды. Они могут быть получены из моделей свойств текучей среды и из значений давления и температуры, измеренных на входе и выходе насоса.

Измеренные значения температуры и давления могут быть получены от традиционных датчиков, установленных на входе и выходе насоса. В данной области техники известно использование таких датчиков в целях мониторинга и для управления процессом. Способ может включать в себя обеспечение наличия датчиков температуры и давления в случае необходимости. В частности, способ может включать в себя обеспечение наличия датчика для определения температуры на выходе в случае, когда действующий насос имеет датчики давления на входе и на выходе, а также датчик температуры на входе, что является обычной схемой. Преимущество изобретения заключается в том, что часто лишь этот один дополнительный датчик температуры потребуется для того, чтобы адаптировать имеющийся насос для использования в данном способе, либо в некоторых случаях дополнительные датчики могут не потребоваться вовсе. Другое преимущество заключается в том, что данный способ может использоваться в случае погружного насоса (ESP), если двигатель также находится внутри скважинной трубы, вне зависимости от места расположения датчика температуры на входном датчике относительно двигателя. Таким образом, датчик может находиться ближе по ходу потока или дальше по ходу потока относительно двигателя. Если датчик находится дальше по ходу потока относительно двигателя, КПД двигателя должен учитываться при расчете мощности, подаваемой на насос.

Чтобы способ обладал максимальной точностью, предпочтительно следует избегать измерений, проводимых в периоды переходного потока или неустановившегося потока, например, после существенных изменений, произведенных в отношении управления насосом и/или других устройств управления потоком, расположенных ближе или дальше по ходу потока от насоса, которые влияют на условия потока в насосе. В число таких

других устройств управления потоком могут входить клапаны, насосы и т.д. Переходное течение или неустановившийся поток может быть также следствием действия внешних источников, например изменениями в скважине на объектах нефтяной и газовой промышленности в результате естественных изменений или геологических образований.

5 Таким образом, способ может включать в себя этап определения того, существуют ли условия для устойчивого потока, например посредством обеспечения возможности истечения заданного периода времени, после того как система приведена в действие или после того, как стало известно о наличии состояния неустановившегося потока или оно было распознано. В некоторых примерах это может включать в себя  
10 обеспечение возможности истечения заданного периода времени после внесения изменения в управление насосом или в другие устройства управления потоком, влияющие на поток в насосе. Заданный период времени может составлять, например, 5 минут или 10 минут. В качестве альтернативы либо дополнительно способ может включать в себя проверку на изменения, превышающие определенный порог в одном или более из  
15 измеренных значений давления, измеренных значений температуры, мощности, подаваемой на насосную систему, или вычисленного КПД насоса в течение этого периода времени. Если имеется изменение, превышающее этот порог, тогда считается, что поток является неустойчивым, а значит, обеспечивается истечение большего отрезка времени для проверки на устойчивое состояние. Обычно порог предполагает изменения, превышающие 1-5% измеренного перепада (например, изменение должно составлять  
20 менее  $\pm 0,1$  °C, если увеличение температуры от входа до выхода составляет 2 °C), хотя порог зависит от системы. В некоторых случаях динамическая модель (дифференциальные уравнения) может вводить поправки для переходных состояний, при этом может применяться фильтр (например, фильтр Калмана), чтобы получить  
25 корректный расход, рассчитанный даже в переходные периоды.

Предпочтительно способ также включает в себя сравнение расчетного КПД насоса со значениями КПД, указанными изготовителем. Это позволяет провести проверку, чтобы убедиться, что в системе отсутствуют сбои, а также внешние факторы влияния, приводящие к тому, что способ становится неточным или неэффективным. Например,  
30 отказ датчика вследствие физических (например, закупоривания) или электрических проблем может привести к неверным показаниям, которые не позволят получить точные результаты. Условие неустойчивого потока, например неустановившийся поток, как пояснялось выше, также даст неточный расчет расхода. Возможно также неожиданное и быстрое изменение плотности или удельной теплоемкости, если состав текучей среды  
35 неожиданно изменяется, например, вследствие непредвиденного большого увеличения содержания воды в скважинной продукции нефти и газа. Сравнение рассчитанного КПД, полученного настоящим способом, с ожидаемым КПД для насоса предоставляет средство проверки входных данных, а значит идентификации любых возможных некорректных значений.

40 Могут также использоваться дополнительные проверки. Например, могут сравниваться температуры на выходе и на входе, чтобы проверить, что температура на выходе выше или по меньшей мере та же, что и температура на входе. Температура на выходе, которая ниже температуры на входе, выявит нулевой поток или обратный поток, либо какую-то иную проблему.

45 Площадь поперечного сечения насоса, разумеется, обычно является известной величиной и определяется размерными характеристиками насоса. Как правило, площадь поперечного сечения на входе и выходе одинакова.

Электрическая мощность, подаваемая на насос, может измеряться любым пригодным



способом. Данная электрическая мощность может представлять собой мощность, подаваемую непосредственно на насос, на двигатель, составляющий единое целое с насосом, либо электрическую мощность, подаваемую на двигатель за пределами насоса, при этом данный двигатель приводит в действие насос посредством механического соединения. В некоторых примерах осуществления способ предполагает измерение тока и напряжения, подаваемого на насос (которые могут подаваться либо напрямую, либо через отдельный двигатель). Предпочтительно это может осуществляться удаленно от насоса, с поправкой на потери в проводниках между точкой измерения и двигателем насоса.

Этап вычисления расчетного расхода может выполняться с помощью любых подходящих формул, связывающих измеренные и расчетные значения. Один предпочтительный вариант реализации основан на допущении, что мощность, подаваемая на насос, преобразуется в механическую энергию и в тепло в перекачиваемой текучей среде, при этом отсутствуют потери как массы (т.е. нет утечек), так и тепла (т.е. все отходящее тепло забирается текучей средой). Это применимо к ESP и другим скважинным системам, а также к другим системам, в которых потери тепла пренебрежимо малы. В том случае, если потери тепла нельзя считать пренебрежимо малыми, потери тепла можно рассчитать/оценить и использовать в расчетах. Баланс массы и энергии может использоваться для определения расхода на основании измеренных значений давления и температуры, известной площади поперечного сечения насоса и найденных значений плотности и удельной теплоемкости или удельной энтальпии текучей среды. Ниже в качестве примера приводятся соответствующие выражения для баланса массы и энергии в виде уравнений (1) и (2). В способе могут использоваться эти уравнения или их математические эквиваленты.

Следует понимать, что могут использоваться различные модели для определения массового расхода текучей среды на основании входных параметров, используемых для настоящего способа. Один пример представлен в уравнениях (3) - (9), приведенных ниже, где используется плотность и удельная теплоемкость. Другая возможность заключается в использовании энтальпии текучей среды, как показано в уравнениях (44-47). В способе могут использоваться эти уравнения, а также при необходимости дополнительно содержаться одно или более из уравнений (12) - (32) или их сочетания, чтобы получить одно или более из следующего: массовый расход, объемный расход, КПД насоса. Математические эквиваленты этих уравнений также могут использоваться. Способ может содержать альтернативные решения для использования с несжимаемыми текучими средами (или текучими средами, которые можно считать несжимаемыми), а также для сжимаемых текучих сред. В случае сжимаемых текучих сред для решения уравнений может использоваться нелинейный способ.

При необходимости способ может включать в себя использование калибровочных данных для насоса с целью определения вязкости смешанной текучей среды на основании расчетного расхода и расчетного КПД насоса. Если имеет место вязкая текучая среда, данный этап может включать в себя использование поправочных коэффициентов вязкости, например, согласно уравнениям (33) - (38), приведенным ниже. Кроме того, если имеет место сжимаемая текучая среда, способ может включать в себя использование функций для поправочных коэффициентов на газ, чтобы оценить объемную долю газа или массовую долю газа внутри насоса, например, согласно уравнениям (39) - (43).

Насос может представлять собой центробежный насос. Обнаружено, что вышеописанный подход позволяет получить точные результаты для насоса этого типа. Насос, например, может представлять собой электрический погружной насос (ESP).

Предпочтительно способ используется для расчета расхода для многофазных текучих сред, например в нефтяной и газовой промышленности. Таким образом, насос может представлять собой насос на объекте нефтяной и газовой промышленности. Текучая среда может представлять собой многофазную скважинную продукцию из нефтяной скважины, например смесь нефти, воды и/или газа. Обнаружено, что способ предоставляет особые преимущества над известными способами, когда в состав текучей среды входят вязкие компоненты, такие как тяжелая нефть. Таким образом, в некоторых примерах текучая среда содержит тяжелую нефть.

В дополнительном аспекте изобретение предоставляет компьютерный программный продукт, содержащий инструкции, которые при их выполнении обеспечат конфигурацию устройства обработки данных для реализации способа, описанного выше в первом аспекте, а также его предпочтительных/дополнительных характеристик. Таким образом, может существовать компьютерный программный продукт, содержащий инструкции, которые при их выполнении обеспечат конфигурацию устройства обработки данных для приема результатов измерений давления и температуры текучей среды на входе в насос, давления и температуры текучей среды на выходе из насоса, а также электрической мощности, подаваемой на насос; приема или определения значений, представляющих плотность текучей среды и удельную теплоемкость текучей среды, и/или удельную энтальпию текучей среды, на основании результатов измерений и/или данных прошлых периодов; а также расчета расчетного КПД насоса и расчетного расхода текучей среды на основании измеренной электрической мощности, измеренных температур, измеренных давлений, известной площади сечения, значения плотности и значения удельной теплоемкости либо значения удельной энтальпии текучей среды.

Компьютерный программный продукт может включать в себя алгоритм, предназначенный для запуска в различных средах, например на системе управления процессом, на специализированной компьютерной системе или в сочетании с другим программным обеспечением, связанным с производством.

Изобретение дополнительно предоставляет устройство для расчета расхода текучей среды в насосе, при этом устройство содержит устройство обработки данных, выполненное с возможностью приема результатов измерения давления и температуры текучей среды на входе в насос, давления и температуры текучей среды на выходе из насоса, а также электрической мощности, подаваемой на насос; приема или определения значений, представляющих плотность текучей среды и удельную теплоемкость текучей среды и/или удельную энтальпию текучей среды, на основании результатов измерений и/или данных прошлых периодов; а также расчета расчетного КПД для насоса и расчетного расхода текучей среды на основании измеренной электрической мощности, измеренных температур, измеренных давлений, известной площади поперечного сечения, значения плотности и значения удельной теплоемкости либо значения удельной энтальпии текучей среды. Устройство обработки данных может быть выполнено с возможностью реализации любого или всех этапов способа, описанных выше.

Устройство может представлять собой устройство управления для насоса и/или для оборудования, содержащего насос. Например, устройство может представлять собой устройство управления для объекта нефтяной и газовой промышленности, при этом насос может предназначаться для перекачки текучих сред из объектов нефтяной и газовой промышленности, например многофазных текучих сред. Устройство может включать в себя насос, который может представлять собой центробежный насос. Насос может представлять собой ESP.

Далее будут описаны определенные предпочтительные варианты осуществления

изобретения, приведенные лишь в качестве примера, со ссылкой на прилагаемые чертежи, где:

на Фигуре 1 показан ESP, при этом двигатель и насос находятся внутри скважины;

на Фигуре 2 показан график, демонстрирующий измеренный расход по результатам испытаний ESP, - сплошная линия, а также расход, рассчитанный с помощью модели в уравнении (15), - пунктирная линия;

на Фигуре 3 показан график, демонстрирующий измеренный КПД по результатам испытаний ESP, - сплошная линия, а также КПД, рассчитанный с помощью модели в уравнении (16), - пунктирная линия;

на Фигуре 4 показано зарегистрированное увеличение температуры по результатам испытаний ESP, - сплошная линия, и те же значения, рассчитанный с помощью модели в уравнении (15), - пунктирная линия, когда измеренный расход использовался в качестве входного параметра для модели;

на Фигуре 5 показан график расхода по результатам испытаний в кольцевом контуре потока для ESP, - сплошная линия, и расхода, рассчитанного с помощью модели в уравнении (23), - пунктирная линия;

на Фигуре 6 показан график КПД по результатам испытаний в кольцевом контуре потока, - сплошная линия, и КПД, рассчитанного с помощью уравнения (26), - пунктирная линия, и уравнения (27) - жирная линия;

на Фигуре 7 на верхнем графике показан расход, полученный по результатам испытаний в кольцевом контуре потока для ESP, - сплошная линия, и расход, рассчитанный с помощью многофазной модели согласно уравнению (23), - пунктирная линия, а на нижнем графике - объемная доля газа;

на Фигуре 8 показана вязкость, полученная по результатам испытаний в кольцевом контуре потока, - сплошная линия, и вязкость, рассчитанная с помощью многофазной модели, - пунктирная линия;

на Фигуре 9 показан пример кривых КПД ESP для различных значений вязкости текучей среды.

Расчет расхода через насос будет описана ниже со ссылкой на электрический погружной насос (ESP), приведенный в качестве примера. Насос ESP - центробежный насос, установленный внутри скважины вместе с электрическим двигателем, как показано на Фигуре 1. Двигатель и насос преобразуют электрическую мощность в тепло и механическую энергию для прокачиваемой текучей среды. Пример расчетов относится, во-первых, к несжимаемой текучей среде, например, смеси нефти и воды, а во-вторых, - к сжимаемой текучей среде, например, смеси нефти, воды и газа.

Мощность, поступающая на насос,  $P_{Pump}$ , преобразуется в механическую энергию,  $P_{Fluid}$  или тепло,  $Q_{Fluid}$  в перекачиваемой текучей среде. Предполагается, что масса текучей среды внутри насоса постоянна, при этом отсутствуют потери как массы (утечки из скважины отсутствуют), так и тепла из системы (текучая среда нагревается).  $\zeta$  - удельная энтальпия. Используя баланс масс и энергии, получаем:

$$w = w_{In} = w_{Out} \approx q_{In} \rho_{MixIn} \approx q_{Out} \rho_{MixOut} \quad (1)$$

$$P_{Pump} = w(\zeta_{Out}^0 - \zeta_{In}^0) + \Delta Q_{Loss} = \Delta P_{Fluid, Mechanical} + \Delta Q_{Fluid, Heat} + \Delta Q_{Loss} \quad (2)$$

Энтальпия заторможенного потока,  $\zeta^0$ , и удельная энтальпия,  $\zeta$ , определяются следующими выражениями:

$$\zeta^0 = \zeta + \frac{1}{2}v^2 + gh$$

$$\zeta = u + pv$$

где  $v$  - скорость текучей среды,  $g$  - ускорение силы тяжести,  $h$  - высота,  $u$  - внутренняя энергия, а  $p$  - давление.

При использовании скважинных насосов двигатель и насос помещены в скважинную трубу, таким образом, потерей тепла от насосной системы можно пренебречь, поскольку это тепло передается текучей среде, при этом температура на выходе известна в результате измерения. Тогда уравнение (2) может быть записано следующим образом:

$$P_{Pump} = w(\zeta_{Out} - \zeta_{In}) = \Delta P_{Fluid, Mechanical} + \Delta Q_{Fluid, Heat} \quad (2a)$$

На основании уравнений (1) и (2a) массовый расход может быть определен с использованием удельной энтальпии текучей среды, полученной путем расчета или измерения текучей среды согласно уравнениям (44) - (47), приведенным ниже. В качестве альтернативы, используя плотность и удельную теплоемкость, можно построить следующую модель для определения массового расхода,  $w$ :

$$w_{total} = f(P_{Pump}, P_{In}, P_{Out}, T_{In}, T_{Out}, \rho_{MixIn}, \rho_{MixOut}, c_{P\_MixIn}, c_{P\_MixOut}, A) \quad (3)$$

$$P_{Pump} = \dot{m}gh_{Out} - \dot{m}gh_{In} + \frac{1}{2}(\dot{m}v_{Out}^2 - \dot{m}v_{In}^2) + c_{P\_MixOut}\dot{m}T_{Out} - c_{P\_MixIn}\dot{m}T_{In} \quad (4)$$

$$P_{Pump} = w \left( gh_{Out} - gh_{In} + \frac{1}{2}(v_{Out}^2 - v_{In}^2) + c_{P\_MixOut}T_{Out} - c_{P\_MixIn}T_{In} \right) \quad (5)$$

$$p_2 = p_1 + \rho g(h_2 - h_1) \quad (6)$$

$$gh_2 - gh_1 = \frac{p_2 - p_1}{\rho} \quad (7)$$

$$w = \dot{m} = \rho q = \rho Av \quad (8)$$

$$P_{Pump} = w \left( \frac{P_{Out}}{\rho_{MixOut}} - \frac{P_{In}}{\rho_{MixIn}} + c_{P\_MixOut}T_{Out} - c_{P\_MixIn}T_{In} \right) + \frac{w^3}{2} \left( \frac{1}{\rho_{MixOut}^2 A_{Out}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2 A_{In}^2} \right) \quad (9)$$

Электрическую мощность,  $P_{Pump}$ , подаваемую на насос (или двигатель), можно измерить или рассчитать, зная напряжение и ток:

$$P_{Pump} = \Phi U_{Motor} I_{Motor} = \Phi (U_{Motor} - R_{Cable} I_{Motor}) \quad (10)$$

$$\Phi = PF \sqrt{3} = \sqrt{3} \sin(\varphi_{U \perp I}) \quad (11)$$

Если перекачиваемая текучая среда является несжимаемой, плотность текучей среды на входе и на выходе будет одинаковой. Если предполагается, что площади живого сечения также одинаковы, уравнение можно упростить следующим образом:

$$P_{Pump} = w \left( \frac{P_{Out} - P_{In}}{\rho} + c_{P\_MixOut}T_{Out} - c_{P\_MixIn}T_{In} \right) \quad (12)$$

Если удельная теплоемкость на входе и на выходе также одинакова, уравнение можно

представить следующим образом:

$$P_{Pump} = w \left( \frac{P_{Out} - P_{In}}{\rho} + c_p (T_{Out} - T_{In}) \right) \quad (13)$$

5 Теперь может быть определен массовый расход,  $w$ , или объемный расход,  $q$ :

$$w = \frac{\rho P_{Pump}}{P_{Out} - P_{In} + c_p \rho (T_{Out} - T_{In})} = \frac{\eta \cdot \rho P_{Pump}}{P_{Out} - P_{In}} \quad (14)$$

$$10 \quad q = \frac{P_{Pump}}{P_{Out} - P_{In} + c_p \rho (T_{Out} - T_{In})} = \frac{\eta P_{Pump}}{P_{Out} - P_{In}} \quad (15)$$

На Фигуре 2 показаны результаты примера расчета по уравнению (15). Насос Centrilift™ ESP тестировали с измерением всех соответствующих входных и выходных параметров, при этом также измеряли расходы. Удельная теплоемкость составляла  $C_p=1800$ , при этом остальные переменные измерялись в кольцевом контуре потока испытательного стенда. Фигура 2 иллюстрирует измеренный расход в сравнении с расходом, рассчитанным с помощью уравнения (15). Следует понимать, что имеется близкое соответствие между этими двумя расходами, особенно при установившихся/стабильных условиях потока.

20 КПД насоса,  $\eta$ , можно выразить как мощность насоса, обращенную в механическую энергию текущей среды:

$$\eta = \frac{w(p_{Out} - p_{In})}{\rho P_{Motor}} = \frac{q(p_{Out} - p_{In})}{P_{Motor}} \quad (16)$$

25 На Фигуре 3 показаны результаты пример расчета по уравнению (16). Были использованы те же испытания Centrilift™ ESP, что и для Фигуры 2. Фигура 3 иллюстрирует измеренный КПД в сравнении с КПД, рассчитанным с помощью уравнения (16). Следует понимать, что имеется близкое соответствие между этими двумя значениями КПД, особенно при установившихся/стабильных условиях потока.

30 В качестве альтернативы, используя увеличение температуры текущей среды, можно записать:

$$\eta = \frac{P_{Motor} - w c_p (T_{Out} - T_{In})}{P_{Motor}} \quad (17)$$

35 Комбинация уравнений (16) и (17) позволяет непосредственно рассчитать КПД насоса вне зависимости от приложенной мощности двигателя в л.с.,  $P_{Pump}$  посредством уравнения (18). КПД насоса должен быть проверен на соответствие диапазону для насоса (указанному изготовителем) и пригоден, только если  $T_{Out} > T_{In} + DT_{Min}$  и  $P_{Out} > P_{In} + Dp_{Min}$  прежде чем будет использован для расчета расхода по уравнению (14) или (15). Если КПД насоса по результатам расчета выходит за рамки диапазона, указанного изготовителем, выдается предупреждение об опасности получения потенциально неверных результатов измерений или каком-либо ином внешнем воздействии, приводящем к неверным результатам, например неустановившемся потоке в период проведения измерений.

$$45 \quad \eta = \frac{1}{1 + c_p \rho \frac{T_{Out} - T_{In}}{P_{Out} - P_{In}}} \quad (18)$$

Как расчетный расход (Фигура 2), так и КПД насоса (Фигура 3) имеют отклонения от результатов измерений в кольцевом контуре потока. Основная неопределенность входных данных заключается в измеренном изменении температуры. Для расчета этой входной переменной была использована модель для расчета увеличения температуры и сравнения с результатом измерений в кольцевом контуре потока. Измеренные и расчетные изменения температуры (чтобы получить расход, измеренную в кольцевом контуре потока) показаны на Фигуре 4.

Если перекачиваемая текучая среда является сжимаемой, расчеты становятся более сложными, как видно из уравнения (19). Поскольку данная модель описывается уравнением 3-го порядка, для решения уравнения может использоваться нелинейный способ (например, метод Ньютона-Рафсона). Если предположить, что площади поперечного сечения на входе и выходе одинаковы, уравнение может быть записано следующим образом:

$$P_{Pump} = w \left( \frac{P_{Out}}{\rho_{MixOut}} - \frac{P_{In}}{\rho_{MixIn}} + c_{P\_MixOut} T_{Out} - c_{P\_MixIn} T_{In} \right) + \frac{w^3}{2A^2} \left( \frac{1}{\rho_{MixOut}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2} \right) \quad (19)$$

Следующие допущения заключаются в том, что массовые доли фаз,  $x_i$ , и свойства фаз текучей среды известны, при этом скольжение между фазами отсутствует. Могут быть установлены следующие соотношения для теплоемкости и плотности смешанного типа:

$$c_{P\_Mix} = \sum_{i=1}^N [x_i(p, T) \cdot c_{P\_i}(p, T)] \quad (20)$$

$$\rho_{Mix} = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{x_i(p, T)}{\rho_i(p, T)} \right]^{-1} \quad (21)$$

Расход может быть представлена уравнением 3-го порядка:

$$w^3 + w \frac{2A^2}{\frac{1}{\rho_{MixOut}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2}} \left( \frac{P_{Out}}{\rho_{MixOut}} - \frac{P_{In}}{\rho_{MixIn}} + c_{P\_MixOut} T_{Out} - c_{P\_MixIn} T_{In} \right) = \frac{2A^2}{\frac{1}{\rho_{MixOut}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2}} P_{Pump} \quad (22)$$

$$w^3 + w \cdot c_1(A, \rho_{MixIn}, \rho_{MixOut}, c_{P\_MixIn}, c_{P\_MixOut}, P_{In}, P_{Out}, T_{In}, T_{Out}) + c_0(A, \rho_{MixIn}, \rho_{MixOut}, P_{Pump}) = 0 \quad (23)$$

КПД насоса можно выразить в виде доли приложенной мощности, преобразованной в механическую энергию, как и в уравнении (16), однако должна учитываться сжимаемость текучей среды:

$$P_{Pump} \eta = w \left( \frac{P_{Out}}{\rho_{MixOut}} - \frac{P_{In}}{\rho_{MixIn}} \right) + \frac{w^3}{2A^2} \left( \frac{1}{\rho_{MixOut}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2} \right) \quad (24)$$

$$P_{Pump} (1 - \eta) = w (c_{P\_MixOut} T_{Out} - c_{P\_MixIn} T_{In}) \quad (25)$$

$$\eta = \frac{1 - \eta}{c_{P\_MixOut} T_{Out} - c_{P\_MixIn} T_{In}} \left( \frac{P_{Out}}{\rho_{MixOut}} - \frac{P_{In}}{\rho_{MixIn}} \right) + \frac{P_{Pump}^2 (1 - \eta)^3}{2A^2 (c_{P\_MixOut} T_{Out} - c_{P\_MixIn} T_{In})^3} \left( \frac{1}{\rho_{MixOut}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2} \right) \quad (26)$$

Уравнение (26) может быть перестроено для КПД,  $\eta$ , в виде уравнения 3-го порядка:

$$\eta^3 - 3\eta^2 + (3 + b_1 + b_2)\eta + (b_1 - 1) = 0 \quad (27)$$

$$b_1 = \frac{2A^2(c_{P\_MixOut}T_{Out} - c_{P\_MixIn}T_{In})^2}{P_{Pump}^2} \left( \frac{P_{Out}}{\rho_{MixOut}} - \frac{P_{In}}{\rho_{MixIn}} \right) \left( \frac{1}{\rho_{MixOut}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2} \right)^{-1} \quad (28)$$

$$b_2 = \frac{2A^2(c_{P\_MixOut}T_{Out} - c_{P\_MixIn}T_{In})^3}{P_{Pump}^2} \left( \frac{1}{\rho_{MixOut}^2} - \frac{1}{\rho_{MixIn}^2} \right)^{-1} \quad (29)$$

Модели в уравнениях (23) и (27) являются нелинейными, и их решение может быть найдено, используя метод Ньютона-Рафсона. Далее используется производная этой функции:

$$f'_w(w) = 3w^2 + c_1(A, \rho_{MixIn}, \rho_{MixOut}, c_{P\_MixIn}, c_{P\_MixOut}, P_{In}, P_{Out}, T_{In}, T_{Out}) \quad (30)$$

$$f'_\eta(\eta) = 3\eta^2 - 6\eta + (3 + b_1 + b_2) \quad (31)$$

Решение для переменной находится путем итерации по аргументу  $x$  (который является  $w$  или  $\eta$  в вышеприведенных уравнениях):

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f_x(x_i)}{f'_x(x_i)} \quad (32)$$

На Фигуре 5 показан пример расчета по уравнению (23). Насос Centrilift™ ESP тестировали с измерением всех соответствующих входных и выходных параметров, при этом также измеряли расходы. Удельная теплоемкость составляла  $C_p=1750$ , при этом остальные переменные измерялись в кольцевом контуре потока. Фигура 5 иллюстрирует измеренный расход в сравнении с расходом, рассчитанным с помощью уравнения (23). Следует понимать, что имеется близкое соответствие между этими двумя расходами, особенно при установившихся/стабильных условиях потока.

На Фигуре 6 показаны данные из того же испытания, полученные в отношении КПД. Измеренные значения КПД отмечены на графике вместе с рассчитанными значениями, полученными из уравнений (26) и (27) на основании разности давления и температуры соответственно.

На верхнем графике Фигуры 7 показано сравнение расходов по результатам испытаний в кольцевом контуре потока для ESP и расходов, вычисленных с помощью уравнения (23), а на нижнем графике показана объемная доля газа (GVF). Следует понимать, что большие изменения величины GVF приводят к существенным изменениям сжимаемости текучей среды, проходящей через насос. Тем не менее, расчетные расходы, полученные из уравнения (23), близко соответствуют измеренным значениям.

Кривые насосных характеристик и поправочные коэффициенты вязкости могут использоваться для нахождения вязкости текучей среды согласно уравнению (38).

$$\mu_0 = \mu_{Estimate} \quad (33)$$

$$VCF_Q = f(\mu_{Estimate}, f) \quad (34)$$

$$w_{base} = w_{Estimate} \left( \frac{f_0}{f} \right) \frac{1}{VCF_Q} \left( \frac{\rho_{water}}{\rho_{Mix}} \right) \quad (35)$$

$$\eta_{base} = f_{LUT}(w_0, \eta_0, w_{base}) \quad (36)$$

$$VCF_{\eta} = \frac{\eta_{Estimate}}{\eta_{base}} \quad (37)$$

$$\mu_{Estimate} = (f(VCF_{\eta}, f)) \quad (38)$$

Пока абсолютная разность между расчетной вязкостью и расчетной вязкостью, полученной на предыдущей итерации, превышает заданное допустимое отклонение  $\epsilon$ , для расчета вязкости проводится итерация по уравнениям (33) - (38). Уравнение (33) сохраняет вязкость, рассчитанную на предыдущем этапе, для сравнения с расчетной вязкостью, полученной на текущем этапе. Первоначально это значение может приравниваться к начальному предполагаемому значению, заданному пользователем. Для этой вязкости вычисляется поправочный коэффициент на вязкость для потока (34). Расчетный расход  $w_{Estimate}$ , полученный из (14), преобразуется в «начальный базовый сценарий» (вода, 60Гц) с использованием поправочного коэффициента вязкости и законов подобия (35). Далее вычисляется «базовый» КПД  $\eta_{base}$  из референсной базовой кривой, реализованной в виде справочной таблицы (36). Используя «базовый» КПД и расчетный КПД  $\eta_{Estimate}$ , полученный из (16), (17) или (18), вычисляется поправочный коэффициент вязкости для КПД (37). Далее вязкость оценивается из VCF-функции для КПД (38). Затем осуществляется итерация, пока изменение в вязкости не станет меньше значения заданного допустимого отклонения. На Фигуре 8 показана вязкость, измеренная в испытаниях в кольцевом контуре потока для ESP, в сравнении с вязкостью, вычисленной с помощью вышеописанной модели.

Существует также возможность определить вязкость текучей среды из КПД, расхода, массового расхода, частоты накачки и калибровочных данных/кривых КПД для конкретного насоса, если такие данные имеются. Пример таких кривых показан на Фигуре 9. Если расход и КПД известны, вязкость может быть считана с графика. Наряду с этим могут использоваться другие соотношения для насосов, такие как зависимость  $D_p$  от потока или мощности от потока.

Для многофазного потока, проходящего через ESP, GVF можно оценить с использованием газового корректировочного коэффициента GCF и расчетного КПД, полученного из (16), (17) или (18). Когда газ поступает в ESP, рабочие характеристики насоса изменяются, что можно наблюдать по перепаду давления и тормозной мощности (ВНР) насоса. Чтобы учесть воздействие газа в системе, моделируются т.н. газовые корректировочные коэффициенты для  $d_p$  и ВНР. GCF для  $d_p$  и ВНР главным образом представляют собой функцию доли газа или GVF и моделируются на основании экспериментальных данных. Расчет GVF с использованием GCF может выполняться с помощью уравнений, приведенных ниже.

$$VCF_Q = f(\mu_{Estimate}, f) \quad (39)$$

$$w_{base} = w_{Estimate} \left( \frac{f_0}{f} \right) \frac{1}{VCF_Q} \left( \frac{\rho_{water}}{\rho_{Mix}} \right) \quad (40)$$

$$\eta_{base} = f_{LUT}(w_0, \eta_0, w_{base}) \quad (41)$$

$$GFC_{\eta} = \frac{\eta_{Estimate}}{\eta_{base}} \quad (42)$$

$$x_G = f(GFC_{\eta}) \quad (43)$$



Как отмечено выше, могут определяться значения удельной энтальпии текучей среды в качестве альтернативы использованию плотности и удельной теплоемкости. В этом случае, начиная с приведенных выше уравнений (1) и (2а), для нахождения КПД, а значит и расхода, могут использоваться уравнения, указанные ниже. Энтальпия текучей среды может быть найдена из баз данных для текучих сред и, таким образом, рассчитана на основании фактического давления и фактической температуры

$$w = \frac{\zeta_{Out}(p_{Out}, T_{Out}) - \zeta_{In}(p_{In}, T_{In})}{P_{Pump}} \quad (44)$$

$$\zeta_{Pos} = \sum_{i=1}^N x_i \zeta_{i,Pos}(p_{Pos}, T_{Pos}) \quad (45)$$

где  $x_i$  – массовая доля фазы с индексом  $i$ .

Далее КПД  $\eta$  можно найти непосредственно из энтальпии следующим образом:

$$\eta = \frac{\zeta_{Out}(p_{Out}, T_{In}) - \zeta_{In}(p_{In}, T_{In})}{\zeta_{Out}(p_{Out}, T_{Out}) - \zeta_{In}(p_{In}, T_{In})} = \frac{\Delta\zeta(\Delta p, T_{In})}{\Delta\zeta(\Delta p, \Delta T)} \quad (46)$$

Энтальпию можно представить в виде полиномиальной функции для  $p$  и  $T$ :

$$\zeta_i = a_0 + a_p p + a_T T + a_{pT} pT + \dots + a_{MpNT} p^m T^n \quad (47)$$

Ниже вкратце рассмотрен пример технологического процесса. Для обеспечения надежных и точных расчетов расхода необходимо принять некоторые меры предосторожности, как пояснялось выше. Во-первых, требуется получить входные значения измерений  $P_{Pump}$ ,  $p_{In}$ ,  $T_{In}$ ,  $p_{Out}$ ,  $T_{Out}$ . Затем эти значения проверяются, чтобы убедиться в их пригодности, например, проверяя, что последнее значение согласуется с результатами измерений, проведенных в течение заданного предшествующего периода (например, отклонение от среднего значения за последние 5 минут не должно превышать заданной величины). Это обеспечивает стабильность результатов измерений. Существует также возможность вносить поправку на динамические эффекты путем прогнозирования результатов измерений на основании входных данных. В этом случае может использоваться устройство расчета, такое как фильтр Калмана. Если результаты измерений не отвечают требованиям, тогда в некоторых случаях их можно откорректировать с использованием некоторой модели и т.п. В качестве альтернативы технологический процесс может потребовать некоторого периода ожидания, о котором говорилось выше, чтобы позволить достичь устойчивого состояния.

Если результаты измерений пригодны, тогда применяются соответствующие части вышеуказанной модели, чтобы рассчитать КПД насоса. Рассчитанный КПД должен быть проверен, и если он согласуется с данными изготовителя, его следует принять. Если КПД лежит за пределами диапазона, выдается предупреждение о том, что имеются проблемы либо

- 1) с измеренными входными данными (оператор должен проверить),
- 2) с насосом (износ, амортизация, отказ), о чем следует сообщить, или
- 3) с использованными свойствами текучей среды (может потребоваться коррекция модели текучей среды).

Если это требуется и известны удельные параметры насоса, то вязкость текучей среды может быть определена напрямую.

В вышеприведенном анализе, поскольку двигатель и насос, принадлежащие ESP, использованному в качестве примера, погружены в текучую среду, потерей тепла можно

пренебречь. Предложенная технология может быть адаптирована к любому насосу или компрессору, для которого приложенная электрическая мощность измеряется или может быть определена. Та же модель может использоваться для нахождения расхода при условии, что на потерю тепла,  $Q_{Loss}$ , введена поправка. Это может быть выполнено с помощью простой модели:

$$Q_{Loss} \approx H_A (T_{Out} - T_{Env}) \quad (48)$$

Коэффициент теплопередачи,  $H_A$ , может быть адаптирован или определен, зная размер и место расположения оборудования. В этом случае температура окружающей среды,  $T_{Env}$ , также должна измеряться.

Таким образом, следует понимать, что предложенный расчет расхода дает точные результаты, что подтверждают сравнения на Фигурах, а кроме того имеются различные преимущества по сравнению с известными системами, такими как описаны в документах US 2013/317762 и US 2015/211906. Вязкость текучей среды не требуется измерять или оценивать, что существенно упрощает расчеты, а также позволяет проводить расчеты с более широким кругом текучих сред, в том числе, например, тяжелой нефтью. Сжимаемость (т.е. наличие доли газа) не будет существенно влиять на точность результатов, а это означает, что технология расчета предоставляет важные преимущества в отношении многофазного потока, например, при перекачке смесей нефти и газа. Кроме того, нет необходимости в тестировании насоса при переменной вязкости текучей среды в целях калибровки, чтобы получить точный расчет расхода, хотя если соответствующие калибровочные данные имеются, они предпочтительно могут использоваться для определения вязкости текучей среды.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ определения расчетного расхода потока текучей среды в насосной системе, содержащей насос, при этом способ включает:

получение результатов измерений давления и температуры текучей среды на входе насоса, давления и температуры текучей среды на выходе насоса, а также мощности, подаваемой на насосную систему;

определение значений, представляющих либо плотность текучей среды и удельную теплоемкость текучей среды, либо удельную энтальпию текучей среды, на основании результатов измерений, а также моделей текучих сред и/или данных прошлых периодов;

и  
вычисление расчетного КПД насоса и расчетного расхода текучей среды на основании подаваемой мощности, измеренных значений температуры, измеренных значений давления, найденного значения плотности и найденного значения удельной теплоемкости или найденного значения удельной энтальпии текучей среды.

2. Способ по п. 1, в котором текучую среду, проходящую через насос, отбирают в качестве образца или собирают дальше по ходу потока относительно насоса, при этом проводят измерения для определения значений плотности и удельной теплоемкости и/или удельной энтальпии.

3. Способ по п. 1, в котором используют расчетные значения плотности текучей среды, удельной теплоемкости и/или удельной энтальпии текучей среды, при этом расчетные значения получают из моделей свойств текучей среды, а также из значений давления и температуры, измеренных на входе и выходе насоса.

4. Способ по пп. 1, 2 или 3, включающий модифицирование насосного устройства, так чтобы оно включало в себя датчики температуры и давления для входа и выхода.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий определение того, существуют ли условия для устойчивого потока, перед использованием измеренных значений температуры и давления в вычислении расчетного КПД и расчетного расхода.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий обеспечение  
5 возможности истечения заданного периода времени после приведения системы в действие или после того, как стало известно о наличии состояния неустановившегося потока или это состояние было распознано.

7. Способ по п. 6, включающий обеспечение возможности истечения заданного  
10 периода времени после внесения изменения в управление насосом или в другие устройства управления потоком, влияющие на поток в насосе.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий проверку на  
изменения, превышающие определенный порог в одном или более из измеренных значений давления, измеренных значений температуры, мощности, подаваемой на насос, или вычисленного КПД насоса в течение заданного периода времени, перед  
15 использованием измеренных значений температуры и давления в вычислении расчетного КПД и расчетного расхода.

9. Способ по пп. 6, 7 или 8, в котором заданный период времени составляет по меньшей мере 5 минут.

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий сравнение  
20 расчетного КПД насоса со значениями КПД, указанными изготовителем, и выдачу указания о существовании какого-либо расхождения.

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий сравнение  
температуры на выходе и на входе и проверку того, что температура на выходе превышает температуру на входе или по меньшей мере равна ей.

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором этап вычисления  
25 расчетного КПД для насоса и расчетного расхода реализуют на основании предположения о том, что мощность, подаваемая на насос, преобразуется в механическую энергию и в тепло в перекачиваемой текучей среде, при этом отсутствуют потери как массы, так и тепла.

13. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором баланс масс и энергии  
30 используют для определения расхода на основании измеренных значений давления и температуры, известной площади сечения насоса и найденных значений плотности и удельной теплоемкости либо удельной энтальпии текучей среды.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий использование  
35 калибровочных данных для насоса с целью определения вязкости смешанной текучей среды на основании расчетного расхода и расчетного КПД насоса.

15. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий использование  
калибровочных данных для насоса с целью определения доли газа в насосе для сжимаемых текучих сред на основании расчетного расхода и КПД.

16. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором насос представляет  
40 собой центробежный насос.

17. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором насос представляет собой электрический погружной насос (ESP).

18. Способ по любому из предшествующих пунктов, при этом способ используют  
45 для оценки расходов для многофазных текучих сред в нефтяной и газовой промышленности.

19. Устройство обработки данных, сконфигурированное для реализации способа по любому из предшествующих пунктов.

20. Устройство для оценки расхода текучей среды на насосе, содержащее устройство обработки данных, выполненное с возможностью приема результатов измерения давления и температуры текучей среды на входе в насос, давления и температуры текучей среды на выходе из насоса, а также электрической мощности, подаваемой на насос; приема или определения значений, представляющих плотность текучей среды и удельную теплоемкость текучей среды и/или удельную энтальпию текучей среды, на основании результатов измерений и/или данных прошлых периодов; а также вычисления расчетного КПД насоса и расчетного расхода текучей среды на основании измеренной электрической мощности, измеренных температур, измеренных давлений, известной площади поперечного сечения, значения плотности и значения удельной теплоемкости либо значения удельной энтальпии текучей среды.

21. Устройство по п. 20, в котором устройство обработки данных выполнено с возможностью реализации способа по любому из пп. 2-18.

15

20

25

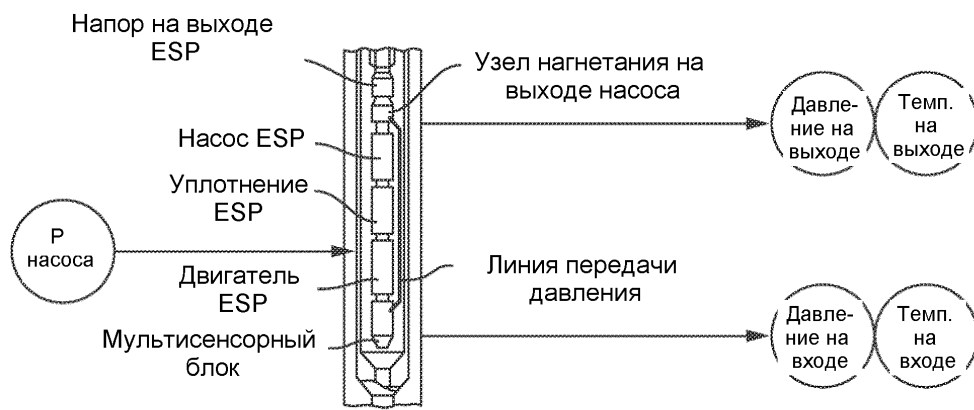
30

35

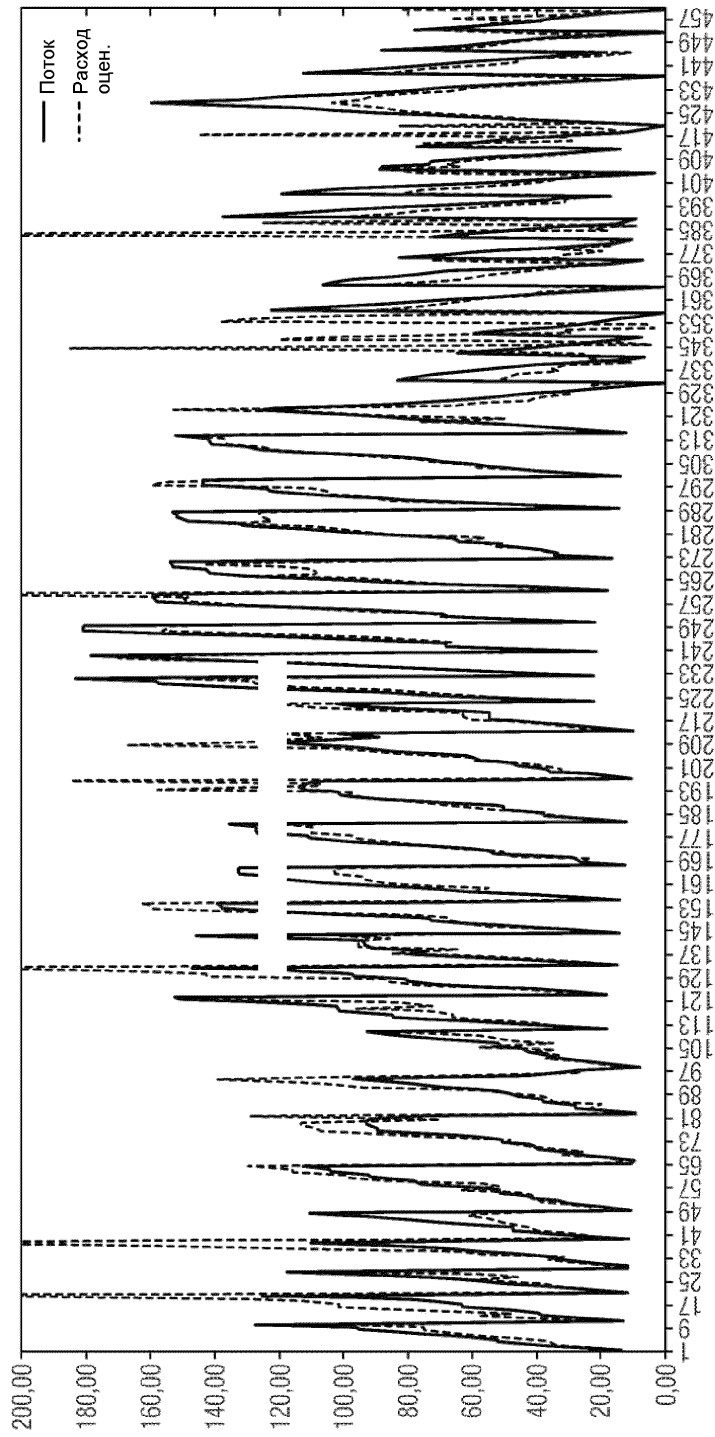
40

45

Фиг. 1

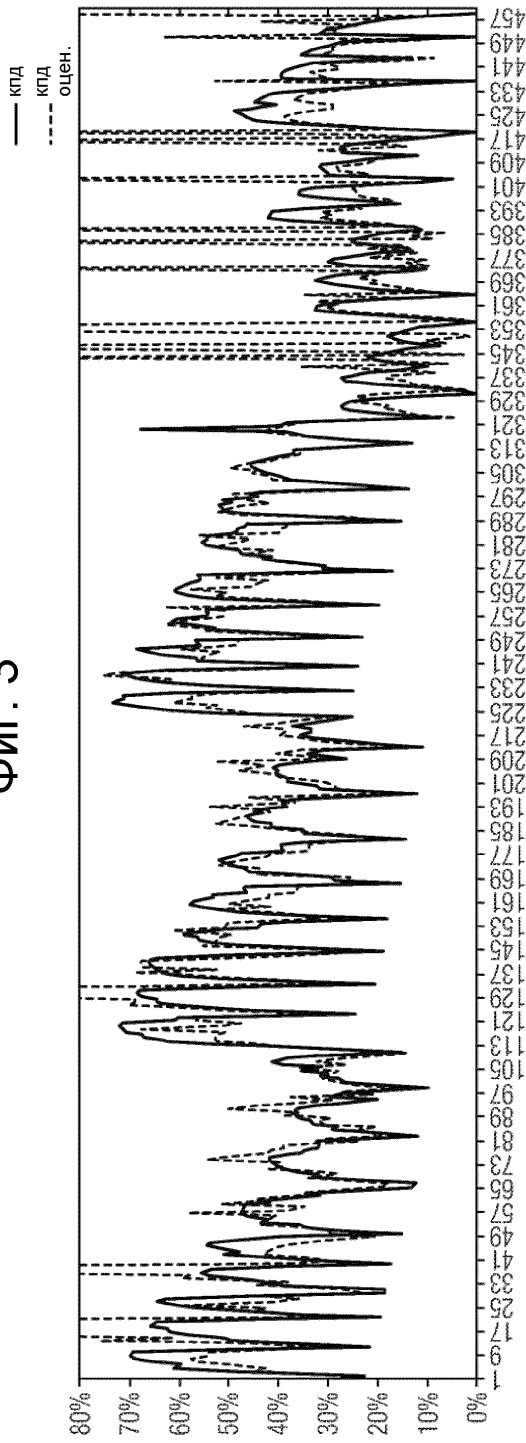


ФИГ. 2



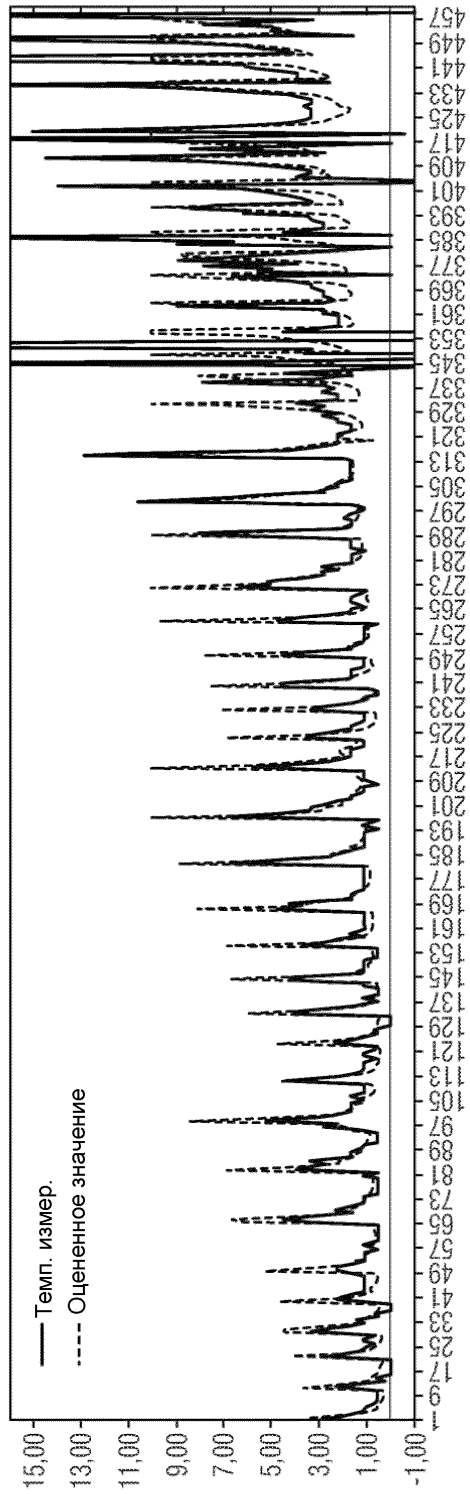
3/8

Фиг. 3

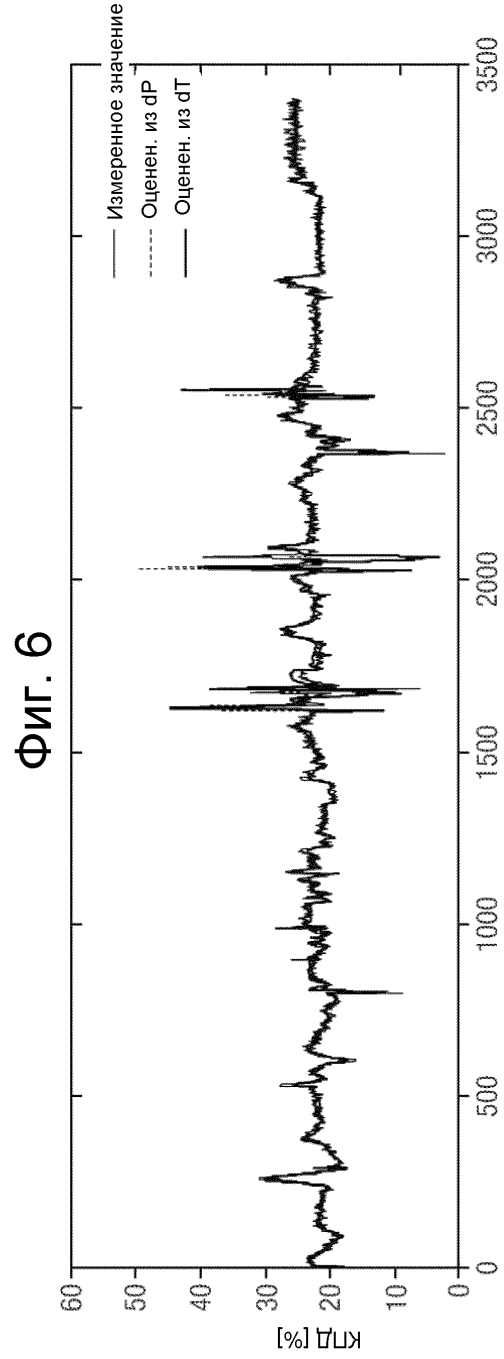
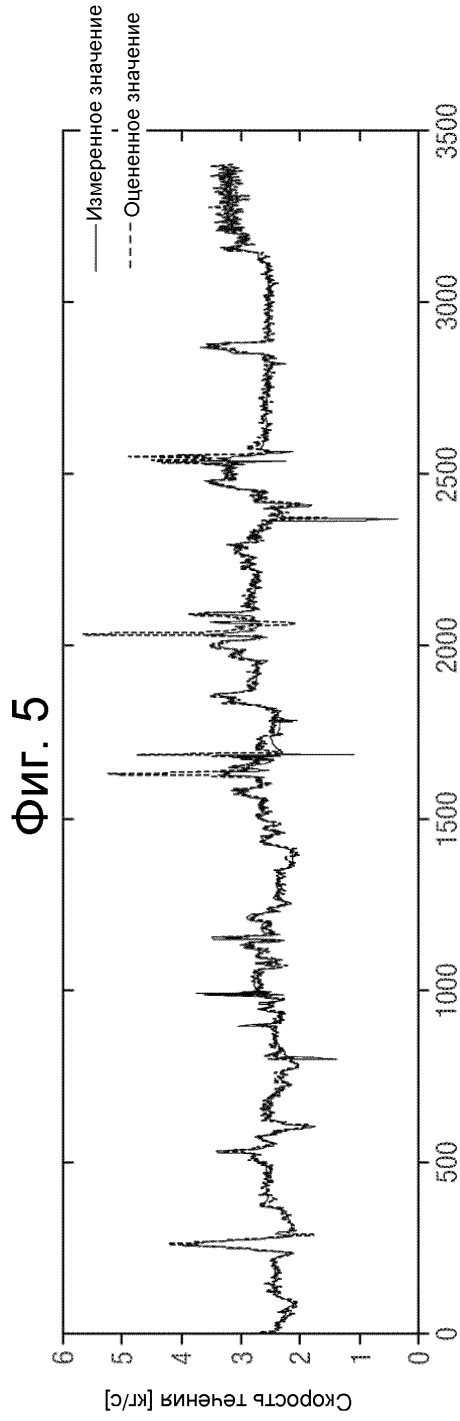


4/8

ФИГ. 4

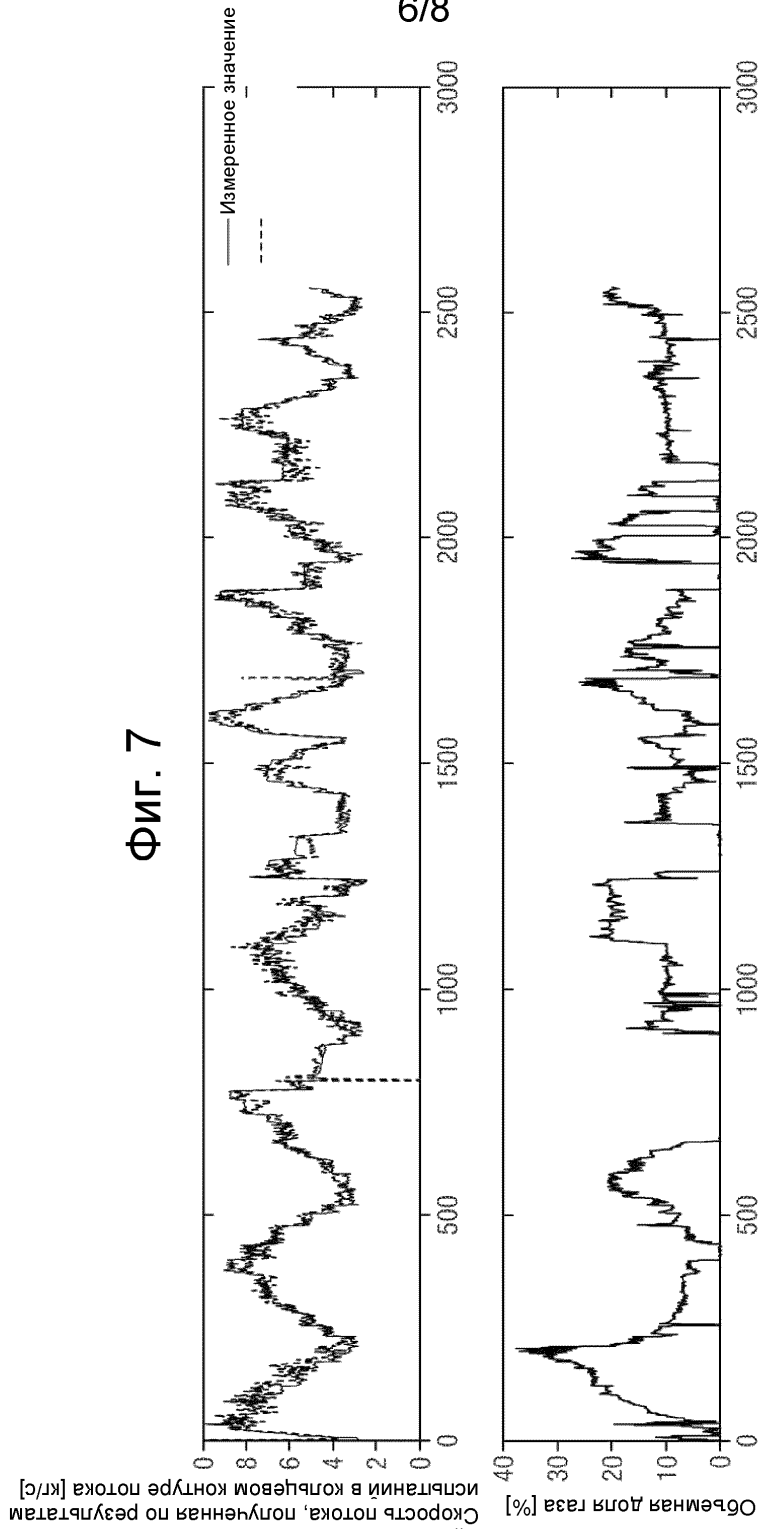






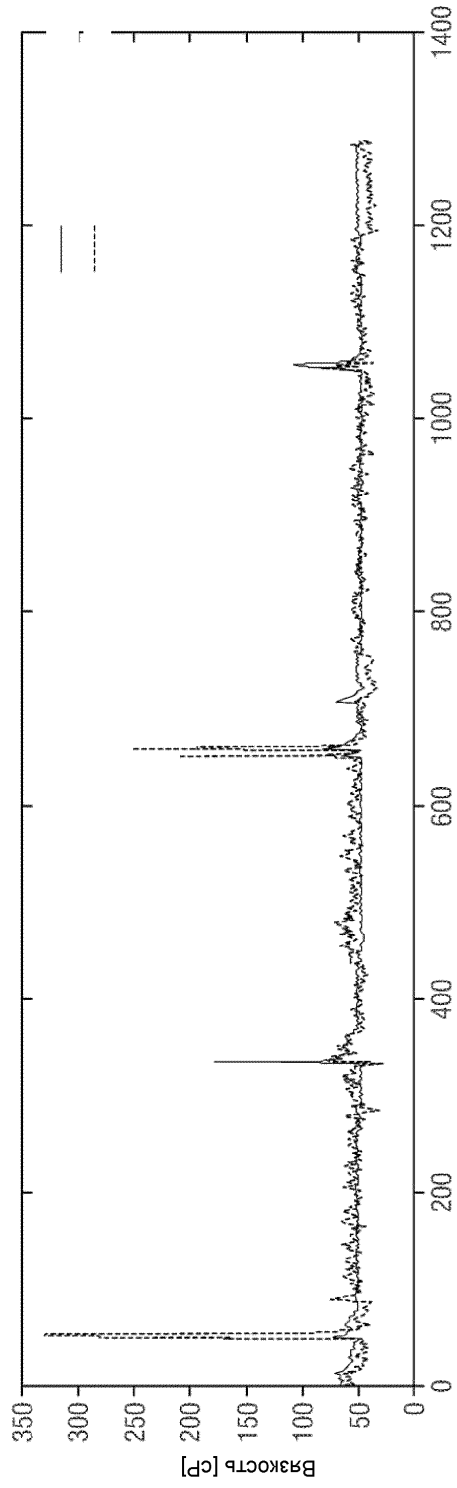
6/8

ФИГ. 7



7/8

ФИГ. 8



ФИГ. 9

