

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042711**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.03.17

(21) Номер заявки
202193213

(22) Дата подачи заявки
2020.05.29

(51) Int. Cl. **G01G 17/04** (2006.01)
G01F 23/20 (2006.01)
G01F 23/296 (2006.01)
G01F 23/28 (2006.01)

(54) **НЕЛИНЕЙНЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ
КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ (ЖИДКОСТЕЙ, ГАЗА,
ПЛАЗМЫ)**

(31) **62/855,514**

(32) **2019.05.31**

(33) **US**

(43) **2022.04.11**

(86) **PCT/US2020/035404**

(87) **WO 2020/243628 2020.12.03**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ПЕРСЕКТИВ СЕНСОР
ТЕКНОЛОДЖИС, ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:
Хэйм Джеймс М. (US)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(56) **US-A-6157894**
US-B1-6330831
US-A1-20150260003
US-A1-20110029262
US-A1-20040079150
US-A1-20160025545

(57) Предложены системы и способы для определения веса некоторого количества текучей среды или весового расхода указанной текучей среды. На наружной стенке емкости, заключающей в себе текучую среду, размещен акустический датчик, определяющий уровень заполнения указанной текучей средой. Компьютеризованное устройство вычисляет вес указанного количества текучей среды с использованием размеров указанной емкости, определенного уровня заполнения, температуры текучей среды и результата идентификации текучей среды и/или плотности текучей среды. Определяют расход текучей среды в трубе с использованием двух или более акустических датчиков, размещенных в разных местах на трубе, и датчика температуры. Компьютер вычисляет разность значений времени пролета для текучей среды на основе показаний акустических датчиков, расстояния между ними, датчика температуры, объема трубы и результата идентификации текучей среды и/или плотности текучей среды. Определяют весовой расход текучей среды.

B1**042711****042711****B1**

Настоящая заявка испрашивает преимущество приоритета по предварительной патентной заявке США с серийным № 62/855,514, озаглавленной "Нелинейный ультразвуковой способ качественного и количественного определения текучих сред (жидкостей, газа, плазмы) и локализованного мониторинга конструктивной целостности емкости, заключающей в себе указанную текучую среду", поданной 31 мая 2019 года, полное раскрытие которой включено в настоящую заявку посредством ссылки.

Настоящее изобретение в целом относится к измерению материалов, и, более конкретно, оно относится к нелинейному ультразвуковому способу количественного определения материалов, включая жидкость, газ и/или плазму.

Определение уровня, идентификация и измерение расхода материалов важны во многих отраслях промышленности. Например, в отраслях, связанных с обработкой ископаемого топлива, часто является критичным обеспечение надлежащего уровня текучей среды внутри резервуара для хранения, чтобы избежать переполнения. Один тип измерения расхода текучей среды представляет собой такое измерение текучей среды, при котором измеряют точное количество движущейся текучей среды за конкретный период времени для определения точного расхода текучей среды. Измерение текучих сред используется во многих отраслях промышленности, где требуется мониторинг текучих сред, в том числе в химической промышленности, в отраслях, связанных с обработкой ископаемого топлива (нефти и газа), и производственных отраслях. Например, в отраслях, связанных с обработкой ископаемого топлива, часто является критичным точное смешивание надлежащих количеств и типов материалов, удерживаемых в емкостях для хранения или перемещаемых по трубопроводам.

В настоящее время существует множество устройств и методов для определения уровня текучей среды. Большинство из этих устройств являются инвазивными в том смысле, что с целью определения точного уровня заполнения текучей средой или ее точного расхода, эти устройства должны быть размещены внутри резервуара или трубопровода. Это создает проблемы с точки зрения обслуживания и эксплуатации. Например, механические расходомеры, которые используют крыльчатку, обычно действуют путем измерения расхода текучей среды с использованием размещения движущихся частей, либо путем пропускания изолированных известных объемов текучей среды через ряд зубчатых колес или камер, например за счет прямого вытеснения, либо посредством вращающейся турбины или ротора. Механические расходомеры, как правило, являются точными, частично вследствие своей способности к точному измерению числа оборотов механических компонентов, которое используется для оценки общего объемного расхода за короткий период времени. Однако механические расходомеры должны быть установлены в трубопроводной подсистеме, и их замена требует отключения трубопровода, что весьма неэффективно и затратно.

Кроме того, широко используются акустические время-пролетные расходомеры. Эти устройства измеряют скорости в двух противоположных направлениях трубы и затем вычисляют разность между ними, причем указанная разность может быть использована в качестве показателя скорости материала, протекающего по данной трубе. В дальнейшем вычисленная скорость, с которой перемещается материал, может быть использована, наряду с размером трубы и другими параметрами, для определения объемного расхода. Однако эти стандартные акустические расходомеры зачастую не являются достаточно точными для многих отраслей промышленности, включая многие области применения в отраслях, связанных с обработкой ископаемого топлива.

В случае текучих сред, хранящихся в резервуарах, могут быть использованы датчики уровня заполнения для определения количества текучей среды. Датчики этих типов обычно могут включать в себя либо датчики на основе радара, которые измеряют расстояние от верхней стороны до поверхности текучей среды, или встроенные измерительные провода и трубки, которые устанавливаются внутри резервуара. Датчики уровня заполнения не являются высокоточными по ряду причин. Текучие среды расширяются и сжимаются в зависимости от температуры, и в большинстве датчиков уровня заполнения не учитывается влияние температурных изменений на уровень заполнения. Кроме того, датчики уровня необходимо устанавливать внутри хранилищ или других емкостей, что создает проблемы с точки зрения их обслуживания и эксплуатации.

Таким образом, в данной области промышленности существует необходимость в устранении указанных проблем и недостатков, которые не были устранены к настоящему времени.

В вариантах осуществления раскрытия настоящего изобретения предложена система для определения весового количества текучей среды. В кратком изложении с точки зрения конструкции, один вариант осуществления системы, наряду с прочими, может быть реализован следующим образом. В емкости, имеющей определяемый размер, заключено некоторое количество текучей среды. Акустический датчик, выполненный с возможностью размещения по существу на наружной стенке емкости, определяет уровень заполнения указанным количеством текучей среды указанной емкости. Датчик температуры измеряет температуру указанного количества текучей среды. С указанными акустическим датчиком и датчиком температуры сообщается компьютеризованное устройство, процессор которого вычисляет вес указанного количества текучей среды с использованием определяемого размера емкости, определенного уровня заполнения, измеренной температуры и по меньшей мере одного из результата идентификации текучей среды или плотности текучей среды.

Раскрытие настоящего изобретения может также быть рассмотрено как предлагающее систему для определения расхода текучей среды на основе веса указанного количества текучей среды. В кратком изложении с точки зрения конструкции, один вариант осуществления указанной системы, наряду с прочими, может быть реализован следующим образом. Труба удерживает некоторое количество текучей среды. На наружной поверхности трубы в первом месте размещен первый акустический датчик. На наружной поверхности трубы во втором месте размещен второй акустический датчик, причем указанное второе место отличается от указанного первого места, и причем расстояние между указанными первым и вторым местами является определяемым. Температура указанного количества текучей среды внутри трубы измеряется с помощью датчика температуры. С указанными первым и вторым акустическими датчиками сообщается компьютеризованное устройство, процессор которого вычисляет разность значений времени пролета для указанного количества текучей среды на основе показаний первого и второго акустических датчиков, измеренной температуры указанного количества текучей среды, объема трубы и по меньшей мере одного из результата идентификации текучей среды или плотности текучей среды, причем определяется весовой расход указанного количества текучей среды.

Раскрытие настоящего изобретения может также быть рассмотрено как предлагающее способы определения веса некоторого количества текучей среды. В этой связи, один вариант осуществления указанного способа, наряду с прочими, может быть обобщенно представлен нижеследующими этапами, на которых: удерживают указанное количество текучей среды внутри емкости, имеющей определяемый размер; определяют уровень заполнения емкости указанным количеством текучей среды с помощью акустического датчика, выполненного с возможностью размещения по существу на наружной стенке емкости; измеряют температуру указанного количества текучей среды с помощью датчика температуры; и вычисляют вес указанного количества текучей среды с помощью процессора компьютеризованного устройства, сообщаемого с указанными акустическим датчиком и датчиком температуры, на основе определяемого размера емкости, определенного уровня заполнения, измеренной температуры и по меньшей мере одного из результата идентификации текучей среды или плотности текучей среды.

Другие системы, способы, признаки и преимущества, обеспечиваемые раскрытием настоящего изобретения, станут или должны стать очевидны специалисту в данной области техники после изучения нижеследующих чертежей и подробного описания. Предполагается, что все такие дополнительные системы, способы, признаки и преимущества будут включены в настоящее описание, будут находиться в рамках объема раскрытия настоящего изобретения и будут защищены приложенной формулой изобретения.

Многие аспекты раскрытия настоящего изобретения могут быть лучше поняты со ссылкой на нижеследующие чертежи. Компоненты на чертежах не обязательно выполнены в масштабе; вместо этого акцент делается на понятное иллюстрирование принципов настоящего изобретения. Кроме того, на чертежах одинаковые ссылочные номера обозначают соответствующие части на нескольких видах.

На фиг. 1 представлена иллюстрация системы для определения веса некоторого количества текучего материала в емкости, согласно первому варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 2 представлена иллюстрация системы для определения расхода некоторого количества текучей среды внутри трубы, согласно первому варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 3А представлена иллюстрация системы для определения веса некоторого количества текучей среды для измерения расхода указанного количества текучей среды, подлежащей впрыску в трубу с помощью системы впрыска, согласно второму варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 3В представлено изображение системы впрыска, использующей вышеуказанную систему, согласно второму варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 4А представлена иллюстрация системы для определения изменений расхода для некоторого количества текучей среды из емкости, согласно первому варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 4В представлена иллюстрация системы для определения изменений расхода для некоторого количества текучей среды в трубе, согласно первому варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 5А представлена блок-схема, иллюстрирующая способ измерения текучей среды согласно первому варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 5В представлена блок-схема, иллюстрирующая способ измерения текучей среды согласно первому варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 6 представлен способ определения конструктивных характеристик емкости по фиг. 1 согласно третьему варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

На фиг. 7 представлена иллюстрация комплексных методов обработки сигнала, используемые со способом определения конструктивных характеристик емкости по фиг. 1, согласно третьему варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения, приведенного для примера.

В вариантах осуществления раскрытия настоящего изобретения предложены система и способ определения данных для идентификации текучей среды, уровня текучей среды и весового расхода текучей среды. Согласно с данным раскрытием, термин "материал" может пониматься как включающий в себя жидкости, газы, плазму или схожие материалы, или любую их комбинацию. В одном варианте осуществления система и способ могут быть использованы для определения веса некоторого количества текучей среды в емкости. Еще в одном варианте осуществления система и способ могут быть использованы для определения расхода текучей среды в трубе с использованием определенного веса текучей среды. Раскрытие настоящего изобретения может быть использовано для определения типа материала без физического контакта с указанным материалом и без химического анализа. Указанные методы могут использовать нелинейный ультразвук, который используется для определения количественных свойств материала. Другие варианты осуществления раскрытия настоящего изобретения могут быть использованы в случае, если осуществляется физический контакт с материалом без химического анализа. Другие варианты осуществления раскрытия настоящего изобретения могут быть использованы для определения или мониторинга конструктивной целостности контейнера или емкости, заключающих в себе текучую среду, например могут определяться трещины, коррозия или другие конструктивные характеристики емкости.

Хорошо известно, что плотность материала изменяется в зависимости от температуры и давления. Это изменение обычно мало для жидкостей, однако было обнаружено, что уровни текучей среды в емкости заметно увеличиваются и уменьшаются в зависимости не от чего иного, как от изменений температуры. Увеличение давления на материал приводит к уменьшению объема материала и, таким образом, к увеличению его плотности. Увеличение температуры материала (за немногочисленными исключениями) приводит к уменьшению его плотности вследствие увеличения его объема. Таким образом, вследствие влияния, которое температура и давление могут оказывать на объем материала, определение веса материала обеспечивает более высокую точность в отношении конкретного количества этого материала. Определение веса материала обеспечивает также ряд других преимуществ. По всему миру продажа материалов производится на вес. Хотя изменения температуры приводят к изменениям давления и/или объема материала, вес или масса материала в условиях гравитации не изменяются вследствие изменений температуры, давления или плотности. Таким образом, определение веса материала способно обеспечить более точный способ измерения или подтверждения количества материала во время коммерческой транзакции.

Объект настоящего изобретения относится к использованию измерения материала для определения значений расхода материала с использованием акустических технологий, что, в свою очередь, может быть использовано для определения изменений веса передаваемого материала. Результат заключается в возможности обеспечения высокоточных измерений расхода материала путем вычисления изменения веса материала на периодической основе, например через заданные временные интервалы в течение прошлого периода времени. Например, использование акустических технологий для измерения веса материала, хранящегося внутри резервуара или емкости, через каждые десять секунд, дает возможность определения чистого изменения веса в течение конкретного периода, например одной минуты, что может служить показателем расхода продукта, выходящего из резервуара или трубы или поступающего в них.

На фиг. 1 представлена иллюстрация системы 10 для определения веса некоторого количества текучего материала в емкости, согласно первому приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. Система 10 для определения веса указанного количества текучей среды, которая может обозначаться в данном документе просто "системой 10", может быть прикреплена к стенке 16 емкости 12, содержащей текучую среду 14. Вдоль стенки 16 емкости 12 может быть размещен первый акустический датчик 20. Вдоль нижней стенки 18 емкости 12 размещен второй акустический датчик 30, который измеряет уровень заполнения текучей средой 14 емкости 12. На емкости 12, вблизи нее или внутри нее размещен датчик 40 температуры, который измеряет температуру текучей среды 14.

Желательно определить вес текучей среды 14, поскольку этот вес является высокоточным параметром для определения других характеристик текучей среды 14, таких как расход текучей среды 14, выходящей из емкости 12, такой как впускная или выпускная труба, или поступающей в нее. В химической промышленности и отраслях, связанных с обработкой ископаемого топлива, вес рассматривается как наиболее точный показатель при количественном измерении материала, значительно превосходящий в этом смысле объем или измеряемое количество, такое как литры, галлоны или баррели. В сущности, танкерные поставки нефтепродуктов измеряются в метрических тоннах, а не в баррелях.

Во время работы система 10 может быть использована с некоторым количеством текучей среды 14, конкретный тип которой может быть либо известен, либо неизвестен. Например, емкость 12 может быть заполнена текучей средой 14, о которой конкретно известно, что это определенное химическое соединение или вещество, либо тип текучей среды 14 внутри емкости 12 может быть неизвестен. Если тип текучей среды неизвестен, то первый акустический датчик 20 может быть способен точно идентифицировать жидкий материал с использованием известных акустических параметров, которые являются компенсируемыми по температуре, при обращении к базе данных для идентификации конкретного типа жидкости.

После идентификации текучей среды 14, либо если она заранее известна, второй акустический датчик 30, который размещен на нижней стенке 18 емкости 12, может быть использован для определения уровня заполнения путем его предельно точного измерения. Иначе говоря, теперь может быть определе-

на высота верхней поверхности текучей среды 14 внутри емкости 12. Затем, с использованием этого определенного уровня заполнения и конструктивной информации о емкости 12, например градуировочной таблицы вместимости, которая идентифицирует объемное количество текучей среды при конкретных высотах или уровнях заполнения емкости 12, может быть определен точный объем текучей среды 14. На данном этапе может быть учтена температура текучей среды 14, что может быть достигнуто путем непосредственного измерения температуры, например с помощью датчика 40 температуры, или путем вычисления окружающей температуры, или другими методами. Когда тип текучего материала 14 идентифицирован, высота верхней поверхности текучей среды 14 в емкости 12 и температура текучей среды 14 могут быть использованы для вычисления веса.

Хотя возможно использование акустического датчика 30, размещенного на нижней стенке 18 емкости 12, для определения уровня заполнения текучей средой 14 емкости 12 возможно также использование одного или более акустических датчиков в других местах на емкости 12 для определения уровня заполнения текучей средой 14. Например, множество акустических датчиков 30 могут быть размещены на внешней стороне емкости 12 в местах, расположенных вдоль нижней боковой стенки 16. Эти датчики 30 могут быть ориентированы под разными углами относительно высоты емкости 12. Например, в одном примере пять или более датчиков 30 могут быть использованы с ориентациями под различными углами, такими как 15°, 30°, 45°, 60° и 75°, так что каждый датчик 30 расположен с возможностью идентификации уровня заполнения на определенной высоте в емкости 12. Еще в одном примере датчики 30 могут быть размещены на расстоянии друг от друга вдоль вертикальной боковой стенки емкости 12, так что каждый датчик 30 может определять момент, когда уровень заполнения текучей средой 14 переместился ниже высоты датчика 30, соответственно, что может быть использовано для идентификации уровня заполнения жидкостью 14 емкости 12. Может быть использовано любое количество датчиков в любых местах и с любыми ориентациями, и все их комбинации рассматриваются как включенные в объем раскрытия настоящего изобретения. Может быть предпочтительным использование одного акустического датчика 30, размещенного на нижней стенке 18 емкости 12, по причине эффективности и более низких затрат на материалы, однако емкости 12, которые не обеспечивают возможность доступа к их нижним стенкам 18, например те, которые размещены на поверхности земли, могут быть использованы с другими конфигурациями датчиков для точного определения уровня заполнения текучей средой 14.

Если идентификация текучего материала 14 в емкости 12 невозможна, то может быть измерена и определена плотность текучей среды 14, и возможно вычисление фактического веса конкретной текучей среды 14 на основе измеренных и определенных плотности, объема и температуры текучей среды. С использованием данной информации затем возможно точное вычисление веса текучей среды 14 в конкретный момент времени.

Вычисления, выполняемые системой 10, могут выполняться с помощью компьютеризованного устройства 50, сообщающегося с первым акустическим датчиком 20, вторым акустическим датчиком 30 и датчиком 40 температуры. Для определения весового расхода текучей среды 14, процессор компьютеризованного устройства 50 может вычислять вес текучей среды в два или более моментов времени, или через заданные временные интервалы, на основе по меньшей мере измеренного уровня заполнения, определенного акустическим датчиком 30, и значения температуры от датчика 40 температуры. Компьютеризованное устройство 50 может принимать информацию, полученную в результате измерения, в виде сигналов 25 от датчиков, которые могут передаваться с помощью проводной связи, беспроводной связи или их комбинации. Компьютеризованное устройство 50 может представлять собой удерживаемое в руке вычислительное устройство, такое как планшетный компьютер, смартфон, считыватель, ноутбук или стационарное вычислительное устройство, или какое-либо другое электронное устройство, способное принимать сигналы и вычислять точки данных с использованием алгоритмов и обработки. Компьютеризованное устройство 50 может содержать дисплейный экран или графический пользовательский интерфейс, которые предоставляют релевантную информацию пользователю-человеку, или оно может быть соединено с другим вычислительным устройством через сеть связи или Интернет для передачи релевантной информации в какое-либо другое место.

Также следует отметить, что система 10 может быть реализована на емкости 12 без проникновения. Первый и второй акустические датчики 20, 30 могут быть лишь приклеены к наружной поверхности емкости 12, а датчик 40 температуры может быть размещен снаружи или внутри емкости в удобном положении для измерения температуры текучей среды 14. Емкость 12 не нуждается в опорожнении или в открытии иным образом для конфигурирования системы 10. Если емкость 12 представляет собой емкость с двойными стенками, как показано на фиг. 1, то первый и второй акустические датчики 20, 30 могут быть размещены на наружной поверхности емкости 12 или снаружи от внутренней поверхности внутренней боковой стенки 16А, например в зазоре между внутренней боковой стенкой 16А и наружной боковой стенкой 16В. Датчик 40 температуры может быть размещен через внутренние и/или наружные боковые стенки 16А, 16В, например, в месте, проходящем от наружной поверхности емкости 12 до внутренней поверхности емкости 12, так что он способен поддерживать точные температурные показания в отношении текучей среды 14 внутри емкости 12. В других примерах датчик 40 температуры может быть размещен в других местах, и он необязательно должен находиться в контакте с текучей средой 14 или емко-

стью 12. Могут быть использованы датчики 40 температуры всех типов, включая инфракрасные датчики температуры, термисторы, другие датчики температуры или любую их комбинацию. Разумеется, возможно также, чтобы первый и второй акустические датчики 20, 30 и/или датчик 40 температуры были установлены внутри емкости 12, если это требуется.

В одной из множества альтернативных конфигураций может быть использовано множество акустических датчиков для определения расхода текучей среды 14 внутри емкости 12, в частности емкости 12, выполненной или предназначенной для транспортировки текучей среды 14, такой как труба, трубопровод или аналогичная емкость 12 для транспортировки текучей среды. Аналогично конфигурации, описанной применительно к фиг. 1, точные значения расхода могут определяться весом текучей среды. На фиг. 2 представлена система 10 для определения расхода при некотором количестве текучей среды внутри трубы 60, согласно первому приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. В сущности, на фиг. 2 представлена система 10 с трубой 60, представляющей собой емкость, которая включает в себе и транспортирует указанное количество текучей среды 66. Первый акустический датчик 22 размещен вдоль стенки 16 трубы 60 или в аналогичном месте, например, по существу, на стенке 16 трубы 60. Второй акустический датчик 32 размещен вдоль трубы 60 на заданном или известном расстоянии от первого датчика 22. С использованием показаний первого акустического датчика 22 и второго акустического датчика 32 может быть определена разность значений времени пролета или выполнено аналогичное вычисление для текучей среды 66 в трубе 60. Разность значений времени пролета может затем быть использована для определения скорости потока текучей среды 66.

В одном примере вычисление скорости материала может быть описано следующим образом. Первый акустический датчик 22, т.е. преобразователь, генерирует сигнал, который принимается вторым акустическим датчиком 32 на трубе 60. Время, затрачиваемое на прохождение сигнала от первого акустического датчика 22 до второго акустического датчика 32, известно как время пролета (Time of Flight, ToF). Затем второй акустический датчик 32 генерирует сигнал, который принимается первым акустическим датчиком 22, и разность между двумя значениями ToF определяется как показатель скорости потока материала в трубе 60. На основе расстояния от первого акустического датчика 22 до второго акустического датчика 32 и известной плотности текучей среды 66 в трубе 60 может быть вычислен расход материала.

$$ToF = \frac{D_{tr}}{U_{sp}}$$

Здесь D_{tr} - расстояние между первым и вторым акустическими датчиками 22, 32, которое, в зависимости от конфигурации, может быть равно диаметру трубы 60 или по меньшей мере расстоянию, которое пройдет сигнал между двумя указанными преобразователями, U_{sp} - скорректированная по температуре скорость звука в материале, протекающем через трубу.

$$ToF_1 = \frac{D_{tr}}{U_{sp}^1}$$

$$ToF_2 = \frac{D_{tr}}{U_{sp}^2}$$

Здесь $U_{sp}^1 = (U_{sp} - V)$ и $U_{sp}^2 = (U_{sp} + V)$, где (V) - скорость материала. Скорость может быть вычислена, когда акустические датчики находятся на одной стороне трубы 60, и в этом случае вычисляется расстояние и составляющая скорости с учетом угла пути, по которому проходит сигнал между двумя акустическими датчиками, и задней стенкой трубы.

$\Delta ToF = (ToF_2 - ToF_1)$ представляет собой разность между значениями времени ToF_1 и ToF_2

$$\Delta ToF = \frac{D_{tr}}{U_{sp}^1} - \frac{D_{tr}}{U_{sp}^2} = \frac{D_{tr}}{(U_{sp} - V)} - \frac{D_{tr}}{(U_{sp} + V)}$$

Путем преобразования вышеуказанного уравнения может быть определена стоящая в скобках скорость V материала в трубопроводе по нижеследующей формуле:

$$V = \Delta ToF * \frac{U_{sp}}{2 * D_{tr}}$$

Следует отметить, что указанная разность значений времени пролета может быть вычислена двуправленным образом и/или одноправленным образом. При двуправленном вычислении разность значений времени пролета в текучей среде 66 может быть вычислена на основе показаний первого и второго акустических датчиков 22, 32 в двух направлениях трубы 60, например в обоих из линейного прямого и линейного обратного направлений вдоль потока в трубе 60. При одноправленном вычислении разность значений времени пролета может быть вычислена путем измерения времени пролета в одном направлении трубы 60 и его сравнения с подставляемым или расчетным временем пролета, основанным на скорости акустической волны в текучей среде в стационарном состоянии. В отличие от непосредственного измерения, подставляемое значение для текучей среды в стационарном состоянии может быть получено с использованием результата идентификации текущего материала 66 и температуры для вычисления или нахождения в справочной таблице подставляемого времени пролета на основе скорости волны. Затем на основе указанной скорости волны и расстояния между двумя акустическими датчиками 22,

32 получают расчетное время пролета в стационарном состоянии. Таким образом, время пролета в одном направлении может быть эффективно сравнено с ожидаемой акустической волной через текучую среду 66 при ее нахождении в статическом или неподвижном состоянии внутри трубы 60.

Вместе с трубой 60 размещен датчик 42 температуры, который измеряет температуру текучей среды 66. Хотя может быть использован датчик 42 температуры, находящийся в физическом контакте с трубой 60, температура текучей среды 66 в трубе 60 может также определяться альтернативными способами, включая датчики температуры, которые необязательно должны находиться в контакте с текучей средой 66 или трубой 60. Могут быть использованы датчики 42 температуры всех типов, включая инфракрасные датчики температуры, термисторы, другие датчики температуры или любую их комбинацию.

В дополнение, в течение определенных временных интервалов могут выполняться многочисленные вычисления, которые могут быть использованы для определения расхода текучей среды 66 во время флуктуаций текущего расхода при измерении в течение более длительных временных интервалов. В простом примере прямая труба с радиусом 2 фута содержит известное дизельное топливо (плотность 53 фунта/куб.фут при 15°C), протекающее с расходом 3 фута/с. Площадь сечения трубы равна 12,5 кв.фута, что дает объемный расход 37,5 куб.фута/с. Умножение объемного расхода на плотность дает значение 1,988 фунта/с весового расхода дизельного топлива, протекающего в трубе. Если при следующем измерении скорость изменится до 3,5 фута/с, то весовой расход дизельного топлива, протекающего по трубе, повысится до 2,319 фунта/с. Эти вычисления могут выполняться через определенные временные интервалы для идентификации изменений или флуктуаций между этими временными интервалами, которые, в свою очередь, могут быть использованы для определения значений расхода в течение более длительного периода времени.

Эти измерения весового расхода могут быть проведены периодически, с периодом от нескольких секунд до часа, или с любым другим периодом времени. Изменения указанного весового расхода в течение более продолжительного периода времени, когда измеряется изменяющееся количество текучей среды 66, протекающей по трубе 60, обеспечивают точное нормированное вычисление весового расхода материала. На основе этой информации обеспечивается возможность высокоточной и стандартизированной идентификации значений объемного расхода текучей среды, например галлонов в час и т.д., и значений весового расхода текучей среды, например фунтов в час и т.д.

Кроме того, система 10 может быть использована для определения температуры текучей среды, идентификации текучей среды и получения конкретной информации о плотности и весе текучей среды 66 в реальном времени или, по существу, в реальном времени, что обеспечивает существенное улучшение по сравнению с другими измерительными устройствами, которые не работают в реальном времени. Также следует отметить, что система 10 может быть реализована на трубе 60 без проникновения. Необходимо лишь прикрепление первого и второго акустических датчиков 22, 32 к наружной поверхности трубы 60, а датчик 42 температуры может быть размещен в любом удобном месте для измерения температуры. Трубу 60 не требуется опорожнять или иным образом открывать для конфигурирования системы 10.

Результаты вычислений, выполненных системой 10, могут быть обработаны компьютеризированным устройством 50, сообщающимся с акустическим датчиком 20, который производит идентификацию текущего материала, и с другими акустическими датчиками 22, 32, а также с датчиком 42 температуры. Для определения весового расхода текучей среды 66 процессор компьютеризированного устройства 50 может вычислять весовой расход текучей среды 66 через заданные временные интервалы на основе измеренного и определенного объемного расхода и плотности текучей среды. Компьютеризированное устройство 50 может принимать информацию, полученную в результате измерения, в виде сигналов 52 от датчиков, которые могут передаваться с помощью проводной связи, беспроводной связи или любой их комбинации. Компьютеризированное устройство 50 может представлять собой удерживаемое в руке вычислительное устройство, такое как планшетный компьютер, смартфон, считыватель, ноутбук, стационарное вычислительное устройство, какое-либо другое электронное устройство или сервис, способные принимать сигналы и вычислять точки данных с использованием алгоритмов и обработки. Компьютеризированное устройство 50 может содержать дисплейный экран или графический пользовательский интерфейс, которые предоставляют соответствующую информацию пользователю-человеку, или оно может быть соединено с другим вычислительным устройством через сеть связи, Интернет или облачный сервис для передачи соответствующей информации в какое-либо другое место.

Система 10, описанная со ссылкой на фиг. 1, 2, может иметь различные варианты применения в различных промышленных отраслях и условиях. Они могут включать применение в химической промышленности или в промышленности, связанной с ископаемым топливом, для определения типа материала на основе веса и/или для определения расхода этого материала внутри емкости или трубы. Система также может найти применение при анализе окружающей среды, в рекреационных объектах, таких как бассейны, или в других условиях. Одним из конкретных вариантов применения системы 10 является ее применение с блоками для впрыска, используемыми в промышленности, связанной с ископаемым топливом. Блок для впрыска может быть использован для впрыска некоторого количества текучих химических добавок в нефтепровод для защиты труб нефтепровода от коррозии или с другой целью. Количество впрыскиваемого химического вещества может быть небольшим по сравнению с относительным объемом

нефти в трубе, но зачастую критичным является впрыск надлежащего количества. Таким образом, необходимо знать точный расход текучего химического вещества при его впрыске в трубопровод.

На фиг. 3А представлена иллюстрация системы для определения веса некоторого количества текучей среды 14А для измерения расхода указанного количества текучей среды 14А, подлежащего впрыску в трубу 60 с использованием системы впрыска, согласно второму приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. На фиг. 3В представлено изображение системы впрыска, использующей систему 10, согласно второму приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. Фиг. 3А иллюстрирует систему 10, изображенную на фиг. 1 и описанную применительно к нему, которая имеет емкость 12, заключающую в себе указанное количество текучей среды 14А. Вдоль боковой стенки 16 сосуда 12 размещен первый акустический датчик 20, который идентифицирует текучий материал. Вдоль нижней стенки 18 сосуда 12 размещен второй акустический датчик 30, измеряющий уровень заполнения указанным количеством текучей среды 14А емкости 12. Вблизи емкости 12 размещен датчик 40 температуры, определяющий температуру указанного количества текучей среды 14А.

Как показано на фиг. 3А, указанное количество текучей среды 14А, которая в данном примере представляет собой текучее химическое вещество, может быть помещено в емкость 12, которая соединена с трубопроводом 60 через сеть труб 62, причем текучее химическое вещество 14А перекачивается из емкости 12 с помощью насоса 64 для текучей среды. Трубопровод 60 может содержать некоторое количество другой текучей среды 66, такой как ископаемое топливо или другая текучая среда, в зависимости от конструкции и области применения трубопровода. Система 10 может быть использована различными способами для точного впрыска текучего химического вещества 14А в трубу 60. Например, как было указано со ссылкой на фиг. 1, первый акустический датчик 20 может определять тип материала текучего химического вещества 14А в емкости 12, в то время как второй акустический датчик 30 может определять уровень заполнения текучим химическим веществом 14А. При распределении текучего химического вещества 14А по трубам 62 и насосу 64, компьютеризированное устройство 50 может выполнять вычисления, результаты которых в виде сигналов 52 передаются через различные периоды времени или интервалы для определения уровня заполнения через каждый период времени. Эти результаты вычислений затем могут быть использованы для определения расхода текучего химического вещества 14А из емкости 12, который, в свою очередь, может быть использован для управления насосом 64 для впрыска текучего химического вещества 14А в трубу 60 с требуемой скоростью.

Еще в одном примере акустические датчики 20, 22 и 32, размещенные на трубе 60 или вблизи от нее, могут быть использованы для определения расхода текучей среды 66 через трубу 60 с использованием метода, описанного выше со ссылкой на фиг. 1-2, например с использованием акустического датчика 20, который производит идентификацию текучей среды, и с использованием первого и второго акустических датчиков 22, 32, которые используются для определения расхода, наряду с датчиком 42 температуры. Когда расход текучей среды 66 через трубу 60 определен, система 10 может управлять насосом 64 для впрыска части текучего химического вещества 14А, проходящего из емкости 12 в трубу 60. Если расход текучей среды 66 в трубе 60 изменяется или колеблется, то система 10 может быть способна регулировать расход текучего химического вещества 14А, проходящего из указанной емкости по трубам 62 в трубу 60, таким образом осуществляя точное управление измерением расхода текучего химического вещества 14А, поступающего в трубу 60. Таким образом, система имеет возможность динамического управления впрыском текучего химического вещества 14А в трубу 60, чтобы гарантировать впрыск требуемого количества текучего химического вещества 14А, несмотря на флуктуации расхода текучей среды 66 внутри трубы 60.

В третьем примере могут быть определены значения расхода текучей среды 14А внутри емкости 12 или внутри трубы 62 и значение расхода текучей среды 66 внутри трубы 60, так что обеспечивается возможность динамического управления насосом для непрерывного регулирования скорости впрыска текучего химического вещества 14А в трубу 60 и возможность мониторинга уровня текучего химического вещества 14А, чтобы гарантировать, что оно не будет случайно израсходовано. Любая комбинация данных примеров может быть использована для определения значений расхода текучих сред 14А, 66 или другого управления дозирующим устройством, таким как насос 64, для впрыска или транспортировки одной текучей среды в другую.

Аналогично фиг. 1, 2, результаты вычислений по фиг. 3А, выполненных системой 10, могут быть обработаны одним или более компьютеризированными устройствами 50, связанными с акустическим датчиком 20, который производит идентификацию текучего материала либо в емкости 12, либо в трубе 60, с акустическим датчиком 30, который определяет уровень заполнения текучей средой 14А емкости 12, и с другими акустическими датчиками 22, 32, которые определяют расход в трубе, а также с датчиками 40, 42 температуры. Хотя на фиг. 3А показаны два компьютеризированных устройства 50, может быть использовано любое количество компьютеризированных устройств 50. Указанные одно или более компьютеризированных устройств 50 могут принимать информацию, полученную в результате измерений, в виде сигналов 52 от датчиков, которые могут передаваться с помощью проводной связи, беспроводной связи или любой их комбинации. Указанные одно или более компьютеризированных уст-

роЙств 50 могут представлять собой удерживаемые в руке вычислительные устройства, такие как планшетный компьютер, смартфон, считыватель, ноутбук, стационарное вычислительное устройство, какое-либо другое электронное устройство или сервис, способные принимать сигналы и вычислять точки данных с использованием алгоритмов и обработки. Указанные одно или более компьютеризированных устройств 50 могут содержать дисплейный экран или графический пользовательский интерфейс, которые предоставляют соответствующую информацию пользователю-человеку, или они могут быть соединены с другим вычислительным устройством через сеть связи, Интернет или облачный сервис для передачи соответствующей информации в какое-либо другое место.

Одно из многих преимуществ системы 10 состоит в том, что она может быть использована в существующей инфраструктуре, относящейся к текучей среде, без значительных изменений. Например, как показано на фиг. 3В, блок для впрыска, установленный на салазках, может быть использован в удаленном месте, где осуществляется хранение нефти и/или ее подача по подземной трубе 60. В местах такого типа зачастую невозможно получить доступ к трубе 60 (показанной пунктирными линиями), поскольку она заглублена или иным образом не является легкодоступной. Блок впрыска, установленный на салазках, может быть размещен над трубой 60 таким образом, что химическая добавка может впрыскиваться в соответствующем месте вдоль трубопровода. Источник электропитания может отсутствовать в этом удаленном месте, поэтому для питания насоса 64, который управляет впрыском текучего химического вещества в трубу 60, могут быть использованы источник 70 на основе солнечной энергии и батарея 72. Система 10 имеет низкие требования к питанию, которые могут быть легко выполнены с помощью существующих источников на основе солнечной энергии на блоках для впрыска. В дополнение, датчики системы 10 могут быть легко встроены в существующие жидкостные емкости блоков для впрыска либо путем модернизации, либо при исходном изготовлении. Разумеется, следует отметить, что система 10 может быть использована и с другими емкостями для нефтяных текучих сред, включая танкеры, цистерны и т.д.

Раскрытие настоящего изобретения также способно обеспечить преимущества с точки зрения мониторинга расхода текучей среды в ситуациях, когда расход текучей среды через трубу изменяется. На фиг. 4А представлена иллюстрация системы для обнаружения изменений расхода для некоторого количества текучей среды 14 из емкости 12 согласно первому приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. На фиг. 4В представлена иллюстрация системы для обнаружения изменений расхода для некоторого количества текучей среды 66 в трубе 60 согласно первому приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. Как показано на обоих фиг. 4А-4В, система 10 может быть выполнена в виде по существу цельного измерительного устройства, которое выполнено с возможностью размещения вокруг впускной или выпускной трубы 12А емкости 12 (фиг. 4А) или вокруг трубы 60 трубопровода или другой системы подачи текучей среды (фиг. 4В) для мониторинга движения текучей среды. После обнаружения любого движения текучей среды 14, 66 система 10 будет измерять значения расхода. При необходимости, система 10 может также идентифицировать тип текучего материала, так что обеспечивается возможность определения полных данных о всех значениях расхода текучих сред 14, 66 по объему и весу, а также фактического типа материала. Согласно обоим фиг. 4А-4В, если текучая среда 14, 66 не течет в трубе 12А, 60, то система 10 может периодически опрашивать первый и второй акустические датчики 22 и 32 для определения момента начала протекания потока текучей среды. При необходимости, система 10 может быть запрограммирована на опрос для определения момента окончания протекания потока текучей среды 14, 66. Также может быть обеспечено обратное действие, состоящее в том, что при протекании потока в трубе 12А, 60 система 10 определяет момент окончания протекания. Благодаря способности системы 10 определять моменты начала и окончания протекания потока текучей среды 14, 66, обеспечивается дополнительная точность измерения веса текучей среды, проходящей по трубе 12А, 60. Дополнительно следует отметить, что система 10 может быть способна осуществлять двунаправленное определение расхода, балансировку массы емкости и итоговое суммирование в обоих направлениях потока.

Как можно понять, описанная в данном документе система 10 и соответствующие устройства и способы способны обеспечивать существенные преимущества с точки зрения измерения значений расхода текучих сред. Одно из этих преимуществ состоит в том, что система может быть использована для точного измерения величины подачи текучей среды в резервуары, контейнеры или емкости или из них для обеспечения точного итогового перемещения продукта. Система 10 может также быть использована для точной подготовки документации на передачу текучих материалов между третьими сторонами. Система 10 также может быть использована для точной идентификации утечек жидкого материала из резервуара, контейнера или емкости, а также для точного мониторинга запасов жидких материалов, хранящихся в резервуаре, контейнере или емкости.

На фиг. 5А представлена блок-схема 100, иллюстрирующая способ измерения текучей среды согласно первому приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. Следует отметить, что любые описания процессов или блоки на блок-схемах должны пониматься как представляющие модули, сегменты, части кода или этапы, которые включают в себя одну или более инструкций для реализации определенных логических функций в процессе, и в объем раскрытия настоящего изобретения включены альтернативные варианты реализации, в которых функции могут выполняться

не в том порядке, в котором они показаны или описаны, включая, по существу, одновременное выполнение или выполнение в обратном порядке, в зависимости от задействованных функциональных возможностей, как должно быть понятно специалистам в области техники, к которой относится раскрытие настоящего изобретения.

Как показано с помощью блока 102, используют акустические параметры и информацию о температуре для идентификации конкретной измеряемой текучей среды. После идентификации и определения температуры текучей среды, используют скорость акустической волны в текучей среде для вычисления уровня текучей среды внутри емкости (блок 104). Определяют объем жидкости с использованием информации об объеме емкости, определяемом ее размерами (блок 106). Определяют плотность текучей среды с использованием температуры и результата идентификации материала (блок 108). Точно определяют вес текучей среды внутри емкости с использованием объема текучей среды и плотности текучей среды (блок 110). Выполняют периодические вычисления веса текучей среды, посредством которых определяют текущие изменения веса текучей среды, и таким образом определяют текущие значения расхода текучей среды, полностью скорректированные для компенсации изменений объема материала (блок 112).

На фиг. 5B представлена блок-схема 130 последовательности операций, иллюстрирующая способ измерения текучей среды, согласно первому приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. Следует отметить, что любые описания процессов или блоки в блок-схемах должны пониматься как представляющие модули, сегменты, части кода или этапы, которые включают в себя одну или более инструкций для реализации определенных логических функций в процессе, и в объем раскрытия настоящего изобретения включены альтернативные варианты реализации, в которых указанные функции могут выполняться не в том порядке, в котором они показаны или описаны, включая, по существу, одновременное выполнение или выполнение в обратном порядке, в зависимости от задействованных функциональных возможностей, как должно быть понятно специалистам в области техники, к которой относится раскрытие настоящего изобретения.

Как показано с помощью блока 132, используют акустические параметры и информацию о температуре для идентификации конкретной измеряемой текучей среды. После идентификации и определения температуры текучей среды используют скорость акустического потока в текучей среде для вычисления объемного расхода внутри трубы (блок 134). Объемный расход текучей среды определяют с использованием информации об объеме трубы, определяемом ее размерами, и вычисленного расхода (блок 136). Определяют плотность текучей среды с использованием температуры и результата идентификации материала (блок 138). Точно определяют весовой расход текучей среды внутри трубы с использованием объемного расхода текучей среды и плотности текучей среды (блок 140). Выполняют периодические вычисления массового расхода текучей среды, посредством которых определяют текущие изменения веса текучей среды, и таким образом определяют текущие значения расхода текучей среды, полностью скорректированные для компенсации изменений объема материала (блок 142).

Хотя описание со ссылкой на фиг. 1-5B в первую очередь посвящено определению массы материала и определению расхода материала, аналогичные методы могут быть использованы для определения конструктивных характеристик контейнера или емкости, заключающих в себе текучую среду. На фиг. 6 представлена иллюстрация 200 способа определения конструктивных характеристик емкости по фиг. 1 согласно третьему приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения. На фиг. 6 представлена иллюстрация 300 комплексных методов обработки сигналов, используемых со способом определения конструктивных характеристик емкости 12 по фиг. 1 согласно третьему приведенному для примера варианту осуществления раскрытия настоящего изобретения.

Возбуждают нелинейный сверхширокополосный акустический/ультразвуковой сигнал с использованием линейной/прямой/обратной/экспоненциальной частотной модуляции. Помимо измерения абсолютного времени пролета, регистрируют также разность значений времени пролета. Поскольку звуковые волны являются дисперсионными по своей природе, используют дисперсионные характеристики для определения температурных эффектов и локализованного мониторинга конструктивной целостности, который включает в себя, главным образом, обнаружение коррозии, расслоения и трещин. Для достижения высокой точности и надежности принимаемый сигнал (либо от того же самого преобразователя в эхо-импульсном режиме, либо от второго преобразователя в эхо-зеркальном режиме) обрабатывают в системе сбора и обработки данных. Может быть использована комплексная обработка сигналов с использованием множества инструментов обработки сигналов. Некоторыми из ключевых выделенных признаков являются абсолютное время пролета, разность значений времени пролета, фаза, амплитуда и частота.

Со ссылкой на фиг. 1, 6 и 7 в совокупности, способ и система, раскрытые на фиг. 6, могут быть использованы с конструктивными признаками, раскрытыми на фиг. 1, для определения конструктивных характеристик емкости 12. Например, емкость 12 или другой конструктивный контейнер, способный удерживать текучую среду, может быть выполнена из частей, которые являются проводящими и непроводящими. Методы обработки используют нелинейный сверхширокополосный акустический/ультразвуковой сигнал, который возбуждают с использованием линейной/прямой/обратной/экспоненциальной частотной модуляции. Помимо измерения абсолютного времени пролета, регистрируют также разность значений времени пролета. Поскольку звуковые волны явля-

ются дисперсионными по своей природе, используют дисперсионные характеристики для определения температурных эффектов и локализованного мониторинга конструктивной целостности самой емкости 12. Это может включать в себя обнаружение коррозии, расслоения и трещин, наряду с другими конструктивными характеристиками, которые желательно контролировать или обнаруживать. Для достижения высокой точности и надежности принимаемый сигнал (либо от того же самого преобразователя в эхо-импульсном режиме, либо от второго преобразователя в эхо-зеркальном режиме) обрабатываются в системе сбора и обработки данных. На фиг. 6 представлены дополнительные подробности относительно возможных методов обработки сигналов, включая более комплексную обработку сигналов с использованием множества инструментов обработки сигналов. Некоторыми из ключевых выделенных признаков являются абсолютное время пролета, разность значений времени пролета, фаза, амплитуда и частота.

В качестве рабочего примера, было изучено использование ультразвуковых направляемых волн для обнаружения повреждений в трубах. Как правило, продольные (осесимметричные) режимы возбуждаются и обнаруживаются с помощью преобразователей на PZT (цирконат-титанате свинца) в режиме передачи для этой цели. В большинстве исследований изучалось изменение интенсивности принимаемого сигнала в зависимости от степени повреждения, в то время как в настоящем исследовании изучается изменение фазы, времени пролета (time-of-flight, TOF) и разности значений времени пролета распространяющихся волновых мод в зависимости от размера повреждения. Метод взаимной корреляции используется для регистрации небольших изменений TOF по мере изменения размера повреждения в стальных трубах. Вычисляют дисперсионные кривые для тщательной идентификации распространяющихся волновых мод. Регистрируют и сравнивают значения разности TOF для различных распространяющихся волновых мод. Используют методы выделения признаков для выделения фазовой и частотно-временной информации. Основное преимущество данного подхода состоит в том, что, в отличие от регистрируемой интенсивности сигнала, на выделяемые TOF и фазу не влияют условия связи между преобразователем и трубой. Следовательно, если труба не повреждена, но связь между преобразователем и трубой ухудшилась, то даже при изменении интенсивности принимаемого сигнала TOF и фаза остаются прежними, что предотвращает ложную положительную сигнализацию о повреждении. Цель состоит не только в обнаружении повреждения, но и в его количественном определении или, иначе говоря, в оценке размера повреждения. Переходные сигналы для труб в идеальном состоянии и поврежденных труб обрабатывались с использованием быстрого Фурье-преобразования (Fast Fourier Transform, FFT), преобразования на основе распределения Вигнера-Вилля (Wigner-Ville Distribution Transform, WVD), S-преобразования (ST) и преобразования Гильберта-Хуанга (Hilbert Huang Transform, HHT). Было продемонстрировано, что время пролета чувствительно к размеру повреждения на стенке трубы. Мгновенная фаза, выделенная с помощью HHT, также может быть использована для обнаружения повреждения. Для оценки размера повреждения должен отслеживаться фазовый сдвиг, связанный с модой $L(0,1)$, после отделения моды $L(0,1)$ от моды $L(0,2)$ с учетом соответствующего функционального вклада собственных мод. FFT, S-преобразование и WVD-преобразование не показали какого-либо значительного и устойчивого сдвига частоты и амплитуды распространяющихся волн для повреждения диаметром 1,6 мм. Однако заметное изменение амплитуды распространяющейся волны наблюдалось для повреждений типа отверстий диаметром 3,25 мм и 6,35 мм. При обследовании трубы непосредственно на месте, падение амплитуды принятого сигнала может быть результатом ухудшения связи между датчиками и трубой. Следовательно, вместо мониторинга интенсивности принимаемого сигнала рекомендуется измерять изменения TOF и фазового сдвига сигнала для обнаружения и мониторинга повреждений на стенке трубы, поскольку эти параметры не подвержены влиянию условий связи между датчиками и трубой. Результаты показывают, что возможно обнаружение и количественное определение дефектов типа отверстий в трубе путем мониторинга изменения TOF и фазовых сдвигов соответствующих направляемых волновых мод.

Еще в одном примере измерялось изменение TOF вследствие коррозии в арматурных стальных стержнях. Переходные сигналы для образцов без коррозии и с коррозией обрабатывались с использованием FFT, STFT, CWT и ST. Информация TOF была получена с помощью ST и метода взаимной корреляции. Было продемонстрировано, что TOF моды $L(0,1)$ показывает высокую чувствительность к уровню коррозии в стальных стержнях. FFT, STFT, CWT и ST показывают значительные изменения амплитуды распространяющихся волн. Вследствие дисперсионной природы распространяющихся волн, для анализа сигналов лучше использовать ST вместо FFT, STFT и CWT. При более высоких частотах ST дает надежные результаты во временной области, однако некоторая часть информации, связанная с частотой, теряется. Уменьшение амплитуды регистрируемого сигнала может быть вызвано коррозией, а также ухудшением механической связи между датчиками и образцами, однако такое ухудшение связи не влияет на TOF. Следовательно, измерение TOF является более надежным для количественного измерения уровня коррозии. Обнаружено, что мода $L(0,1)$ является очень надежной для обнаружения коррозии и мониторинга ее прогрессирования. Вызванное коррозией изменение TOF, полученное с помощью ST, и перекрестная корреляция хорошо согласуются друг с другом, а также точно соответствуют теоретическим дисперсионным кривым. Вычисленные дисперсионные кривые помогли идентифицировать распространяющуюся направляемую волновую моду, используемую для мониторинга уровня коррозии в арматурных стальных стержнях.

В соответствующем варианте осуществления могут также быть использованы нелинейные ультразвуковые испытания (определение характеристик/оценка) для измерения прочности материала. Материалы могут быть изотропными и анизотропными (металлы и неметаллы). Например, присадочные материалы в обрабатывающей промышленности, такой как индустрия трехмерной печати, могут использовать комбинацию исходного порошка и использованного порошка, который остался от более раннего производственного процесса. Известно, что такие свойства материала, как модуль упругости и плотность, изменяются вследствие изменения температуры, давления и других факторов. Следовательно, конструктивная целостность, независимо от геометрии, непосредственно связана с тем, сколько раз может быть повторно использован рециркулируемый порошок. Аналогичным образом, прочность композитных материалов и бетона (включая, без ограничения, обычный бетон, геополимерный бетон и т.д.) также непосредственно связана с составом. В случае бетона, на прочность могут влиять размер зерен заполнителя, время отверждения, качество цемента и т.д. Соответственно, прочность и надежность бетона на различных этапах отверждения успешно определяются с использованием метода нелинейных ультразвуковых испытаний.

Следует подчеркнуть, что вышеописанные варианты осуществления раскрытия настоящего изобретения, в частности любые "предпочтительные" варианты осуществления, являются лишь возможными примерами осуществления, изложенными лишь для четкого понимания принципов раскрытия настоящего изобретения. Многие изменения и модификации могут быть внесены в вышеописанный вариант (варианты) раскрытия осуществления настоящего изобретения без существенного отклонения от сущности и принципов раскрытия настоящего изобретения. Все подобные модификации и изменения предназначены для включения в настоящий документ в рамках объема настоящего изобретения и защищены нижеследующей формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для определения веса количества текучей среды в емкости, содержащая:
емкость, имеющую определимый размер и заключающую в себе указанное количество текучей среды;
акустический датчик, выполненный с возможностью размещения по существу на нижней стенке снаружи указанной емкости и передачи акустического сигнала в емкость для определения уровня заполнения указанным количеством текучей среды указанной емкости;
датчик температуры, измеряющий температуру указанного количества текучей среды внутри указанной емкости; и
компьютеризированное устройство, сообщаемое с акустическим датчиком и датчиком температуры, причем процессор компьютеризированного устройства выполнен с возможностью вычисления скомпенсированной по температуре плотности текучей среды указанного количества текучей среды на основе измеренной температуры указанного количества текучей среды и скомпенсированного по температуре акустического сигнала,
причем процессор компьютеризированного устройства выполнен с возможностью вычисления веса указанного количества текучей среды с использованием определимого размера указанной емкости, определенного уровня заполнения, измеренной температуры и скомпенсированной по температуре плотности текучей среды.
2. Система по п.1, в которой результат идентификации указанной текучей среды в указанном количестве определен с помощью дополнительного акустического датчика, размещенного на указанной стенке емкости.
3. Система по п.1 или 2, в которой скомпенсированная по температуре плотность указанного количества текучей среды определена с помощью дополнительного акустического датчика, размещенного на указанной стенке емкости.
4. Система по пп.1, 2 или 3, в которой процессор компьютеризированного устройства выполнен с возможностью вычисления веса указанного количества текучей среды два или более раз, причем расход указанного количества текучей среды определен на основе веса указанного количества текучей среды, вычисленного в указанные два или более раз.
5. Система для определения расхода количества текучей среды на основе веса указанного количества текучей среды, содержащая:
трубу, удерживающую указанное количество текучей среды;
по меньшей мере первый акустический датчик, размещенный на указанной стенке указанной трубы в первом месте;
по меньшей мере второй акустический датчик, размещенный на указанной стенке указанной трубы во втором месте, причем второе место отличается от первого места, а расстояние между первым и вторым местами является определимым, при этом акустический сигнал передается в трубу для определения уровня заполнения трубы указанным количеством текучей среды;
датчик температуры, измеряющий температуру указанного количества текучей среды внутри указанной трубы; и

компьютеризованное устройство, сообщаемое с первым и вторым акустическими датчиками и датчиком температуры,

причем процессор компьютеризованного устройства выполнен с возможностью вычисления скомпенсированной по температуре плотности текучей среды указанного количества текучей среды на основе измеренной температуры указанного количества текучей среды и скомпенсированного по температуре акустического сигнала,

причем процессор компьютеризованного устройства выполнен с возможностью вычисления веса указанного количества текучей среды с использованием объема указанной трубы, определенного уровня заполнения, измеренной температуры указанного количества текучей среды и скомпенсированной по температуре плотности текучей среды, и

при этом процессор компьютеризованного устройства выполнен с возможностью вычисления разности значений времени пролета для указанного количества текучей среды на основе по меньшей мере показаний указанных первого и второго акустических датчиков и вычисленного веса указанного количества текучей среды для определения весового расхода указанного количества текучей среды.

6. Система по п.5, в которой процессор компьютеризованного устройства выполнен с возможностью вычисления разности значений времени пролета для указанного количества текучей среды на основе показаний указанных первого и второго акустических датчиков в обоих направлениях вдоль потока в указанной трубе.

7. Система по п.5 или 6, в которой процессор компьютеризованного устройства выполнен с возможностью вычисления разности значений времени пролета путем измерения времени пролета в одном направлении и его сравнения с временем пролета, вычисленным на основе скорости акустической волны для указанного количества текучей среды в стационарном состоянии.

8. Система по пп.5, 6 или 7, в которой указанное количество текучей среды имеет известную плотность или известный тип материала, определенные с помощью дополнительного акустического датчика, размещенного на стенке указанной трубы.

9. Система по пп.5, 6, 7 или 8, дополнительно содержащая блок впрыска, удерживающий второе количество текучей среды для впрыска в указанную трубу, причем скорость впрыска указанного второго количества текучей среды основана на определенной скорости потока указанного количества текучей среды.

10. Система по п.9, в которой указанное количество текучей среды внутри указанной трубы представляет собой количество нефтепродукта, а указанное второе количество текучей среды представляет собой количество химической добавки, впрыснутой в указанную трубу.

11. Способ определения веса количества текучей среды в емкости, включающий этапы, на которых: удерживают указанное количество текучей среды внутри емкости, имеющей определяемый размер; определяют уровень заполнения указанным количеством текучей среды указанной емкости с помощью акустического сигнала, переданного в емкость посредством акустического датчика, размещенного на нижней стенке снаружи указанной емкости;

измеряют температуру указанного количества текучей среды внутри указанной емкости с помощью датчика температуры;

вычисляют скомпенсированную по температуре плотность текучей среды указанного количества текучей среды с помощью процессора компьютеризованного устройства, сообщаемого с акустическим датчиком и датчиком температуры, с использованием измеренной температуры указанного количества текучей среды и скомпенсированного по температуре акустического сигнала, и

вычисляют вес указанного количества текучей среды с помощью процессора компьютеризованного устройства с использованием определяемого размера указанной емкости, определенного уровня заполнения, измеренной температуры и скомпенсированной по температуре плотности текучей среды.

12. Способ по п.11, дополнительно включающий определение по меньшей мере одного из типа материала указанного количества текучей среды или скомпенсированной по температуре плотности текучей среды указанного количества текучей среды с помощью дополнительного акустического датчика, размещенного на указанной стенке емкости.

13. Способ по п.11 или 12, согласно которому емкость дополнительно содержит трубу, и таким образом расход указанного количества текучей среды через указанную трубу определяют путем выполнения этапов, на которых:

размещают первый акустический датчик на указанной стенке указанной трубы в первом месте;

размещают второй акустический датчик на указанной стенке указанной трубы во втором месте, причем второе место отличается от первого места, а расстояние между первым и вторым местами является определяемым;

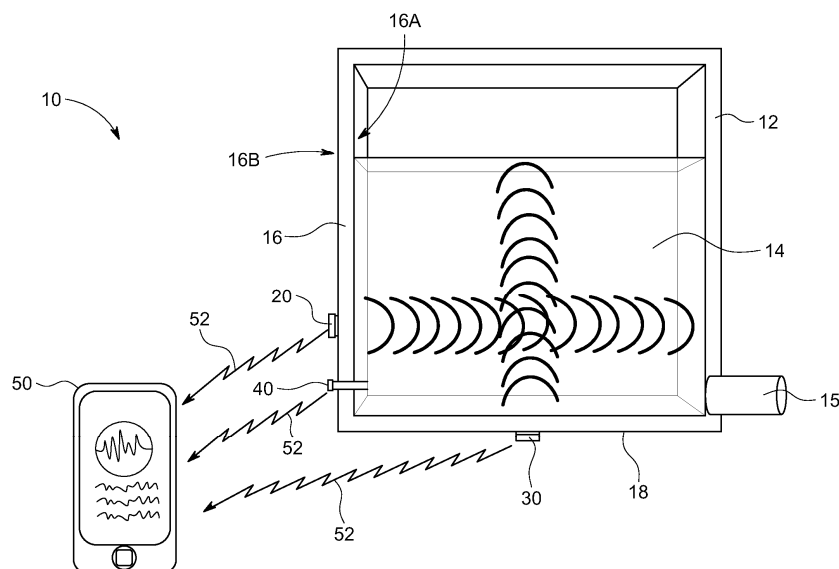
измеряют температуру указанного количества текучей среды внутри указанной трубы с помощью датчика температуры и

вычисляют разность значений времени пролета для указанного количества текучей среды на основе показаний первого и второго акустических датчиков, измеренной температуры указанного количества текучей среды, объема указанной трубы и по меньшей мере одного из результата идентификации текучей

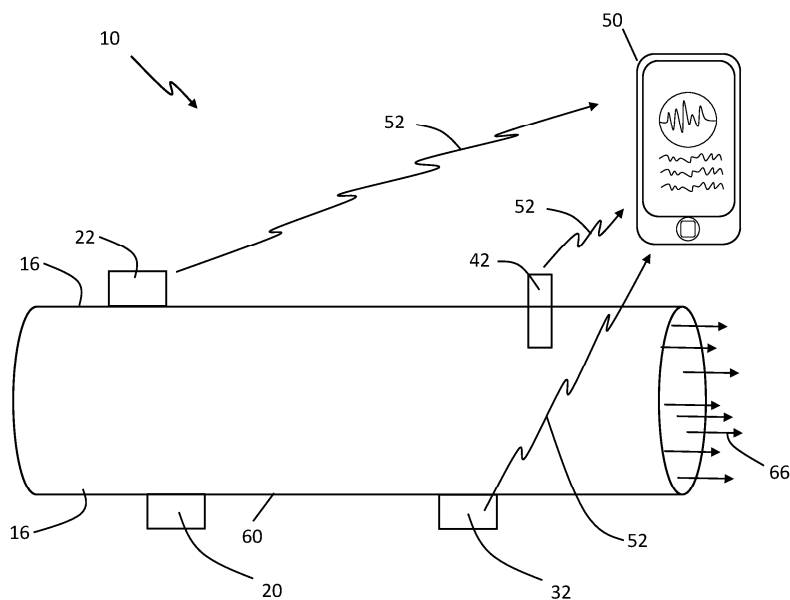
среды или плотности текучей среды с использованием процессора компьютеризованного устройства, сообщаемым с по меньшей мере первым и вторым акустическими датчиками и датчиком температуры, и таким образом определяют весовой расход указанного количества текучей среды в указанной трубе.

14. Способ по п.13, согласно которому разность значений времени пролета для указанного количества текучей среды вычисляют на основе показаний первого и второго акустических датчиков в обоих направлениях вдоль потока в указанной трубе.

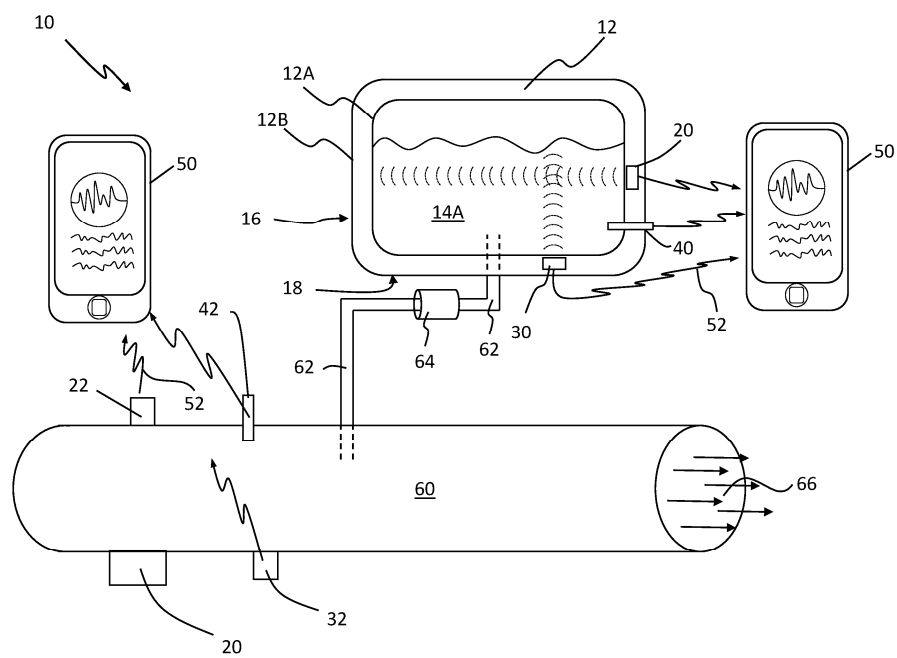
15. Способ по п.13 или 14, согласно которому вычисление разности значений времени пролета для указанного количества текучей среды дополнительно включает измерение времени пролета в одном направлении и его сравнение с временем пролета, вычисленным на основе скорости акустической волны для указанного количества текучей среды в стационарном состоянии.



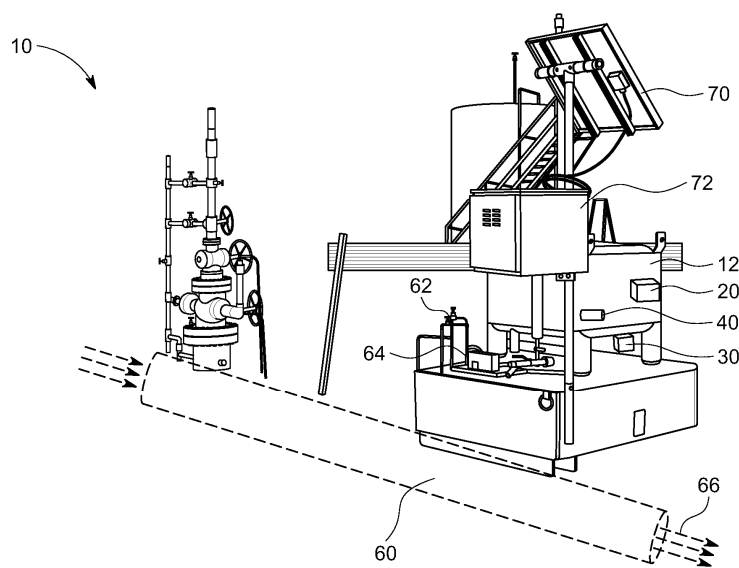
Фиг. 1



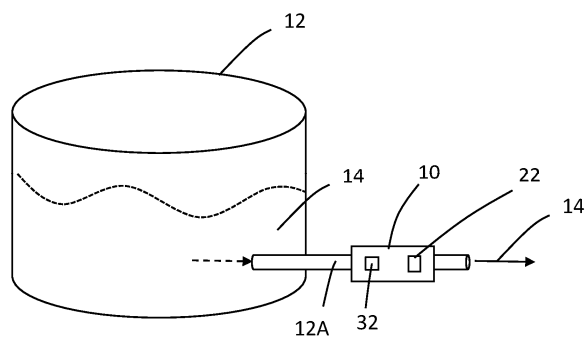
Фиг. 2



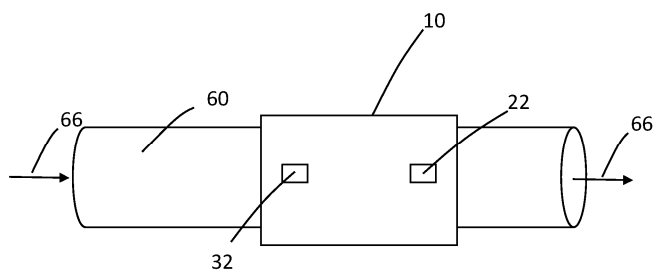
Фиг. 3А



Фиг. 3В

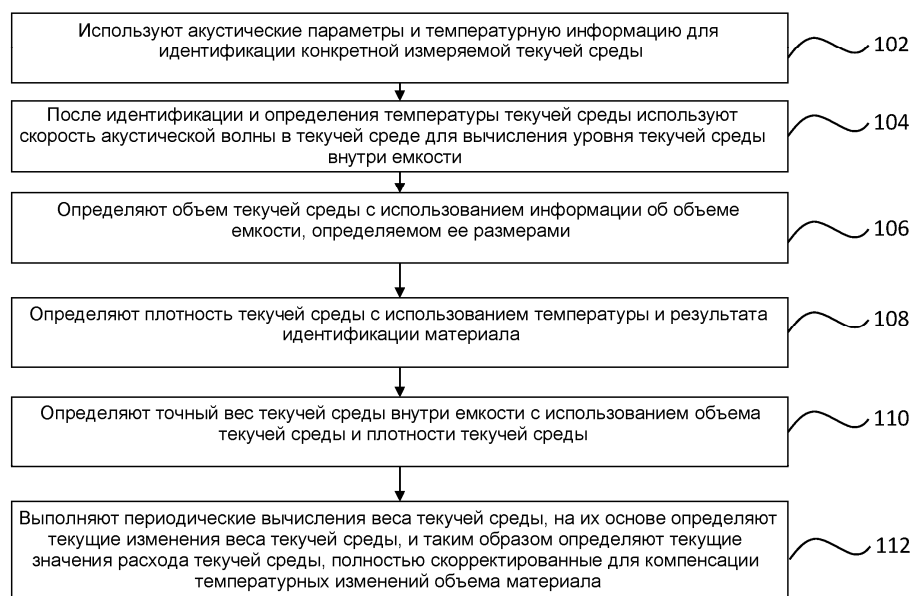


Фиг. 4А



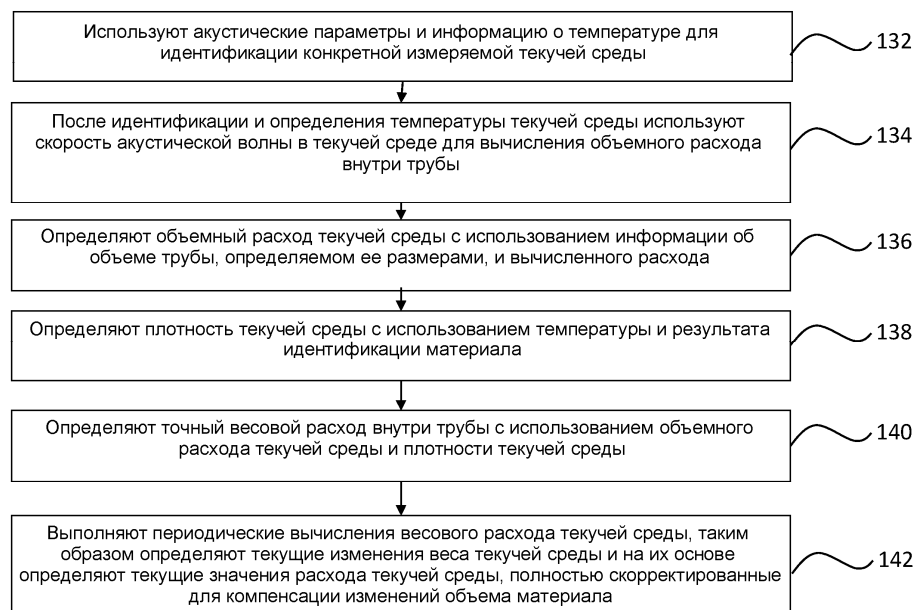
Фиг. 4В

100

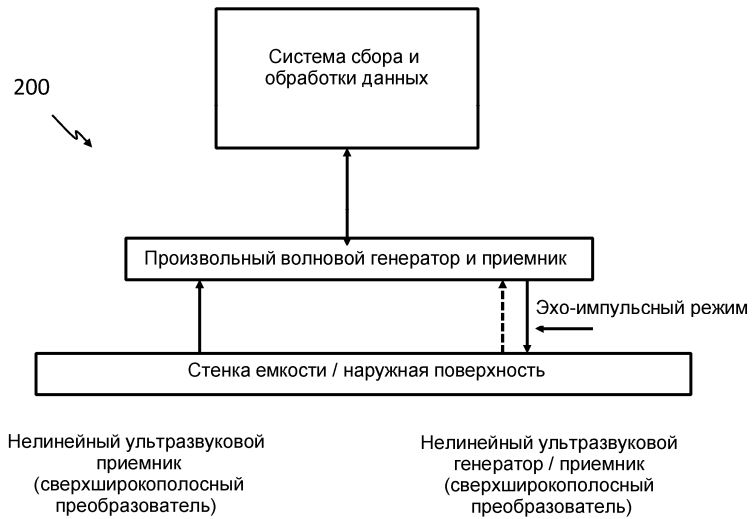


Фиг. 5А

130



Фиг. 5В



Фиг. 6



Фиг. 7

