

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202190763

(13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2021.07.30

(51) Int. Cl. G01F 1/84 (2006.01)  
G01N 9/36 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2019.09.11

(54) СПОСОБ КАЛИБРОВКИ ПУСТОТНОЙ ФРАКЦИИ

(31) 1814910.4

(32) 2018.09.13

(33) GB

(86) PCT/GB2019/052531

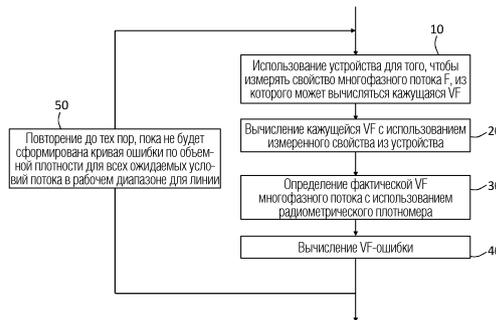
(87) WO 2020/053581 2020.03.19

(71) Заявитель:  
Эм-ФЛОУ ТЕКНОЛОДЖИЗ  
ЛИМИТЕД (GB)

(72) Изобретатель:  
Эдвард Джайлз, Паркер Алан Дэвид  
(GB)

(74) Представитель:  
Медведев В.Н. (RU)

(57) Согласно изобретению предоставляется способ формирования кривой ошибок по пустотной фракции (VF), которая коррелирует кажущуюся VF с фактической VF многофазного потока, при этом способ содержит а) использование устройства для того, чтобы измерять свойство многофазного потока, из которого может вычисляться кажущаяся VF; б) вычисление кажущейся VF с использованием измеренного свойства из устройства; в) определение фактической VF многофазного потока с использованием радиометрического плотномера; д) использование значений из б) и в) для того, чтобы вычислять VF-ошибку; е) повторение б)-д) для всех ожидаемых условий потока, с тем чтобы формировать кривую VF-ошибок.



202190763

A1

A1

202190763

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-567706EA/30

### СПОСОБ КАЛИБРОВКИ ПУСТОТНОЙ ФРАКЦИИ

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу для калибровки измерения пустотной фракции, проведенного относительно многофазного потока, а также к способу и оборудованию для вычисления массового расхода одной или более фаз в многофазном потоке.

Описание предшествующего уровня техники

Известно, что отбор углеводородов вызывает много сложностей. Одна из сложностей заключается в том, чтобы устанавливать фазовые фракции материалов, отбираемых из скважины, когда поток отбираемых материалов может содержать вплоть до трех фаз (жидкую нефтяную фазу, жидкую водную фазу и газообразную фазу). Не только объемные фракции фаз могут изменяться во времени, но и распределение фаз в потоке также может изменяться. В частности, распределение любой присутствующей газообразной фазы может изменяться в результате окружающей среды потока, присутствия изгибов в трубе и других факторов. Часть потока может содержать относительно гомогенное распределение небольших пузырьков, в то время как в другой части коалесценция газовых пузырьков может приводить к гетерогенному распределению газообразной фазы. Изменения давления и температуры также могут заставлять материалы, такие как летучие углеводороды, перемещаться между жидкими и газообразными фазами. Важно знать массовый расход отбираемых углеводородов, поскольку нефтедобывание представляет собой общую цель бизнеса.

Один способ разрешения этой проблемы заключается в том, чтобы предоставлять расходомеры ниже двух- или трехфазного сепаратора(ов), а затем отдельно измерять поток каждой из фаз. Сепараторы могут быть большими, дорогими и требующими частого техобслуживания. Помимо этого, если сепаратор(ы) имеет некорректный размер, то очень существенное количество газа может оставаться увлеченным в выходную жидкую фазу(ы) или воду в объеме добычи нефти трехфазного сепаратора. Требования по размерам сепараторов могут изменяться по мере увеличения срока службы скважины, и зачастую непрактично или экономически нецелесообразно заменять сепаратор в ходе эксплуатации отдельной скважины.

Многофазные измерители, допускающие определение фазовых объемных фракций, могут использовать несколько различных способов измерения для того, чтобы достигать цели. Один такой способ включает в себе использование устройства, которое является чувствительным к изменениям проницаемости потока, такого как микроволновый резонатор, и отдельное измерение плотности комбинированного потока. Оборудование, подходящее для выполнения этих измерений, раскрывается в WO 2016/135506 A1 и включает в себе пропускание потока текучей среды через микроволновый измеритель с резонирующей полостью и дополнительное измерение объемной плотности потока

посредством гамма-плотномера.

Радиометрические плотномеры, такие как гамма- и рентгеновские плотномеры, хотя и точные, требуют использования опасного радиоактивного источника, что, в свою очередь, приводит к проблемам касательно здоровья и безопасности и требует значительного экранирования. Это может делать такие измерители тяжелыми, громоздкими и дорогостоящими. Помимо этого, специальная сертификация и другие процедуры требуются перед тем, как радиоактивный источник может использоваться на месте, которые являются времязатратными и дорогостоящими на предмет организации.

Кориолисовы измерители известны для измерения массового расхода и плотности. Такие измерители содержат трубки, которые колеблются на собственной частоте. Когда поток не присутствует, трубки колеблются по фазе и не имеют признаков закручивания. После того как поток вводится, кориолисовы силы обуславливают закручивающий эффект в трубках. Посредством измерения сдвига по времени в фазе колебаний каждой измерительной трубки, может вычисляться массовый расход, и посредством измерения собственной частоты колебаний одной из измерительных трубок, может вычисляться плотность.

В принципе, кориолисовы измерители представляют более безопасную и менее крупногабаритную альтернативу радиометрическим плотномерам для измерения объемной плотности потока, и они также обладают дополнительным преимуществом измерения массового расхода. Тем не менее, на практике, кориолисовы измерители могут предоставлять неточные показания объемной плотности и массового расхода, если присутствуют фазы с существенно отличающейся плотностью и/или вязкостью таким образом, что возникает плохое связывание между диспергированными и непрерывными фазами, эффект, который может упоминаться как "засорение фазы". Проблема может быть особенно существенной, когда поток содержит смеси жидкой и газообразной фаз. Введение газа в жидкость, протекающую через кориолисов измеритель, значительно гасит амплитуду и искажает фазу колебаний трубок. Эти изменения приводят к ошибкам в данных массового расхода и плотности из измерителя. В общем, ошибка измерения зависит от ряда параметров, таких как скорость потока и вязкость жидкости, давление и температура потока и степень увлечения газа жидкостью. Если газ отвязывается от жидкости таким образом, что он более не увлекается, то в результате может получаться так называемый "пробковый поток", что может увеличивать ошибки измерения. Эти факторы, которые являются переменными, могут затруднять компенсацию ошибок измерения в полевых условиях. Следует обратиться к работе автора Chris Mills, озаглавленной "Correcting the Coriolis Meter for Two Phase Oil and Gas Flow", представленной на International Flow Measurement Conference 2015, 1-2 июля 2015 года, в Уорикском университете, Великобритания.

Для трехфазного потока в отборе углеводородов (содержащего нефтяную фазу, водную фазу и газообразную фазу), если коэффициент содержания газа в жидкости и скорость текучей среды являются относительно постоянными и известными, то может

применяться аппроксимированный коэффициент коррекции, который может обеспечивать возможность кориолисову измерителю выводить относительно точную плотность и массовый расход. С другой стороны, если эти величины колеблются значительным образом, то данный подход не предоставляет точную объемную плотность и массовый расход.

Настоящее изобретение разработано с учетом вышесказанного.

Сущность изобретения

Согласно первому аспекту изобретения, предоставляется способ формирования кривой ошибок по пустотной фракции (VF), которая коррелирует кажущуюся VF с фактической VF многофазного потока, при этом способ содержит:

- a) использование устройства для того, чтобы измерять свойство многофазного потока, из которого может вычисляться кажущаяся VF;
- b) вычисление кажущейся VF с использованием измеренного свойства из устройства;
- c) определение фактической VF многофазного потока с использованием радиометрического плотномера;
- d) использование значений из b) и c) для того, чтобы вычислять VF-ошибку;
- e) повторение b)-d) для всех ожидаемых условий потока, с тем чтобы формировать кривую VF-ошибок.

При использовании в данном документе, термин "VF" текучей среды, протекающей через трубу, означает:

VF=Объем газа в единичном объеме трубы:

при преобладающих условиях по температуре и давлению в трубе. Он обычно выражается как процентная доля.

При использовании в данном документе, термин "обводненность" (WC) имеет следующий смысл:

WC=Объем воды в единичном объеме трубы,

Объем жидкости в единичном объеме трубы:

при преобладающих условиях по температуре и давлению в трубе. Он также обычно выражается как процентная доля.

Радиометрический плотномер может надлежащим образом представлять собой любой измеритель, который измеряет истинную плотность потока, такой как гамма-плотномер или рентгеновский плотномер. Радиометрический плотномер может представлять собой двухэнергетический плотномер или одноэнергетический плотномер.

Фактическая VF может определяться непосредственно из радиометрического плотномера, если радиометрический плотномер представляет собой двухэнергетический (или на основе DEGRA (двухэнергетического гамма-лучевого ослабления)) плотномер, который использует источник как высокоэнергетического, так и низкоэнергетического излучения для того, чтобы сначала отличать газ от жидкости, а затем нефть от воды. Если радиометрический плотномер представляет собой одноэнергетический плотномер, то

фактическая VF может не получаться непосредственно и должна вычисляться. Вычисление может выполняться с использованием фактической объемной плотности, измеренной посредством радиометрического плотномера. Нижеприведенное уравнение 1 может использоваться (с заменой кажущейся объемной плотности на фактическую объемную плотность, измеренную посредством радиометрического плотномера для того, чтобы предоставлять фактическую VF).

Согласно второму аспекту изобретения, способ вычисления фактической VF многофазного потока содержит измерение свойства потока, из которого может вычисляться кажущаяся VF, вычисление кажущейся VF многофазного потока и корректировку кажущейся VF с использованием кривой VF-ошибок первого аспекта изобретения.

Способ согласно первому и второму аспектам изобретения может преимущественно использоваться, когда поток содержит жидкую фазу и газовую фазу. Более преимущественно, жидкая фаза может содержать водную фазу и нефтяную фазу таким образом, что имеется трехфазный поток, содержащий смешанную нефтяную и водную жидкую фазу и газообразную фазу.

Согласно одному варианту осуществления первого и второго аспектов изобретения, устройство, которое измеряет свойство многофазного потока, из которого может вычисляться кажущаяся VF, представляет собой кориолисов измеритель. Кориолисовы измерители измеряют кажущуюся объемную плотность и кажущийся массовый расход. Измерение кажущейся объемной плотности может использоваться для того, чтобы извлекать кажущуюся VF с использованием уравнения 1:

Уравнение 1: кажущаяся  $VF = \rho_L - \rho$

$\rho_L - \rho_g$ ,

где  $\rho_L$  является плотностью жидкости,  $\rho_G$  является плотностью газа, и  $\rho$  является кажущейся объемной плотностью, измеренной посредством кориолисова измерителя.

В ходе этой фазы калибровки,  $\rho_L$  и  $\rho_G$  могут получаться посредством фактических измерений, проведенных из проб, отбираемых из поточной линии, чтобы определять фазовые фракции, и, если требуется, посредством данных, известных специалистам в данной области техники из таких моделей, как "PVT-модели" (где "PVT" означает "давление, объем и температура").

Согласно другому варианту осуществления первого и второго аспектов изобретения, устройство, которое измеряет свойство многофазного потока, из которого может вычисляться кажущаяся VF, представляет собой микроволновый измеритель. Микроволновый измеритель может использовать резонанс ("микроволновый резонатор") или поглощение. Предпочтительно, микроволновый измеритель представляет собой микроволновый резонатор, к примеру, раскрытый в WO 2016/135506 A1. Микроволновый измеритель может измерять объемную проницаемость многофазного потока, из которого может извлекаться кажущаяся VF способом, известным специалистам в данной области техники.

Первый и второй аспекты изобретения относятся к калибровке устройства или устройств, из которых может извлекаться кажущаяся VF. Согласно этим аспектам изобретения, устройство, такое как кориолисов измеритель и/или микроволновый измеритель, устанавливается в поточной линии в полевых условиях, и дополнительно также временно устанавливается радиометрический плотномер. Предпочтительный подход заявителя заключается в том, чтобы калибровать устройство на месте в фактической линии в полевых условиях, в которых он должен стационарно устанавливаться. Устройство калибруется для полного рабочего диапазона рассматриваемой линии. Это означает то, что кривые ошибок по объемной плотности и VF формируются для всего ожидаемого полного диапазона условий потока, наблюдаемых в линии. Время, требуемое для этого, должно варьироваться в зависимости от скважины, но типично составляет некоторое количество дней.

После того как калибровка выполнена, устройство(а) может отслеживаться в ходе использования способом, поясненным ниже, чтобы обеспечивать длительно сохраняющуюся точность, так что проще всего верифицировать калибровку.

После того, как кривая VF-ошибок сформирована для рассматриваемого устройства, такого как кориолисов измеритель или микроволновый измеритель, в таком случае радиометрический плотномер может исключаться, оставляя только устройству, которое может после этого использоваться вместе с кривой VF-ошибок, с тем чтобы точно определять фактическую VF многофазного потока.

Согласно третьему аспекту изобретения, предоставляется способ для вычисления массового расхода одной или более фаз в многофазном потоке, содержащий:

- a) использование кориолисова измерителя для того, чтобы измерять кажущуюся объемную плотность многофазного потока;
- b) вычисление первой кажущейся VF с использованием кажущейся объемной плотности из a);
- c) использование микроволнового измерителя для того, чтобы измерять проницаемость многофазного потока;
- d) вычисление второй кажущейся VF с использованием измерения проницаемости из c);
- e) вычисление фазовых объемных фракций многофазного потока с использованием результатов из b) и d);
- f) определение фактического объемного массового расхода многофазного потока;
- g) вычисление массового расхода одной или более фаз с использованием значений из d) и e).

Согласно третьему аспекту изобретения, кориолисов измеритель измеряет кажущуюся объемную плотность и кажущийся объемный массовый расход многофазного потока. Первая кажущаяся VF затем вычисляется с использованием вышеприведенного уравнения 1. После этого, микроволновый измеритель измеряет объемную проницаемость многофазного потока. Вторая кажущаяся VF вычисляется из измерения объемной

проницаемости.

Два измерения кажущейся VF могут использоваться для того, чтобы вычислять WC многофазного потока и в силу этого также фазовые объемные фракции (поскольку знание WC и VF обеспечивает возможность вычисления фазовых фракций). Как измерение объемной проницаемости из микроволнового измерителя, так и измерение объемной плотности из кориолисова измерителя являются чувствительными к VF и WC многофазного потока. Конкретная пара значений из двух параметров (кажущейся объемной плотности и объемной проницаемости) может формироваться для диапазона WC- и VF-значений. Истинные WC и VF многофазной текучей среды в измерительном узле могут определяться посредством вычисления VF для диапазона WC-значений из измерения, проведенного из каждого измерителя (одного из микроволнового измерителя и одного для кориолисова измерителя), и нахождения значения обводненности, для которого оба измерения обеспечивают идентичную пустотную фракцию.

Этот процесс может представляться посредством двух кривых на двумерном графике зависимости WC от VF. Каждая кривая представляет возможные значения WC и VF, которые могут приводить к конкретному значению измерения либо из микроволнового измерителя, либо из данных объемной плотности из кориолисова измерителя. Истинные WC- и VF-значения возникают там, где эти две кривые пересекаются.

Микроволновые данные преимущественно являются чувствительными к обводненности, и объемная плотность является преимущественно чувствительной к пустотной фракции. Таким образом, две кривые из различных измерений типично являются практически перпендикулярными друг другу, что означает то, что точка пересечения четко задается.

В преимущественном усовершенствовании, кривые VF-ошибок из первого аспекта изобретения могут использоваться для вычисления на е). В этом случае, решение находится посредством итерации или посредством решения одновременных уравнений таким образом, что измерения из кориолисова измерителя и измерение из микроволнового измерителя дают в результате фактическую VF, измеренную посредством радиометрического плотномера. На двумерном графике зависимости WC от VF, в таком случае может определяться фактическая WC.

Согласно третьему аспекту изобретения, фактический объемный массовый расход многофазного потока должен вычисляться. Взаимосвязь между дифференциальным давлением через преграду внутри трубы и массовым расходом материала, протекающего через нее для несжимаемой текучей среды, известна из принципа Бернулли. Таким образом, один способ для установления массового расхода материала, протекающего через трубу, заключается в измерении дифференциального давления через преграду для потока внутри трубопровода. Измерители дифференциального давления на основе этого принципа известны и включают в себя устройства с трубкой Вентури и с диафрагменной пластиной. Они могут использоваться для того, чтобы измерять падение давления вдоль

секции протока текучей среды, например, вдоль трубы или в устройстве. Кориолисов измеритель предоставляет преграду для потока внутри трубы, так что дифференциальное давление в кориолисовом измерителе может использоваться для того, чтобы измерять массовый расход через измеритель.

Ожидается, что взаимосвязь Бернулли между дифференциальным давлением в и массовым расходом через преграду внутри трубы не должна применяться к многофазному потоку, содержащему газообразную фазу, поскольку этот тип текучей среды должен быть сжимаемым, т.е. линейная плотность должна варьироваться в зависимости от давления. Тем не менее, заявитель констатирует, что если количество присутствующего газа составляет менее 5%, предпочтительно, менее 2%, и более предпочтительно, менее 1% по массе многофазной текучей среды, то падение давления для данного массового расхода потока только с жидкостью является идентичным падению давления для идентичного массового расхода многофазного потока, включающего в себя газообразную фазу. Другими словами, дифференциальное давление главным образом зависит от массового расхода жидкости и является независимым от  $VF$ . Установка устройства для того, чтобы измерять дифференциальное давление, в силу этого может обеспечивать возможность точного определения массового расхода жидкости даже для многофазного потока, содержащего газообразную фазу.

Следовательно, согласно третьему аспекту изобретения, предоставляется измеритель дифференциального давления, чтобы измерять дифференциальное давление в кориолисовом измерителе, с тем чтобы обеспечивать возможность установления массового расхода жидкости внутри трубы.

Взаимосвязь между массовым расходом потока только с жидкостью с известной плотностью через кориолисов измеритель и дифференциальным давлением в нем представляет собой важный рабочий параметр для многих установок кориолисова измерителя и с большой вероятностью должна быть известна для изготовителя. Если нет, она может легко устанавливаться в любом случае. При условии, что заявитель теперь констатирует, что эта информация может использоваться для многофазного потока, содержащего газообразную фазу, дифференциальное давление может преимущественно измеряться в кориолисовом измерителе, и информация, предоставляемая с помощью кориолисова измерителя, может использоваться для того, чтобы коррелировать измеренное дифференциальное давление в измерителе с массовым расходом жидкости через него.

Чтобы вычислять фактический массовый расход, фактическая объемная плотность многофазного потока должна быть известной. Она может извлекаться из кривой ошибок по объемной плотности, которая корректирует кажущуюся объемную плотность, измеренную посредством кориолисова измерителя, с фактической объемной плотностью. Радиометрический плотномер, такой как радиометрический плотномер, описанный относительно первого аспекта изобретения, может использоваться для того, чтобы измерять фактическую объемную плотность многофазного потока. Таким образом, кривая

ошибок по объемной плотности может формироваться параллельно с формированием кривой VF-ошибок для кориолисова измерителя согласно первому аспекту изобретения.

Со знанием фактической объемной плотности из кориолисова измерителя, скорректированной с использованием кривой ошибок по объемной плотности и фазовых объемных фракций многофазного потока (сформированных с использованием кориолисова измерителя и микроволнового измерителя и, преимущественно, также кривых VF-ошибок первого аспекта изобретения), и массового расхода жидкости с использованием измерения дифференциального давления в кориолисовом измерителе, может вычисляться фактический объемный массовый расход.

Использование измерения дифференциального давления обеспечивает возможность определения фактического массового расхода жидкости в режимах потока с варьирующейся скоростью потока в жидкой фазе. В случаях, в которых скорость потока в жидкой фазе является относительно постоянной, имеется линейная взаимосвязь между ошибкой по объемному массовому расходу и ошибкой по объемной плотности таким образом, что может использоваться альтернативный способ, в котором вычисление фактического объемного массового расхода для многофазного потока содержит:

i. определение ошибки по объемному массовому расходу из ошибки по объемной плотности; и

ii. вычисление фактического объемного массового расхода посредством коррекции кажущегося объемного массового расхода с использованием ошибки по объемному массовому расходу;

- при этом фактическая объемная плотность вычисляется посредством коррекции кажущейся объемной плотности с использованием кривой ошибок по объемной плотности.

В завершение, согласно третьему аспекту изобретения, далее вычисляется фактический массовый расход одной или более фаз в многофазном потоке. Это выполняется с использованием фазовых объемных фракций и фактического объемного массового расхода. Для полноты, плотность каждой из отдельных фаз при данной температуре и давлении также должна быть известной, но это представляет собой информацию, которая всегда доступна для использования специалистами в данной области техники, например, из PVT-модели.

Преимущественно, согласно третьему аспекту изобретения, многофазный поток содержит воду, нефть и газ, и способ содержит вычисление объемных фракций каждой из этих фаз. Дополнительное преимущественное усовершенствование согласно третьему аспекту изобретения содержит вычисление массового расхода нефти.

Третий аспект изобретения обеспечивает возможность точного определения массового расхода(ов) одной или более фаз в многофазном потоке с использованием только кориолисова измерителя, измерителя, микроволнового измерителя и, необязательно, измерителя дифференциального давления, установленного на месте в рабочей линии. Это исключает необходимость в стационарной установке

радиометрического плотномера.

Важное преимущество настоящего изобретения состоит в том, что после калибровки кориолисова измерителя и микроволнового измерителя, точность этих измерителей может отслеживаться простым способом. В качестве части регулярной калибровки по расписанию, и/или если предположительно возникает существенное изменение условий потока, производительность этих измерителей может оцениваться посредством взятия пробы жидкости из многофазного потока в линии, ее анализа для того, чтобы устанавливать пропорции каждой присутствующей жидкой фазы, такой как нефть и вода, и их сравнения с WC-показанием, извлекаемым из комбинации кориолисова измерителя и микроволнового измерителя. Поскольку VF- и WC-данные, сформированные посредством этих двух измерителей, являются взаимозависимыми, если WC-измерение из измерителя является точным, то VF также должна быть точной.

Согласно четвертому аспекту изобретения, предоставляется измерительный узел для вычисления массовых расходов одной или более фаз в многофазном потоке, причем измерительный узел содержит:

- a) кориолисов измеритель для измерения кажущейся объемной плотности и кажущегося объемного массового расхода многофазного потока;
- b) измеритель дифференциального давления для измерения дифференциального давления в кориолисовом измерителе;
- c) микроволновый измеритель, предпочтительно микроволновый резонатор, для измерения объемной проницаемости многофазного потока.

Оборудование согласно четвертому аспекту изобретения может преимущественно содержать вычислительное устройство, выполненное с возможностью:

- a) вычислять первую кажущуюся VF из кажущейся объемной плотности;
- b) вычислять вторую кажущуюся VF из объемной проницаемости;
- c) вычислять фазовые объемные фракции многофазного потока с использованием результатов из a) и b);
- d) определять массовый расход жидкости многофазного потока с использованием дифференциального давления, измеренного посредством измерителя дифференциального давления;
- e) вычислять фактический объемный массовый расход многофазного потока;
- f) вычислять массовый расход одной или более фаз в многофазном потоке.

Преимущественно, согласно четвертому аспекту изобретения, вычисление фазовых объемных фракций многофазного потока на этапе c) включает в себя использование первой и второй кривой VF-ошибок, коррелирующих первую кажущуюся VF и вторую кажущуюся VF с фактической VF, определенной с использованием радиометрического плотномера.

Согласно четвертому аспекту изобретения, вычислительное устройство может быть расположено рядом с измерительным узлом, либо оно может быть расположено удаленно от измерительного узла. В любом случае, соединение между измерительным узлом и

вычислительным устройством может быть проводным, либо оно может работать в беспроводном режиме.

Вычислительное устройство согласно предпочтительным вариантам осуществления описывается как "выполненное с возможностью" или "размещаемое с возможностью" либо просто как "с возможностью" выполнять определенные функции. Эта конфигурация или узел может осуществляться посредством использования аппаратных средств или промежуточного программного обеспечения либо любой другой подходящей системы. В предпочтительных вариантах осуществления, конфигурация или узел осуществляется посредством программного обеспечения.

Таким образом, согласно одному аспекту, предоставляется программа, которая, при загрузке, по меньшей мере, на один компьютер, конфигурирует компьютер таким образом, что он становится вычислительным устройством.

Согласно дополнительному аспекту, предоставляется программа, которая, при загрузке, по меньшей мере, на один компьютер, конфигурирует, по меньшей мере, один компьютер с возможностью выполнять этапы способа согласно любому из предыдущих определений способа либо любой их комбинации.

В общем, компьютер может содержать элементы, перечисленные как выполненные или размещаемые с возможностью предоставлять заданные функции. Например, этот компьютер может включать в себя запоминающее устройство, процессор и сетевой интерфейс.

Изобретение может реализовываться в цифровой электронной схеме или в компьютерных аппаратных средствах, микропрограммном обеспечении, программном обеспечении либо в комбинациях вышеозначенного. Изобретение может реализовываться как компьютерная программа или компьютерный программный продукт, т.е. компьютерная программа, материально осуществленная в энергонезависимом носителе информации, например, в машиночитаемом устройстве хранения данных, либо в распространяемом сигнале, для выполнения посредством либо для управления работой одного или более аппаратных модулей.

Компьютерная программа может иметь форму автономной программы, части компьютерной программы либо более одной компьютерной программы и может быть написана на любой форме языка программирования, в том числе на компилированных или интерпретируемых языках, и она может развертываться в любой форме, в том числе в качестве автономной программы либо в качестве модуля, компонента, вложенной процедуры или другого блока, подходящего для использования в окружении обработки данных. Компьютерная программа может развертываться с возможностью выполняться в одном модуле либо в нескольких модулях, которые расположены на одном узле или распределены по нескольким узлам и взаимно соединяются посредством сети связи.

Этапы способа изобретения могут выполняться посредством одного или более программируемых процессоров, выполняющих компьютерную программу таким образом, чтобы выполнять функции изобретения посредством управления входными данными и

формирования вывода. Оборудование по изобретению может реализовываться как программируемые аппаратные средства либо как логическая схема специального назначения, включающая в себя, например, FPGA (программируемую пользователем вентиляционную матрицу) или ASIC (специализированную интегральную схему).

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 иллюстрирует узел согласно изобретению в режиме калибровки, который обеспечивает возможность калибровки устройства, такого как кориолисов измеритель или микроволновый измеритель, посредством радиометрического плотномера.

Фиг. 2 иллюстрирует измерительный узел согласно изобретению в режиме в ходе использования для измерения массового расхода одной или более фаз в многофазном потоке.

Фиг. 3 является блок-схемой последовательности операций, иллюстрирующей способ первого аспекта изобретения.

Фиг. 4 является блок-схемой последовательности операций, иллюстрирующей способ третьего аспекта изобретения.

Фиг. 5 является графиком, показывающим взаимосвязь между  $V_F$  и  $W_C$  как для кориолисова резонатора, так и для микроволнового измерителя.

Фиг. 6 является кривой, показывающей  $G_{VF}$ , измеренную посредством кориолисова измерителя (ось  $Y$ ) и микроволнового измерителя, в зависимости от  $G_{VF}$ , измеренной посредством гамма-плотномера (ось  $X$ ).

Фиг. 7 является кривой, показывающей дифференциальное давление в кориолисовом измерителе в барах (ось  $Y$ ) в зависимости от скорости потока жидкости через кориолисов измеритель в м/с (ось  $X$ ).

Ниже подробнее поясняются чертежи.

Фиг. 1 фигурально иллюстрирует узел для калибровки устройства, которое измеряет свойство многофазного потока, из которого может вычисляться кажущаяся  $V_F$ , такого как кориолисов измеритель или микроволновый измеритель. Калибровка осуществляется посредством радиометрического плотномера. Узел содержит поточную линию 1, через которую проходит многофазный поток  $F$ . Устройство 2 и радиометрический плотномер 5 устанавливаются в поточной линии 1. Измерительные приборные линии 6 соединяют каждое устройство 2 и радиометрический плотномер 5 с вычислительным устройством 7. Можно выполнять калибровку более чем на одном устройстве 2 за один раз. Например, два устройства 2, такие как кориолисов измеритель и микроволновый измеритель, могут быть размещены в поточной линии 1, и оба могут калиброваться с использованием радиометрического плотномера 5. Такие калибровки могут выполняться одновременно или одна за другой.

Если устройство 2 представляет собой кориолисов измеритель, то свойство, которое оно измеряет, представляет собой кажущуюся плотность многофазного потока  $F$ . Для полноты, кориолисов измеритель также может измерять кажущийся массовый расход многофазного потока. Радиометрический плотномер 5 измеряет фактическую плотность

многофазного потока. Если радиометрический плотномер представляет собой двухэнергетическое устройство, то он также может непосредственно определять фактическую  $VF$  многофазного потока  $F$ . Показания из обоих измерителей подаются в вычислительное устройство 7, которое вычисляет кажущуюся  $VF$  с использованием измерения кажущейся объемной плотности из кориолисова измерителя. При необходимости (если радиометрический плотномер не представляет собой двухэнергетическое устройство), вычислительное устройство 7 также вычисляет фактическую  $VF$  с использованием измерения фактической объемной плотности из радиометрического плотномера. Вычислительное устройство 7 также может формировать кривую ошибок по плотности, обеспечивающую возможность коррекции кажущейся объемной плотности, измеренной посредством кориолисова измерителя 2, на фактическую объемную плотность, измеренную посредством радиометрического плотномера.

Если устройство 2 представляет собой микроволновый измеритель, то свойство, которое он измеряет, представляет собой объемную проницаемость многофазного потока  $F$ . С другой стороны, радиометрический плотномер 5 измеряет фактическую плотность многофазного потока  $F$ . Показания из обоих измерителей подаются в вычислительное устройство 7, которое вычисляет кажущуюся  $VF$  с использованием измерения объемной проницаемости из микроволнового измерителя. При необходимости (если радиометрический плотномер не представляет собой двухэнергетическое устройство), вычислительное устройство 7 также вычисляет фактическую  $VF$  с использованием измерения фактической объемной плотности из радиометрического плотномера.

Узел по фиг. 1 функционирует так, как показано на блок-схеме последовательности операций способа по фиг. 3. На этапе 10, устройство 2 используется для того, чтобы измерять свойство многофазного потока  $F$ , из которого может вычисляться кажущаяся  $VF$ . На этапе 20, кажущаяся  $VF$  измеряется с использованием устройства. На этапе 30, фактическая  $VF$  многофазного потока  $F$  определяется с использованием радиометрического плотномера. На этапе 40, вычисляется ошибка в  $VF$ -ошибке, которая представляет собой разность между фактической  $VF$ , измеренной посредством радиометрического плотномера 5, и кажущейся  $VF$ , измеренной посредством устройства 2. Эти этапы повторяются для всех ожидаемых условий потока на этапе 50, чтобы формировать кривую  $VF$ -ошибок для полного рабочего диапазона рассматриваемой линии.

Фиг. 2 фигурально иллюстрирует узел для измерения массового расхода одной или более фаз в многофазном потоке  $F$  в состоянии в ходе использования после калибровки с использованием узла по фиг. 1. Узел по фиг. 2 содержит поточную линию 1, через которую проходит многофазный поток  $F$ . Кориолисов измеритель 8 установлен в линии, и с одной из сторон кориолисова измерителя 8 предусмотрен датчик 3 давления, которые вместе измеряют дифференциальное давление в кориолисовом измерителе 8. Помимо этого, микроволновый измеритель 4 устанавливается в поточной линии 1. Измерительные

приборные линии 6 соединяют каждый кориолисов измеритель 8, датчики 3 давления и микроволновый измеритель 4 с вычислительным устройством 7. В этом узле, кривые VF-ошибок для кориолисова измерителя 8 и микроволнового измерителя 4 и кривая ошибок по объемной плотности для кориолисова измерителя 8 заранее сформированы с использованием узла согласно фиг. 1 и сохраняются в вычислительном устройстве 7. Вычислительное устройство 7 в силу этого имеет возможность корректировать кажущуюся VF, измеренную посредством как кориолисова измерителя 8, так и микроволнового измерителя 4, на фактическую VF, заранее измеренную посредством радиометрического плотномера 5. Оно также может сохранять кривую ошибок по объемной плотности, обеспечивающую возможность коррекции кажущейся объемной плотности, измеренной посредством кориолисова измерителя 8, на фактическую объемную плотность, также заранее измеренную посредством радиометрического плотномера 5, и в силу этого вычислять фактическую объемную плотность многофазного потока.

Узел по фиг. 2 функционирует так, как показано на блок-схеме последовательности операций способа по фиг. 4. На этапе 60, кажущаяся объемная плотность измеряется посредством кориолисова измерителя 8. Помимо этого, хотя не показано, кажущийся массовый расход также может измеряться. На этапе 70, первая кажущаяся VF многофазного потока вычисляется с использованием кажущейся объемной плотности, измеренной посредством кориолисова измерителя 8. На этапе 80, проницаемость многофазного потока измеряется с использованием микроволнового измерителя 4. На этапе 90, вторая кажущаяся VF вычисляется с использованием измерения проницаемости из микроволнового измерителя. Выводы из этапов 70 и 90 используются для того, чтобы формировать фазовые объемные фракции многофазного потока на этапе 100. На этапе 110, фактический объемный массовый расход формируется с использованием вывода из датчиков давления. Альтернативно, в режимах потока, в которых скорость потока жидкости является относительно постоянной, это может выполняться посредством коррекции кажущегося объемного массового расхода, измеренного посредством кориолисова измерителя 8, с использованием кривой ошибок по объемной плотности и определения ошибки по объемному массовому расходу из ошибки по объемной плотности способом, поясненным выше. В завершение, на этапе 120, вычисляется массовая фракция одной или более фаз.

Фиг. 5 является схематичным графиком, иллюстрирующим то, как данные первой и второй кажущейся VF могут использоваться для того, чтобы определять фазовые объемные фракции.

Кривая A, которая представляет собой линию со стрелкой, которая указывает преимущественно вертикальном направлении, представляет возможные значения VF и WC, которые соответствуют конкретному измерению модовой частоты микроволнового измерителя. Эта линия указывает преимущественно в вертикальном направлении, поскольку это измерение является главным образом чувствительным к WC. Это

обусловлено тем, что электрическая проницаемость воды значительно выше электрических проницаемостей нефти и газа, которые являются аналогичными.

Кривая В, которая представляет собой линию со стрелкой, которая указывает преимущественно в горизонтальном направлении, представляет возможные пары VF- и WC-значений, которые соответствуют конкретному значению кажущейся объемной плотности, измеренному посредством кориолисова измерителя. Для предполагаемого значения обводненности, VF вычисляется из уравнения 1, которое повторяется здесь для удобства:

Уравнение 1: кажущаяся  $VF = \rho_L - \rho$

$\rho_L - \rho_g$ ,

где:

$\rho_L$  является плотностью жидкости; она вычисляется из известных плотностей нефти и воды и предполагаемой WC,

$\rho_g$  является плотностью газа, которая определяется из PVT-модели,

$\rho$  является кажущейся объемной плотностью, измеренной посредством кориолисова измерителя.

Эта линия является преимущественно горизонтальной, поскольку это измерение является главным образом чувствительным к изменениям VF газа вследствие того факта, что плотность газа гораздо ниже плотностей нефти и воды.

Используемый способ вычисляет значения VF-фракции, которые являются возможными для диапазона значений WC-обводненности из каждого измерения (одно из кориолисова измерителя, и одно из микроволнового измерителя), и иллюстрирует на графике эти две кривые из результатов этих вычислений. Точка, в которой две линии пересекаются, представляет собой точку, в которой VF, вычисленная из каждого измерения, является идентичной. Поскольку обе линии представляют собой монотонные функции (невозможно иметь идентичное вычисленное VF-значение для двух различных WC-значений), WC, при которой линии пересекаются, представляет собой фактическое WC-значение, обозначенное в качестве точки "с" на фиг. 5. Эта точка может быть найдена с использованием либо итеративных способов, либо аналитически посредством решения пары одновременных линейных уравнений.

Способ, описанный выше, может становиться неточным, если возникает засорение фазы. В такой ситуации, кажущаяся объемная плотность, измеренная посредством кориолисова измерителя, может становиться неточной. Более конкретно, кориолисов измеритель может выдавать завышенные показания в отношении объемной плотности, и требуется коррекция для этого значения, чтобы получать эквивалентную VF из микроволнового измерителя. При большинстве VF-значений, микроволновая VF, определенная из микроволнового измерителя, составляет ближе к фактической VF, измеренной посредством радиометрического плотномера, чем VF, извлекаемая из кориолисовых данных плотности.

Чтобы разрешать эту ситуацию, калибровка выполняется с использованием

радиометрического плотномера для того, чтобы получать кривые ошибок между кажущейся  $VF$ , измеренной посредством кориолисова измерителя, и фактической  $VF$ , измеренной посредством радиометрического плотномера, с одной стороны, и кажущейся  $VF$ , измеренной посредством микроволнового измерителя, и фактической  $VF$ , измеренной посредством радиометрического плотномера, с другой стороны. Кривые, показанные на фиг. 6, иллюстрируют взаимосвязи, найденные с использованием тестового оборудования, описанного ниже. С использованием кривых ошибок, фактическая  $WC$  данного многофазного потока может быть найдена посредством итеративного прохождения или решения одновременных уравнений таким образом, что как измерение из кориолисова измерителя, так и измерение из микроволнового измерителя дают в результате фактическую  $VF$ , определенную посредством радиометрического плотномера. Этот способ может предоставлять точные  $WC$  и  $VF$ , в том числе в ситуациях, в которых возникает засорение фазы.

Тестовое оборудование согласно изобретению содержит следующие устройства:

1. Микроволновый резонатор компании M-Flow Technologies Ltd.
2. Endress and Hauser Promass Q500, который представляет собой предлагаемый на рынке кориолисов измеритель, подходящий для измерения двухфазного потока жидкости (такого как вода в нефти).
3. Два коммерческих датчика давления, каждый из которых размещается с одной из сторон кориолисова измерителя.
4. Многофазный гамма-плотномер, изготовленный компанией M-Flow Technologies Ltd. Он состоит из гамма-источника и приемника, предоставленного компанией Berthold Technologies (Berthold LB6775, и источник представляет собой LB-7440-F-CR), которые монтируются за пределами композиционной трубы. Устройство представляет собой полнотрубный гамма-плотномер (гамма-пучок покрывает полную ширину трубы) и допускает измерение линейной плотности многофазного потока. Оно представляет собой одноэнергетическое устройство.

Устройства 1, 2 и 3 представляют собой стационарно установленные части оборудования. Устройство 4, гамма-плотномер, устанавливается временно, чтобы калибровать плотность, измеренную посредством кориолисова измерителя.

Релевантная тестовая секция оборудования состоит из преимущественно вертикально совмещенной секции, в которой микроволновый резонатор, гамма-плотномер и кориолисов измеритель последовательно соединены в пути проникновения потока и в этом порядке в направлении потока. Помимо этого, датчик давления соединен с одной из сторон кориолисова измерителя в направлении потока.

Смеси в форме многофазного потока из воды, нефти и газа накачиваются через тестовую секцию в точно известных пропорциях, и обводненность,  $VF$  и приведенные скорости варьируются.

Кажущаяся объемная плотность измеряется посредством кориолисова измерителя, и объемная проницаемость измеряется с использованием микроволнового резонатора, и

кажущаяся VF извлекается из обоих наборов данных. Одновременно, фактическая VF определяется из гамма-плотномера (который представляет собой одноэнергетический плотномер), и взаимосвязи между фактической VF, измеренной посредством гамма-плотномера, и значениями кажущейся VF, определенными из кориолисовой кажущейся объемной плотности и показаний микроволновой проницаемости, определяются. Этот этап выполняется для всех условий потока для того, чтобы получать кривые ошибок для полного рабочего диапазона. Кривые ошибок показаны на фиг. 6. Одновременно, сформирована кривая ошибок по объемной плотности (не показана), коррелирующая кажущуюся объемную плотность, измеренную посредством кориолисова измерителя, с фактической объемной плотностью, измеренной посредством радиометрического плотномера, для полного рабочего диапазона.

После этой калибровки радиометрический плотномер более не требуется.

При использовании, фазовые объемные фракции определяются так, как пояснено выше.

Чтобы формировать массовый расход нефти, фактический массовый расход многофазного потока должен измеряться. Как пояснено выше, он традиционно должен получаться из кориолисова измерителя непосредственно, поскольку одна функция этого типа измерителя заключается в том, чтобы измерять массовый расход. Как также пояснено, когда газообразная фаза присутствует в многофазном потоке, производительность измерений массового расхода кориолисова измерителя ухудшается, и сложно компенсировать ошибки, которые возникают.

Заявитель констатирует, что при низких процентах по массе газа, дифференциальное давление в кориолисовом измерителе главным образом зависит от скорости потока жидкости через измеритель. Измерения из тестовой секции, описанной выше, демонстрируют это. Со ссылкой на фиг. 7, можно видеть, что взаимосвязь между дифференциальным давлением и скоростью потока жидкости является идентичной для VF в 0%, 5% и 20% (причем все из этих VF составляют менее 1% по массе многофазного потока). Другими словами, эта реализация обеспечивает возможность использовать двухфазные данные для того, чтобы определять трехфазное поведение. Посредством измерения дифференциального давления, в силу этого может легко определяться массовый расход жидкости многофазного потока. При знании этого значения, вместе с фактической объемной плотностью (из кориолисова измерителя, скорректированной с использованием кривой ошибок по объемной плотности) и диаметром трубы, может вычисляться фактический объемный массовый расход многофазного потока при преобладающих условиях по температуре и давлению.

В завершение, вычисляется фактический массовый расход нефти. Это выполняется с использованием фазовых объемных фракций и фактического объемного массового расхода. Для полноты, плотность каждой из отдельных фаз при данной температуре и давлении также должна быть известной, но это представляет собой информацию, которая всегда доступна для использования специалистами в данной области техники.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ формирования кривой ошибок по пустотной фракции (VF), которая коррелирует кажущуюся VF с фактической VF многофазного потока, при этом способ содержит этапы, на которых:

а) используют устройство для того, чтобы измерять свойство многофазного потока, из которого может вычисляться кажущаяся VF;

б) вычисляют кажущуюся VF с использованием измеренного свойства из устройства;

в) определяют фактическую VF многофазного потока с использованием радиометрического плотномера;

г) используют значения из б) и в) для того, чтобы вычислять VF-ошибку;

д) повторяют б)-г) для всех ожидаемых условий потока, с тем чтобы формировать кривую VF-ошибок.

2. Способ вычисления фактической VF многофазного потока, содержащий этапы, на которых измеряют свойство потока, из которого может вычисляться кажущаяся VF, вычисляют кажущуюся VF многофазного потока и корректируют кажущуюся VF с использованием кривой VF-ошибок по п. 1.

3. Способ по п. 1 или 2, в котором радиометрический плотномер представляет собой рентгеновский плотномер или гамма-плотномер.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором поток содержит жидкую фазу и газовую фазу.

5. Способ по п. 4, в котором жидкая фаза содержит водную фазу и нефтяную фазу.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором устройство представляет собой кориолисов измеритель, и измеренное свойство представляет собой кажущуюся объемную плотность многофазного потока.

7. Способ по любому из пп. 1-5, в котором устройство представляет собой микроволновый измеритель, предпочтительно микроволновый резонатор, и измеренное свойство представляет собой проницаемость многофазного потока.

8. Способ для вычисления массового расхода одной или более фаз в многофазном потоке, содержащий этапы, на которых:

а) используют кориолисов измеритель для того, чтобы измерять кажущуюся объемную плотность многофазного потока;

б) вычисляют первую кажущуюся VF с использованием кажущейся объемной плотности из а);

в) используют микроволновый измеритель для того, чтобы измерять проницаемость многофазного потока;

г) вычисляют вторую кажущуюся VF с использованием измерения проницаемости из в);

д) вычисляют фазовые объемные фракции многофазного потока с использованием результатов из б) и г);

f) определяют фактический объемный массовый расход многофазного потока;  
g) вычисляют массовый расход одной или более фаз с использованием значений из d) и e).

9. Способ по п. 8, в котором кривые VF-ошибок по пп. 6 и 7 дополнительно используются для того, чтобы улучшать вычисление на e).

10. Способ по п. 8 или 9, в котором многофазный поток содержит жидкую фазу и газовую фазу.

11. Способ по любому из пп. 8-10, в котором многофазный поток содержит нефть, и способ содержит этап, на котором вычисляют массовый расход нефтяной фазы.

12. Способ по любому из пп. 8-10, в котором f) определение фактического объемного массового расхода содержит этапы, на которых:

i. измеряют дифференциальное давление в кориолисовом измерителе с использованием измерителя дифференциального давления;

ii. определяют массовый расход жидкости через кориолисов измеритель с использованием значения дифференциального давления из i; и

iii. используют массовый расход жидкости из ii, известные фазовые объемные фракции и фактическую объемную плотность многофазного потока для того, чтобы вычислять фактический объемный массовый расход;

- при этом фактическая объемная плотность вычисляется посредством коррекции кажущейся объемной плотности с использованием кривой ошибок по объемной плотности.

13. Способ по любому из пп. 8-10, в котором e) определение фактического объемного массового расхода для многофазного потока содержит этапы, на которых:

i. определяют ошибку по объемному массовому расходу из ошибки по объемной плотности; и

ii. вычисляют фактический объемный массовый расход посредством коррекции кажущегося объемного массового расхода с использованием ошибки по объемному массовому расходу,

- при этом фактическая объемная плотность вычисляется посредством коррекции кажущейся объемной плотности с использованием кривой ошибок по объемной плотности.

14. Измерительный узел для измерения массового расхода одной или более фаз в многофазном потоке, причем измерительный узел содержит:

a) кориолисов измеритель для измерения кажущейся объемной плотности и кажущегося объемного массового расхода многофазного потока;

b) измеритель дифференциального давления для измерения дифференциального давления в кориолисовом измерителе;

c) микроволновый измеритель, предпочтительно микроволновый резонатор, для измерения объемной проницаемости многофазного потока.

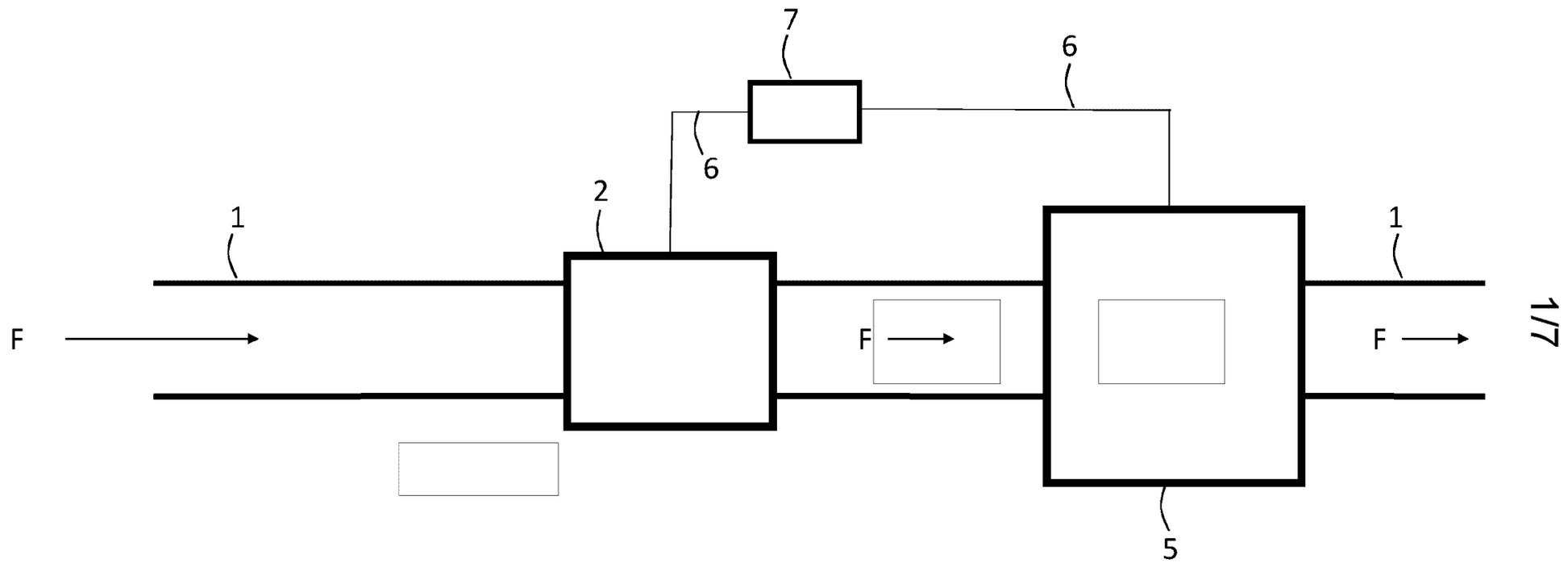
15. Оборудование по п. 14, дополнительно содержащее вычислительное

устройство, выполненное с возможностью:

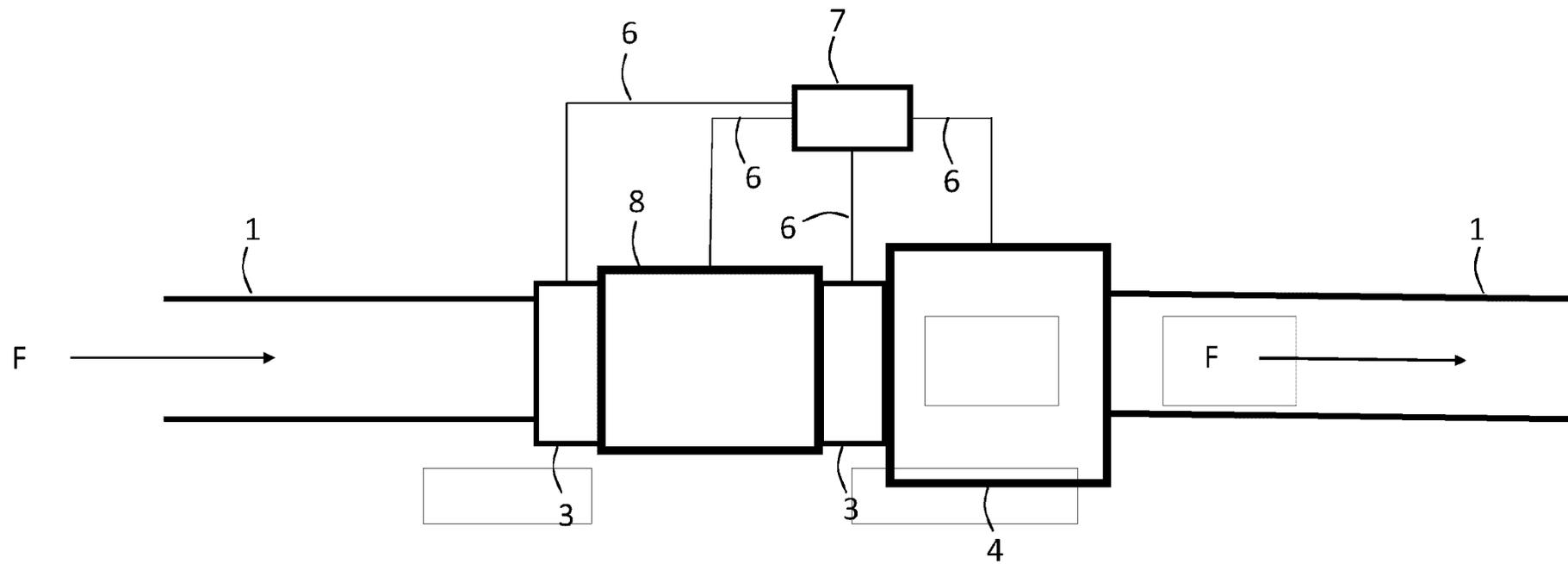
- a) вычислять первую кажущуюся VF из кажущейся объемной плотности;
- b) вычислять вторую кажущуюся VF из объемной проницаемости;
- c) вычислять фазовые объемные фракции многофазного потока с использованием результатов из a) и b);
- d) определять массовый расход жидкости многофазного потока с использованием дифференциального давления, измеренного посредством измерителя дифференциального давления;
- e) вычислять фактический объемный массовый расход многофазного потока;
- f) вычислять массовый расход одной или более фаз в многофазном потоке.

16. Оборудование по п. 15, в котором вычисление фазовых объемных фракций многофазного потока на этапе c) включает в себя использование первой и второй кривой VF-ошибок, коррелирующих первую кажущуюся VF и вторую кажущуюся VF с фактической VF, определенной с использованием радиометрического плотномера.

17. Оборудование по п. 15, в котором вычислительное устройство расположено рядом или удаленно относительно измерительного узла.

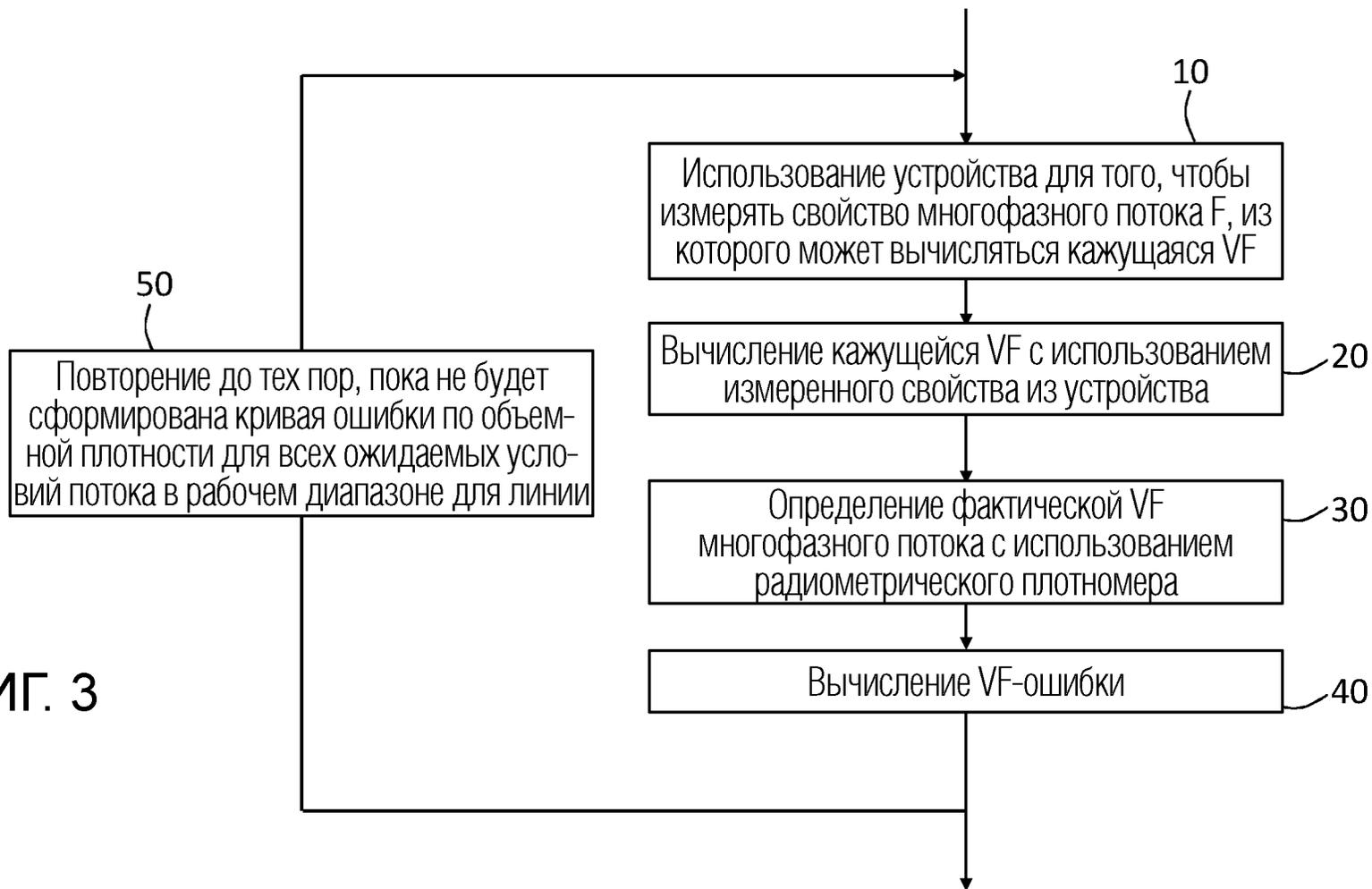


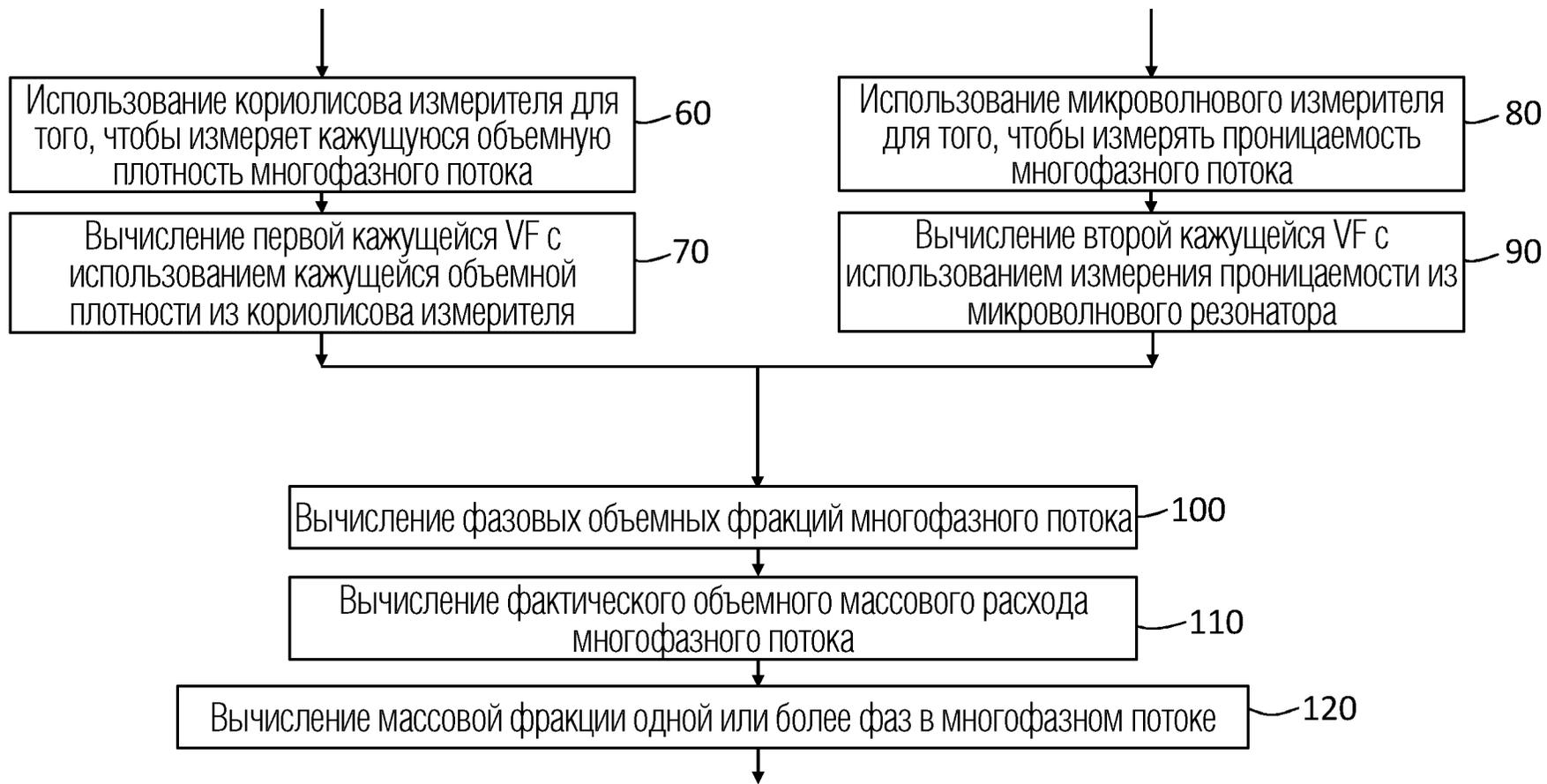
ФИГ. 1



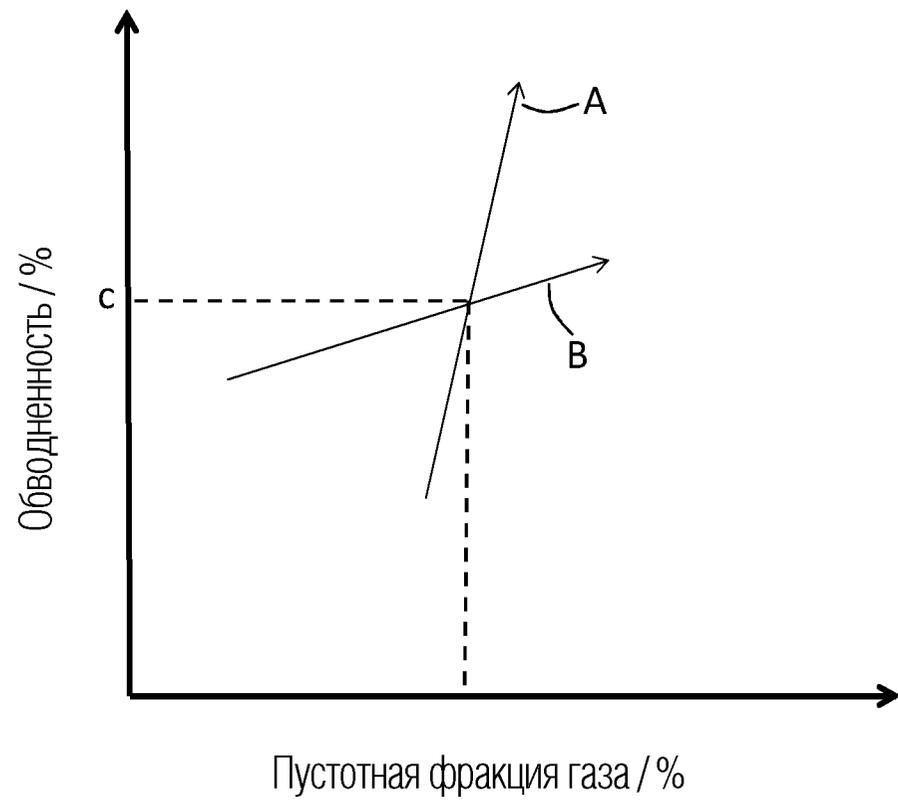
ФИГ. 2

ФИГ. 3

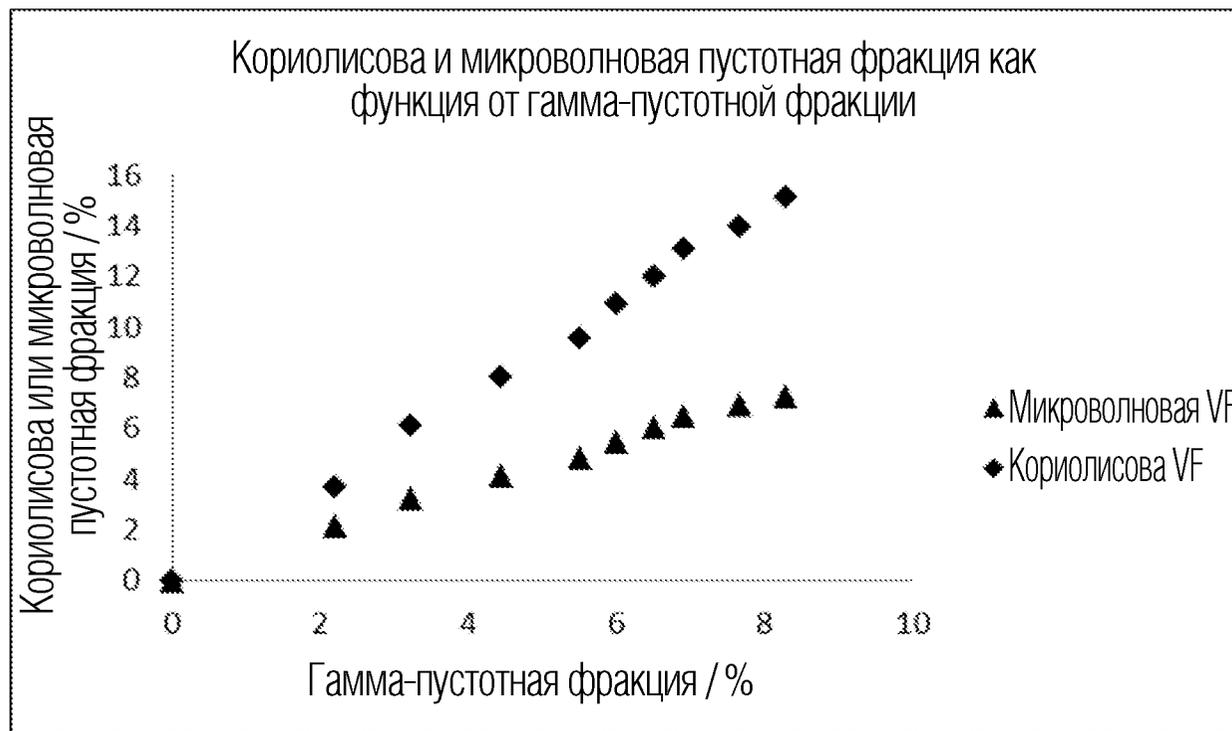




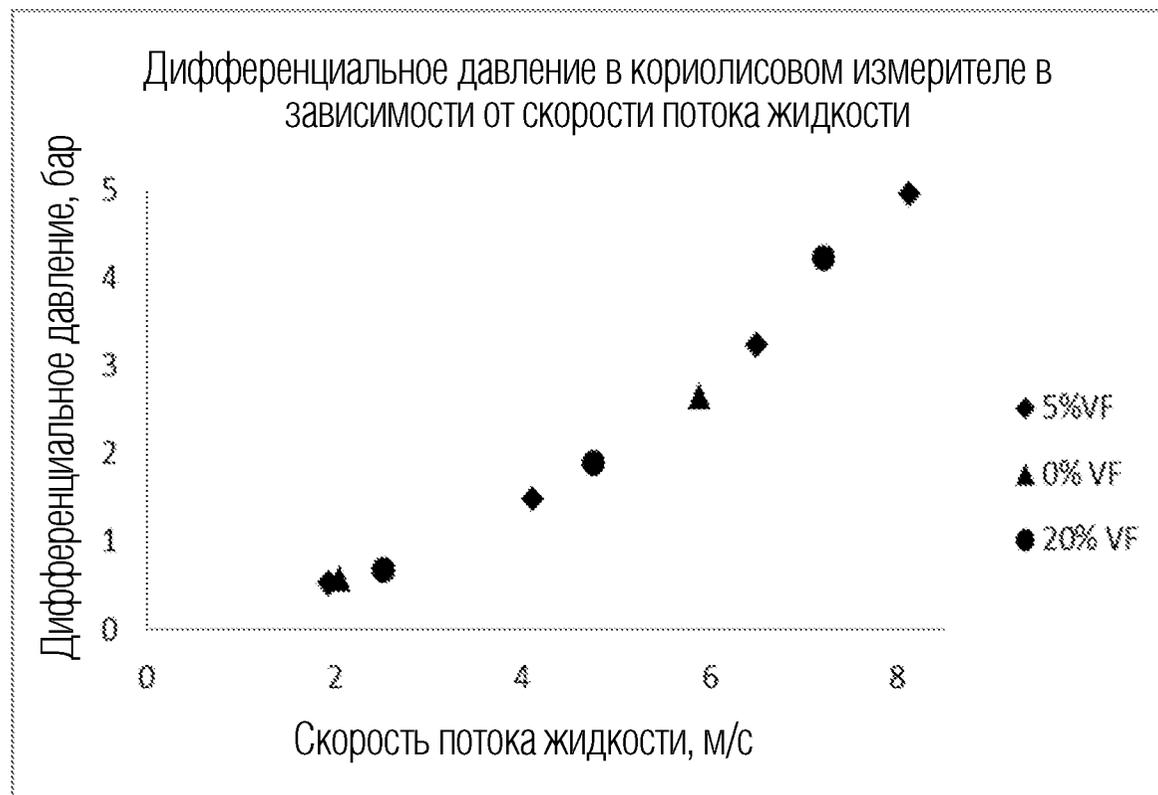
ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6



ФИГ. 7